

基于一次性竹木筷中4种抑菌防腐剂残留量的分析研究

张智力, 吴艳凤, 胡晓青, 杨学军, 王茂森, 梁金海, 许超*

(山东省产品质量检验研究院 山东省材料化学安全检测技术重点实验室, 济南 250102)

摘要: **目的** 采用气相色谱-质谱联用法, 快速测定一次性竹木筷中4种抑菌防腐剂。**方法** 样品经破碎或粉碎后用甲醇超声提取, 旋转蒸干后用正己烷溶解, 试液经DB-5MS石英毛细管色谱柱分离, 质谱仪检测, 外标法定量。**结果** 建立的4种目标物的定量方法在0.2~10 mg/L的线性关系良好($R^2 > 0.99$), 在3种浓度的加标水平下, 加标回收率为90.0%~103%, 相对标准偏差为0.94%~12.6%; 外标法定量如下: 联苯、邻苯基苯酚定量限均为0.1 mg/kg, 抑霉唑定量限为0.2 mg/kg, 噻菌灵定量限为0.3 mg/kg。**结论** 该方法前处理简捷高效、灵敏度高、准确性高, 可实现食品用一次性竹木筷中抑菌防腐剂的快速筛查测定。

关键词: 食品用; 气相色谱-质谱联用法; 一次性竹木筷; 抑菌防腐剂

中图分类号: TB32

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2025)05-0113-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2025.05.014

Residues of Four Antibacterial and Antifungal Agents in Disposable Bamboo and Wood Chopsticks

ZHANG Zhili, WU Yanfeng, HU Xiaqing, YANG Xuejun, WANG Maosen, LIANG Jinhai, XU Chao*

(Shandong Provincial Key Laboratory of Test Technology for Material Chemical Safety,
Shandong Institute for Product Quality Inspection, Jinan 250102, China)

ABSTRACT: The work aims to establish a method for simultaneously and rapidly determining four antibacterial and antifungal agents in disposable bamboo and wood chopsticks by gas chromatography-mass spectrometry. The samples were extracted by ultrasonic methanol after crushing or smashing, and dissolved by n-hexane after rotating evaporation. The test solution was separated by DB-5MS quartz capillary column, detected by mass spectrometer, and quantified by external standard method. The Result showed that the established quantitative methods of the four target substances had a good linear relationship ($R^2 > 0.99$) in the range of 0.2-10 mg/L. Under the three concentrations, the recovery rates were 90.0%-103%, the relative standard deviations were 0.94%-12.6%. The limits of quantification were 0.1 mg/kg for biphenyl and o-phenylphenol, 0.2 mg/kg for apromazole and 0.3 mg/kg for thiamendazole. In conclusion, the method is simple, efficient, sensitive, and accurate, and can be used for rapid screening and determination of antibacterial preservatives in disposable bamboo and wood chopsticks used for food.

KEY WORDS: for food; GC-MS; disposable bamboo and wood chopsticks; antibacterial preservative

筷子作为日常生活中必不可少的用餐工具, 其卫生安全与人们的身体健康息息相关^[1]。近年来, 我国餐饮外卖行业发展迅速, 对一次性筷子的需求量持续

增加^[2-4], 但媒体时常报道出的“霉筷子”和“毒筷子”等问题引起消费者担忧。一次性竹木筷由天然竹、木或竹木复合材料制作而成, 如果生产环境、加工运输

收稿日期: 2024-11-14

基金项目: 山东省市场监督管理局科研项目(2023MR08); 山东省质检院科研储备项目(2024ZJKY003)

*通信作者

条件不达标,就可能出现发霉和虫蛀等现象^[5-6],因此需加入一定量的抑菌防腐剂以提高其耐久性^[7-9]。处理后的一次性竹木筷中残留的抑菌防腐剂易迁移入食品进而进入人体,对人体的健康产生潜在危害^[10]。防霉处理有利于保护产品质量和外观,但过量使用抑菌防腐剂会造成食品安全风险^[11]。

目前,我国竹木制品未纳入食品相关产品生产许可管理类别,尚未建立相关的技术规范。竹木制品中的一次性竹木筷是各级监督抽查的重点产品,也是消费者关注的产品,其质量与人们的生命健康密切相关^[12]。竹木筷经简单的切削后,需进行打磨抛光处理,其中使用的滑石粉、石蜡等会对人体健康产生危害^[13]。邻苯基苯酚(OPP)、抑霉唑(IMZ)、联苯(DP)等因具有良好的抑菌防腐效果被广泛用于水果、蔬菜保鲜和竹木制餐具防腐加工中^[14-16]。抑霉唑、噻菌灵(TBZ)可有效抑制木材中易滋生的担子菌^[17-19],但其本身具有生物毒性,过量进入人体中会对肝脏和肾脏造成严重损伤^[20-23]。食品用竹木筷中联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑可按照 GB 4806.12—2022^[24]检测。但依据标准品保留时间进行定性定量分析,无法对苯甲醇、百菌清、对羟基苯甲酸酯类等高效广谱的防菌防霉剂快速筛查定性,因此建立一种简捷高效、准确可行的一次性竹木筷中4种抑菌防腐剂的气相色谱-质谱联用(GC-MS)的检测方法具有重要现实意义。GC-MS法是一种很好的检测方法,可有效避免假阳性结果的出现,能更好地对市场上的一次性竹木筷产品进行质量安全风险分析,以掌握其产品质量情况。

1 实验

1.1 材料与试剂

购买有证标准品:噻菌灵(纯度为99.9%,上海安谱瑾世标准技术服务有限公司);联苯(纯度为99.9%,上海安谱瑾世标准技术服务有限公司);抑霉唑(纯度为99.9%,上海安谱瑾世标准技术服务有限公司);邻苯基苯酚(纯度为99.4%,上海安谱瑾世标准技术服务有限公司),以上标准品的不确定度为2.0%。非标准品:甲醇(色谱纯,默克公司);正己烷(色谱纯,默克公司);乙腈(色谱纯,默克公司)。

1.2 仪器与设备

主要仪器与设备:7890B-5977B安捷伦(Agilent)气相色谱-质谱联用仪(GC-MS)、色谱柱DB-5MS(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)、色谱柱HP-INNOWAX(30 m×0.32 mm, 0.5 μm),美国安捷伦公司;ME204电子分析天平(精度为0.1 mg),METTLER TOLEDO集团;ALLIANCEE2695高效液相色谱仪(紫外检测器),美国Waters公司;KQ-500DE数控超声波清洗器,昆山市超声仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 标准溶液的配制

4种抑菌防腐剂混合标准储备液(1 000 mg/L)的配制:分别准确称取0.1 g(精确至0.000 1 g)联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑4种抑菌防腐剂标准品于烧杯中,加少量甲醇溶解后转移至100 mL容量瓶,再用甲醇定容至100 mL。也可先将4种目标物分别单独配制成标准溶液,再配制4种目标物的混合标准溶液。

4种抑菌防腐剂混合标准中间工作溶液(50 mg/L)的配制:将4种抑菌防腐剂混合标准储备液用甲醇逐级稀释成浓度为50 mg/L的标准中间工作溶液。

4种抑菌防腐剂混合标准工作溶液:将4种抑菌防腐剂混合标准中间工作溶液用甲醇分别稀释至浓度为0.2、0.5、1.0、2.0、5.0、10 mg/L的系列标准工作溶液,置于4℃冰箱中避光保存,供液相色谱仪和气相色谱-质谱联用仪上机测试。

1.3.2 样品制备与样品前处理

从市场购买一次性竹筷、木筷共20批次。贴好样品标签,室温下干燥保存,同时将样品破碎或粉碎后过60目尼龙筛,混合均匀。

准确称量2.0 g(精确至0.1 mg)样品于具塞玻璃锥形瓶中,加入30 mL甲醇,在超声波清洗器中提取30 min,再用少量甲醇洗涤残渣,将2次的提取液合并于烧瓶中,旋转蒸干后用1 mL正己烷溶解,试液经0.22 μm滤膜过滤后用GC-MS测定,同时做空白实验。

1.3.3 气相色谱及质谱条件

气相色谱条件:Agilent DB-5MS(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)石英毛细管色谱柱。程序升温条件:初始柱温60℃,保持1 min,以15℃/min升至220℃,保持1 min;再以10℃/min升至310℃,保持1 min。进样口温度:310℃。进样模式:不分流进样。进样量:1.0 μL。载气:高纯氦气(He),纯度≥99.999%。流速:1.0 mL/min。

质谱条件:质谱接口温度310℃;离子源温度230℃;四级杆温度150℃;溶剂延迟6 min;电子轰击(EI)离子源;电子能量70 eV;选择离子扫描模式(SIM);质谱扫描范围(质荷比 m/z)为30~400 u。联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑4种目标物的保留时间、定性离子、定量离子等信息如表1所示。

1.4 数据处理

使用美国安捷伦公司GC-MS工作站软件和美国沃特世公司LC工作站软件进行相关数据处理和分析。

2 结果与讨论

2.1 GC-MS条件的优化

考察了DB-5MS(30 m×0.25 mm, 0.25 μm)毛

表 1 联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑的保留时间、定性离子、定量离子等信息
Tab.1 Retention time, qualitative ion, quantitative ion and other information of DP, OPP, TBZ, IMZ

序号	目标物名称	CAS	保留时间/min	定性离子 (m/z)	定量离子 (m/z)
1	联苯	92-52-4	8.794	152、153、154	152
2	邻苯基苯酚	90-43-7	9.951	141、169、170	170
3	噻菌灵	148-79-8	14.617	174、201、202	201
4	抑霉唑	35554-44-0	15.317	173、215、217	215

细管色谱柱、HP-INNOWAX(30 m×0.32 mm, 0.5 μm) 毛细管色谱柱。HP-INNOWAX 色谱柱是一种强极性色谱柱, 最高耐温 260 °C, 本研究的噻菌灵和抑霉唑的沸点较高, 不适用于目标物分离, 而 DB-5MS 毛细管色谱柱为经典通用型弱极性色谱柱, 耐高温、分离度高、柱流失低, 可有效提高工作效率, 是用于有机物分离的理想色谱柱。实验色谱图显示, DB-5MS 毛细管色谱柱分离效果较好, 邻苯基苯酚、联苯、噻菌灵、抑霉唑色谱峰型对称性好, 满足 4 种目标物整体分离要求。联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑 4 种目标物总离子流如图 1 所示。

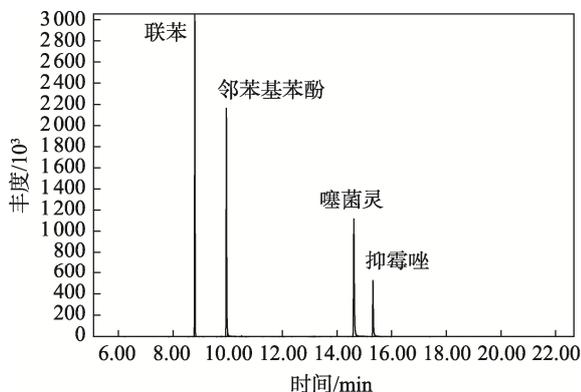
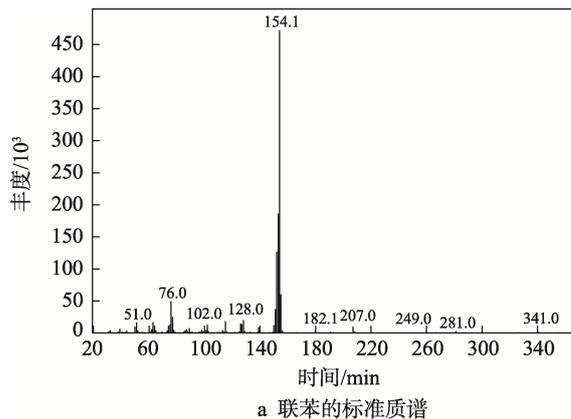
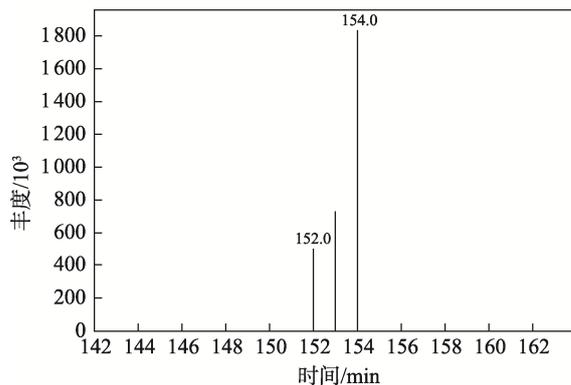


图 1 联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑混合标准溶液的总离子流
 Fig.1 Total ion flow diagram of DP, OPP, TBZ, IMZ mixed standard solution

定量分析时, 联苯的丰度最高离子为 154, 实际检测时发现离子 154 会影响联苯的定量, 建议选择离子 152 进行定量。噻菌灵和邻苯基苯酚分别选择丰度最高的离子 201、170 进行定量; 抑霉唑丰度最高的离子 41 在实际检测时易受其他物质的干扰, 所以选择第二丰度高的离子 215 进行定量。本实验设置的起始温度为 60 °C, 4 种目标物出峰较快, 通过更换新色谱柱和优化色谱条件提高了色谱峰的分度度, 并减少了拖尾现象。联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑 4 种抑菌防腐剂在 17 min 内可很好地分离, 无拖尾现象, 能准确定量。联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑 4 种目标物的标准质谱图如图 2~5 所示。



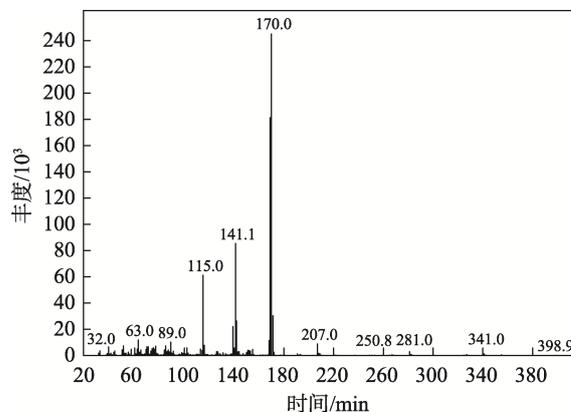
a 联苯的标准质谱



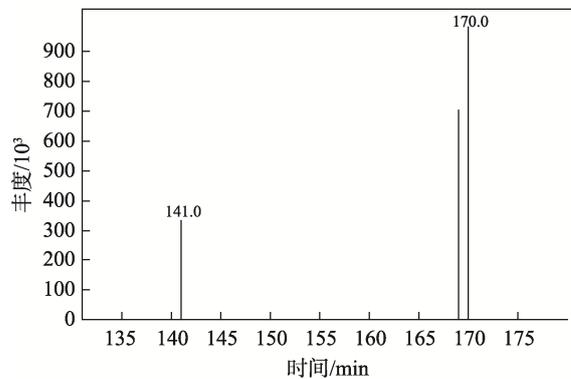
b 联苯的SIM图

图 2 联苯的标准质谱和 SIM 图

Fig.2 Standard mass spectrum and SIM diagram of biphenyl

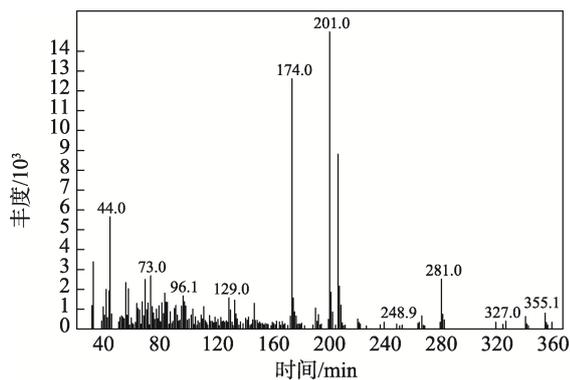


a 邻苯基苯酚的标准质谱

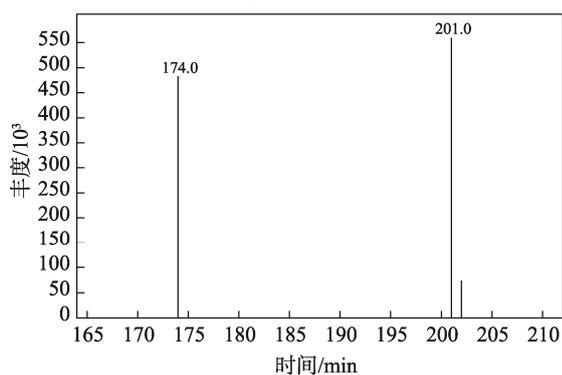


b 邻苯基苯酚的SIM图

图 3 邻苯基苯酚的标准质谱和 SIM 图
 Fig.3 Standard mass spectrometry and SIM diagram of o-phenylphenol

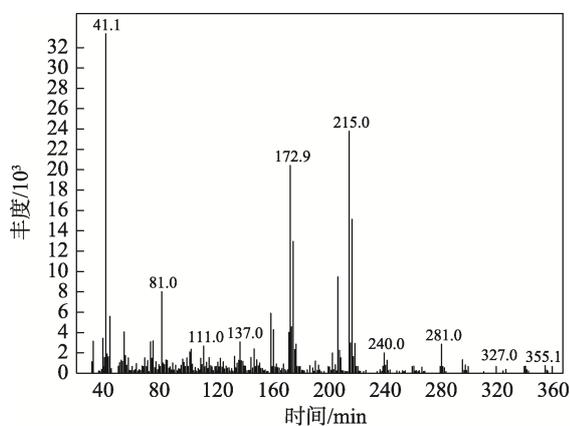


a 噻菌灵的标准质谱

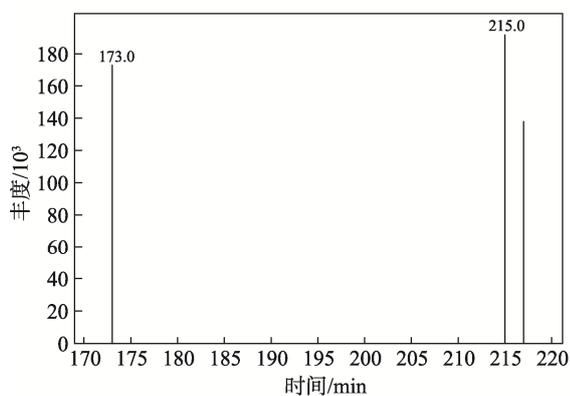


b 噻菌灵的SIM图

图4 噻菌灵的标准质谱和SIM图
Fig.4 Standard mass spectrometry and SIM spectra of thiamethoxazole



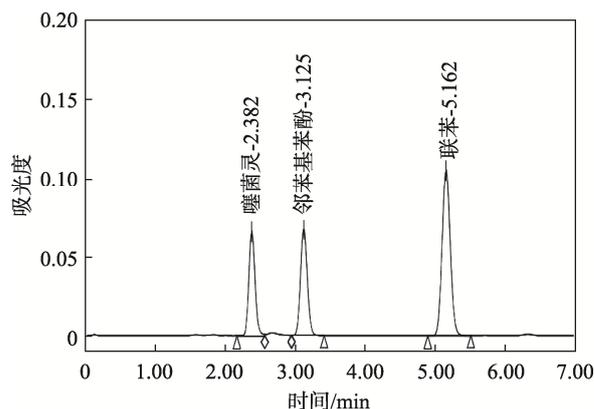
a 抑霉唑的标准质谱



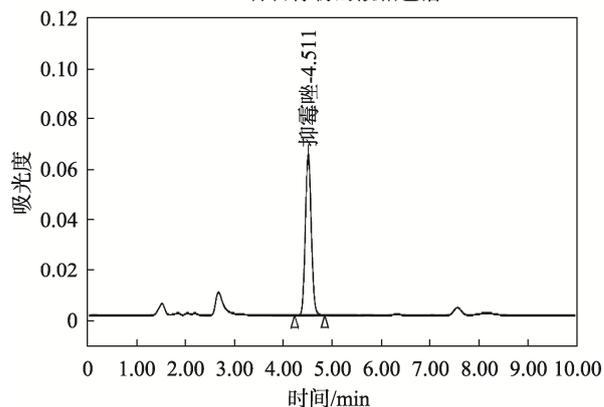
b 抑霉唑的SIM图

图5 抑霉唑的标准质谱和SIM图
Fig.5 Standard mass spectrometry and SIM spectra of imidazole

按照 GB 4806.12—2022 中实验的要求, 利用液相色谱仪的 C₁₈ 色谱柱分离联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑具有以下优点: 流动相不使用缓冲盐, 缩短了检测时间, 提高了检测效率, 有利于延长设备寿命; 6 min 内 4 种目标物全部出峰, 出峰时间更快, 峰形好。但样品经甲醇超声提取后, 试液经上机分析时, 发现杂质对噻菌灵的色谱峰造成严重干扰, 会出现结果呈假阳性的问题。采用 C₁₈ 色谱柱分离联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑的液相色谱图如图 6 所示。



a 3种目标物的液相色谱



b 抑霉唑的液相色谱

图6 采用 C₁₈ 色谱柱分离联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑的液相色谱

Fig.6 HPLC of separation of DP, OPP, TBZ, IMZ by C₁₈ column

通过优化气质参数, 对竹木筷生产工艺中可能使用的抑菌防腐剂建立谱库, 实现高通量筛查。例如, 对苯甲醇、百菌清、对羟基苯基酯类等其他抑菌防腐剂筛查时, 可根据工作站软件的特点设置全扫描模式 (SCAN) 和选择离子扫描模式 (SIM) 或仅设置 SIM 模式进行检测, 大大提高了检测效率和结果的准确性。本次重点研究 4 种抑菌防腐剂, 方法优化后 4 种目标物分离度很好, 定性定量准确, 且质谱有谱库检索功能, 有效减少了假阳性问题。

2.2 样品取样方式确定及提取溶剂的选择

一次性竹筷、木筷样品可通过破碎或粉碎法获得, 文献资料显示: 木砧板的质地较硬, 不易将整块

样品破碎或粉碎, 大多使用正反梅花 9 点式布点法采样^[24], 有利于其他防腐剂的检测分析。食品用接触材料中有害物质常用提取方式有超声提取、索式抽提、振荡提取等^[25-26], 提取溶剂主要有甲醇、乙酸乙酯、正己烷等。通常竹木制品的化学防腐是将改性剂或防腐剂等化学药剂注入竹木制品中, 与竹材中的纤维素、半纤维素和木质素的活性基团发生反应形成醚键、酯键或缩醛联结, 改变竹木制品的化学结构^[27-28]。GB 4806.12—2022 附录 B 对 4 种抑菌防腐剂采用液相色谱法测试, 提取溶剂为甲醇; 何淑娟等^[29]用甲醇溶剂索氏提取法提取其中的抑菌防腐剂, 氮吹至干, 再用 5 mL 甲醇溶解。通过分析回收率实验数据, 并结合检验标准、文献资料, 最后确定选用甲醇为提取溶剂, 提取方式为超声提取。

2.3 方法学验证

2.3.1 线性方程和检出限

按照实验建立的方法及相关条件, 将不同浓度的联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑 4 种目标物标准溶液进行 GC-MS 测定, 在最佳色谱条件下, 以 4 种抑菌防腐剂的质量浓度为横坐标, 峰面积为纵坐标, 绘制线性回归方程, 根据 GB/T 27417—2017《合格评定 化学分析方法确认和验证指南》的要求, 选择

信噪比法进行检出限的评估。向空白样品中添加不同浓度水平的标准溶液, 每个浓度水平进行 10 次实验, 本实验按信噪比 (S/N) ≥ 3 确定检出限, 通过测试评估, 确定目标物浓度检出限, 再根据 3 倍的检出限计算定量限。4 种目标物的相关系数均 >0.99 , 在 0.2~10 mg/L 的浓度下线性良好, 具体信息如表 2 所示。

2.3.2 方法的准确度和精密度

选取一次性竹木筷阴性样品, 分别添加 3 个浓度水平的标准溶液进行加标回收实验, 按照要求进行样品前处理, 上机平行测定 6 次, 联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑 4 种抑菌防腐剂加标回收率为 90.0%~103%, 相对标准偏差为 0.94%~12.6%, 表明该方法具有较好的准确度, 满足实验室理化检测实验质量控制要求 (回收率为 90%~110%)^[30]。回收率和精密度结果如表 3 所示。

2.4 实际样品的检测

根据本实验建立的测试方法对一次性竹筷、木筷的 20 批次样品中 4 种抑菌防腐剂进行测定, 检验结果显示, 20 批次样品中 1 批次检出噻菌灵 (检测结果为 0.50 mg/kg), 其他批次均未检出 4 种抑菌防腐剂。

表 2 联苯、邻苯基苯酚、噻菌灵、抑霉唑 4 种抑菌防腐剂的线性方程、检出限和定量限
Tab.2 Linear equation, detection limit and quantification limit of DP, OPP, TBZ and IMZ

目标物名称	线性范围/(mg·L ⁻¹)	保留时间/min	线性方程	相关系数 r^2	检出限/(mg·kg ⁻¹)	定量限/(mg·kg ⁻¹)
联苯	0.2~10	8.894	$y=45\ 369x-80.619$	0.999 7	0.04	0.1
邻苯基苯酚	0.2~10	10.054	$y=89\ 081x+465.45$	0.999 2	0.04	0.1
噻菌灵	0.2~10	14.803	$y=25\ 844x-6.238\ 1$	0.993 5	0.1	0.3
抑霉唑	0.2~10	15.457	$y=16\ 603x+159.4$	0.999 8	0.07	0.2

表 3 方法的加标回收率和精密度
Tab.3 Recovery rate and precision of method

目标物名称	添加值/(mg·kg ⁻¹)	测定值/(mg·kg ⁻¹)						平均值/(mg·kg ⁻¹)	回收率/%	RSD/%
		1	2	3	4	5	6			
联苯	0.1	0.09	0.11	0.12	0.09	0.10	0.11	0.103	103	11.7
	2	1.86	1.84	1.88	1.78	1.96	1.90	1.87	93.5	3.23
	10	9.70	9.72	9.90	9.92	9.76	9.81	9.80	98.0	0.94
邻苯基苯酚	0.1	0.10	0.11	0.11	0.11	0.09	0.09	0.102	102	9.6
	2	1.82	1.85	1.86	1.87	1.95	1.91	1.88	94.0	2.46
	10	9.55	9.57	9.67	9.67	9.80	9.82	9.68	96.8	1.16
噻菌灵	0.3	0.27	0.31	0.32	0.28	0.32	0.33	0.305	102	7.9
	2	1.85	1.81	1.75	1.76	1.85	1.80	1.80	90.0	2.37
	10	9.22	9.60	9.50	9.43	9.27	9.21	9.37	93.7	1.73
抑霉唑	0.2	0.17	0.18	0.18	0.23	0.22	0.21	0.198	99	12.6
	2	1.83	1.80	1.84	1.75	1.79	1.83	1.81	90.5	1.87
	10	9.50	9.43	9.53	9.50	9.68	9.41	9.51	95.1	1.01

对阳性样品进行加标回收实验,添加的噻菌灵的质量浓度为 1.0 mg/kg,按照实验条件进行样品前处理,上机平行测定 6 次,检测值分别为 1.41、1.42、1.38、1.42、1.40、1.37 mg/kg,计算平均值为 1.40 mg/kg,回收率为 93.3%,RSD 为 1.5%,满足实验室理化检测实验质量控制要求。

3 结语

本研究建立了食品用一次性竹木筷中抑菌防腐剂残留量的快速检测 GC-MS 法。试液经 DB-5MS 石英毛细管色谱柱分离,质谱仪检测,外标法定量;建立的 GC-MS 法具有高灵敏度、高准确度 and 简捷高效的优点,可实现食品用一次性竹木筷中抑菌防腐剂残留量的快速筛查和分析测定,对监测一次性竹木筷中抑菌防腐剂具有一定意义和价值。

为监测一次性竹木筷中更多种抑菌防腐剂,降低基质对目标物的干扰和实现其他物质快速准确定量,后续还需优化提取条件,完善实验方法,未来将扩大研究范围,逐步实现更多一次性竹木筷中有害物质的筛查和定量分析。

参考文献:

- [1] 韩陈,李文慧,吴亚平. 顶空-气相色谱-质谱法测定涂漆筷子中 32 种溶剂的残留量以及溶剂残留的消除[J]. 理化检验-化学分册, 2022, 58(4): 452-457.
HAN C, LI W H, WU Y P. Determination of 32 Solvent Residues in Painted Chopsticks by Headspace-Gas Chromatography-Mass Spectrometry and Elimination of Solvent Residues[J]. Physical and Chemical Examination Chemical Volume, 2022, 58(4): 452-457.
- [2] 岳晓庆,王宇婷,王军. 食品接触用竹木制品中杀菌剂的研究进展[J]. 食品工业科技, 2023, 44(2): 477-486.
YUE X Q, WANG Y T, WANG J. Advances in the Study of Fungicides in Bamboo and Wood Products for Food Contact[J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(2): 477-486.
- [3] 钟佳耘,严洁,王娅,等. 一次性竹筷浸出液对斑马鱼(Danio rerio)胚胎发育的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(6): 2391-2398.
ZHONG J Y, YAN J, WANG Y, et al. Effects of Disposable Bamboo Chopsticks Extract on Embryonic Development of Zebrafish (Danio rerio)[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 6(6): 2391-2398.
- [4] 胡晓楠,张瑞华,郭文丽,等. 分散固相萃取结合高效液相色谱-串联质谱法检测一次性筷子中 5 种杀菌剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(3): 183-189.
HU X N, ZHANG R H, GUO W L, et al. Determination of 5 Types of Fungicides in Disposable Chopsticks by Dispersed Solid Phase Extraction Combined with High Performance Liquid Chromatography-Tandem Mass Spectrometry[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(3): 183-189.
- [5] UNGER A, SCHNIEWIND A P, UNGER W. Conservation of Wood Artifacts: A Handbook[M]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001.
- [6] 陈山丹,李柏,洪锦清,等. 气相色谱-串联质谱法测定纸制品中杀菌剂、增塑剂、拟除虫菊酯和有机氯农药残留[J]. 化学分析计量, 2021, 30(8): 39-45.
CHEN S D, LI B, HONG J Q, et al. Determination of Fungicides, Plasticizers, Pyrethroids and Organochlorines in Paper Products by GC-MS/MS[J]. Chemical Analysis and Meterage, 2021, 30(8): 39-45.
- [7] 望秀丽,付饶,罗晶,等. 气相色谱-质谱法测定食品接触用竹木制品中 4 种防腐剂的应用研究[J]. 中国口岸科学技术, 2023, 5(6): 16-20.
WANG X L, FU R, LUO J, et al. Determination of 4 Antiseptics in Bamboo and Wooden Food Contact Products by GC-MS[J]. China Port Science and Technology, 2023, 5(6): 16-20.
- [8] 吴蝶,韦小丽,姚连书,等. 新型绿色竹材防腐防霉剂研究进展[J]. 林产工业, 2022, 59(5): 48-52.
WU D, WEI X L, YAO L S, et al. Research Progress of New Environment-Friendly Type Bamboo Antiseptic and Antifungal Agent[J]. China Forest Products Industry, 2022, 59(5): 48-52.
- [9] 韩一琳,云虹,孙学川,等. 无机复配防霉剂对木竹材性能的影响[J]. 林产工业, 2021, 58(3): 11-15.
HAN Y L, YUN H, SUN X C, et al. Effects of Inorganic Compound Mildew Preventive Agent on the Properties of Wood and Bamboo[J]. China Forest Products Industry, 2021, 58(3): 11-15.
- [10] MARTIN T J, GABURE S, MAISE J, et al. The Organochlorine Pesticides Pentachlorophenol and Dichlorodiphenyltrichloroethane Increase Secretion and Production of Interleukin 6 by Human Immune Cells[J]. Environmental Toxicology and Pharmacology, 2019, 72: 103263.
- [11] 禄春强,孙衍,沈霞. 筷子安全危害源分析[J]. 食品

- 安全质量检测学报, 2019, 10(12): 3679-3682.
- LU C Q, SUN K, SHEN X. Hazards Analysis for Safety of Chopsticks[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2019, 10(12): 3679-3682.
- [12] 孙魁魁, 廖文彬, 陈启鏊, 等. 气相色谱-质谱联用法测定竹木制食品相关产品中邻苯基苯酚、抑霉唑、联苯、百菌清、克菌丹的残留量[J]. *广东化工*, 2019, 46(21): 116-117.
- SUN K K, LIAO W B, CHEN Q J, et al. Simultaneous Determination of O-Phenylphenol, Imazalil, Biphenyl, Chlorothalonil and Captan Residues in Bamboo and Wooden Products by Gas Chromatography-Mass Spectrometry[J]. *Guangdong Chemical Industry*, 2019, 46(21): 116-117.
- [13] 方正杰, 石丽珠, 吴路明. 筷子中有害物质分析及检测方法研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(18): 6494-6503.
- FANG Z J, SHI L Z, WU L M. Research Progress on the Analysis and Detection of Harmful Substances in Chopsticks[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2020, 11(18): 6494-6503.
- [14] 付秀华, 李闻达, 夏焱, 等. 小麦粉中掺杂滑石粉的太赫兹光谱检测[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(3): 110-112.
- FU X H, LI W D, XIA Y, et al. The Detection of Talc in Wheat Powder Based on Terahertz Time-Domain Spectroscopy[J]. *Journal of the Chinese Cereals and Oils Association*, 2013, 28(3): 110-112.
- [15] 管馨馨, 何静怡, 胡文忠, 等. 茶多酚在食品保鲜应用的研究进展[J]. *现代园艺*, 2019(9): 3-4.
- GUAN Q X, HE J Y, HU W Z, et al. Research Progress on the Application of Tea Polyphenols in Food Preservation[J]. *Xiandai Horticulture*, 2019(9): 3-4.
- [16] 顾瑛. 茶多酚抗氧化效果在化妆品领域的应用与发展研究[J]. *福建茶叶*, 2018, 40(6): 309.
- GU Y. Application and Development of Antioxidant Effects of Tea Polyphenols in Cosmetics[J]. *Tea in Fujian*, 2018, 40(6): 309.
- [17] CHEN Y J, KUO P C, YANG M L, et al. Effects of Baking and Aging on the Changes of Phenolic and Volatile Compounds in the Preparation of Old Tieguanyin Oolong Teas[J]. *Food Research International*, 2013, 53(2): 732-743.
- [18] PAPA ZLATANI C V, KOLOVOU M, GKOUNOU E E, et al. Isolation, Characterization and Industrial Application of a *Cladosporium Herbarum* Fungal Strain Able to Degrade the Fungicide Imazalil[J]. *Environmental Pollution*, 2022, 301: 119030.
- [19] SANCHEZ C L, SOUDERS C L, PENA-DELGADO C J, et al. Neurotoxicity Assessment of Triazole Fungicides on Mitochondrial Oxidative Respiration and Lipids in Differentiated Human SH-SY5Y Neuroblastoma Cells[J]. *Neuro Toxicology*, 2020, 80: 76-86.
- [20] LI J, DING Y, CHEN H, et al. Development of an Indirect Competitive Enzyme-Linked Immunosorbent Assay for Propiconazole Based on Monoclonal Antibody[J]. *Food Control*, 2022, 134: 108751.
- [21] BAĆMAGA M, WYSZKOWSKA J, KUCHARSKI J. Bacterial Diversity and Enzymatic Activity in a Soil Recently Treated with Tebuconazole[J]. *Ecological Indicators*, 2021, 123: 107373.
- [22] HE Z Z, ZHOU L L, TAN Y T, et al. Stereoselective Toxicity, Bioaccumulation, and Metabolic Pathways of Triazole Fungicide Cyproconazole in Zebrafish[J]. *Aquatic Toxicology*, 2022, 253: 106330.
- [23] TRESNAKOVA N, FAMULARI S, ZICARELLI G, et al. Multi-Characteristic Toxicity of Enantioselective Chiral Fungicide Tebuconazole to a Model Organism Mediterranean Mussel *Mytilus Galloprovincialis* Lamarck, 1819 (Bivalve: Mytilidae)[J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 862: 160874.
- [24] 国家卫生健康委员会, 国家市场监督管理总局. 食品安全国家标准 食品接触用竹木材料及制品: GB 4806.12—2022[S]. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- National Health Commission, State Administration for Market Regulation. National Food Safety Standard Bamboo and Wood Materials and Products for Food Contact: GB 4806.12—2022[S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [25] 鲍敏振, 陈玉和, 李能, 等. 竹材防腐技术的研究现状及发展趋势[J]. *西北林学院学报*, 2019, 34(6): 197-201.
- BAO M Z, CHEN Y H, LI N, et al. Review on the Antimould Research and Development Trend of Bamboo Wood[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34(6): 197-201.
- [26] 刘哲, 张正健. 可降解包装材料中 ATBC 的迁移规律[J]. *包装工程*, 2021, 42(11): 73-80.
- LIU Z, ZHANG Z J. Migration Regular of ATBC in Degradable Packaging Materials[J]. *Packaging Engineering*, 2021, 42(11): 73-80.

- [27] 张权, 刘利亚, 周贻兵, 等. 表层取样法结合气相色谱-串联质谱测定竹木砧板中 19 种防腐防霉剂残留[J]. 分析测试学报, 2022, 41(5): 724-730.
ZHANG Q, LIU L Y, ZHOU Y B, et al. Determination of 19 Antiseptic and Antifungal Agents Residues in Wooden Chopping Boards by Gas Chromatography-Tandem Mass Spectrometry with Surface Sampling Method[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2022, 41(5): 724-730.
- [28] UBEDA S, AZNAR M, ALFARO P, et al. Migration of Oligomers from a Food Contact Biopolymer Based on Polylactic Acid (PLA) and Polyester[J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2019, 411(16): 3521-3532.
- [29] 何淑娟, 范斌, 李润岩, 等. 高效液相色谱法测定竹筷中噻苯咪唑、邻苯基苯酚和联苯[J]. 食品科学, 2011, 32(16): 312-314.
HE S J, FAN B, LI R Y, et al. Determination of Thiabendazole, O-Phenylphenol and Diphenyl Residues in Chopsticks by High Performance Liquid Chromatography[J]. Food Science, 2011, 32(16): 312-314.
- [30] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 实验室质量控制规范 食品理化检测: GB/T 27404—2008[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Criterion on Quality Control of Laboratories - Chemical Testing of Food: GB/T 27404—2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.