DOI:10.12441/spyswjs.20250804002 [文章编号] 1673-1689(2026)08-0096-17

高分辨质谱法快速筛查食品中345种非法添加物

吴婉琴[1,2,3] 邓 曦[4] 夏金涛[1,2,3] 江 丰[1,2,3] 范小龙[1,2,3*] 朱松松[1,2,3] 高 芳[1,2,3] 陈 冉[1,2,3]

(1. 湖北省食品质量安全监督检验研究院,湖北 武汉 430075; 2. 国家市场监管重点实验室(动物源性食品中重点化学危害物检测技术),湖北 武汉 430075; 3. 湖北时珍实验室,湖北 武汉 430065; 4. 鄂州市食品药品检验检测所,湖北 鄂州 436001)

摘要:【目的】基于高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱仪建立食品中345种非法添加物的快速筛查方法。**【方法】**样品经甲醇超声提取后,使用Waters ACQUITY UPLC BEH C18色谱柱(50 mm×2.1 mm×1.7 μm)进行梯度洗脱,以体积分数0.1%甲酸水溶液和乙腈为流动相,在电喷雾正、负离子扫描模式下,通过一级和二级质谱全扫描方式进行数据采集。使用Library View软件构建食品中345种非法添加物的一级和二级高分辨质谱数据库,同时考察筛查方法的特异性、筛查限、假阳性率及假阴性率。**【结果】**建立的筛查方法特异性良好,非法添加物筛查限为0.10~1.00 mg/kg,假阳性率及假阴性率均为0。通过对配制酒、代用茶、蜜饯等样品进行筛查分析,检出西地那非、苯丙代卡巴地那非、*O*-丙基伐地那非、对氧代伪伐地那非、比沙可啶、托拉塞米、5-氯双醋酚丁、坎地沙坦等14种非法添加物,其中新型非法添加物有苯丙代卡巴地那非、丙氧基去碳卡巴地那非、*O*-丙基伐地那非、对氧代伪伐地那非和5-氯双醋酚丁。**【结论】**建立的快速筛查方法具有高通量、高效率的特点,能够在无标准品的情况下实现食品中多种非法添加物的快速定性筛查,提升监管效能,为精准打击食品中非法添加行为提供有力支撑。

关键词:高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱仪;快速筛查;非法添加物;食品

Rapid Screening of 345 Illegal Additives in Food by High Resolution Mass Spectrometry

WU Wanqin[1,2,3] *DENG Xi*[4] *XIA Jintao*[1,2,3] *JIANG Feng*[1,2,3] *FAN Xiaolong*[1,2,3*] *ZHU Songsong*[1,2,3] *GAO Fang*[1,2,3] *CHEN Ran*[1,2,3]

(1. Hubei Provincial Institute for Food Supervision and Test, Wuhan 430075, China; 2. Key Laboratory of Detection Technology of Focus Chemical Hazards in Animal-derived Food, State Administration for Market Regulation, Wuhan 430075, China; 3. Hubei Shizhen Laboratory, Wuhan 430065, China; 4. Ezhou Institute for Food and Drug Test and Control, Ezhou 436001, China)

Abstract: [**Objective**] This study aimed to establish an analytical method for the rapid screening of 345 illegal additives in food by high performance liquid chromatography coupled with quadrupole-time of flight mass spectrometry. [**Method**] After ultrasonic extraction with methanol, the samples were separated by gradient elution through a Waters ACQUITY UPLC BEH C18 column (50 mm×2.1 mm×1.7 μm) with the mobile phase composed of formic acid aqueous solution at a volume fraction of 0.1% and acetonitrile. Under electrospray in positive and negative ion scanning modes, data were collected by the full scan of mass spectrometry (MS) and MS/MS. Library View software was used to construct high resolution MS and MS/MS database of 345 illegal additives in food, and the specificity, screening limit, false positive rate, and

基金项目:国家"十四五"重点研发计划项目(2023YFF1104700);湖北省市场监督管理局科技计划项目(Hbscjg-KJ2025003);湖北省自然科学基金联合基金项目(2025AFD726);国家市场监督管理总局科技计划项目(2024MK085)。

通信作者:范小龙(1989—),男,硕士,高级工程师,主要从事食品安全与检测研究。E-mail:553503578@qq.com

收稿日期:2025-08-04 **修回日期:**2025-09-23

false negative rate of the screening method were investigated. [**Result**] The established screening method had good specificity, the screening limit of 0.10~1.00 mg/kg for each compound, and the false positive rate and false negative rate being 0. The method was then used for screening of prepared wine, tea substitute, preserved fruit and other samples, and it detected several illegal additives such as sildenafil, *N*-phenyl propoxyphenyl carbodenafil, *O*-propylvardenafil, *p*-oxo-pseudovardenafil, bisacodyl, torasemide, 5-chloro-oxyphenisatin diacetate, and candesartan. Among them, *N*-phenyl propoxyphenyl carbodenafil, propoxyphenyl descarbondesmethyl carbodenafil, *O*-propylvardenafil, *p*-oxo-pseudovardenafil, and 5-chloro-oxyphenisatin diacetate were newly detected illegal additives. [**Conclusion**] The established method, characterized by full coverage, high throughput, and high efficiency, can realize the rapid qualitative screening of various illegal additives in food without standards, thereby boosting regulatory effectiveness and bolstering efforts to precisely combat illegal additives in food.

Keywords: high performance liquid chromatography coupled with quadrupole-time of flight mass spectrometry; rapid screening; illegal additive; food

食品非法添加物是指有毒有害的非食用成分，如保健食品中添加的西布曲明、他达拉非等。随着消费模式变革与新业态涌现，非法添加行为出现了新变化：添加物质从传统种类扩展至同系物、结构衍生物；添加形式更复杂，如配伍其他药物以缓解副作用；载体也不限于传统保健食品，已蔓延至压片糖果、代用茶、固体饮料、果冻、蜜饯等各类食品。

目前，针对食品中多种非法添加物的筛查与检测，已发展出一系列较为成熟的方法，主要包括薄层色谱法[1]、液相色谱法[2]、液相色谱串联质谱法[3-6]、气相色谱串联质谱法[7]、核磁共振法[8-9]、免疫快速检测法[10-12]、红外光谱法[13-14]、表面增强拉曼光谱法[15-16]以及原位电离质谱法[17-18]等。然而，在实际打击食品非法添加物的行动中，检测工作往往聚焦于已有相应功效类别标准且明确规定了检测方法的非法添加物。对于那些尚无检测方法标准的非法添加物，当前的检测体系难以有效应对，从而给食品安全监管带来了严峻挑战。

高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱技术是食品安全风险防控的关键技术，凭借其高质量精度和高通量能力，该技术已广泛应用于食品中药物残留筛查。其靶向检测模式可精准匹配质谱库，高效识别目标物；非靶向检测模式则能发现可疑物，为识别新型非法添加物提供线索。目前，运用高分辨质谱技术开展的食品中非法添加物的筛查研究，普遍仅针对某一类或几类非法添加物进行单独分析[19-24]，覆盖的非法添加物种类较为局限。为扩大覆盖范围，作者以几种典型食品（如果冻、压片糖果、饮料等）为基质，针对345种非法添加物，构建高分辨质谱库，并对方法特异性与筛查限等指标进行考察，最终建立食品中345种非法添加物的定性筛查分析方法。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 材料与试剂

345种非法添加物标准品（纯度>95%）：天津阿尔塔科技有限公司和作者所在实验室化学合成，其中包括缓解体力疲劳类102种、减肥类/通便类/辅助降血脂类63种、辅助降血糖类27种、辅助降血压类32种、辅助睡眠类22种、解热镇痛类74种、麻醉类12种、抗抑郁类13种；配制酒、代用茶、蜜饯、果冻、压片糖果、液体饮料和固体饮料等样品：均购自电商平台或来源于稽查办案的样品。

乙腈、甲醇：色谱纯，德国Merck公司；甲酸：质谱纯，美国Thermo Fisher Scientific公司。

1.1.2 仪器与设备

色谱柱：Hypersil Gold C18型（100 mm×2.1 mm×3 μm），美国Thermo Fisher Scientific公司；色谱柱：ACQUITY UPLC BEH C18型（50 mm×2.1 mm×1.7 μm），美国Waters公司；高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱仪（配备工作站Analyst 1.6、定性筛查软件Peak View、数据库软件Library View）：Exion

LC-SCIEX Triple TOF 5600+型，美国 SCIEX 公司；离心机：Allegra X-15R 型，美国 Beckman 公司；超声波清洗器：EDAA-2600T 型，上海安谱科学仪器有限公司；分析天平：ME2002E 型，梅特勒-托利多国际贸易（上海）有限公司。

1.2 仪器条件

1.2.1 高效液相色谱条件

采用 C18 色谱柱（50 mm×2.1 mm×1.7 μm），流动相 A 为体积分数 0.1% 的甲酸水溶液，流动相 B 为乙腈，流量 300 μL/min，柱温 35 ℃，进样量 5 μL，梯度洗脱程序见表 1。

表 1 梯度洗脱程序

Table 1 Gradient elution procedure

时间/min	流动相 A 体积分数/%	流动相 B 体积分数/%
0	90	10
1.0	90	10
15.0	25	75
17.0	25	75
17.1	90	10
20.0	90	10

1.2.2 高分辨质谱条件

离子化模式：电喷雾离子源（ESI 源）；电喷雾电压：5 500 V（ESI^+），4 500 V（ESI^-）；气帘气压力：0.24 MPa；雾化气压力：0.34 MPa；辅助气压力：0.34 MPa；离子源温度：500 ℃；去簇电压：60 V；碰撞能量：20、35、50 eV；一级质谱全扫描（TOF-MS）：采集范围 *m/z* 100~1 100；二级质谱全扫描（TOF-MS/MS）：采集范围 *m/z* 50~1 100；非法添加物质量偏差高分辨质谱质量校正液为 5 mmol/L 甲酸钠溶液。

1.3 试验步骤

1.3.1 标准溶液的配制

分别精确称取或移取适量 345 种标准品，用甲醇配制成 10 组混合标准储备液（10 μg/mL），包括 A 组（缓解体力疲劳类 102 种）、B 组（减肥类 33 种）、C 组（减肥类 30 种）、D 组（辅助降血糖类 27 种）、E 组（辅助降血压类 32 种）、F 组（辅助睡眠类 22 种）、G 组（解热镇痛类 18 种）、H 组（解热镇痛类 56 种）、I 组（麻醉类 12 种）、J 组（抗抑郁类 13 种）。

配制混合标准工作液：根据筛查浓度，准确量取适量混合标准储备液，用甲醇稀释成相应的混合标准工作液，现配现用。

1.3.2 样品采集与数据分析

1）样品前处理：称取 1.00 g 试样于 50 mL 离心管中，加入 10 mL 甲醇，涡旋混匀 1 min，超声提取 15 min，4 000 r/min 离心 5 min，上清液经 0.22 μm 微孔滤膜过滤，取续滤液，上机分析。

2）样品靶向筛查定性分析：在 Peak View 软件中导入样品高分辨数据及非法添加物质谱数据库。设置检索参数，基于保留时间、母离子及至少 2 个碎片离子的精确质荷比和 MS/MS 图谱进行匹配分析。当目标峰 $S/N \geq 10$ 时，保留时间偏差在±2.5% 以内，母离子质量偏差≤5×10^{-6}，碎片离子质量偏差≤10×10^{-6}，可初步判定存在该非法添加物。如果目标非法添加物的质量分数超过筛查限，则判定为阳性。

3）筛查方法的假阴性率和假阳性率计算：分别制备阴性样品（不含目标非法添加物）和阳性添加样品（按方法筛查限添加目标非法添加物），按照方法要求进行分析。目标非法添加物假阴性率和假阳性率的计算见式（1）~（2）。要求方法的假阴性率≤5%，假阳性率≤15%。

$$F_P = \frac{(1 - N_T)}{N} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

F_P——假阳性率，%；

N_T——筛查测试结果为阴性的样品数，个；

N——阴性样品总数，个；

$$F_N = \frac{(1 - P_T)}{P} \times 100\% \quad (2)$$

式中：

F_N——假阴性率，%；

P_T——筛查测试结果为阳性的样品数，个；

P——阳性样品总数，个。

1.4 数据处理

采用 Library View 软件构建目标非法添加物高分辨质谱数据库，采用 Peak View 软件对样品进行筛查分析。

2 结果与讨论

2.1 色谱柱的选择

分别采用 Hypersil Gold C18 色谱柱（100 mm×2.1 mm×3 μm）和 ACQUITY UPLC BEH C18 色谱

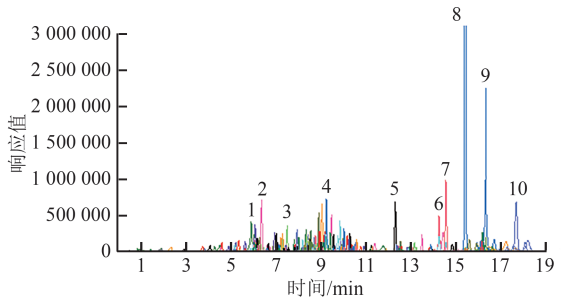
柱（50 mm×2.1 mm×1.7 μm）进行分析。结果表明，采用ACQUITY UPLC BEH C18色谱柱的非法添加物峰形更佳、分离度更优，且各目标物保留时间更合理，故本研究选择Waters色谱柱。

2.2　流动相的选择

选择乙腈-水与甲醇-水流动相体系，其中水相再分别设置成体积分数0.1%甲酸水溶液、5 mmol/L甲酸铵水溶液和纯水，比较不同流动相体系在检测345种非法添加物中的色谱表现。如图1~2所示，乙腈-水流动相体系响应更强、峰形更好，其中乙腈-体积分数0.1%甲酸水溶液在分离度、峰形及响应值上均优于其他体系，为最优流动相。

2.3　345种非法添加物高分辨质谱数据库的建立

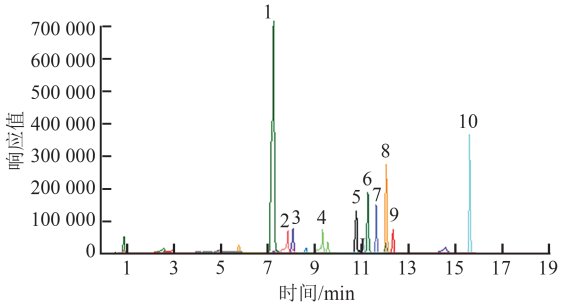
在Library View软件中导入345种非法添加物的名称、CAS号及分子式，并计算其理论一级精确质荷比。通过TOF-MS扫描获取各非法添加物的离子模式、保留时间及实测精确质荷比，建立一级质谱库；在TOF-MS/MS模式下，采用阶梯碰撞能量（20、35、50 eV）采集碎片离子图谱，将采集的图谱导入至Library View软件中，完成二级质谱库构建。部分代表性非法添加物（共列举224种）的信息见表2。



1—羟基伐地那非；2—羟基红地那非；3—豪莫西地那非；4—氨基西地那非；5—5-氯双醋酚丁；6—洛伐他汀；7—他达拉非二氯代杂质；8—美伐他汀；9—西地那非二聚体杂质；10—脱羟基洛伐他汀。

图1　正离子扫描模式下的提取离子色谱叠加图

Fig. 1　Overlay of extracted ion chromatograms in positive ion scan mode



1—甲氯噻嗪；2—呋塞米；3—普伐他汀；4—苄氟噻嗪；5—尼美舒利；6—二氟尼柳；7—氟比洛芬；8—吲哚美辛；9—布洛芬；10—环格列酮。

图2　负离子扫描模式下的提取离子色谱叠加图

Fig. 2　Overlay of extracted ion chromatograms in negative ion scan mode

表2　224种代表性非法添加物的相关化学信息及分组

Table 2　Related chemical information and group status of 224 representative illegal additives

分组	编号	中文名称	CAS号	分子式	扫描模式	实测精确 *m/z*	保留时间/min	典型二级碎片离子 *m/z*	筛查限/（mg/kg）
A	1	盐酸妥拉唑林	59-97-2	$C_{10}H_{12}N_2$•HCl	+	161.107 6	1.15	65.037 9、91.053 3	0.10
	2	盐酸特拉唑嗪	63074-08-8	$C_{19}H_{25}N_5O_4$•HCl	+	388.198 5	4.46	71.048 5、221.103 2、247.119 0、290.161 7	
	3	乙酰伐地那非	1261351-28-3	$C_{25}H_{34}N_6O_3$	+	467.277 8	5.10	151.086 4、297.135 3、325.129 5、341.162 0	0.25
	4	育亨宾	146-48-5	$C_{21}H_{26}N_2O_3$	+	355.202 5	5.41	144.080 8、212.128 7、345.128 8、294.148 7	
	5	伐地那非杂质31	1339092-18-0	$C_{24}H_{34}N_6O_5S$	+	519.238 0	7.10	99.091 4、151.085 8、284.125 8、299.113 6	
	6	硫喹哌非	220060-39-9	$C_{24}H_{28}N_6OS$	+	449.211 7	5.49	118.064 6、186.127 6、204.138 0、258.082 0	
	7	羟基伐地那非	224785-98-2	$C_{23}H_{32}N_6O_5S$	+	505.222 4	5.92	99.091 7、151.085 9、299.113 9、312.158 2	
	8	*N*-去乙基-*N*-甲基伐地那非	224785-87-9	$C_{22}H_{30}N_6O_4S$	+	475.212 6	5.92	151.086 3、284.126 8、299.113 9、312.158 5、376.108 4	

续表

分组	编号	中文名称	CAS 号	分子式	扫描模式	实测精确 *m/z*	保留时间/min	典型二级碎片离子 *m/z*	筛查限/（mg/kg）
	9	*N*-去乙基伐地那非	448184-46-1	$C_{21}H_{28}N_6O_4S$	+	461.196 9	5.96	151.086 4、284.127 0、299.113 9、312.158 9	0.25
	10	去乙基卡巴地那非	1027192-92-2	$C_{22}H_{28}N_6O_3$	+	425.229 1	6.01	166.098 3、255.124 4、311.114 3、339.145 3	
	11	羟基卡巴地那非	2520113-14-6	$C_{24}H_{32}N_6O_4$	+	469.256 2	6.02	113.106 7、283.120 9、311.114 3、339.146 0	
	12	吡唑*N*-去甲基西地那非	139755-95-6	$C_{21}H_{28}N_6O_4S$	+	461.195 9	6.06	58.064 9、99.091 7、100.099 5、269.103 4	
	13	甲磺酸酚妥拉明	65-28-1	$C_{17}H_{19}N_3O \cdot CH_3SO_3H$	+	282.160 4	6.06	65.038 3、93.033 0、120.044 1、212.107 1	0.10
	14	去甲基卡巴地那非	147676-79-7	$C_{23}H_{30}N_6O_3$	+	439.245 1	6.11	99.091 4、166.097 2、311.114 4、339.145 7	0.25
	15	伐地那非	224785-90-4	$C_{23}H_{32}N_6O_4S$	+	489.228 5	6.25	151.085 9、312.158 5、376.105 1	
	16	去甲基哌嗪基西地那非磺酸	1357931-55-5	$C_{17}H_{20}N_4O_5S$	+	393.123 3	6.25	255.087 7、256.095 9、365.092 3	
	17	卡巴地那非	944241-52-5	$C_{24}H_{32}N_6O_3$	+	453.261 4	6.30	147.007 6、283.119 7、311.114 2、339.146 0	
	18	羟基红地那非	147676-56-0	$C_{25}H_{34}N_6O_4$	+	483.272 4	6.33	127.086 1、143.117 3、297.135 1、311.143 0	
	19	哌唑那非	1335201-04-1	$C_{25}H_{34}N_6O_4$	+	483.270 5	6.44	297.135 3、339.182 2、436.223 2、465.260 7	
	20	那红地那非	949091-38-7	$C_{24}H_{32}N_6O_3$	+	453.261 0	6.46	97.076 2、297.135 8、341.162 7、353.162 0	
A	21	环戊那非	1173706-34-7	$C_{26}H_{36}N_6O_4S$	+	529.258 5	6.52	151.086 4、312.158 9、461.197 5	
	22	红地那非	831217-01-7	$C_{25}H_{34}N_6O_3$	+	467.276 6	6.60	127.122 9、297.134 8、353.161 3、449.266 2	
	23	二甲基红地那非	1290041-88-1	$C_{25}H_{34}N_6O_3$	+	467.277 3	6.60	127.123 2、166.099 3、297.136 4、353.164 3	
	24	那莫伐地那非	358390-39-3	$C_{18}H_{20}N_4O_4$	+	357.155 0	6.68	151.085 9、300.085 6、313.093 1、329.124 5	
	25	双去碳西地那非	466684-88-8	$C_{20}H_{28}N_6O_4S$	+	449.195 5	6.68	283.119 1、311.150 5、392.139 3、418.154 5	
	26	他达那非N_2中间体	171752-68-4	$C_{20}H_{19}ClN_2O_4$	+	351.135 5	6.70	135.044 2、206.096 7、250.087 0、264.102 5	
	27	伐地那非哌嗪酮	448184-58-5	$C_{21}H_{26}N_6O_5S$	+	475.175 8	6.77	151.086 8、312.158 3、377.128 4、447.146 3	
	28	去碳西地那非	1393816-99-3	$C_{21}H_{30}N_6O_4S$	+	463.212 4	6.85	72.080 5、283.120 0、311.151 3、418.155 3	
	29	*O*-丙基伐地那非	2840532-32-1	$C_{24}H_{34}N_6O_4S$	+	503.244 7	6.89	151.086 5、299.114 6、326.174 8	
	30	丙氧基去碳卡巴地那非	2711006-62-9	$C_{23}H_{32}N_6O_3$	+	441.260 0	7.15	166.096 9、311.112 9、345.155 0、396.201 7	
	31	苯噻啶红地那非	147676-50-4	$C_{24}H_{31}N_5O_3$	+	438.249 1	7.19	98.096 6、297.135 2、325.130 5、341.161 6	
	32	阿伐那非	330784-47-9	$C_{23}H_{26}ClN_7O_3$	+	484.185 7	7.27	155.025 2、233.103 8、357.111 6、375.121 4	
	33	羟基豪莫西地那非	139755-85-4	$C_{23}H_{32}N_6O_5S$	+	505.223 3	7.29	99.091 7、311.149 9、377.130 8、487.213 6	

续表

分组	编号	中文名称	CAS号	分子式	扫描模式	实测精确 *m/z*	保留时间/min	典型二级碎片离子 *m/z*	筛查限/（mg/kg）
	34	*N*-去甲基西地那非	139755-82-1	$C_{21}H_{28}N_6O_4S$	+	461.196 5	7.31	85.076 5、299.114 7、311.151 2、377.129 0	
	35	西地那非	139755-83-2	$C_{22}H_{30}N_6O_4S$	+	475.212 0	7.36	100.099 6、299.114 8、311.151 3	
	36	酮红地那非	1446144-70-2	$C_{25}H_{32}N_6O_4$	+	481.256 2	7.47	72.080 8、297.134 6、325.161 9、396.203 0	
	37	豪莫西地那非	642928-07-2	$C_{23}H_{32}N_6O_4S$	+	489.227 7	7.50	99.091 7、113.107 3、283.119 6、311.150 6	
	38	西地那非*N*-氧化物	1094598-75-0	$C_{22}H_{30}N_6O_5S$	+	491.208 6	7.55	99.091 2、312.158 9、377.128 0、404.139 2	
	39	*O*-去乙基西地那非	139755-91-2	$C_{20}H_{26}N_6O_4S$	+	447.181 6	7.56	255.124 7、283.119 4、299.114 4、347.082 0	
	40	艾地那非	496835-35-9	$C_{23}H_{32}N_6O_4S$	+	489.227 9	7.72	113.107 2、283.119 9、311.151 2、377.128 8	
	41	羟基硫代伐地那非	912576-30-8	$C_{23}H_{32}N_6O_4S_2$	+	521.200 1	7.86	167.063 8、299.097 0、328.136 0、393.105 7	
	42	丙氧苯基羟基豪莫西地那非	139755-87-6	$C_{24}H_{34}N_6O_5S$	+	519.238 9	7.93	99.091 5、129.102 1、283.120 0、501.229 6	
	43	丙氧苯基西地那非	877777-10-1	$C_{23}H_{32}N_6O_4S$	+	489.227 9	8.00	99.091 7、100.099 2、283.120 4、299.113 9	
	44	乌地那非	268203-93-6	$C_{25}H_{36}N_6O_4S$	+	517.258 1	8.02	112.111 9、283.119 1、325.166 3、474.217 1	
	45	伐地那非*N*-氧化物	448184-48-3	$C_{23}H_{32}N_6O_5S$	+	505.222 8	8.20	151.086 5、312.159 2、376.108 4、487.212 8	
A	46	乙酰胺基他达拉非	1446144-71-3	$C_{23}H_{20}N_4O_5$	+	433.149 6	8.22	135.043 5、262.086 5、311.113 4、391.139 5	0.25
	47	氨基他达拉非	385769-84-6	$C_{21}H_{18}N_4O_4$	+	391.141 8	8.25	135.043 7、169.075 9、262.087 4、269.104 2	
	48	2-羟乙基去甲他达拉非	385769-94-8	$C_{23}H_{21}N_3O_5$	+	420.157 9	8.33	135.043 9、169.076 2、262.086 9、298.119 8	
	49	去甲基他达拉非	171596-36-4	$C_{21}H_{17}N_3O_4$	+	376.131 2	8.37	135.043 8、169.076 1、254.093 4、262.087 2	
	50	丙氧苯基艾地那非	1391053-82-9	$C_{24}H_{34}N_6O_4S$	+	503.243 6	8.38	113.107 3、283.119 9、299.115 1、461.197 0	
	51	对氧代伪伐地那非	345788-36-7	$C_{21}H_{27}N_5O_5S$	+	462.182 1	8.53	151.086 3、284.127 6、299.115 1、312.159 0	
	52	2-羟丙基去甲他达拉非	1353020-85-5	$C_{24}H_{23}N_3O_5$	+	434.171 1	8.54	135.043 8、169.076 0、262.086 8、312.134 4	
	53	双酮红地那非	1609405-33-5	$C_{25}H_{30}N_6O_5$	+	495.235 9	8.61	127.086 6、166.098 2、311.115 8、467.216 9	
	54	*N*-叔丁氧羰基-*N*-去乙基红地那非	1246820-46-1	$C_{28}H_{38}N_6O_5$	+	539.298 0	8.73	99.091 8、297.135 8、353.162 3、439.246 4	
	55	*N*-去乙基红地那非	147676-55-9	$C_{23}H_{30}N_6O_3$	+	439.245 9	8.74	99.091 7、166.097 5、297.134 6、311.143 0	
	56	异丁基西地那非	1391053-95-4	$C_{23}H_{32}N_6O_4S$	+	489.228 4	8.78	58.065 1、99.091 8、100.099 5、297.133 9	
	57	苄西地那非	1446089-82-2	$C_{28}H_{34}N_6O_4S$	+	551.243 0	8.79	91.054 0、377.128 8、459.182 2、508.239 2	
	58	3-羟丙基去甲基他达拉非	2237219-65-5	$C_{24}H_{23}N_3O_5$	+	434.171 7	8.82	135.042 8、262.085 8、284.139 2、312.134 1	

续表

分组	编号	中文名称	CAS 号	分子式	扫描模式	实测精确 *m/z*	保留时间/min	典型二级碎片离子 *m/z*	筛查限/（mg/kg）
A	59	羟基硫代红地那非	1159977-47-5	$C_{25}H_{34}N_6O_3S$	+	499.248 3	8.93	143.117 7、313.112 4、369.139 4、481.239 2	0.25
	60	丙氧苯基异丁基艾地那非	1621873-33-3	$C_{25}H_{36}N_6O_4S$	+	517.257 8	8.98	71.073 0、99.091 7、113.106 9、297.134 9	
	61	达泊西汀	119356-77-3	$C_{21}H_{23}NO$	+	306.186 3	8.99	117.069 8、157.064 5、183.080 6、261.127 9	
	62	他达拉非	171596-29-5	$C_{22}H_{19}N_3O_4$	+	390.146 8	9.03	135.043 4、169.075 9、262.086 6、268.108 6	
	63	氨基西地那非	319491-68-4	$C_{18}H_{23}N_5O_4S$	+	406.155 8	9.25	166.097 3、256.096 3、299.115 0、364.108 4	
	64	苯丙代卡巴地那非	2711006-61-8	$C_{29}H_{34}N_6O_3$	+	515.277 0	13.39	147.007 2、283.119 7、311.114 2、353.160 9	
	65	他达拉非二氯代杂质	1598416-08-0	$C_{22}H_{18}Cl_2N_2O_5$	+	461.065 3	14.64	135.043 6、262.086 7、263.094 8、274.087 2、302.081 2、334.108 5、349.119 1	
	66	西地那非二聚体杂质	1346602-67-2	$C_{38}H_{46}N_{10}O_8S_2$	+	835.301 2	16.39	85.076 0、166.097 5、255.120 2、283.119 5、299.113 9	
B	67	麻黄碱	299-42-3	$C_{10}H_{15}NO$	+	166.122 5	1.05	70.064 5、91.053 7、115.053 4、133.088 1	0.10
	68	甲基安非他明	537-46-2	$C_{10}H_{15}N$	+	150.127 6	1.14	88.013 2、91.053 9、119.085 2、132.002 7	
	69	氯噻嗪	58-94-6	$C_7H_6ClN_3O_4S_2$	−	293.940 9	1.15	114.022 2、178.992 9、213.961 1、229.956 1	0.25
	70	苯丙醇胺	14838-15-4	$C_9H_{13}NO$	+	152.107 6	1.66	65.038 1、91.053 4、115.053 1、117.068 9、134.095 6	0.10
	71	去甲伪麻黄碱	492-39-7	$C_9H_{13}NO$	+	152.107 7	1.91	56.049 4、91.054 1、115.053 9、134.095 9	
	72	伪麻黄碱	90-82-4	$C_{10}H_{15}NO$	+	166.122 9	2.15	56.049 1、91.053 4、115.053 5、148.111 4	
	73	甲基麻黄碱	552-79-4	$C_{11}H_{17}NO$	+	180.138 5	2.39	91.053 3、115.053 7、135.079 8、146.095 9	
	74	安非他明	300-62-9	$C_9H_{13}N$	+	136.112 9	2.86	65.038 5、91.053 6、93.056 7、119.084 8	
	75	氢氯噻嗪	58-93-5	$C_7H_8ClN_3O_4S_2$	−	295.956 7	2.91	77.965 7、126.011 9、204.984 2、231.992 7	0.25
	76	咖啡因	58-08-2	$C_8H_{10}N_4O_2$	+	195.087 6	3.04	69.043 3、83.059 3、110.070 2、138.065 4	0.10
	77	芬特明	122-09-8	$C_{10}H_{15}N$	+	150.128 0	3.72	55.054 1、65.037 6、91.053 9、119.085 8	
	78	氯卡色林	616202-92-7	$C_{11}H_{14}ClN$	+	196.089 0	5.50	103.053 6、129.069 5、139.030 8、144.093 4	
	79	安非他酮	34841-39-9	$C_{13}H_{18}ClNO$	+	240.114 9	5.85	57.069 8、131.071 9、166.041 2、184.051 5	
	80	芬氟拉明	458-24-2	$C_{12}H_{16}F_3N$	+	232.130 2	6.32	109.044 4、159.041 0、187.072 2	
	81	呋塞米	54-31-9	$C_{12}H_{11}ClN_2O_5S$	−	328.999 7	7.79	77.966 4、126.012 1、204.985 0、285.010 3	0.25
	82	普伐他汀	81093-37-0	$C_{23}H_{36}O_7$	−	423.238 1	7.95	59.013 4、101.060 3、143.086 3、303.160 4	
	83	吲达帕胺	26807-65-8	$C_{16}H_{16}ClN_3O_3S$	+	366.066 1	8.33	91.053 5、117.056 7、132.080 2	0.10

续表

分组	编号	中文名称	CAS号	分子式	扫描模式	实测精确 *m/z*	保留时间/min	典型二级碎片离子 *m/z*	筛查限/（mg/kg）
B	84	酚酞	77-09-8	$C_{20}H_{14}O_4$	+	319.097 1	8.50	115.053 5、169.063 9、197.059 7、225.054 3	0.10
	85	*N*,*N*-双去甲基西布曲明	84467-54-9	$C_{15}H_{22}ClN$	+	252.152 0	8.53	89.038 8、125.014 6、139.030 5、151.030 7	
	86	洛伐他汀	75330-75-5	$C_{24}H_{36}O_5$	+	405.263 2	14.28	173.132 9、199.148 3、225.163 9、285.184 9	
	87	辛伐他汀	79902-63-9	$C_{25}H_{38}O_5$	+	419.278 8	15.14	143.084 2、173.132 0、199.147 6、225.163 1	
C	88	乙酰唑胺	59-66-5	$C_4H_6N_4O_3S_2$	−	220.980 7	1.08	61.970 0、79.981 6、83.025 7、141.867 2	0.25
	89	托拉塞米	56211-40-6	$C_{16}H_{20}N_4O_3S$	+	349.134 9	2.85	125.016 3、168.070 5、183.091 1、219.061 2	0.10
	90	氨苯蝶啶	396-01-0	$C_{12}H_{11}N_7$	+	254.115 4	3.74	104.049 0、143.059 8、168.055 2、195.066 2	
	91	唑尼沙胺	68291-97-4	$C_8H_8N_2O_3S$	+	211.018 7	4.82	78.973 4、93.036 1、119.050 5、147.056 3	
	92	氯苯丁胺	461-78-9	$C_{10}H_{14}ClN$	+	184.089 5	5.32	89.038 0、125.014 8、139.030 9、167.062 4	
	93	美托拉宗	17560-51-9	$C_{16}H_{16}ClN_3O_3S$	+	366.069 4	5.67	232.998 0、259.028 8、277.052 5、348.068 6	
	94	甲氯噻嗪	135-07-9	$C_9H_{11}Cl_2N_3O_4S_2$	−	357.948 0	7.02	158.071 9、194.048 8、222.034 1、258.010 8	0.25
	95	苄氟噻嗪	73-48-3	$C_{15}H_{14}F_3N_3O_4S_2$	−	420.029 9	9.31	223.994 1、239.010 8、289.045 8、327.968 3	
	96	托吡酯	97240-79-4	$C_{12}H_{21}NO_8S$	+	340.108 0	7.08	59.048 4、167.069 4、184.096 7、345.020 0	0.10
	97	脱乙酰比沙可啶	603-41-8	$C_{18}H_{15}NO_2$	+	278.118 3	7.44	183.901 5、226.015 5	
	98	双醋酚丁	115-33-3	$C_{24}H_{19}NO_5$	+	402.135 3	9.39	196.102 1、345.051 2、266.050 5	
	99	洛伐他汀羟酸钠盐	75225-50-2	$C_{24}H_{37}NaO_6$	+	445.257 3	9.89	145.102 4、173.133 5、343.188 7	0.25
	100	螺内酯	52-01-7	$C_{24}H_{32}O_4S$	+	341.211 6	10.50	107.085 3、187.111 3、205.121 9、283.170 0	0.10
	101	坎利酮	976-71-6	$C_{22}H_{28}O_3$	+	341.211 8	11.00	107.085 1、169.100 8、187.111 8、283.170 4	
	102	依他尼酸	58-54-8	$C_{13}H_{12}Cl_2O_4$	+	301.003 7	11.04	69.035 3、207.022 1、242.998 8	
	103	5-氯双醋酚丁	2910823-02-6	$C_{24}H_{18}ClNO_5$	+	436.095 4	12.22	223.063 4、258.031 9、300.042 3	
	104	双丙酚丁	2943075-86-1	$C_{26}H_{23}NO_5$	+	430.166 8	13.22	166.085 9、196.074 8、345.070 0、280.097 2	
	105	美伐他汀	73573-88-3	$C_{23}H_{34}O_5$	+	391.248 3	15.61	79.080 0、159.139 3、185.135 2、211.178 2	
	106	脱羟基洛伐他汀	109273-98-5	$C_{24}H_{34}O_4$	+	387.254 3	17.69	143.085 0、173.132 5、199.148 6、249.165 3	
D	107	阿卡波糖	56180-94-0	$C_{25}H_{43}NO_{18}$	+	646.254 6	1.03	128.070 2、146.080 4、286.128 8、304.139 0	0.25
	108	伏格列波糖	83480-29-9	$C_{10}H_{21}NO_7$	+	268.139 1	1.04	82.070 3、134.080 8、196.096 9、250.128 6	

续表

分组	编号	中文名称	CAS 号	分子式	扫描模式	实测精确 *m/z*	保留时间/min	典型二级碎片离子 *m/z*	筛查限/（mg/kg）
D	109	二甲双胍	657-24-9	$C_4H_{11}N_5$	+	130.109 0	1.06	60.055 0、68.023 7、71.059 9、85.050 5	0.10
	110	醋磺己脲	968-81-0	$C_{15}H_{20}N_2O_4S$	+	325.121 0	9.25	55.053 9、91.054 0、119.048 5、183.010 2	
	111	达格列净	461432-26-8	$C_{21}H_{25}ClO_6$	+	426.168 5	9.26	135.079 9、167.025 7、313.099 5、355.110 8	0.25
	112	格列吡嗪	29094-61-9	$C_{21}H_{27}N_5O_4S$	+	446.186 7	9.30	167.015 7、286.065 1、304.075 6、321.102 1	0.10
	113	瑞格列奈	135062-02-1	$C_{27}H_{36}N_2O_4$	+	453.276 8	9.36	86.096 4、162.127 9、230.190 7、292.155 8	
	114	甲苯磺丁脲	64-77-7	$C_{12}H_{18}N_2O_3S$	+	271.111 3	9.38	74.096 0、91.053 9、155.015 7、172.042 4	
	115	妥拉磺脲	1156-19-0	$C_{14}H_{21}N_3O_3S$	+	312.138 8	9.56	91.054 1、115.122 5、141.101 7、155.015 9	
	116	格列齐特	21187-98-4	$C_{15}H_{21}N_3O_3S$	+	324.138 6	10.47	91.053 6、110.096 1、127.122 5、153.102 3	
	117	卡格列净	842133-18-0	$C_{24}H_{25}FO_5S$	+	462.175 2	10.64	147.080 2、191.032 2、249.112 7、267.123 2	0.25
	118	格列波脲	26944-48-9	$C_{18}H_{26}N_2O_4S$	+	367.168 5	11.28	56.049 3、135.116 2、152.143 0、170.153 7	0.10
	119	格列本脲	10238-21-8	$C_{23}H_{28}ClN_3O_5S$	+	494.153 2	11.93	169.005 0、304.074 6、369.068 8、395.048 3	
	120	曲格列酮	97322-87-7	$C_{24}H_{27}NO_5S$	+	442.169 7	12.94	165.069 4、193.083 5、208.093 3、264.132 9	0.25
	121	格列喹酮	33342-05-1	$C_{27}H_{33}N_3O_6S$	+	528.216 3	13.43	167.015 7、202.086 9、386.107 0、403.133 6	0.10
	122	莫格他唑	331741-94-7	$C_{29}H_{28}N_2O_7$	+	517.197 4	13.65	144.080 5、186.090 9、280.134 0、292.133 5	
	123	GW501516	317318-70-0	$C_{21}H_{18}F_3NO_3S_2$	+	454.075 7	14.95	188.052 7、256.040 6、257.047 7	
	124	环格列酮	74772-77-3	$C_{18}H_{23}NO_3S$	−	332.131 5	15.53	150.015 0、178.010 3、261.131 8、289.126 9	0.25
E	125	阿替洛尔	29122-68-7	$C_{14}H_{22}N_2O_3$	+	267.170 2	1.15	74.058 8、116.105 8、133.063 7、145.063 4	0.10
	126	普萘洛尔	525-66-6	$C_{16}H_{21}NO_2$	+	260.164 5	6.54	56.049 0、74.059 3、116.106 3、129.069 0	
	127	地尔硫卓	42399-41-7	$C_{22}H_{26}N_2O_4S$	+	415.170 4	7.39	137.059 4、150.036 4、178.031 7、191.039 5	
	128	卡维地洛	72956-09-3	$C_{24}H_{26}N_2O_4$	+	407.197 9	7.70	56.049 2、100.074 8、180.100 7、194.095 8	
	129	氯沙坦	124750-92-1	$C_{22}H_{21}ClN_6O_2$	+	437.148 9	8.17	180.112 5、207.102 3	
	130	维拉帕米	52-53-9	$C_{27}H_{38}N_2O_4$	+	455.290 6	8.23	133.064 1、150.066 9、165.090 4、260.164 8	
	131	氨氯地平	88150-42-9	$C_{20}H_{25}ClN_2O_5$	+	409.153 2	8.28	165.009 2、170.058 9、206.035 2、220.051 1	
	132	利血平	50-55-5	$C_{33}H_{40}N_2O_9$	+	609.279 9	8.75	174.090 3、195.063 8、236.127 4、365.185 9	
	133	厄贝沙坦	138402-11-6	$C_{25}H_{28}N_6O$	+	429.239 4	8.75	84.080 4、180.079 9、195.148 5、207.091 4	

续表

分组	编号	中文名称	CAS号	分子式	扫描模式	实测精确 *m/z*	保留时间/min	典型二级碎片离子 *m/z*	筛查限/（mg/kg）
E	134	坎地沙坦	139481-59-7	$C_{24}H_{20}N_6O_3$	+	441.167 6	8.98	165.068 8、192.079 1、207.090 5、263.128 7	0.10
	135	去氢硝苯地平	67035-22-7	$C_{17}H_{16}N_2O_6$	+	345.108 7	9.74	252.067 0、256.098 0、268.098 0、284.092 9	
	136	硝苯地平	21829-25-4	$C_{17}H_{18}N_2O_6$	+	347.125 4	9.99	183.089 7、195.089 1、211.083 5、253.095 6	
	137	去氢亚硝基硝苯地平	50428-14-3	$C_{17}H_{16}N_2O_5$	+	329.113 7	10.00	345.071 2、253.098 1、268.097 6、284.092 1	
	138	二氮嗪	364-98-7	$C_8H_7ClN_2O_2S$	+	230.999 5	10.13	147.950 0、212.230 7	
	139	缬沙坦	137862-53-4	$C_{24}H_{29}N_5O_3$	+	436.236 8	10.71	180.080 8、192.077 4、207.091 3、235.096 4	
	140	尼群地平	39562-70-4	$C_{18}H_{20}N_2O_6$	+	361.138 2	11.65	168.079 2、209.082 6、226.085 1、254.080 3	
	141	贝那普利	86541-75-5	$C_{24}H_{28}N_2O_5$	+	425.206 6	12.01	118.064 3、164.070 1、190.085 4、235.107 2	
	142	尼莫地平	66085-59-4	$C_{21}H_{26}N_2O_7$	+	419.182 4	12.24	168.079 5、255.086 7、284.077 3、301.081 0	
	143	尼索地平	63675-72-9	$C_{20}H_{24}N_2O_6$	+	389.170 7	12.69	195.091 7、211.086 6、240.089 6、254.105 1	
	144	非洛地平	86189-69-7	$C_{18}H_{19}Cl_2NO_4$	+	384.077 0	13.16	243.043 8、278.013 2、306.007 9、324.019 0	
	145	拉西地平	103890-78-4	$C_{26}H_{33}NO_6$	+	456.239 4	15.04	196.112 9、240.100 6、268.133 2、310.144 6、345.134 1	
F	146	青藤碱	115-53-7	$C_{19}H_{23}NO_4$	+	330.170 1	2.70	58.064 6、181.064 1、207.044 1、239.070 4、255.101 6	0.10
	147	佐匹克隆	43200-80-2	$C_{17}H_{17}ClN_6O_3$	+	389.114 3	4.71	111.994 2、139.004 9、217.027 5、245.021 7	
	148	氯苯那敏	113-92-8	$C_{16}H_{19}ClN_2$	+	275.132 6	5.44	167.073 1、202.042 6、230.073 8	
	149	氯氮卓	58-25-3	$C_{16}H_{14}ClN_3O$	+	300.090 3	5.90	57.044 4、192.080 7、227.049 5、241.052 6	
	150	罗通定	10097-84-4	$C_{21}H_{25}NO_4$	+	356.185 6	6.02	148.075 4、165.090 5、177.078 0、192.101 0、340.155 1	
	151	文拉法辛	93413-69-5	$C_{17}H_{27}NO_2$	+	278.212 1	6.17	58.064 7、121.064 4、147.080 5、173.096 4	
	152	咪达唑仑	59467-70-8	$C_{18}H_{13}ClFN_3$	+	326.085 9	7.04	129.056 7、209.063 4、244.032 8、291.116 8	
	153	氯美扎酮	80-77-3	$C_{11}H_{12}ClNO_3S$	+	274.029 4	7.22	58.028 5、117.069 4、138.022 8、154.041 2、178.017 8	
	154	扎来普隆	151319-34-5	$C_{17}H_{15}N_5O$	+	306.135 7	7.83	219.066 7、236.093 7、264.125 3	
	155	氯硝西泮	1622-61-3	$C_{15}H_{10}ClN_3O_3$	+	316.047 8	8.73	207.091 9、214.041 8、241.052 6、270.055 4	
	156	劳拉西泮	846-49-1	$C_{15}H_{10}Cl_2N_2O_2$	+	321.019 7	8.80	138.010 0、229.052 9、275.013 7、303.001 0	
	157	阿普唑仑	28981-97-7	$C_{17}H_{13}ClN_4$	+	309.090 8	8.83	165.020 7、241.052 7、274.122 1、281.071 8	
	158	三唑仑	28911-01-5	$C_{17}H_{12}Cl_2N_4$	+	343.051 3	9.07	138.010 3、239.038 8、308.082 2、315.031 7	

续表

分组	编号	中文名称	CAS 号	分子式	扫描模式	实测精确 *m/z*	保留时间/min	典型二级碎片离子 *m/z*	筛查限/（mg/kg）
F	159	褪黑素	73-31-4	$C_{13}H_{16}N_2O_2$	+	233.129 2	9.10	131.072 8、159.068 1、174.091 6	0.10
	160	地西泮	439-14-5	$C_{16}H_{13}ClN_2O$	+	285.078 8	9.93	91.053 8、154.040 9、193.088 1、222.114 8	
G	161	依托考昔	202409-33-4	$C_{18}H_{15}ClN_2O_2S$	+	359.062 0	6.05	244.099 9、279.068 8、280.076 3	0.10
	162	吡罗昔康	36322-90-4	$C_{15}H_{13}N_3O_4S$	+	332.072 0	8.09	95.059 6、121.039 6、164.081 9、168.995 6	
	163	贝诺酯	5003-48-5	$C_{17}H_{15}NO_5$	+	314.102 7	8.73	93.033 2、121.027 9、152.070 3、163.038 8	
	164	舒林酸	38194-50-2	$C_{20}H_{17}FO_3S$	+	357.097 3	8.85	173.076 2、248.100 3、280.072 8、295.096 5	
	165	萘普生	22204-53-1	$C_{14}H_{14}O_3$	−	229.087 0	9.86	141.071 8、169.066 4、170.072 7、185.097 1	0.25
	166	尼美舒利	51803-78-2	$C_{13}H_{12}N_2O_5S$	−	307.038 0	10.68	78.985 3、142.066 0、198.055 5、228.053 0	0.10
	167	二氟尼柳	22494-42-4	$C_{13}H_8F_2O_3$	−	249.036 9	11.17	157.046 2、185.041 1、205.046 9	
	168	氟比洛芬	5104-49-4	$C_{15}H_{13}FO_2$	−	243.082 7	11.46	61.988 3、179.086 0、199.092 9、200.095 9	
	169	吲哚美辛	53-86-1	$C_{19}H_{16}ClNO_4$	−	356.068 8	11.96	158.061 1、255.045 8、282.032 2、297.055 8	0.25
	170	醋氯芬酸	89796-99-6	$C_{16}H_{13}Cl_2NO_4$	+	345.030 2	12.02	180.080 6、215.049 3、250.018 1、278.013 5	
	171	非普拉宗	30748-29-9	$C_{20}H_{20}N_2O_2$	+	321.160 5	12.36	104.048 9、132.043 8、144.044 0、160.039 0	0.10
	172	塞来昔布	169590-42-5	$C_{17}H_{14}F_3N_3O_2S$	+	382.083 3	12.60	267.073 1、282.095 4、300.086 8、362.076 7	0.25
H	173	氨基比林	58-15-1	$C_{13}H_{17}N_3O$	+	232.145 4	1.13	56.049 3、97.076 0、111.091 3、159.091 1	0.10
	174	对乙酰氨基酚	103-90-2	$C_8H_9NO_2$	+	152.070 9	1.57	65.038 2、93.032 5、110.059 3	
	175	甲氧苄啶	738-70-5	$C_{14}H_{18}N_4O_3$	+	291.145 7	3.56	123.066 0、201.113 1、230.116 6、261.098 8	
	176	泼尼松	53-03-2	$C_{21}H_{26}O_5$	+	359.187 5	7.15	147.080 8、171.080 6、237.128 1、265.160 1	
	177	泼尼松龙	50-24-8	$C_{21}H_{28}O_5$	+	361.201 4	7.25	121.064 0、171.080 3、173.095 4、307.168 7	
	178	氢化可的松	50-23-7	$C_{21}H_{30}O_5$	+	363.217 7	7.25	145.100 6、241.159 2、267.174 9、309.186 0	
	179	氟氢缩松	1524-88-5	$C_{24}H_{33}FO_6$	+	437.234 0	8.12	323.165 3、341.175 9、361.181 1	0.50
	180	倍他米松	378-44-9	$C_{22}H_{29}FO_5$	+	393.207 5	8.19	121.064 4、171.080 6、223.112 3、237.128 4	0.10
	181	地塞米松	50-02-2	$C_{22}H_{29}FO_5$	+	393.208 6	8.27	147.080 9、171.081 0、223.112 8、237.128 0	
	182	氟米松	2135-17-3	$C_{22}H_{28}F_2O_5$	+	411.200 3	8.30	121.064 7、235.112 8、253.123 8、277.159 7	
	183	氟米龙	426-13-1	$C_{22}H_{29}FO_4$	+	377.213 1	9.24	135.080 6、185.096 2、237.128 3、279.174 9	

续表

分组	编号	中文名称	CAS号	分子式	扫描模式	实测精确 *m/z*	保留时间/min	典型二级碎片离子 *m/z*	筛查限/（mg/kg）
	184	酮洛芬	22071-15-4	$C_{16}H_{14}O_3$	+	255.102 5	9.85	105.033 5、131.049 1、165.069 9、177.055 3	
	185	倍他米松醋酸酯	987-24-6	$C_{24}H_{31}FO_6$	+	435.219 4	9.88	147.080 3、227.143 7、237.127 9、319.170 5	
	186	甲基泼尼松龙醋酸酯	53-36-1	$C_{24}H_{32}O_6$	+	417.227 7	9.92	121.064 5、161.096 2、185.096 8、253.159 8	
	187	布地奈德	51372-29-3	$C_{25}H_{34}O_6$	+	431.245 1	10.20	121.064 5、173.096 4、225.127 4、277.160 1	
	188	地塞米松醋酸酯	1177-87-3	$C_{24}H_{31}FO_6$	+	435.219 9	10.22	147.080 9、237.128 8、319.172 8、337.183 1	0.10
	189	氢化可的松丁酸酯	13609-67-1	$C_{25}H_{36}O_6$	+	433.260 8	10.35	121.065 0、297.187 0、327.197 8、345.208 6	
	190	氟米龙醋酸酯	3801-06-7	$C_{24}H_{31}FO_5$	+	419.224 9	10.58	135.080 1、237.128 1、279.174 9、303.175 8	
	191	曲安奈德醋酸酯	3870-07-3	$C_{26}H_{33}FO_7$	+	477.230 0	11.18	147.080 1、275.144 2、293.155 3、321.149 8	
	192	氢化可的松戊酸酯	57524-89-7	$C_{26}H_{38}O_6$	+	447.275 0	11.27	121.064 6、267.175 1、309.186 2、327.196 5	
	193	二氟拉松双醋酸酯	33564-31-7	$C_{26}H_{32}F_2O_7$	+	495.219 7	11.34	121.064 3、317.154 2、337.145 6、357.150 7	0.50
	194	氟轻松醋酸酯	356-12-7	$C_{26}H_{32}F_2O_7$	+	495.219 5	11.35	121.064 2、277.122 5、291.138 2、319.133 1	0.10
	195	倍他米松戊酸酯	2152-44-5	$C_{27}H_{37}FO_6$	+	477.265 4	11.98	147.080 1、291.175 4、337.180 8、355.191 0	
H	196	布洛芬	15687-27-1	$C_{13}H_{18}O_2$	−	205.123 8	12.29	61.987 7、161.133 8	1.00
	197	泼尼卡酯	73771-04-7	$C_{27}H_{36}O_8$	+	489.250 3	12.37	147.080 1、223.113 0、265.160 6、289.160 4	
	198	安西奈德	51022-69-6	$C_{28}H_{35}FO_7$	+	503.244 0	12.53	147.080 0、213.127 0、293.154 2、339.159 5	0.10
	199	保泰松	50-33-9	$C_{19}H_{20}N_2O_2$	+	309.161 5	12.54	77.037 6、120.043 8、132.044 3、160.112 0	
	200	阿氯米松双丙酸酯	66734-13-2	$C_{28}H_{37}ClO_7$	+	521.232 2	12.57	57.033 7、171.080 7、277.160 1、291.175 7、301.160 5	
	201	哈西奈德	3093-35-4	$C_{24}H_{32}ClFO_5$	+	455.198 7	12.58	227.142 7、359.140 9、377.150 8、435.198 7	0.50
	202	氯倍他索丙酸酯	25122-46-7	$C_{25}H_{32}ClFO_5$	+	467.199 5	12.64	147.080 3、263.144 5、278.168 1、301.160 7	
	203	氟替卡松丙酸酯	80474-14-2	$C_{25}H_{31}F_3O_5S$	+	501.194 2	12.84	121.064 6、179.086 9、265.159 8、275.144 5	
	204	莫米他松糠酸酯	83919-23-7	$C_{27}H_{30}Cl_2O_5$	+	521.151 3	12.86	95.012 3、263.144 1、279.176 3、355.147 8	
	205	倍他米松双丙酸酯	5593-20-4	$C_{28}H_{37}FO_7$	+	505.262 5	13.07	147.080 1、185.096 4、279.175 6、291.175 5、301.160 5	0.10
	206	甲芬那酸	61-68-7	$C_{15}H_{15}NO_2$	+	242.117 9	13.14	180.080 7、209.083 5、222.092 3、224.107 5	
	207	倍氯米松双丙酸酯	5534-09-8	$C_{28}H_{37}ClO_7$	+	521.232 3	13.56	147.080 1、301.159 8、319.170 5、337.178 0	
	208	氯倍他松丁酸酯	25122-57-0	$C_{26}H_{32}ClFO_5$	+	479.199 1	13.89	71.048 9、266.167 8、279.138 9、343.146 9	

续表

分组	编号	中文名称	CAS 号	分子式	扫描模式	实测精确 *m/z*	保留时间/min	典型二级碎片离子 *m/z*	筛查限/（mg/kg）
I	209	普鲁卡因胺	51-06-9	$C_{13}H_{21}N_3O$	+	236.176 8	1.11	65.038 2、92.049 6、120.044 2、163.086 7	0.25
	210	氯普鲁卡因	3858-89-7	$C_{13}H_{19}ClN_2O_2$	+	271.121 3	3.59	100.111 9、126.010 2、154.005 5、198.031 6	
	211	利多卡因	137-58-6	$C_{14}H_{22}N_2O$	+	235.181 1	4.20	58.064 5、86.096 3、198.930 0	
	212	丙胺卡因	721-50-6	$C_{13}H_{20}N_2O$	+	221.165 5	4.37	86.096 4、93.056 1、118.062 9、136.075 5	
	213	罗哌卡因	84057-95-4	$C_{17}H_{26}N_2O$	+	275.213 5	5.47	84.081 1、126.127 6	
	214	布比卡因	38396-39-3	$C_{18}H_{28}N_2O$	+	289.228 2	6.42	84.081 0、98.096 8、140.143 1	
	215	苯佐卡因	94-09-7	$C_9H_{11}NO_2$	+	166.086 3	6.80	65.037 9、94.064 2、120.043 1、138.054 6	
	216	辛可卡因	85-79-0	$C_{20}H_{29}N_3O_2$	+	344.234 3	8.67	100.112 2、144.044 6、172.039 5、215.081 7	
J	217	米氮平	85650-52-8	$C_{17}H_{19}N_3$	+	266.166 0	4.37	72.080 4、194.084 0、195.091 4、235.123 1、264.150 6	0.10
	218	异卡波肼	59-63-2	$C_{12}H_{13}N_3O_2$	+	232.108 4	7.05	91.054 0、117.059 7、154.063 9、202.081 2	0.25
	219	阿莫沙平	14028-44-5	$C_{17}H_{16}ClN_3O$	+	314.105 5	7.33	70.064 7、193.053 1、228.022 3、271.064 5	0.10
	220	噻奈普汀	66981-73-5	$C_{21}H_{25}ClN_2O_4S$	+	437.130 3	7.39	193.088 1、228.057 4、292.019 5	
	221	帕罗西汀	61869-08-7	$C_{19}H_{20}FNO_3$	+	330.151 7	7.87	109.044 5、135.060 6、151.039 1、192.118 7	0.25
	222	盐酸丙咪嗪	113-52-0	$C_{19}H_{25}ClN_2$	+	281.202 0	8.14	86.095 7、193.089 3、208.113 0、236.144 6	0.10
	223	奈法唑酮	83366-66-9	$C_{25}H_{32}ClN_3O_2$	+	470.232 8	8.88	83.059 6、180.113 2、246.123 9、274.154 9	0.25
	224	氯丙咪嗪	303-49-1	$C_{19}H_{23}ClN_2$	+	315.163 4	9.07	86.095 8、220.112 7、227.050 8、242.074 0	

注：“+”代表正离子扫描；“−”代表负离子扫描；未列举非法添加物包括那非乙酰酸、桂地那非、脱哌嗪基硫代西地那非、苯酰胺那非、米罗那非、亚硝地那非、羟基硫代豪莫西地那非、去甲基硫代西地那非、硫代西地那非、二硫代去乙基卡巴地那非、*N*-乙基他达拉非、硫代豪莫西地那非、二硫代去甲基卡巴地那非、硫代艾地那非、伪伐地那非、丙氧苯基硫代羟基豪莫西地那非、西地那非杂质 14、西地那非杂质 12、丙氧苯基硫代西地那非、羟基氯地那非、庆地那非、丙氧苯基硫代艾地那非、丙氧苯基硫代豪莫西地那非、罗地那非碳酸酯、*N*-丁基他达拉非、氯地那非、他达拉非甲基氯化物、硝地那非、*N*-苄基他达拉非、*N*-环己基去甲他达拉非、脱硫伐地那非、*N*-苯丙烯基他达拉非、那莫西地那非、伐地那非二聚体、*N*-辛基去甲他达拉非、双氯地那非、*N*-单去甲基西布曲明、氟西汀、西布曲明、苄基西布曲明、比沙可啶、豪莫西布曲明、氯代西布曲明、苯扎贝特、布美他尼、奥利司他、利莫那班、非诺贝特、4-氨基-6-氯苯-1,3-二磺酰胺、阿米洛利、茶碱、纳曲酮、氯噻酮、氟伐他汀、苯甲吗酮、氯苄雷司、西酞普兰、环噻嗪、新利司他、维达列汀、丁二胍、苯乙双胍、罗格列酮、西他列汀、吡格列酮、氯磺丙脲、那格列奈、格列美脲、甲基多巴、可乐定、赖诺普利、米诺地尔、乌拉地尔、卡托普利、美托洛尔、哌唑嗪、拉贝洛尔、比索洛尔、依那普利、巴比妥、苯巴比妥、异戊巴比妥、硝西泮、艾司唑仑、奥沙西泮、司可巴比妥、美洛昔康、芬布芬、奥沙普秦、萘丁美酮、依托度酸、双氯芬酸钠、安乃近、安替比林、磺胺甲噁唑、阿司匹林、曲安西龙、非那西丁、氯唑沙宗、可的松、盐酸苯海拉明、甲基泼尼松龙、异丙安替比林、倍氯米松、泼尼松龙醋酸酯、曲安奈德、曲安西龙双醋酸酯、氢化可的松醋酸酯、氟氢可的松醋酸酯、泼尼松醋酸酯、地夫可特、可的松醋酸酯、MS-222、对氨基苯甲酸、间氨基苯甲酸、对乙酰氨基苯甲酸、去甲替林盐酸盐、氟伏沙明、麦普替林、阿米替林、舍曲林。

2.4 基质效应考察

基质效应会影响结果准确性。本研究使用的仪器具备动态背景扣除功能，可有效扣除本底干扰，提升二级质谱信号的清晰度与准确性。通过相对响应值法评估，所有目标物的基质效应均在±20% 内，表明影响不显著。因此，实际检测可采用标准溶液直接分析。

2.5 筛查方法特异性考察

对各类空白基质样品以及在筛查限范围内添加目标非法添加物的加标样品进行检测分析，

考察345种非法添加物的质谱响应信号。结果显示，空白基质样品的响应信号均低于目标非法添加物筛查限响应信号的10%。

2.6　筛查方法的筛查限、假阴性率和假阳性率的确认

本研究以方法筛查限作为定性评价指标，参考《农药残留检测方法国家标准编制指南》（中华人民共和国农业部公告2386号），以加标样品*S*/*N*=10对应的添加质量分数确定方法筛查限，用于345种非法添加物的定性分析，各非法添加物的筛查限见表2。

分别制备阴性样品（不含待测非法添加物）5个、阳性添加样品15个（按方法筛查限水平添加非法添加物），按方法要求对345种非法添加物进行筛检判定。结果表明，各阴性样品假阳性率均为0，各阳性添加样品假阴性率均为0。

2.7　样品靶向筛查分析

对300批市售及稽查样品（配制酒、代用茶、蜜饯等）进行检测，检测出多批西地那非、苯丙代卡巴地那非等阳性样品。阳性结果主要分布于以下食品类别：那非类集中于配制酒、压片糖果及固体饮料（能量咖啡）等食品，其中压片糖果中的检出率最高，可能是由于压片糖果的生产工艺（混合、制粒、压片）相对简单，对生产设备要求不高，较易建立生产线从事非法生产；在果冻、蜜饯及酵素饮料等食品中检出比沙可啶及5-氯双醋酚丁，其中果冻与酵素饮料中的检出率较高，是由于该类产品的基质中便于混合非法添加物，常用于宣称具有通便的功效，这些产品即食便携、消费量大，需重点关注其质量安全风险；标称具有养生功能的固体饮料阳性样品中常检出托拉塞米和坎地沙坦。此外，苯丙代卡巴地那非、丙氧基去碳卡巴地那非、*O*-丙基伐地那非、对氧代伪伐地那非和5-氯双醋酚丁等5种非法添加物是作者所在实验室首次在食品中检出的新型非法添加物。

阳性样品与非法添加物的靶向筛查结果见表3。部分阳性样品中目标非法添加物与对应标准品的碎片离子镜像对比图见图3~7，图中上半部分是阳性样品中目标非法添加物的碎片离子图，下半部分是标准品对应的碎片离子图。

表3　阳性样品与非法添加物的高分辨质谱数据库靶向筛查结果

Table 3　Targeted screening results of positive samples and illegal additives through high resolution mass spectrometry database

数据库匹配非法添加物	分子式	保留时间/min	实测精确*m*/*z*	数据库得分/分
西地那非	$C_{22}H_{30}N_6O_4S$	7.36	475.212 0	100.0
苯丙代卡巴地那非	$C_{29}H_{34}N_6O_3$	13.40	515.276 9	100.0
丙氧基去碳卡巴地那非	$C_{23}H_{32}N_6O_3$	7.15	441.260 0	100.0
O-丙基伐地那非	$C_{24}H_{34}N_6O_4S$	6.89	503.244 6	96.3
对氧代伪伐地那非	$C_{21}H_{27}N_5O_5S$	8.53	462.183 4	94.2
氨基他达拉非	$C_{21}H_{18}N_4O_4$	8.27	391.138 8	93.8
羟基卡巴地那非	$C_{24}H_{32}N_6O_4$	6.02	469.256 2	100.0
去乙基卡巴地那非	$C_{22}H_{28}N_6O_3$	6.01	425.229 1	100.0
达泊西汀	$C_{21}H_{23}NO$	8.99	306.186 3	100.0
西布曲明	$C_{17}H_{26}ClN$	8.90	280.182 2	100.0
比沙可啶	$C_{22}H_{19}NO_4$	9.18	362.138 4	100.0
5-氯双醋酚丁	$C_{24}H_{18}ClNO_5$	12.27	436.095 4	100.0
托拉塞米	$C_{16}H_{20}N_4O_3S$	2.85	349.134 9	99.0
坎地沙坦	$C_{24}H_{20}N_6O_3$	9.04	441.167 6	100.0

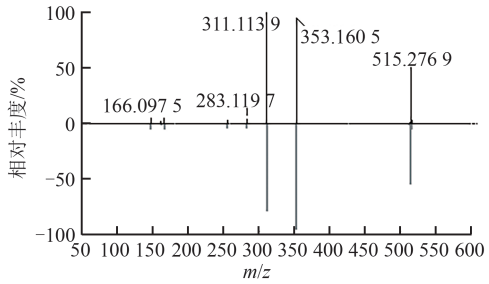


图3　压片糖果阳性样品中苯丙代卡巴地那非的碎片离子镜像图

Fig. 3　Fragment ion mirror plot of *N*-phenyl propoxyphenyl carbodenafil in positive candy tablets

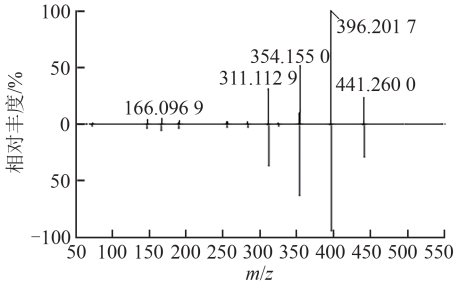


图4　固体饮料阳性样品中丙氧基去碳卡巴地那非的碎片离子镜像图

Fig. 4　Fragment ion mirror plot of propoxyphenyl descarbondesmethyl carbodenafil in positive solid beverages

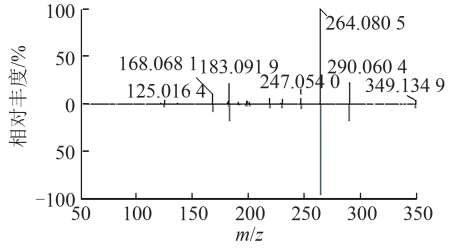


图 5 固体饮料阳性样品中托拉塞米的碎片离子镜像图

Fig. 5 Fragment mirror plot of torasemide in positive solid beverages

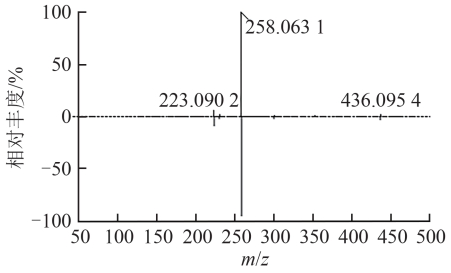


图 6 蜜饯阳性样品中 5-氯双醋酚丁的碎片离子镜像图

Fig. 6 Fragment ion mirror plot of 5-chloro-oxyphenisatin diacetate in positive preserved fruits

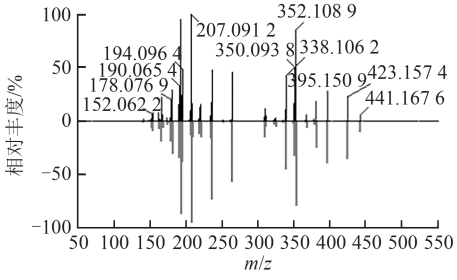


图 7 固体饮料阳性样品中坎地沙坦的碎片离子镜像图

Fig. 7 Fragment ion mirror plot of candesartan in positive solid beverages

3 结论

开发了一种基于高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱仪的快速筛查与鉴别技术，该技术可针对食品中345种非法添加物进行精准检测。通过对300批次样品进行筛查分析，共检出14种非法添加物，其中5种是作者所在实验室首次在食品中检出的新型非法添加物。该方法突破了传统依靠标准品进行定性筛查的局限，可以通过精确质荷比、同位素分布、碎片离子等信息对未知非法添加物进行快速鉴别。现有方法一次检测通常只能针对某一类或几十种目标物，检测范围较窄。本研究建立了包含345种非法添加物的数据库，实现了“一次进样，全面筛查”，具有高通量、高精度、易操作、高效率等显著优势，可为监管执法机构提供强有力的技术支持。

本研究构建的方法属传统靶向筛查技术范畴，后续拟开展食品中非法添加物的非靶向识别关键技术研究，通过构建各类新型非法添加物高分辨率质谱“特征离子”数据库，解决食品中未知非法添加物及其衍生物难以识别和发掘的难题，实现从已知筛查到未知发掘的筛查技术突破。

参考文献

[1] 马姣，胡娅琳，赵益侠，等. 减肥保健品非法添加3种化学药物的TLC-Micro FTIR检测[J]. 中国测试，2018，44（5）：53-57.
Ma J，Hu Y L，Zhao Y X，et al. Determination of three chemical drugs added illegally into anti-obesity and healthcare products by TLC-Micro FTIR method [J]. China Measurement & Testing Technology，2018，44（5）：53-57.（in Chinese）

[2] 范小龙，吴婉琴，曾妮，等. 保健食品中13种那非类物质快速检测及确证[J]. 食品工业，2020，41（1）：302-305.
Fan X L，Wu W Q，Zeng N，et al. Rapid detection and confirmation of 13 kinds of nafil drug in health food[J]. The Food Industry，2020，41（1）：302-305.（in Chinese）

[3] 刘杰，朱晓玲，彭青枝，等. HPLC-Q-TOF/MS测定保健食品中19种抗抑郁药物[J]. 食品与机械，2021，37（7）：63-68.
Liu J，Zhu X L，Peng Q Z，et al. Determination of 19 antidepressants in health food by high-performance liquid chromatography-time-of-flight mass spectrometry [J]. Food & Machinery，2021，37（7）：63-68.（in Chinese）

[4] 张苗，朱晓玲，江丰，等. 固相萃取-超高效液相色谱-串联质谱法同时测定保健食品中18种非法添加化合物[J]. 食品科技，2020，45（8）：298-304.
Zhang M，Zhu X L，Jiang F，et al. Simultaneous determination of 18 illegally added compounds in health foods by ultra high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry with solid phase extraction[J]. Food Science and Technology，2020，45（8）：298-304.（in Chinese）

[5] 刘国姣，王彬，曾妮，等. HPLC-MS/MS法测定安神类代用茶中19种镇静安神类非法添加物质[J]. 食品研究与开发，2019，40（18）：187-193.

Liu G J，Wang B，Zeng N，et al. Simultaneous determination of 19 kinds of the illegally added drugs in herbal tea by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Research and Development，2019，40(18)：187-193.(in Chinese)

[6] 韩智，龚蕾，王会霞，等. 轨道离子阱快速筛查及定量分析保健食品中73种非法添加成分[J]. 食品与机械，2019，35(7)：74-79，116.

Han Z，Gong L，Wang H X，et al. Rapid screening and quantitative analysis of 73 kinds of chemicals illegally added in the healthy foods by Orbitrap mass spectrometry [J]. Food & Machinery，2019，35(7)：74-79，116.(in Chinese)

[7] Lee W，Kim H J，Lee M E，et al. Reliable screening and classification of phosphodiesterase type 5 inhibitors in dietary supplements using gas chromatography/mass spectrometry combined with specific common ions[J]. Journal of Chromatography A，2020，1623：461210.

[8] 朱松松，李贝贝，吴婉琴，等. ASSURE-NMR-HSQC实验检测保健食品中西地那非类物质[J]. 化学研究与应用，2023，35(6)：1487-1492.

Zhu S S，Li B B，Wu W Q，et al. Detection of Sildenafil substances in health food by ASSURE-NMR-HSQC experiment [J]. Chemical Research and Application，2023，35(6)：1487-1492.(in Chinese)

[9] Hachem R，Assemat G，Martins N，et al. Proton NMR for detection，identification and quantification of adulterants in 160 herbal food supplements marketed for weight loss[J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis，2016，124：34-47.

[10] 杨雯，屈玮. 睡眠类特膳食品中非法添加地西泮的快速检测[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版)，2024，47(1)：107-111，136.

Yang W，Qu W. Rapid detection of illegal addition of diazepam in special dietary foods for sleep[J]. Journal of Hefei University of Technology (Natural Science)，2024，47(1)：107-111，136.(in Chinese)

[11] 许鹏，徐淑娟，马骉，等. 基于胶体金免疫层析技术同步快速检测奶茶中的三种毒品成分[J]. 食品与发酵工业，2024，50(14)：290-296.

Xu P，Xu S J，Ma B，et al. Simultaneous detection of three related addictive drugs in milk tea based on colloidal gold immunochromatographic strip [J]. Food and Fermentation Industries，2024，50(14)：290-296.(in Chinese)

[12] 严婕妤. 食品中五种化学危害物的免疫快速检测方法研究[D]. 无锡：江南大学，2023：1-61.

[13] 王成，于航，姚卫蓉，等. 近红外高光谱成像技术在筛查保健食品中违禁添加抗炎药物双氯芬酸钠的研究[J]. 光谱学与光谱分析，2021，41(2)：592-598.

Wang C，Yu H，Yao W R，et al. A study on the screening of anti-inflammatory drug diclofenac sodium in dietary supplements by near infrared hyperspectral imaging[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis，2021，41(2)：592-598.(in Chinese)

[14] 许凤，冯钰，付双，等. 薄层色谱-显微红外光谱(TLC-Micro IR)联用技术检测减肥保健食品中非法添加盐酸芬氟拉明[J]. 中国医院药学杂志，2016，36(5)：358-361.

Xu F，Feng Y，Fu S，et al. Determination of fenfluramine hydrochloride added illegally into anti-obesity and healthcare food by TLC-Micro IR method[J]. Chinese Journal of Hospital Pharmacy，2016，36(5)：358-361.(in Chinese)

[15] 吴国萍，周亚红，曹晨曦，等. 纳米金表面增强拉曼光谱检测保健食品中非法添加的罗格列酮和吡格列酮[J]. 理化检验-化学分册，2019，55(6)：695-700.

Wu G P，Zhou Y H，Cao C X，et al. Detection of pioglitazone and rosiglitazone illegally added in health care foodstuffs by nano-gold surface-enhanced Raman spectroscopy[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis)，2019，55(6)：695-700.(in Chinese)

[16] 胡家勇，张嫚，皮江一，等. 表面增强拉曼光谱法定性定量检测保健食品中非法添加物西地那非[J]. 食品科学，2020，41(8)：297-302.

Hu J Y，Zhang M，Pi J Y，et al. Quantitative and qualitative determination of illicit Sildenafil in health foods by surface enhanced Raman spectroscopy [J]. Food Science，2020，41(8)：297-302.(in Chinese)

[17] 张百乐，高黎红，解迎双，等. 实时直接分析-串联质谱法快速筛查火锅底料、牛肉面汤及调味料中罂粟壳生物碱[J]. 色谱，2017，35(7)：724-729.

Zhang B L，Gao L H，Xie Y S，et al. Rapid screening the alkaloids of poppy shell in hot pot condiment，beef noodle soup and seasoning by direct analysis in real time-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Chromatography，2017，35(7)：724-729.(in Chinese)

[18] 程显隆，李文杰，李卫健，等. DART-MS/MS法直接实时检测保健食品中非法添加的6个PDE5抑制剂的应用研

究[J]. 药物分析杂志,2011(3):438-442.
Cheng X L, Li W J, Li W J, et al. Application of DART-MS/MS for direct and real-time detection of six illegally added PDE5 inhibitors in health foods[J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2011(3): 438-442.(in Chinese)

[19] 夏宝林,扈战强,张亚清,等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定酵素梅中酚丁及其9种酯类衍生物和5种类似物[J]. 分析测试学报,2025,44(3):493-499.
Xia B L, Hu Z Q, Zhang Y Q, et al. Simultaneous determination of oxyphenisatin, its 9 ester derivatives and 5 analogues in ferment plum using ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2025, 44(3): 493-499.(in Chinese)

[20] 童跃聪,黄春明,余知妍,等. 超高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱法定性筛查功能性饮料中30种非法食品添加物[J]. 中外食品工业,2024(23):50-52.
Tong Y C, Huang C M, Yu Z Y, et al. Qualitative screening of 30 illegal food additives in functional drinks by ultra-performance liquid chromatography-quadrupole time-of-flight mass spectrometry[J]. Global Food Industry, 2024(23): 50-52.(in Chinese)

[21] 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.(in Chinese)

[22] 冯峰,常启智,孙晓,等. 超高效液相色谱-高分辨质谱法快速测定食品中107种那非类非法添加物[J]. 食品科学,2025,46(10):290-298.
Feng F, Chang Q Z, Sun X, et al. Rapid determination of 107 illegally added nafils in foods by ultra-high performance liquid chromatography-high resolution mass spectrometry[J]. Food Science, 2025, 46(10): 290-298.(in Chinese)

[23] 黄芳,邓欣,张秋炎,等. 超高效液相色谱-四极杆静电场轨道阱质谱法快速筛查测定抗疲劳类保健食品中112种化学药[J]. 分析测试学报,2023,42(10):1221-1232.
Huang F, Deng X, Zhang Q Y, et al. Rapid screening of 112 kinds of illegally added chemical compounds in anti-fatigue health food by ultra-high performance liquid chromatography quadrupole electrostatic field orbital trap mass spectrometry[J]. Journal of Instrumental Analysis, 2023, 42(10): 1221-1232.(in Chinese)

[24] 赵琪,贾昌平,钱叶飞,等. UPLC-DAD-Q-TOF-MS/MS法快速检测降血压类保健食品及中成药中添加的20个化学药物[J]. 药物分析杂志,2024,44(6):990-998.
Zhao Q, Jia C P, Qian Y F, et al. Rapid determination of twenty added chemicals in anti-hypertensive Chinese traditional medicine and health foods by UPLC-DAD-Q-TOF-MS/MS[J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2024, 44(6): 990-998.(in Chinese)