

减肥食品中酚丁类化合物筛查与质谱裂解规律

李晓芹 王伟 张玲 曹叶中 丁洪流

(苏州市食品检验检测中心,江苏 苏州 215000)

摘要:[目的]运用超高效液相色谱(UPLC)和超高效液相色谱—四极杆—飞行时间质谱(UPLC-Q-TOF-MS),建立减肥食品中非法添加酚丁类化合物的筛查方法。**[方法]**采用标准物质构建紫外光谱库,并通过高分辨质谱建立含保留时间、母离子和特征碎片离子的质谱库。通过二级质谱分析,明确酚丁类化合物的特征裂解途径,确定酚丁类化合物二级质谱特征性碎片离子。并对UPLC-Q-TOF-MS方法的数据分析方法、特异性、检出限和稳健性展开方法学考察。**[结果]**酚丁类化合物光谱特征相似,特征性碎片离子为 m/z 224.070 6 和 m/z 196.075 7,氯代衍生物特征性碎片离子为 m/z 258.032 1 和 m/z 230.037 2,氟代衍生物为 m/z 242.061 1 和 m/z 214.066 2,检出限为 0.5~5.0 mg/kg。实际样品检测中检出一种未知酚丁类化合物,经确认其为一种氟代双醋酚丁。**[结论]**该方法抗干扰能力强,稳定性好,适用于减肥食品中酚丁类化合物的快速筛查和确证分析。

关键词:酚丁类化合物;减肥食品;光谱特征;特征碎片;裂解规律

Screening and fragmentation pattern analysis of oxyphenisatine and its derivatives in dietetic foods

LI Xiaoqin WANG Wei ZHANG Ling CAO Yezhong DING Hongliu

(Suzhou Institute for Food Control, Suzhou, Jiangsu 215000, China)

Abstract: [Objective] To establish a screening method for illegally added oxyphenisatine and its derivatives in dietetic foods using ultra-performance liquid chromatography (UPLC) and UPLC quadrupole time-of-flight mass spectrometry (UPLC-Q-TOF-MS). [Methods] A UV spectral library was constructed using reference standards, and a high-resolution mass spectral database containing retention time, precursor ions, and characteristic fragment ions was established. Tandem mass spectrometry (MS/MS) was employed to elucidate characteristic fragmentation pathways of oxyphenisatine compounds and to determine their diagnostic fragment ions. The UPLC-Q-TOF-MS method was further evaluated for data processing, specificity, limit of detection (LOD), and robustness. [Results] Oxyphenisatine compounds exhibited similar spectral features, with diagnostic fragment ions at m/z 224.070 6 and m/z 196.075 7. Chlorinated derivatives produced characteristic ions at m/z 258.032 1 and m/z 230.037 2, while fluorinated derivatives yielded ions at m/z 242.061 1 and m/z 214.066 2. The LODs ranged from 0.5 to 5.0 mg/kg. In actual sample analysis, one unknown oxyphenisatine compound was detected and confirmed to be a fluorinated diacetophenbutate. [Conclusion] This method demonstrates strong anti-interference capacity, good stability, and is suitable for the rapid screening and confirmatory analysis of oxyphenisatine compounds in dietetic foods.

Keywords: oxyphenisatine and its derivatives; dietetic foods; spectral characteristics; characteristic fragment ions; fragmentation patterns

食品中非法添加化学药物严重影响食品安全^[1]。在监管部门的严厉打击下,不法分子为逃避监管,会选用特定药物的同系物、结构修饰物或衍生物等,来替代公开的

化合物进行非法添加^[2-3]。2023年破获的减肥食品非法添加案,检出的双辛酚丁、双环己甲酰酚丁均为新型酚丁衍生物。这两种新型酚丁衍生物,与酚丁具有相同的母

基金项目:江苏省市场监督管理局科技计划项目(编号:KJ2023057,KJ2025077);苏州市科技计划项目(编号:2022SS30)

通信作者:丁洪流(1979—),女,苏州市食品检验检测中心正高级工程师,博士。E-mail:hollior@163.com

收稿日期:2025-04-11 **改回日期:**2025-08-29

引用格式:李晓芹,王伟,张玲,等.减肥食品中酚丁类化合物筛查与质谱裂解规律[J].食品与机械,2026,42(1):43-49.

Citation:LI Xiaoqin, WANG Wei, ZHANG Ling, et al. Screening and fragmentation pattern analysis of oxyphenisatine and its derivatives in dietetic foods[J]. Food & Machinery, 2026, 42(1): 43-49.

核结构,具有相似的减肥功效,同时也具有相似的危害性^[4~5]。这些新合成的化合物被用于非法添加时,隐蔽性极强,给监管工作带来极大挑战,常规的检测手段难以对其有效监控。

液相色谱、液相色谱串联质谱、高分辨质谱等方法是表征相同母核结构化合物化学性质的重要技术手段^[6~9]。一般母核结构相同的化合物光谱特征具有一定的相似性,在质谱中的裂解途径也有一定的规律,产生共同的碎片离子,即特征性碎片离子^[10]。特征性光谱和特征性碎片离子在未知化合物的检测中有较强的提示性,为发掘潜在结构类似化合物提供了可行的技术路线^[11~12]。夏金涛等^[13]采用液相—二极管阵列检测器检测分析,发现一种与伪伐地那非紫外吸收十分相似但保留时间不同的化合物,通过特征碎片离子分析确认其为新型那非类化合物。马春艳等^[14]基于超高效液相色谱—四极杆—飞行时间质谱技术对地平类药物进行二级质谱分析,分析地平类化合物裂解规律,将发现的特征性离子碎片用于新型地平类化合物的鉴别和结构解析。

目前关于酚丁类化合物检测方面的研究主要集中在方法学优化,不能满足发现未知的新型酚丁化合物的要求。研究拟通过收集酚丁类化合物光谱特性、特征碎片离子等信息,总结质谱裂解规律,达到酚丁类未知物识别的目的^[15],以期为减肥食品中酚丁类化合物的筛查确证提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 仪器设备

超高效液相色谱—四极杆—飞行时间质谱仪:ACQUITY I-Class Xevo G2-XS TOF MS型,沃特世科技(上海)有限公司;

超高效液相色谱仪:H-Class型,沃特世科技(上海)有限公司;

高速冷冻离心机:Allegra X-30R型,贝克曼库尔特有限公司;

超纯水仪:RiOs TM型,密理博(上海)贸易有限公司。

1.2 试剂与材料

乙腈、甲醇:质谱纯,德国默克公司;

甲酸:质谱纯,阿拉丁生化科技股份有限公司;

乙醇:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

果蔬汁饮料、咖啡固体饮料、青梅样品:网购;

酚丁、双醋酚丁、三醋酚丁溶液、双丙酚丁、双丁酚丁、双戊酚丁、双己酚丁、双庚酚丁、双辛酚丁、5-氯酚丁、5-氯双醋酚丁、6-氟双丙酚丁、双环丙甲酰酚丁、双环己甲酰酚丁、三环丙甲酰酚丁15种标准物质溶液:质量浓度为1 000 μg/mL,天津阿尔塔科技有限公司。

1.3 方法

1.3.1 标准溶液配制 准确移取15种标准物质溶液,用乙腈配制成10 μg/mL混合标准中间液,棕色储液瓶存储,−18 ℃保存,保存期6个月。移取适量的混合标准中间液,用70%乙醇溶液稀释配制成1 000 ng/mL的混合标准工作溶液,保存期1个月。

1.3.2 样品前处理 准确称取1.00 g试样于10 mL容量瓶中,加入适量70%乙醇溶液。混匀,超声提取30 min,冷却至室温后定容。转移至离心管中,8 000 r/min离心3 min。上层清液经0.22 μm有机滤膜过滤,取滤液进行UPLC和UPLC-Q-TOF-MS分析。

1.3.3 色谱条件 色谱柱为waters BEH C₁₈ 2.1 mm×100 mm, 1.7 μm;进样量2 μL;柱温40 ℃;流量0.4 mL/min;流动相:A相为0.1%甲酸水溶液,B相为乙腈,梯度洗脱条件见表1;二极管阵列检测器(PDA);采集波长200~400 nm。

表1 梯度洗脱条件

Table 1 Gradient elution procedures

时间/min	流动相体积分数/%	
	0.1%甲酸水溶液	乙腈
0	90	10
0.83	90	10
7.50	65	35
12.00	5	95
15.00	5	95
15.10	90	10
18.00	90	10

1.3.4 质谱条件 Q-TOF-MS条件:ESI源,MSe正模式,灵敏度(sensitivity)扫描,毛细管电压3.0 kV,锥孔电压40 V,离子源温度140 ℃;脱溶剂气温度500 ℃;脱溶剂气流速800 L/h;锥孔气50 L/h。扫描范围m/z 50~600,扫描时间0.2 s。碰撞能量:Low off, High 10~65 V。Lockspray扫描时长0.2 s,间隔10 s。采集前使用亮氨酸脑啡肽(LE)溶液和甲酸钠溶液进行校准,校准液流量10 μL/min。

1.3.5 数据处理 PDA采集和光谱库构建在Empower 3上进行,质谱数据采集和谱图处理在Masslynx V4.2上进行,质谱数据库构建和数据分析在Unifi 1.8.2.169上进行。

2 结果与分析

2.1 光谱分析

酚丁、5-氯酚丁、双醋酚丁、5-氯双醋酚丁、双丙酚丁、6-氟双丙酚丁标准物质紫外吸收光谱见图1。6种酚丁类化合物光谱均呈“L”型,最高吸收峰在200 nm附近。酚丁类化合物具有相似的核心母核结构,母核结构的共轭体

系决定了其主要的光谱吸收特征,吲哚苯环卤代、酚羟基取代对其光谱特征影响较小。收集相同检测条件下酚丁类化合物的光谱图构建光谱库,样品采集后使用谱库自动进行匹配,可以实现此类未知物的初步筛查,简单有效,适用范围广。

2.2 建立质谱数据库

基于经过严格分析和整理的质谱数据,这些数据与所研究的样品处于相同的试验体系,数据的一致性和相关性高,将这些数据归纳管理形成质谱数据库,用于筛查样品时采用软件直接对比分析,更准确、目的性更强。构建质谱数据库可先通过chemicalbook等途径获取化合物的CAS号、分子式、化学结构式MoL文件、准母离子等基本信息,再通过标准物质采集,确定主要碎片离子、保留时间、离子加合方式。15种酚丁类化合物主要信息和高分辨质谱采集信息见表2。

由表2可知,酚丁、双醋酚丁、双丙酚丁、双丁酚丁等有相同的碎片离子,吲哚苯环上氯代的5-氯酚丁、5-氯双醋酚丁也有相同的碎片离子。说明在质谱碎裂过程中,

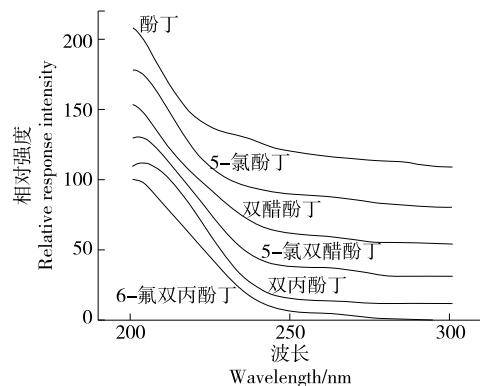


图1 几种典型酚丁类化合物标准物质紫外吸收光谱图

Figure 1 UV absorption spectra of reference standards of several typical oxyphenisatine and its derivatives

这些母核结构相同的化合物拥有相似的裂解途径,在相同或相似位置发生化学键断裂,从而产生相同的碎片。通过碎片离子推测裂解途径,总结裂解规律,可为未知酚丁类化合物确证提供直接信息。

表2 15种酚丁类化合物主要信息和高分辨质谱采集信息

Table 2 Essential information and high-resolution mass spectrometry acquisition data of 15 oxyphenisatine and its derivatives

化合物	CAS	分子式	保留时间/min	母离子(m/z)	主要碎片离子(m/z)
酚丁	125-13-3	$C_{20}H_{15}NO_3$	6.97	318.112 5	224.070 9, 196.075 9
5-氯酚丁	861070-76-0	$C_{20}H_{14}NO_3Cl$	8.33	352.072 8	258.032 3, 230.037 0, 223.063 5
双醋酚丁	115-33-3	$C_{24}H_{19}NO_5$	9.72	402.134 4	224.071 1, 196.076 3, 266.081 7
5-氯双醋酚丁	2910823-02-6	$C_{24}H_{18}NO_5Cl$	10.15	436.095 6	258.032 1, 230.037 5, 300.042 1
双丙酚丁	2943075-86-1	$C_{26}H_{23}NO_5$	10.53	430.165 3	224.070 9, 196.075 9, 280.097 2
三醋酚丁	18869-73-3	$C_{26}H_{21}NO_6$	10.58	444.144 3	224.070 8, 196.076 2, 266.081 7, 402.133 9
6-氟双丙酚丁	/	$C_{26}H_{22}NO_5F$	10.64	448.155 8	242.061 7, 214.066 5, 298.087 5
双环丙甲酰酚丁	2943075-87-2	$C_{28}H_{23}NO_5$	10.65	454.165 6	224.071 1, 196.076 3, 292.096 9
双丁酚丁	/	$C_{28}H_{27}NO_5$	11.20	458.197 1	224.071 5, 196.076 0, 294.112 5
三环丙甲酰酚丁	/	$C_{32}H_{27}NO_6$	11.75	522.192 4	224.071 8, 196.076 1, 292.097 0, 454.165 1
双戊酚丁	/	$C_{30}H_{31}NO_5$	11.77	486.228 8	224.071 5, 196.076 3, 308.128 5
双己酚丁	/	$C_{32}H_{35}NO_5$	12.25	514.260 7	224.072 1, 196.076 3, 322.144 3
双环己甲酰酚丁	/	$C_{34}H_{35}NO_5$	12.44	538.260 7	224.071 8, 196.076 2, 334.144 3
双庚酚丁	/	$C_{34}H_{39}NO_5$	12.67	542.291 1	224.071 3, 196.076 2, 336.159 9
双辛酚丁	/	$C_{36}H_{43}NO_5$	13.05	570.322 0	224.071 1, 196.076 4

2.3 质谱裂解规律分析

酚丁类化合物母核结构为两个苯环与吲哚环通过碳—碳键相连。通过质谱碎裂获得各化合物母离子和主要碎片离子,推测酚丁类化合物的裂解途径。质谱碎裂产生的二级碎片离子见图2,推测的质谱裂解途径见图3。

2.3.1 酚丁裂解途径分析 酚丁进入离子源后,正离子模式下加氢质子化形成母离子 $[M+H]^+$ m/z 318.112 5。

推测连接两个羟基苯环与吲哚环的碳—碳键碰撞后更容易发生断裂, $[M+H]^+$ 失去一个羟基苯环 m/z 94.041 9,形成吲哚环和一个羟基苯环相连的新结构,即为碎片离子 m/z 224.070 9。该结构再失去一个“C=O”结构,形成碎片离子 m/z 196.075 9。

2.3.2 双醋酚丁裂解途径分析 双醋酚丁进入离子源后,质子化形成母离子 $[M+H]^+$,质荷比为 m/z 402.134 4。

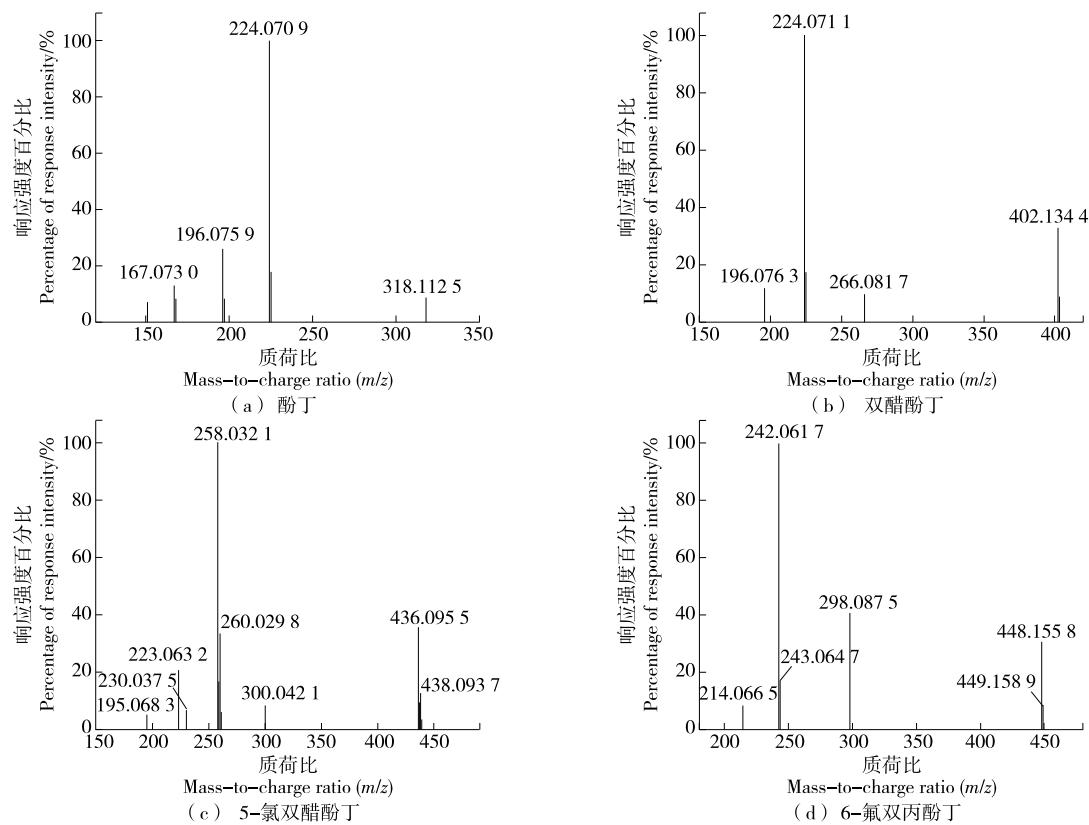


图 2 几种酚丁类化合物标准物质二级质谱图

Figure 2 Secondary mass spectrum of reference standards of several oxyphenisatine and its derivatives

碰撞后,母离子解离产生碎片 m/z 266.081 7、 m/z 224.071 1 和 m/z 196.076 3。 m/z 266.081 7 的形成机制是母离子失去一个苯乙酰基(m/z 136.052 4)所致,从而形成吲哚环和一个苯乙酰基相连的结构。同时,因未丢失的酚羟基上仍带有取代基,因此,此处裂解后的碎片离子摩尔质量数受酚羟基上取代基影响。苯乙酰基上酯键断裂失去乙酰基结构,形成吲哚环和羟基苯基相连的碎片离子 m/z 224.071 1,该碎片再失去一个“C=O”结构,形成碎片离子 m/z 196.076 3,这两步断裂使双醋酚丁产生了和酚丁相同的碎片离子。可见,酚丁和双醋酚丁具有相似的裂解途径,有相同的准二级碎片离子 m/z 224.070 6 和 m/z 196.075 7,即特征性碎片。

2.3.3 5-氯双醋酚丁裂解途径分析 5-氯双醋酚丁是在双醋酚丁的基础上,吲哚苯环上 5 号位一个氢原子被氯原子取代,5-氯双醋酚丁在离子源内质子化形成母离子 $[M+H]^+$ m/z 436.095 6,即 m/z 436.095 1 [$402.133\ 6 + 34.969\ 4 - 1.007\ 9$] (中括号内为准离子质量数)。碰撞后产生的碎片离子 m/z 300.042 1、 m/z 258.032 1 和 m/z 230.037 5,即比双醋酚丁的碎片高出一个氯原子,即 m/z 300.042 7 [$266.081\ 2 + 34.969\ 4 - 1.007\ 9$]、 m/z 258.032 1 [$224.070\ 6 + 34.969\ 4 - 1.007\ 9$] 和 m/z 230.037 2 [$196.075\ 7 + 34.969\ 4 - 1.007\ 9$]。

m/z 34.969 4— m/z 1.007 9],且这些碎片的离子丰度比均符合氯代同位素 3:1 分布特征。可见,5-氯双醋酚丁和酚丁、双醋酚丁有相似的裂解途径, m/z 258.032 1 和 m/z 230.037 2,只受吲哚苯环上氯代的影响,质量数相对稳定,可以作为特征性碎片离子。

2.3.4 6-氟双丙酚丁裂解途径分析 6-氟双丙酚丁是在吲哚苯环上 6 号位氢原子被一个氟原子取代。进入离子源后,6-氟双丙酚丁质子化形成母离子 $[M+H]^+$ m/z 448.155 8,碰撞后产生碎片 m/z 242.061 7 和 m/z 214.066 5,对应准碎片离子 m/z 242.061 1 [$224.070\ 6 + 18.998\ 4 - 1.007\ 9$] 和 m/z 214.066 2 [$196.075\ 7 + 18.998\ 4 - 1.007\ 9$],是吲哚苯环上一个氟原子取代氢原子。可见,6-氟双丙酚丁的裂解途径和 5-氯双醋酚丁相似, m/z 242.061 1 和 m/z 214.066 2,只受吲哚苯环上氟代的影响,质量数相对稳定,可以作为特征性碎片离子。

由此可以得出, m/z 224.070 6 和 m/z 196.075 7(准离子质量数)为酚丁类化合物特征性碎片离子,不受酚羟基上的取代基影响。吲哚苯环上的卤代酚丁则是在原有碎片上卤素取代氢原子,氯代特征性碎片离子为 m/z 258.032 1 和 m/z 230.037 2,氟代为 m/z 242.061 1 和 m/z 214.066 2。

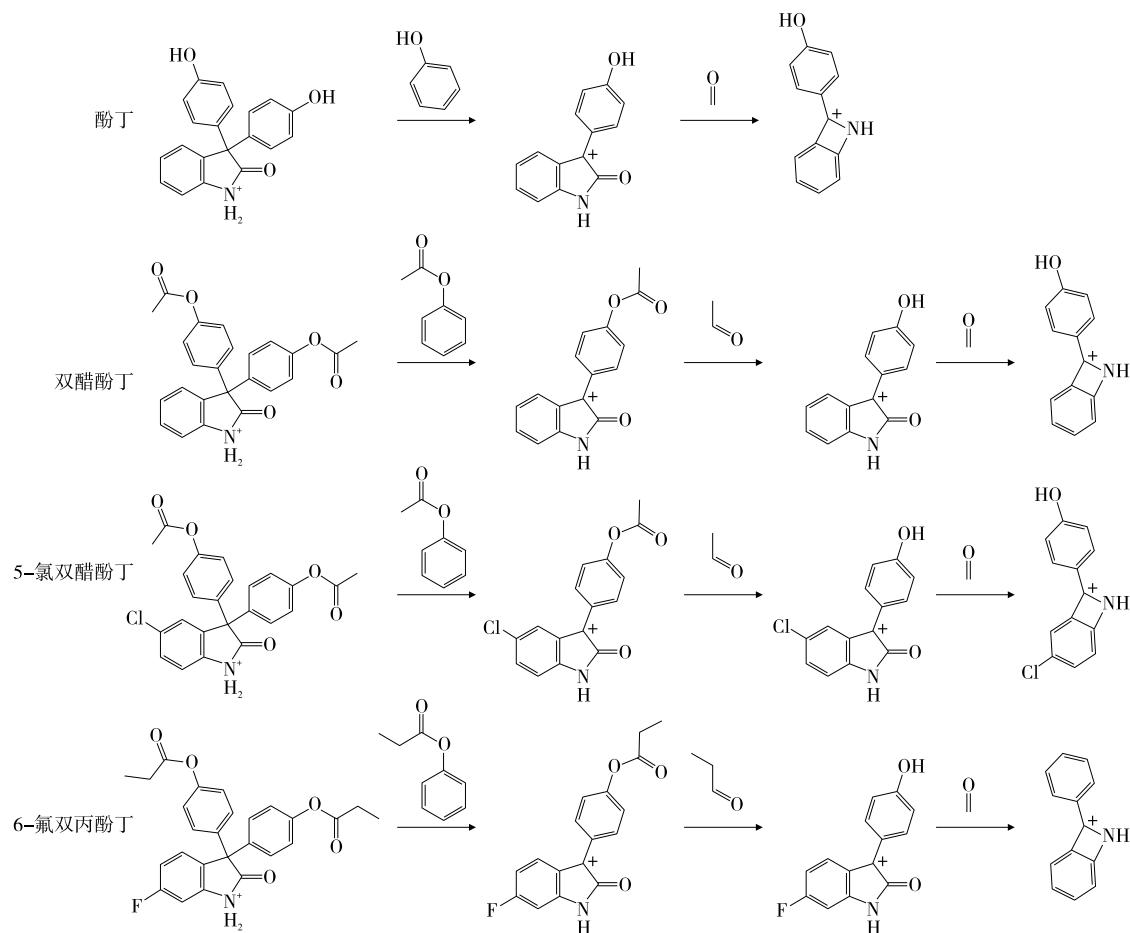


图3 几种酚丁类化合物质谱裂解途径示意图

Figure 3 Proposed fragmentation pathway of several oxyphenisatine and its derivatives

2.4 设置数据分析参数

高分辨质谱定性确证根据目标物的保留时间、准确质量数、响应强度、碎片离子、同位素峰等信息进行化合物匹配。设置合适的数据分析参数,可以降低干扰,提高筛选准确率。

2.4.1 保留时间 保留时间作为定性的关键指标,易受基质、溶剂、温度等多种因素干扰,将可接受误差设置为 $\pm 0.2\text{ min}$,在保障定性可靠性的同时避免遗漏。

2.4.2 质量准确性 采集的质量数的准确性可能会受环境等因素影响,将质量数可接受误差放大到 $\pm 5\text{ mDa}$ 或 1×10^{-5} 。

2.4.3 信号强度 通常情况下,离子强度越高,所获得的检测结果的可靠性相对越高。设置信号阈值为 e^5 ,匹配结果以信号强度排列,利于筛选。

2.4.4 特征碎片离子的应用 对已知的特征碎片离子加以标记,当数据库搜索到相同碎片,系统自动提示,提升分析筛查的效率与准确性。

2.4.5 光谱数据应用 一些化合物在紫外上有较强的信

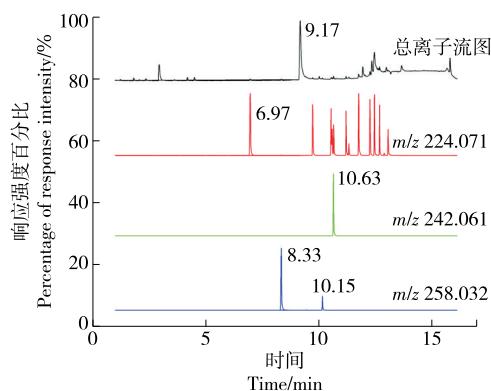
号,但在质谱上信号较差时,借助二极管阵列检测器(PDA)的光谱数据避免质谱采集的遗漏,也利于未知物确认与鉴定。

2.5 特异性

在筛查过程中,基质干扰可能会对离子信息的匹配结果造成影响。通过在果蔬汁待测液中添加酚丁类标准溶液和 10.0 mg/kg 常见的防腐剂(苯甲酸、山梨酸、脱氢乙酸)、甜味剂(糖精钠、阿斯巴甜)、着色剂(柠檬黄、日落黄、胭脂红、诱惑红、亮蓝)、柠檬酸等食品添加剂及咖啡因、金丝桃苷,考察基质对目标物定性产生的干扰。二级质谱总离子流图和以特征碎片离子提取的质谱图见图4。结果表明,由于酚丁类化合物的结构稳定性与特征碎片的特异性,这些常见的食品添加剂和天然成分不会对15种酚丁类的定性确认造成明显影响,酚丁类化合物在复杂基质中仍能保持稳定的裂解规律,降低了基质成分对其定性的干扰。

2.6 检出限(LOD)

样品中加入 $0.1, 0.5, 5.0, 10.0\text{ mg/kg}$ 的酚丁类化合物



待测液中双辛酚丁质量浓度为 0.5 mg/kg, 其他 14 种酚丁类化合物质量浓度为 0.05 mg/kg

图 4 15 种酚丁类化合物在果蔬汁样品中的二级质谱
总离子流图和特征碎片离子质谱图

Figure 4 Total ion current chromatogram of the secondary mass spectrometry and mass spectrometry diagrams of characteristic fragment ions of 15 kinds of oxyphenisatine and its derivatives in fruit and vegetable juice samples

混合标准溶液。经前处理得到待测液, 以加标浓度从低到高依次进样, 重复进样 20 次。结果显示, 以目标物 e^5 信号响应临界点, 双辛酚丁在高于 5.0 mg/kg 时, 能达到 95% 以上的检出率, 确认双辛酚丁的检出限为 5.0 mg/kg。其他 14 种酚丁类化合物在高于 0.5 mg/kg 时, 能达到 95% 以上的检出率, 确定检出限为 0.5 mg/kg。检出限浓度下特征碎片离子质谱图见图 4。

2.7 稳健性

考察流动相、校准溶液及前处理对方法稳健性的影响。连续 3 d 每天重新配制流动相、校准溶液和加标样品待测液, 进行采集和数据处理。结果表明, 15 种化合物检出率均为 100%, 说明该方法稳定可靠。

2.8 样品筛查

应用以上筛查条件对 20 批次网购减肥类样品进行筛查, 在 1 批次青梅样品中筛出双环己甲酰酚丁和一种未知化合物, 其他 19 批次未检出酚丁类化合物。该未知化合物的保留时间和 15 种酚丁类化合物保留时间不同, 其光谱图(图 5)和酚丁的紫外光谱图类似, 结合该食品暗示的减肥功能, 考虑酚丁类化合物可能性。由质谱图(图 6)可知, 该化合物主要碎片离子有 m/z 242.061 2 和 m/z 214.066 3, 为氟代酚丁的特征性碎片离子。母离子为 m/z 420.124 0, 比双醋酚丁的准母离子 m/z 402.133 6 高出约 18, 即一个氟原子。由此推测, 该未知化合物为某氟代双醋酚丁衍生物, 其取代位置位于吲哚环结构上。

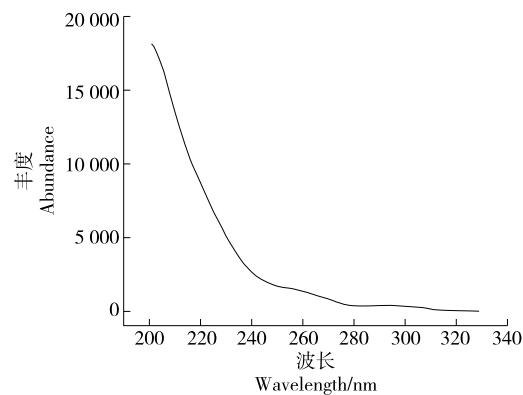


图 5 未知物紫外吸收光谱图

Figure 5 UV absorption spectrum of the unknown compound

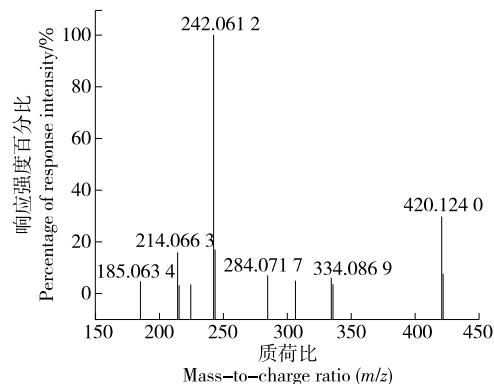


图 6 未知物质谱碎裂质谱图

Figure 6 Mass spectrometry diagram of the mass fragmentation of the unknown compound

3 结论

基于液相色谱和高分辨质谱技术对酚丁类化合物光谱和质谱裂解规律进行分析, 确认了酚丁类化合物的光谱特征和特征性碎片。光谱特征首先为新型未知酚丁化合物的确认提供方向, 质谱中特征性碎片实现酚丁类化合物的快速确认。试验建立了食品中非法添加物鉴别确证方法, 并在样品中检测出疑似新型非法添加物某氟代双醋酚丁。尽管已初步确定该未知化合物的大致结构, 但对于氟原子在吲哚环上的具体取代位置, 目前的信息还不足以明确, 需进一步开展鉴定工作予以明确。

参考文献

- [1] 李雪. 减肥类保健食品现状调查及功能与安全性评价[D]. 保定: 河北大学, 2024: 1-4.
LI X. Application status, function and safety evaluation of weight-loss dietary supplements[D]. Baoding: Hebei University, 2024: 1-4.
- [2] 张虹艳, 谢瑜杰, 常巧英, 等. 超高效液相色谱—四极杆/静电场轨道阱质谱法快速筛查减肥食品中非法添加物[J]. 质谱学

- 报, 2024, 45(5): 712-722.
- ZHANG H Y, XIE Y J, CHANG Q Y, et al. Rapid screening of illegal additives in diet foods by ultra-performance liquid chromatography quadrupole electrostatic field orbitrap mass spectrometry[J]. Journal of Chinese Mass Spectrometry Society, 2024, 45(5): 712-722.
- [3] 何绍志, 余晓琴, 李澍才, 等. 新消费形势下普通食品非法添加特性分析及监管思路探究[J]. 中国食品药品监管, 2022(10): 76-81.
- HE S Z, YU X Q, LI S C, et al. Characteristics analysis and research on supervision strategies for the illegal food additives under the new consumption mode[J]. China Food Drug Administration Magazine, 2022(10): 76-81.
- [4] JAIROUN A A, AL-HEMYARI S S, SHAHWAN M, et al. Adulteration of weight loss supplements by the illegal addition of synthetic pharmaceuticals[J]. Molecules, 2021, 26(22): 6 903.
- [5] 高媛, 蒋萍萍, 李立, 等. 网购普通食品宣称与非法添加物质危害分析[J]. 质量安全与检验检测, 2024, 34(5): 64-68.
- GAO Y, JIANG P P, LI L, et al. Online shopping non-health food claims and illegal addition of substances harm analysis[J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2024, 34(5): 64-68.
- [6] 程梦幸, 包智影, 王珍, 等. 超高效液相色谱—串联质谱法检测食品中酚汀(丁)类物质[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(17): 127-134.
- CHENG M X, BAO Z Y, WANG Z, et al. Determination of oxyphenisatin and its derivatives in food by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(17): 127-134.
- [7] 马凯, 杨昌彪, 崔姗姗, 等. 超高效液相色谱—四极杆/静电场轨道阱高分辨质谱对豆芽中药物残留的非靶向筛查和定量分析[J]. 分析试验室, 2023, 42(8): 1 074-1 079.
- MA K, YANG C B, CUI S S, et al. Untargeted screening and quantitation of drug residues in bean sprouts by ultra performance liquid chromatography-quadrupole/orbitrap high resolution mass spectrometry[J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2023, 42(8): 1 074-1 079.
- [8] 石培育, 宋娟, 蒋锡兰, 等. 高分辨质谱非靶向筛查分析方法在食品化学危害物监测中的研究进展[J/OL]. 食品科学.(2024-05-24) [2024-06-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20240523.1807.050.html>.
- SHI P Y, SONG J, JIANG X L, et al. Research progress in the analysis method of non-targeted screening by high resolution mass spectrometry for food chemical hazards monitoring[J/OL]. Food Science. (2024-05-24) [2024-06-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20240523.1807.050.html>.
- [9] GUO C C, NIU C, ZHOU L M, et al. Targeted and non-targeted screening and identification of 50 antihypertensive adulterants in dietary supplements and herbal medicines using quadrupole-orbitrap high resolution mass spectrometry with compound database[J]. Journal of Separation Science, 2020, 43(13): 2 529-2 538.
- [10] LIANG W Y, ZHENG F J, CHEN T T, et al. Nontargeted screening method for veterinary drugs and their metabolites based on fragmentation characteristics from ultrahigh-performance liquid chromatography-high-resolution mass spectrometry[J]. Food Chemistry, 2022, 369: 130928.
- [11] 刘雅婷, 郭予昕, 刘振强, 等. 食品中一种新型伐地那非结构类似物的筛查与定量测定[J]. 分析测试学报, 2023, 42(11): 1 488-1 494, 1 502.
- LIU Y T, GUO Y X, LIU Z Q, et al. Screening and quantitative determination of a new vardenafil analogue in foods[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2023, 42(11): 1 488-1 494, 1 502.
- [12] XIA J T, WU W Q, HUANG X X, et al. Isolation, characterization, identification and quantification of 6-F oxyphenisatin dipropionate, a novel illegal additive, from a fruit-flavored jelly[J]. Heliyon, 2024, 10(9): e29902.
- [13] 夏金涛, 吴婉琴, 朱松松, 等. 保健食品中新型双醋酚汀衍生物的发现、合成与鉴定[J]. 食品与机械, 2024, 40(2): 21-27.
- XIA J T, WU W Q, ZHU S S, et al. Discovery, preparation and identification of a new type of oxyphenisatin di(acetate) analogue in dietary supplement[J]. Food & Machinery, 2024, 40(2): 21-27.
- [14] 马春艳, 宁霄, 段琼, 等. UPLC-Q-TOF-MS技术研究地平类药物成分质谱裂解规律[J]. 中国药物警戒, 2023, 20(12): 1 326-1 331, 1 350.
- MA C Y, NING X, DUAN Q, et al. Study on the mass spectrometric cleavage pattern of diphenhydramine constituents based on UPLC-Q-TOF-MS technology[J]. Chinese Journal of Pharmacovigilance, 2023, 20(12): 1 326-1 331, 1 350.
- [15] 张丽萍, 张婉梨, 林洁纯, 等. 食品中新型酚丁结构类似物的筛查与定量测定[J]. 分析测试学报, 2024, 43(9): 1 409-1 416.
- ZHAN L P, ZHANG W L, LIN J C, et al. Screening and quantitative determination of new oxyphenisatin analogues in foods[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2024, 43(9): 1 409-1 416.