DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250924004
**引用格式**: 汤晶, 汤健彬, 叶陶, 等. 高效液相色谱法测定预制菜中防腐剂含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(4): 331–337.
TANG J, TANG JB, YE T, *et al*. Determination of preservative content in pre-made meals by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(4): 331–337. (in Chinese with English abstract).

# 高效液相色谱法测定预制菜中防腐剂含量

汤　晶, 汤健彬*, 叶　陶, 孟菊香, 高书涵, 黎俊宏
(常州市疾病预防控制中心, 常州　213022)

**摘　要: 目的**　建立高效液相色谱法同时检测食品中苯甲酸、山梨酸、脱氢乙酸的方法。**方法**　样品中加入氢氧化钠溶液超声提取, 经亚铁氰化钾和乙酸锌溶液沉淀蛋白, 用 Agilent XDB-$C_{18}$ (4.6 mm×250 mm, 5 μm)色谱柱进行分离, 流动相为乙酸铵溶液和甲醇(93:7, *V*:*V*), 流速为 1 mL/min, 柱温为 30 ℃, 二极管阵列检测器检测, 检测波长为 230 nm 和 293 nm。同时用二极管阵列检测器分别采集标准溶液和样品溶液的光谱图, 通过比较标准和样品溶液中目标峰的光谱图, 进一步对样品进行定性确证。**结果**　3 种防腐剂在 0.5~100.0 mg/L 范围内线性关系良好, 相关系数($r$)≥0.9994, 检出限为 1.7 mg/kg, 定量限为 5.0 mg/kg, 平均加标回收率为 92.0%~104.0%, 相对标准偏差为 0.1%~1.6%。**结论**　该方法简单、快速、重现性好、回收率高, 适用于预制菜中苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸 3 种防腐剂的快速检测。

**关键词:** 高效液相色谱法; 定性确证; 食品防腐剂

## Determination of preservative content in pre-made meals by high performance liquid chromatography

TANG Jing, TANG Jian-Bin*, YE Tao, MENG Ju-Xiang, GAO Shu-Han, LI Jun-Hong
(*Changzhou Center for Disease Control and Prevention*, *Changzhou* 213022, *China*)

**ABSTRACT: Objective**　To establish a method for the simultaneous detection of benzoic acid, sorbic acid and dehydroacetic acid in pre-made meals by high performance liquid chromatography. **Methods**　Sodium hydroxide solution was added to the sample for ultrasonic extraction. Protein was precipitated with potassium ferrocyanide and zinc acetate solution. Separation was carried out using an Agilent XDB-$C_{18}$ (4.6 mm×250 mm, 5 μm) chromatographic column. The mobile phase was ammonium acetate solution and methanol (93:7, *V*:*V*), with a flow rate of 1 mL/min and a column temperature of 30 ℃. The detection was carried out by a diode array detector with detection wavelengths of 230 nm and 293 nm. At the same time, the spectra of the standard solution and the sample solution were collected respectively by a diode array detector. By comparing the spectra of the target peak in the standard and sample solutions, the samples were further qualitatively confirmed. **Results**　The 3 kinds of preservatives had a good linear relationship within the range of 0.5–100.0 mg/L, with correlation coefficients ($r$)

**收稿日期:** 2025-09-24
**基金项目:** 常州市应用基础研究计划项目(CJ20240096, CJ20242056); 南京医科大学常州医学中心项目(CMCB202327)
**第一作者:** 汤晶(1994—), 女, 博士, 实验师, 主要研究方向为理化检验。E-mail: tangjing17@mails.ucas.ac.cn
***通信作者:** 汤健彬(1986—), 女, 硕士, 副主任技师, 主要研究方向为理化检验。E-mail: 2531634323@qq.com

greater than or equal to 0.9994. The limits of detection were 1.7 mg/kg, the limits of quantitation were 5.0 mg/kg, the recovery rates were 92.0%–104.0%, and the relative standard deviations were 0.1–1.6%. **Conclusion** This method is simple, rapid, has good reproducibility and high recovery rate, and is suitable for the rapid detection of 3 kinds of preservatives, namely benzoic acid, sorbic acid and dehydroacetic acid in pre-made meals.

**KEY WORDS:** high performance liquid chromatography; qualitative confirmation; food preservatives

## 0 引 言

预制菜也称预制菜肴，是以一种或多种食用农产品及其制品为原料，使用或不使用调味料等辅料，不添加防腐剂，经工业化预加工(如搅拌、腌制、滚揉、成型、炒、炸、烤、煮、蒸等)制成，配以或不配以调味料包，符合产品标签标明的贮存、运输及销售条件，加热或熟制后方可食用的预包装菜肴，不包括主食类食品，如速冻面米食品、方便食品、盒饭、盖浇饭、馒头、糕点、肉夹馍、面包、汉堡、三明治、披萨等。近年来，随着生活节奏加快、消费者需求变化及供应链完善，预制菜成为越来越多人的选择，目前已逐渐成为食品产业的热点。但预制菜在食品安全、营养健康、监管方式、知情消费等方面引发政府和社会极大关注[1–6]。

防腐剂作为一种天然或合成化合物，通常作为食品添加剂被添加到各种商业食品中以防止食物腐烂，或更长时间地保持其营养价值和风味，在食品工业中起着重要作用[7–12]。有研究表明企业使用食品添加剂中防腐剂的占比达 16.49%[13]，有 35.57%的企业使用食品防腐剂延长产品的保质期[14]。目前，很多消费者担心预制菜充满了“科技与狠活”，尤其关注其中是否违规添加防腐剂；而且国内关于预制菜中食品防腐剂的研究较少。研究预制菜中防腐剂的使用情况，对于完善监管体系具有重要的指导意义。

食品防腐剂的分析方法主要包括气相色谱法、离子色谱法、毛细管电泳法和高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)[15–20]等，HPLC 因其检测成本低、样品前处理简单等优点被广泛用[21–22]。食品安全国家标准中针对食品中苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸这 3 种防腐剂的测定需要采用两种不同的前处理和进样分析方法，检测效率较低。本研究拟建立一种 HPLC 同时检测预制菜中苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸的含量，并利用液相色谱仪二极管阵列检测器全光谱扫描功能分别采集标准溶液和样品溶液的光谱图，来进一步定性确证样品中可疑色谱峰，避免在实际工作中假阳性的存在，从而为预制菜中防腐剂的风险监测提供重要参考，推进预制菜产业的稳健前行。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料、试剂与仪器

预制菜样品购买于本地超市，每种样品共采 3 份，每份 500 g 以上，两份检测，一份留样，共采集 18 种预制菜。样品制备按照产品说明和食用习惯取可食部分，如样品有油包、调料包等配料，需要将其全部加入，制备成均匀样品，同时保证样品制备的代表性。

安捷伦 1260 高效液相色谱仪(配二极管阵列检测器)、色谱柱 Agilent XDB-$C_{18}$ (4.6 mm×250 mm, 5 μm)(美国安捷伦科技有限公司)；Blixer3 乳化搅拌机(法国 Robot-coupe 公司)；AG245 型电子天平[感量为 0.0001 g，梅特勒-托利多科技(中国)有限公司]；SK5210LHC 型超声波清洗器(上海科导超声仪器有限公司)；Multi Reax 多点涡旋振荡仪[海道尔夫仪器设备(上海)有限公司]。

苯甲酸标准物质、山梨酸标准物质(质量浓度 1000 μg/mL，北京海岸鸿蒙标准物质技术有限责任公司)；脱氢乙酸标准物质(质量浓度 1000 mg/L，上海安谱实验科技股份有限公司)；亚铁氰化钾(分析纯，上海阿拉丁生化科技股份有限公司)；乙酸锌(分析纯)、氢氧化钠(优级纯)(上海泰坦科技股份有限公司)；乙酸铵[分析纯，赛默飞世尔科技(中国)有限公司]；甲醇[色谱纯，默克化工技术(上海)有限公司]；冰乙酸(优级纯，国药集团化学试剂有限公司)。

### 1.2 溶液配制

乙酸铵溶液(20 mmol/L)：称取 1.54 g 乙酸铵，加入适量水将其溶解，然后用水定容至 1000 mL，最后经 0.22 μm 水相微孔滤膜过滤之后以备后续实验使用。

亚铁氰化钾溶液(92 g/L)：称取 10.6 g 亚铁氰化钾，加入适量水溶解，用水定容至 100 mL。

乙酸锌溶液(183 g/L)：称取 22 g 乙酸锌溶于少量水中，加入 3 mL 冰乙酸用水定容 100 mL。

苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸标准混合中间溶液(100 mg/L)：分别准确吸取苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸的标准储备溶液(1000 mg/L)各 1 mL 于 10 mL 容量瓶中，用水定容。

苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸混合标准工作液：准确吸取一定量的苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸的标准混合中间溶液，并用水进行稀释容至 10 mL，配制成质量浓度分别为 0.5、1.0、5.0、10.0、20.0、50.0、100.0 mg/L 的混合标准系列工作溶液。

### 1.3 样品处理

称取 2~5 g 的样品(精确至 0.001 g)于 50 mL 离心管中，加水约 25 mL 涡旋混匀，加入 0.5 mL 氢氧化钠溶液(20 g/L)，

涡旋混匀后于超声 50 ℃水浴超声提取 20 min, 冷却室温后加 2 mL 亚铁氰化钾溶液(92 g/L)和 2 mL 乙酸锌溶液(183 g/L), 加水约 20 mL 涡旋混匀, 超声提取 10 min 后用水定容至刻度, 以 10000 r/min 离心 10 min, 取适量上清液过 0.22 μm 微孔滤膜, 待高效液相色谱法分析。

### 1.4　高液相色谱仪条件

色谱分析采用 1260 系列高效液相色谱系统。色谱柱为 Agilent XDB-$C_{18}$ (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流动相为 20 mmol 乙酸铵水溶液和甲醇(93:7, *V*:*V*), 流量为 1 mL/min; 检测波长: 230 nm 和 293 nm; 二极管阵列检测器全光谱采集: 波长范围为 190~400 nm; 柱温: 30 ℃; 进样体积: 10 μL。

### 1.5　数据处理

采用 Agilent 1260 色谱仪配置处理软件 OpenLAB CDS 对仪器采集数据进行定性定量分析, 分别对混合标准工作曲线和试样溶液进行色谱分析, 将标准溶液保留时间与试样的谱图进行比对, 以确定试样溶液色谱图中各组分对应的峰, 记录各组分的浓度。准确度和精密度实验重复测定 6 次, 并同时进行平行实验。Excel 2010 软件进行数据处理。

试样中苯甲酸、山梨酸、脱氢乙酸的含量按公式(1)计算:

$$X=\frac{(C_1-C_0)\times V}{m\times 1000} \tag{1}$$

式中: $X$ 为试样中苯甲酸、山梨酸、脱氢乙酸的含量, g/kg; $C_1$ 为试样溶液中苯甲酸、山梨酸、脱氢乙酸的质量浓度, μg/mL; $C_0$ 为空白试样溶液中苯甲酸、山梨酸、脱氢乙酸的质量浓度, μg/mL; $V$ 为试样溶液总体积, mL; $m$ 为称取试样的质量, g。

计算结果以重复性条件下获得的 3 次, 独立测定结果的算术平均值表示, 结果保留 3 位有效数字。

## 2　结果与分析

### 2.1　条件优化

#### 2.1.1　提取试剂选择

由于苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸在水中的溶解性很差, 故本研究中选取氢氧化钠溶液作为提取溶剂, 提高提取效率。预制菜的组成成分通常较为复杂, 蛋白质和油脂含量较高, 而高蛋白和高脂肪会降低提取效率使色谱柱的寿命缩减。因此, 本研究采用亚铁氰化钾和乙酸锌作为沉淀剂来提取高油脂和高蛋白含量的样品。

#### 2.1.2　液相色谱条件的选择

(1)检测波长的确定

将苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸混合标准品进样, 在三维光谱图上读取到苯甲酸和山梨酸吸收峰最大时的波长分别在 225 nm 和 253 nm 处, 脱氢乙酸的最大吸收波长在 230 nm, 次吸收波长在 293 nm 处。苯甲酸和山梨酸在 230 nm 波长处, 能够被同时检测且灵敏度较高, 所以选择 230 nm 作为检测波长。对于脱氢乙酸, 其在 230 nm 处杂质干扰多, 而 293 nm 处干扰少, 故选择 293 nm 作为检测波长。

(2)流动相比例的选择

参考苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸的国家标准方法, 选择乙酸铵(20 mmol/L)-甲醇作为流动相, 并对流动相的比例进行优化。本研究考察了乙酸铵(20 mmol/L)-甲醇比例分别为 95:5、93:7、90:10、80:20 (*V*:*V*)时, 对样品中苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸出峰时间和分离效果的影响, 发现随着甲醇比例的增加, 脱氢乙酸峰面积增大且出峰时间提前, 导致山梨酸和脱氢乙酸分离效果变差。此外, 当甲醇比例为 5%时, 脱氢乙酸出峰时间过长。综合考虑, 选择乙酸铵(20 mmol/L)-甲醇流动相的比例为 93:7 (*V*:*V*)。

### 2.2　线性关系和检出限

按 1.4 的色谱条件, 将已配制完成的混合标准溶液上样分析。以各食品防腐剂的质量浓度为横坐标($X$, mg/L), 峰面积为纵坐标($Y$)来绘制标准曲线, 得到回归方程、相关系数以及线性范围, 同时, 以 3 倍信噪比($S/N$)对应的浓度为检出限, 10 倍信噪比($S/N$)对应的浓度为定量限。各防腐剂的线性关系、相关系数、定量限和检出限见表 1。由表 1 可知, 当取样量为 2 g, 定容体积为 50 mL 时, 苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸的检出限为 1.7 mg/kg, 定量限为 5.0 mg/kg, 相关系数($r$)≥0.9994, 线性关系良好, 检出限较低。

### 2.3　回收率和精密度实验

首先称取空白样品约 5 g, 分别加入低、中、高 3 种水平的混合标准溶液, 然后进行加标回收实验($n$=6), 最后将实验测定的结果总结在表 2 中。从表 2 可知, 样品中苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸的平均回收率分别为 98.0%~104.0%、

**表 1　3 种食品防腐剂的线性关系、定量限和检出限**

**Table 1　Linear relationship, limits of quantitation and limits of detection of 3 kinds of food preservatives**

| 防腐剂 | 回归方程 | 线性范围/(mg/L) | 相关系数($r$) | 定量限/(mg/kg) | 检出限/(mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| 苯甲酸 | $Y$=34.8857$X$+5.3631 | 0.5~100.0 | 0.9999 | 5.0 | 1.7 |
| 山梨酸 | $Y$=58.8799$X$+9.7173 | 0.5~100.0 | 0.9999 | 5.0 | 1.7 |
| 脱氢乙酸 | $Y$=30.4220$X$+72.3380 | 0.5~100.0 | 0.9994 | 5.0 | 1.7 |

96.0%~100.5% 和 92.0%~102.0%, 相对标准偏差为 0.1%~0.8%、0.3%~1.5%和 1.0%~1.6%, 方法的精密度和准确度均满足检测要求。

**表 2 3 种食品防腐剂的回收率和精密度**
**Table 2 Recoveries and precisions of 3 kinds of food preservatives**

| 防腐剂 | 加标量/(mg/L) | 检测平均值/(mg/L) | 平均回收率/% | 相对标准偏差/% |
|---|---|---|---|---|
| 苯甲酸 | 0.25 | 0.26 | 104.0 | 0.8 |
| | 0.50 | 0.49 | 98.0 | 0.1 |
| | 4.00 | 4.03 | 100.8 | 0.2 |
| 山梨酸 | 0.25 | 0.24 | 96.0 | 1.5 |
| | 0.50 | 0.48 | 96.0 | 0.4 |
| | 4.00 | 4.02 | 100.5 | 0.3 |
| 脱氢乙酸 | 0.25 | 0.23 | 92.0 | 1.6 |
| | 0.50 | 0.51 | 102.0 | 1.0 |
| | 4.00 | 3.98 | 99.5 | 1.4 |

## 2.4 苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸的混合标准溶液色谱图

根据上述色谱条件下, 可以获取苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸的混合标准溶液色谱图(图 1), 由图 1 可知, 三者的保留时间分别为 6.956、9.988、15.016 min。然后通过与其相对应的单组分标准化合物的保留时间进行比较从而实现各个峰的归属。通过采用外标法, 基于线性回归分析拟合的校准曲线来进行定量。

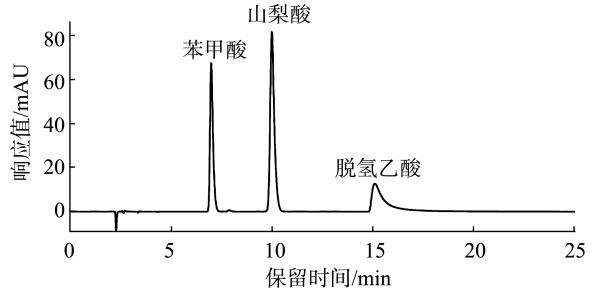



图 1 苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸的混合标准溶液色谱图
Fig.1 Chromatogram of the mixed standard solution of benzoic acid, sorbic acid and dehydroacetic acid

## 2.5 样品中苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸的含量分析

选取市售代表性食品扬州狮子头、金汤佛跳墙(1)、粮觅腌笃鲜、焦溪扣肉(梅干菜)、土豆烧牛肉、胡椒猪肚鸡、鱼香肉丝、河豚鱼、酸菜鱼、酸辣柠檬拆骨凤爪、手撕笋、三鲜烤麸、红烧肥肠、狮子头、竹海烤笋、溧阳扎肝、香辣卤藕和金汤佛跳墙(2)共 18 份样品来进行防腐剂的定性定量分析。根据表 3, 大部分的预制菜样品中未检出防腐剂, 但在土豆烧牛肉、鱼香肉丝、酸菜鱼、手撕笋和红烧肥肠 5 个样品中检出了山梨酸, 并未检出苯甲酸和脱氢乙酸。故进一步对土豆烧牛肉、鱼香肉丝、酸菜鱼、手撕笋和红烧肥肠样品采集到的色谱图和光谱图进行详细地分析。

**表 3 实际样品的检测结果**
**Table 3 Test results of actual samples**

| 样品名称 | 防腐剂/(g/kg) | | |
|---|---|---|---|
| | 苯甲酸 | 山梨酸 | 脱氢乙酸 |
| 扬州狮子头 | Tr | Tr | Tr |
| 金汤佛跳墙(1) | Tr | Tr | Tr |
| 粮觅腌笃鲜 | Tr | Tr | Tr |
| 焦溪扣肉(梅干菜) | Tr | Tr | Tr |
| 土豆烧牛肉 | Tr | 0.0552 | Tr |
| 胡椒猪肚鸡 | Tr | Tr | Tr |
| 鱼香肉丝 | Tr | 0.0102 | Tr |
| 河豚鱼 | Tr | Tr | Tr |
| 酸菜鱼 | Tr | 0.0466 | Tr |
| 酸辣柠檬拆骨凤爪 | Tr | Tr | Tr |
| 手撕笋 | Tr | 0.0498 | Tr |
| 三鲜烤麸 | Tr | Tr | Tr |
| 红烧肥肠 | Tr | 0.0268 | Tr |
| 狮子头 | Tr | Tr | Tr |
| 竹海烤笋 | Tr | Tr | Tr |
| 溧阳扎肝 | Tr | Tr | Tr |
| 香辣卤藕 | Tr | Tr | Tr |
| 金汤佛跳墙(2) | Tr | Tr | Tr |

注: Tr 表示微量, 即低于目前检出方法的检出限或未检出。

将土豆烧牛肉、鱼香肉丝、酸菜鱼、手撕笋和红烧肥肠 5 个样品与苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸混合标准溶液的色谱图、光谱图进行比较, 并以保留时间来对其定性。图 2 分别为土豆烧牛肉、鱼香肉丝、酸菜鱼、手撕笋和红烧肥肠的色谱图, 从图 2 中并未在 15.016 min 位置附近观测到脱氢乙酸的色谱峰, 但可以清楚地看到山梨酸的色谱峰, 且各个样品中山梨酸的保留时间均在 9.8 min 处, 与标准溶液中的山梨酸出峰保留时间一致。此外, 土豆烧牛肉、鱼香肉丝、酸菜鱼的溶液色谱图中也出现了苯甲酸(保留时间为 6.956 min)的可疑色谱峰。

为了进一步对土豆烧牛肉、鱼香肉丝、酸菜鱼样品中苯甲酸和山梨酸色谱峰准确归属, 本研究比较了样品溶液中可疑色谱峰的光谱图与标准溶液中苯甲酸和山梨酸光谱图的重合度(主要观察峰起点、峰顶点和峰落点这 3 个位置的重合度)。马长海等[22]通过采用液相色谱-光谱法对食品中苯甲酸、山梨酸进行了定性和确证, 该方法根据保留时间和光谱图信息两方面进行综合定性分析, 可

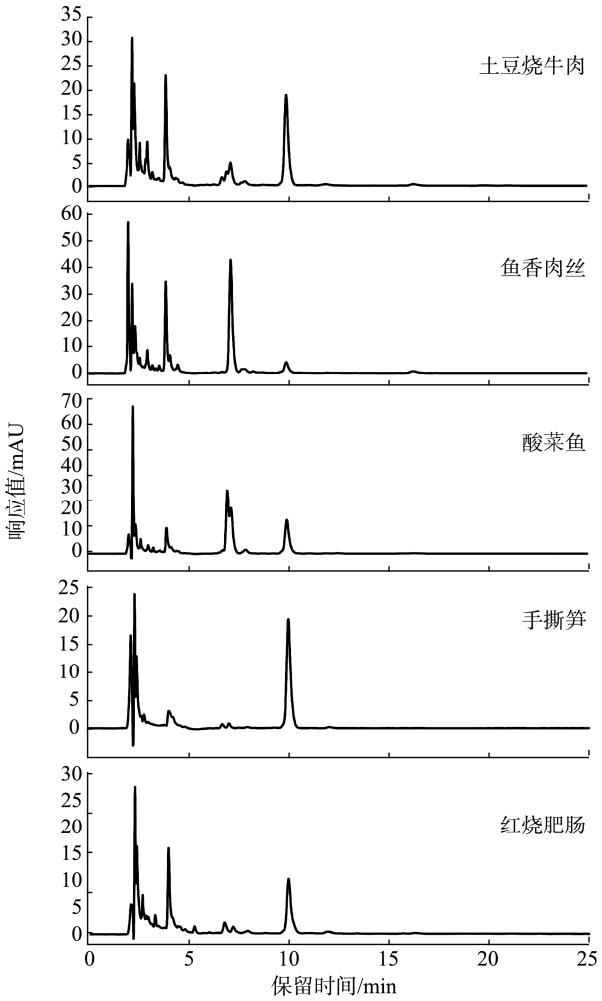



图 2　样品色谱图
Fig 2　Chromatogram of samples

有效避免检测工作中因定性失误而出现假阳性样品。图 3 分别为苯甲酸和山梨酸混合标准溶液中苯甲酸、山梨酸以及脱氢乙酸的光谱图。通过对比可知, 土豆烧牛肉中苯甲酸的光谱图虽然与混合标准溶液中苯甲酸光谱图的峰顶点重合, 但其峰起点和峰落点基本完全不同(图 4a); 此外, 从图 4b 中可以观察到山梨酸光谱图完全重合, 这说明土豆烧牛肉中没有苯甲酸, 但确实含有山梨酸, 且含量为 0.0552 g/kg。在鱼香肉丝中(图 4c、4d), 苯甲酸的光谱图与混合标准溶液中苯甲酸的光谱图完全不重合, 山梨酸光谱图完全重合, 证明了鱼香肉丝中不存在苯甲酸, 但含有山梨酸, 且其含量为 0.0102 g/kg。在酸菜鱼中也观察到了同样的实验现象(图 4e、4f), 即与混合标准溶液对比, 它们的山梨酸光谱图与混合标准溶液中的山梨酸光谱图完全重合, 而其苯甲酸的光谱图与混合标准溶液中苯甲酸的光谱图不完全重合或完全不重合。这证明了在酸菜鱼中确实没有苯甲酸的存在, 但含有山梨酸, 且其含量分别为 0.0466 g/kg。此外, 为了确定防腐剂的来源, 进一步对样品中的原料和调料包分别进行了检测。以鱼香肉丝和酸菜鱼为例, 发现在这两个样品的原料中防腐剂均未检出, 而在调料包中检出山梨酸的含量分别为 0.130 g/kg 和 0.105 g/kg。这说明了预制菜中防腐剂可能主要来自调料包, 而不是制作过程中人为额外添加的。

根据上述分析, 本研究通过将预制菜样品与混合标准混合液的色谱图和光谱图相比较从而确证了食品中的苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸。食品样品由于其基质的复杂性, 通常需要通过色谱图中的保留时间和光谱图来对样品进行综合分析定性, 保证实验结果的准确性和可靠性。而且, 根据实验结果, 可以看到这些食品中的防腐剂主要以山梨酸为主。山梨酸通常用于抑制酵母菌和霉菌的生长, 对多种细菌也有效。它作为添加剂可用于许多食品, 包括饮料(果汁、葡萄酒和苹果酒)、糕点和半熟面包店、奶酪、腌制或蜜饯水果和蔬菜、橄榄、果酱和果冻、鱼和蛋产品、熟虾、口香糖、调味乳制品和糖浆等。苯甲酸和山梨酸常被用作食品中的防腐剂, 不仅能够单独使用, 也可以同时使用。尽管现有文献[7,23–25]中报道了苯甲酸盐可能诱发人体过敏

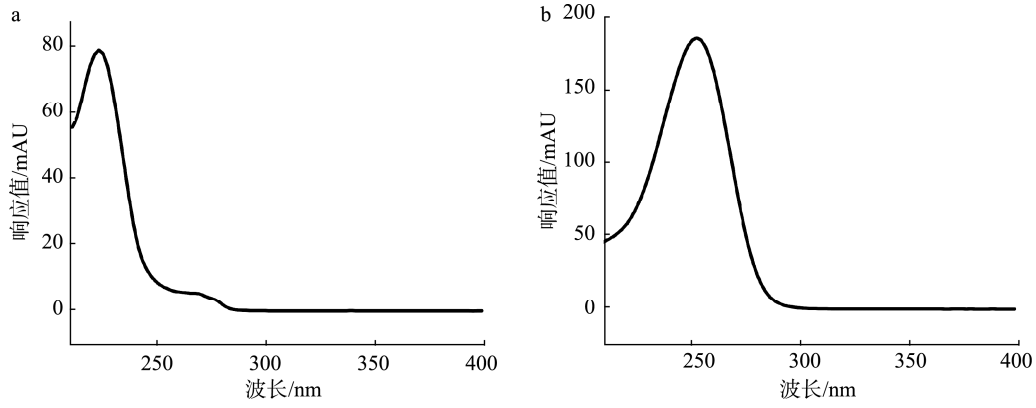



图 3　混合标准溶液中苯甲酸(a)和山梨酸(b)的光谱图
Fig.3　Spectra of benzoic acid (a) and sorbic acid (b) in mixed standard solution

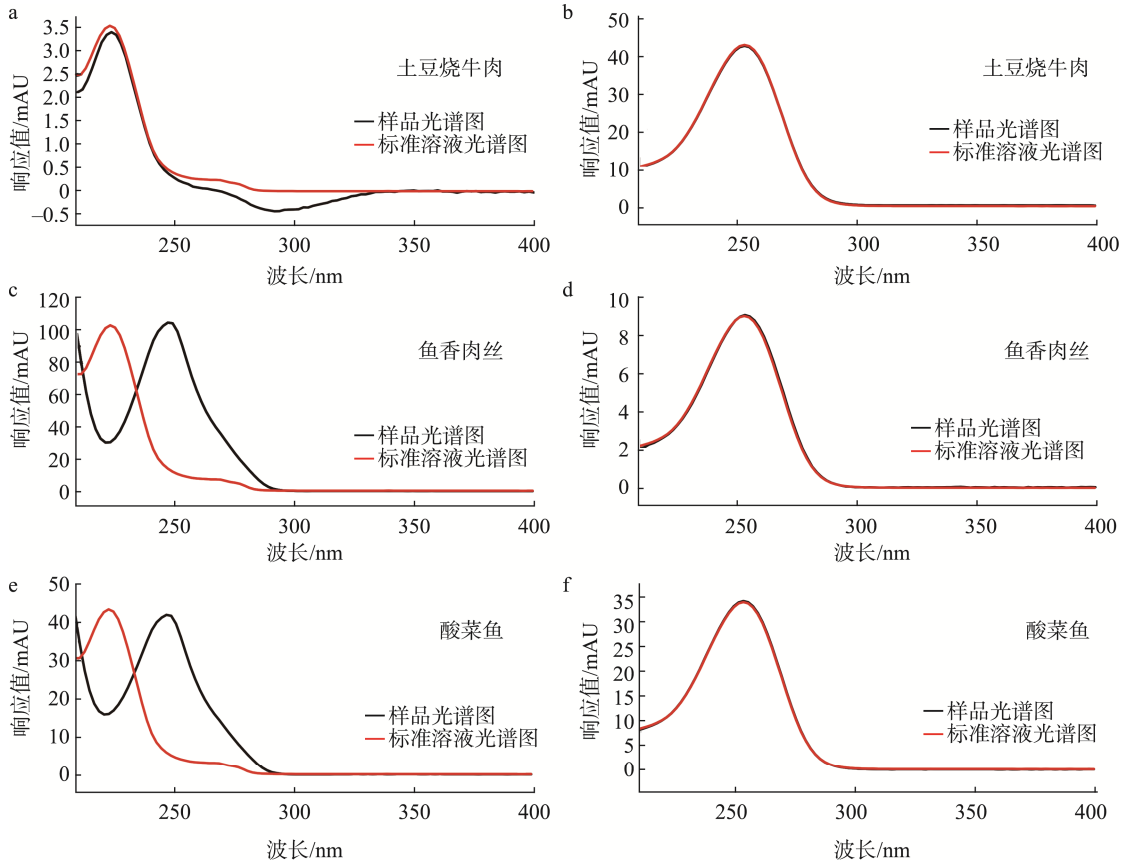



图 4 样品中苯甲酸(a、c、e)和山梨酸(b、d、f)的光谱图

Fig.4 Spectra of benzoic acid (a, c, e) and sorbic acid (b, d, f) in the samples

样反应(包括荨麻疹、代谢性酸中毒、惊厥、呼吸困难及哮喘等), 且山梨酸在部分实验中显示出遗传毒性特征, 也有少数个案提示特定个体存在对山梨酸及其盐类的不耐受现象(表现为非免疫性接触性荨麻疹及假性过敏反应), 但在遵循现行食品安全标准的规定剂量下使用, 苯甲酸与山梨酸及其盐类仍被评估为具有可接受的安全性[26–30]。

## 3 结 论

本研究采用高效液相色谱法分析 18 份预制菜中的苯甲酸、山梨酸和脱氢乙酸, 土豆烧牛肉、鱼香肉丝、酸菜鱼、手撕笋和红烧肥肠共 5 份样品中检出山梨酸, 未检出苯甲酸和脱氢乙酸, 再进一步对鱼香肉丝和酸菜鱼中原料和调料包的检测发现, 防腐剂来源于调料包。本方法前处理简单, 利用保留时间和光谱信息同时定性确证样品检出物, 在一定程度上避免假阳性的存在, 在实际工作中具有重要意义。同时, 本研究结果也提示了预制菜中防腐剂的添加信息及来源, 为预制菜防腐剂的风险监测提供重要参考。

## 参考文献

[1] 孙青山, 杨涵旭, 魏紫琪, 等. 专利分析视角下我国预制菜产业的发展态势与建议[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(17): 424–433.
SUN QS, YANG HX, WEI ZQ, *et al*. The development trend and suggestion of China's prefabricated dishes industry based on patent analysis [J]. Food and Fermentation Industries, 2025, 51(17): 424–433.

[2] 苏诗婷, 刘晓朋, 陈芳, 等. 预制菜新型加工技术研究进展[J]. 食品工业科技, 2025, 46(22): 447–458.
SU ST, LIU XP, CHEN F, *et al*. Advancements of novel processingtechnology in prepared dishes industry [J]. Science and Technology of Food Industry, 2025, 46(22): 447–458.

[3] 吴继军, 沈维治, 王旭苹, 等. 预制菜营养成分及添加剂使用情况调查分析[J]. 食品安全导刊, 2025, 19(26): 179–183.
WU JJ, SHEN WZ, WANG XP, *et al*. Investigation and analysis on nutrition components and additives usage of prepackaged dishes [J]. China Food Safety Magazine, 2025, 19(26): 179–183.

[4] 叶剑, 徐仰丽, 苏来金. 市售预制菜中防腐剂的检测与分析[J]. 食品工业, 2025, 46(1): 315–318.
YE J, XU YL, SU LJ. Detection and analysis of preservatives in commercially available prepared dishes [J]. The Food Industry, 2025, 46(1): 315–318.

[5] 曾紫荆. 预制菜食品安全管理难点及风险控制策略分析[J]. 食品安全导刊, 2025, 19(24): 11–13.
ZENG ZJ. Analysis of the difficulties in food safety management of pre-made dishes and risk control strategies [J]. China Food Safety Magazine, 2025, 19(24): 11–13.

[6] 杨春梅, 李兴玉, 陈涛, 等. 基于 UHPLC-Q-Orbitrap-MS 法同时测定

预制菜中多种防腐剂和甜味剂[J]. 食品与发酵科技, 2025, 61(4): 117–123.
YANG CM, LI XY, CHEN T, *et al*. Simultaneous determination of various preservatives and sweeteners in premade dishes based on UHPLC-Q-Orbitrap-MS method [J]. Food and Fermentation Science & Technology, 2025, 61(4): 117–123.

[7] ROKNI HR, ZAREI A, TAGHAVI M. Health risk assessment of benzoic acid intake through consumption of creamy cakes in Gonabad, Iran [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2024, 132: 106339.

[8] SILVA MM, LIDON FC. Food preservatives-an overview on applications and side effects [J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2016, 28(6): 366.

[9] WU L, CHENGHUI Z, YINGXI L, *et al*. Food additives: From functions to analytical methods [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(30): 8497–8517.

[10] DONG H, XU Y, ZHANG Q, *et al*. Activity and safety evaluation of natural preservatives [J]. Food Research International, 2024, 190: 114548.

[11] SONI MG, CARABIN IG, BURDOCK GA. Safety assessment of esters of p-hydroxybenzoic acid (parabens) [J]. Food and Chemical Toxicology, 2005, 43(7): 985–1015.

[12] BŁĘDZKA D, GROMADZIŃSKA J, WĄSOWICZ W. Parabens. From environmental studies to human health [J]. Environment International, 2014, 67: 27–42.

[13] 杨娜莉. 食品添加剂在预制菜中的规范使用[J]. 保鲜与加工, 2024, 24(5): 118–123.
YANG NL. Requlated use of food additives in prepared dishes [J]. Storage and Process, 2024, 24(5): 118−123.

[14] 牛亮云, 陈秀娟, 吴林海, 等. 影响食品添加剂使用行为的主要因素的实证研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(2): 114–122.
NIU LY, CHEN XJ, WU LH. An empirical study on the main factors affecting the use behavior of food additives [J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(2): 114–122.

[15] SUN B, QI L, WANG M. Determination of preservatives in soft drinks by capillary electrophoresis with ionic liquids as the electrolyte additives [J]. Journal of Separation Science, 2014, 37(16): 2248–2252.

[16] WANG L, HU Z, CHEN J, *et al*. Simultaneous determination of 12 preservatives in pastries using gas chromatography-mass spectrometry [J]. Foods, 2023, 12(20): 3819.

[17] XU CJ, LIU JH, FENG CX, *et al*. Investigation of benzoic acid and sorbic acid in snack foods in Jilin Province, China [J]. International Journal of Food Properties, 2019, 22(1): 670–677.

[18] 白向飞, 王思瑶. 超高效液相色谱-串联质谱法快速检测速冻调制食品中 7 种甜味剂与防腐剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(16): 300–306.
BAI XF, WANG SY. Rapid determination of 7 kinds of sweeteners and preservatives in quick-frozen prepared food by ultra performance liquid [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(16): 300–306.

[19] ZHUANG Y, TANG S, SHEN W, *et al*. Recent progress of graphene aerogel as sorbent in solid-phase extraction: A review [J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2023, 168: 117352.

[20] DESTANOGLU O. Investigation of benzoic acid and sorbic acid concentrations in tomato paste, pepper paste, ketchup, mayonnaise, and barbeque sauce samples by headspace gas chromatography-mass spectrometry [J]. Turkish Journal of Chemistry, 2024, 48(2): 353–363.

[21] 梁健华, 谢珊婷, 陈雪明. 一种快速测定食醋和酱油中脱氢乙酸含量的高效液相色谱法[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(1): 313–319.
LIANG JH, XIE ST, CHEN XM. A rapid determination of dehydroacetic acid in vinegar andsoy sauce by HPLC [J]. China Food Additives, 2023, 34(1): 313–319.

[22] 马长海, 于明明, 闫吉昌, 等. 液相色谱–光谱图法定性确证食品中苯甲酸、山梨酸[J]. 化学分析计量, 2022, 31(1): 45–48.
MA CH, YU MM, YAN JC, *et al*. Qualitative identify of benzoic acid and sorbic acid in food by using liquid chromatography-spectrum [J]. Chemical Analysis and Meterage, 2022, 31(1): 45–48.

[23] AKOLAWOLE JS, OKOYE P AC, OMOKPARIOLA D. Effect of storage on the levels of sodium benzoate in soft drinks sold in some Nigerian market with exposure and health risk assessment [J]. Environmental Analysis Health and Toxicology, 2022, 37(4): e2022030.

[24] AMIRPOUR M, AZIM A, AHMAD Y, *et al*. Sodium benzoate and potassium sorbate preservatives in food stuffs in Iran [J]. Food Additives & Contaminants: Part B, 2015, 8(2): 142–148.

[25] SILVA MM, LIDON FC. Food preservatives-an overview on applications and side effects [J]. Emirates Journal of Food and Agriculture, 2016, 28(6): 366.

[26] DEVLIEGHERE F, VERMEIREN L, DEBEVERE J. New preservation technologies: Possibilities and limitations [J]. International Dairy Journal, 2004, 14(4): 273–285.

[27] KALLE P, BEZZUBOV SI, KUZMINA LG, *et al*. New insights into the structure, thermal properties, and photostability of industrially relevant salts of sorbic acid [J]. Crystal Growth & Design, 2024, 24(21): 9173–9181.

[28] HEJAZI L, MAHBOUBI-RABBANI M, MAHDAVI V, *et al*. A critical review on sodium benzoate from health effects to analytical methods [J]. Results in Chemistry, 2024, 11: 101798.

[29] TUNGKIJANANSIN N, ALAHMAD W, NHUJAK T, *et al*. Simultaneous determination of benzoic acid, sorbic acid, and propionic acid in fermented food by headspace solid-phase microextraction followed by GC-FID [J]. Food Chemistry, 2020, 329: 127161.

[30] TEJASWINI R, NAGARAJAN V, CHANDIRAMOULI R. Phosphoborane nanotube as a sensing material towards benzaldehyde and benzoic acid-a DFT study [J]. Structural Chemistry, 2025, 36: 2117–2130.

(责任编辑: 安香玉　韩晓红)