

超高效液相色谱-四极杆串联离子阱复合质谱法 测定肉制品中非法添加的碱性工业染料

刘瑜^{1*}, 张柏瑀², 毕孝瑞¹, 姚佳¹, 肖姗姗¹, 李志远³, 姜玲玲¹, 金雁¹, 姜莉¹

(1. 沈阳海关技术中心, 沈阳 110016; 2. 沈阳市和平区疾病预防控制中心, 沈阳 110005;

3. 上海爱博才思分析仪器贸易有限公司, 北京 100015)

摘要: **目的** 建立超高效液相色谱-四极杆串联离子阱复合质谱法检测肉制品中 7 种工业染料的方法。**方法** 样品经醋酸乙腈提取, WCX 固相萃取柱净化, C₁₈ 色谱柱分离, 以甲醇和 0.1% 甲酸水溶液为流动相进行梯度洗脱, 电喷雾正离子模式电离, 多反应监测(multiple response monitoring, MRM)→信息相关采集(information dependent acquisition, IDA)→增强子离子扫描(enhanced product ion, EPI)模式检测, 外标法定量。**结果** 7 种碱性工业染料在 0.01~2.00 μg/mL 范围内均呈现良好的线性关系, 相关系数(*r*)均大于 0.995。检出限为 0.4~3.6 μg/kg, 平均加标回收率为 68.9%~99.9%, 相对标准偏差为 4.8%~8.4%。**结论** 本方法应用超高效液相色谱-四极杆串联离子阱复合质谱特有的 MRM-IDA-EPI 扫描模式, 可同时实现化合物的准确定性、定量分析及可疑峰筛查、确证。

关键词: 肉制品; 碱性工业染料; 超高效液相色谱-四极杆串联离子阱复合质谱法

Determination of illegally added basic industrial dyes in meat products by ultra performance liquid chromatography-quadrupole tandem ion trap combined mass spectrometry

LIU Yu^{1*}, ZHANG Bo-Yu², BI Xiao-Rui¹, YAO Jia¹, XIAO Shan-Shan¹, LI Zhi-Yuan³,
JIANG Ling-Ling¹, JIN Yan¹, JIANG Li¹

(1. Shenyang Customs Technology Center, Shenyang 110016, China; 2. Shenyang Peace District Disease Prevention and Control Center, Shenyang 110005, China; 3. Shanghai AB Sciex Analytical Instrument Trading Co., Ltd., Beijing 100015, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of 7 kinds of industrial dyes in meat products by ultra performance liquid chromatography-quadrupole tandem ion trap combined mass spectrometry. **Methods** The samples were extracted with acetonitrile acetate, purified by WCX solid-phase extraction column, and separated on a C₁₈ chromatographic column. Gradient elution was performed using methanol and 0.1% formic acid aqueous solution as the mobile phase, followed by electrospray positive ion mode ionization, multiple response monitoring (MRM)→information dependent acquisition (IDA)→enhanced product ion (EPI) mode detection, and quantification was conducted by external standard method. **Results** The linear relationships of the 7 kinds of basic industrial dyes were good in the range of 0.01~2.00 μg/mL, and the correlation coefficients (*r*) were greater than

基金项目: 辽宁省自然科学基金指导计划项目(20180551238)

Fund: Supported by the Liaoning Provincial Natural Science Foundation Guidance Program Project (20180551238)

*通信作者: 刘瑜, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: liuyu-0117@163.com

*Corresponding author: LIU Yu, Senior Engineer, Shenyang Customs District, No.106, Dong Binhe Road, Shenhe District, Shenyang 110016, China. E-mail: liuyu-0117@163.com

0.995. The limits of detection were 0.4–3.6 $\mu\text{g}/\text{kg}$, the average recoveries were 68.9%–99.9%, and the relative standard deviations were 4.8%–8.4%. **Conclusion** In the method, the MRM-IDA-EPI scanning mode unique to the ultra performance liquid chromatography-quadrupole tandem ion trap composite mass spectrum is applied, and accurate qualitative and quantitative analysis of the compound as well as suspicious peak screening and confirmation can be realized simultaneously.

KEY WORDS: meat products; basic industrial dyes; ultra performance liquid chromatography-quadrupole tandem ion trap combined mass spectrometry

0 引言

肉色是肉品外观评定的重要指标,为了使肉制品色泽鲜艳,便于销售和增强食欲,或者为了掩盖原料肉的不新鲜,一些肉制品生产、加工企业通常会在肉制品中加入着色剂,更有甚者为了牟取暴利,而违法添加工业染料。

工业染料具有着色力强、不易褪色、价格低廉等特点,被不法肉制品生产商在产品生产过程中违法添加。碱性嫩黄、碱性橙 2 等工业染料都在我国公布的非食用物质名单中,例如罗丹明 B 等碱性工业染料在熟肉制品中的违法添加时有报道。工业染料具有致癌、致畸等潜在危害,长期食用会对人体健康产生不良影响^[1-5],我国已经明确规定不得在食品中添加工业染料。针对此问题,可以通过研究建立着色剂的筛查、检测方法,从而有效控制工业染料在食品中的非法添加行为。

目前,工业染料的检测方法主要有高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)^[6-11]和液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)^[12-17]等。液相色谱-串联质谱法与高效液相色谱法相比,定性更加准确,但两者都是针对目标化合物的检测,需要同时与标准溶液进行对照,并且仍然会出现假阳性样品的检出,无法实现化合物的确证和未知峰的筛查。近年来,高效液相-飞行时间质谱在化合物的筛查和确证中逐渐得到应用,但因仪器价格昂贵、操作烦琐,更多地用于化合物的确证分析^[18-20]。

本研究利用三重四极杆-串联线性离子阱质谱的谱库检索功能,建立熟肉制品中 7 种碱性工业染料的筛查、检测方法,以期为新方法的开发提供参考。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

ACQUITYTM 超高效液相色谱仪(美国 Waters 公司); AB Sciex QTrap 5500 四极杆串联离子阱质谱仪(美国 AB 公司); AE163 电子分析天平(感量 0.01 g, 瑞士 Mettler 公司); NR-2 强力振荡器(日本 Taitec 公司); MG-2200 氮吹仪(美国 EYELA 公司); Z36HK 高速离心机(美国 Thermo

Fisher Scientific 公司); SK-1 国华快速混匀器(深圳天南海北有限公司); Millipore 纯水机(美国 Millipore 公司)。

甲酸(优级纯, 美国 Dikma 公司); 甲醇(色谱纯, 美国 Merck 公司); 乙腈、乙醇、冰醋酸、氨水(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); WCX 固相萃取柱(500 mg/6 mL, 美国 Waters 公司)。

标准品: 碱性橙 2、碱性橙 21、碱性橙 22、碱性嫩黄 O、罗丹明 B、碱性红 1、碱性红 2 (纯度均 $\geq 98.0\%$, 德国 Dr. Ehrenstorfer 公司)。

酱牛肉、香肠等 10 余种熟肉制品均购自农贸市场。

1.2 实验方法

1.2.1 样品前处理

样品提取: 称取 5.00 g 样品(精确到 0.01 g), 置于 50 mL 离心管中, 加入 15 mL 乙腈(含 1%醋酸)溶液, 振荡提取 15 min, 8000 r/min 离心 8 min, 收集上清液于另一离心管中, 再加入 15 mL 提取液重复提取一次, 合并 2 次提取液。

样品净化: 分取 15 mL 提取液过 WCX 固相萃取柱(依次用 5 mL 甲醇、5 mL 水活化), 用 5 mL 5%氨水淋洗, 6 mL 甲醇(含 2%甲酸)溶液洗脱, 氮吹浓缩至近干, 加入 1.0 mL 乙醇: 水(2:8, V:V)溶液溶解残渣, 样液过 0.22 μm 滤膜, 待测。

1.2.2 仪器条件

(1) 色谱条件

色谱柱: Waters BEH C₁₈ 柱(100 mm \times 2.1 mm, 1.8 μm); 柱温: 40 $^{\circ}\text{C}$; 进样体积: 10 μL ; 流速: 0.2 mL/min; 流动相: A 相为 0.1%甲酸水溶液, B 相为甲醇, 梯度洗脱程序: 0 min, 50% A; 1 min, 50% A; 12 min, 10% A; 15 min, 10% A; 15.1 min, 50% A; 18 min, 50% A。

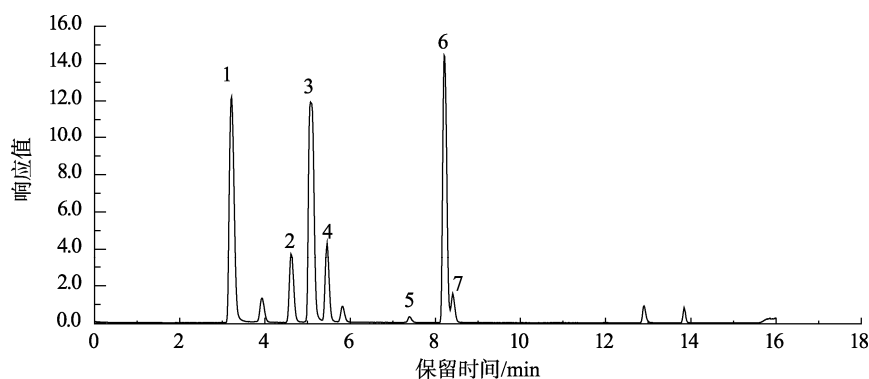
(2) 质谱条件

电离方式: 电喷雾电离(electrospray ionization, ESI+); 电喷雾电压: 5000 V; 雾化气压力: 50 psi; 帘气压力: 30 psi; 辅助加热气压力: 50 psi; 离子源温度: 500 $^{\circ}\text{C}$; 去簇电压: 80 V; 入口电压: 10 V; 碰撞室出口电压: 11 V; 检测模式: 多反应监测(multiple response monitoring, MRM) \rightarrow 信息相关采集(information dependent acquisition, IDA) \rightarrow 增强离子扫描(enhanced product ion, EPI)模式检测 I。所测定的 7 种工业染料的保留时间及质谱参数见表 1, 7 种工业染料的总离子流图见图 1。

表 1 7 种碱性工业染料的基本信息及质谱参数
Table 1 Basic information and mass spectrum parameters of 7 kinds of basic industrial dyes

化合物	分子式	分子量	保留时间/min	母离子(m/z)	子离子(m/z)	碰撞能量/V
碱性橙 2	$C_{12}H_{13}ClN_4$	248.71	3.209	213.1	94.0* 196.0	39 24
碱性红 2	$C_{20}H_{19}ClN_4$	350.84	7.40	315.1	299.0* 238.0	52 52
碱性嫩黄 O	$C_{17}H_{22}ClN_3$	303.83	5.076	268.1	147.1* 252.1	36 44
碱性橙 21	$C_{22}H_{23}ClN_2$	350.88	5.463	315.2	285.1* 299.9	36 20
碱性橙 22	$C_{28}H_{27}ClN_2$	426.98	4.351	391.0	376.2* 361.1	26 50
罗丹明 B	$C_{28}H_{31}ClN_2O_3$	479.01	8.218	443.1	399.0* 355.0	55 77
碱性红 1	$C_{28}H_{31}ClN_2O_3$	479.01	8.408	443.1	415.0* 341.0	44 65

注: *为定量离子。



注: 1. 碱性橙 2; 2. 碱性红 2; 3. 碱性嫩黄 O; 4. 碱性橙 21; 5. 碱性橙 22; 6. 罗丹明 B; 7. 碱性红 1。

图 1 7 种碱性工业染料的色谱图

Fig.1 Chromatogram of 7 kinds of basic industrial dyes

1.3 数据处理

数据采集和分析采用 Analyst 仪器分析软件。

2 结果与分析

2.1 前处理方法优化

2.1.1 提取溶剂的选择

本研究比较了乙腈(含 1%醋酸)、乙腈、甲醇(含 1%醋酸)、乙腈:水(1:1, V:V)、乙腈:水(含 1%醋酸)(1:1, V:V) 5 种不同溶剂的提取效率, 结果表明在碱性工业染料的提取液中加入少量醋酸, 可提高提取效率, 用乙腈(含 1%醋酸)作为提取溶剂, 回收率明显高于其他提取溶剂, 各化合物的回收率均接近或大于 80%, 故最终选定的提取溶剂为乙腈(含 1%醋酸)。不同提取溶剂各化合物回收

率见表 2。

2.1.2 净化方式的选择

比较了 HLB 固相萃取柱、WCX 固相萃取柱、中性氧化铝固相萃取柱 3 种不同类型固相萃取柱对 7 种碱性工业染料的净化效果, 通过对 7 种碱性着色剂回收率的测定来确定样品净化的最佳条件。结果表明, WCX 固相萃取柱相比于 HLB 固相萃取柱回收率更好, 中性氧化铝固相萃取柱的净化效果不如前 2 种净化柱效果好, 由于 WCX 柱对于强碱性化合物(包括季铵碱)具有高度选择性与高回收率, 而 7 种碱性染料大多属于此类物质, 所以 WCX 柱的回收率较好, 因此最终选择 WCX (500 mg/6 mL) 柱作为净化用固相萃取柱。不同净化方式各化合物回收率见表 2。

表 2 不同前处理方法各化合物回收率(%)
Table 2 Recoveries of compounds under different pretreatment methods (%)

化合物	提取溶剂					净化方式		
	乙腈(含 1%醋酸)	乙腈	乙腈:水(1:1, V:V)	甲醇(含 1%醋酸)	乙腈:水(含 1%醋酸)(1:1, V:V)	HLB 固相萃取柱	中性氧化铝固相萃取柱	WCX 固相萃取柱
碱性橙 2	60.7	50.3	12.3	40.6	18.9	53.3	33.1	66.3
碱性红 2	84.6	54.5	41.3	52.3	34.3	54.9	66.6	82.4
碱性嫩黄 O	95.0	70.4	72.8	69.5	50.6	88.2	92.8	93.4
碱性橙 21	98.7	58.3	42.8	51.7	33.9	73.7	76.4	97.1
碱性橙 22	78.5	60.2	20.5	22.3	50.6	76.2	63.8	77.0
罗丹明 B	80.8	68.7	36.4	68.7	68.9	86.6	75.7	78.9
碱性红 1	77.8	52.1	32.8	38.7	33.4	52.5	44.2	76.8

2.2 仪器条件的优化

2.2.1 色谱条件的优化

分别采用乙腈-水、甲醇-水的流动相体系,考察各化合物的色谱行为,发现乙腈-水作流动相时的保留时间靠前,有些化合物的保留时间重叠,因此选择甲醇-水作为流动相,为了增加化合物的离子化效率,在流动相中加入不同浓度的甲酸。调节水相中甲酸的含量分别为 0.05%、0.1%、0.2%,比较 7 种碱性染料的响应值。研究表明:水相中甲酸含量为 0.1%时,待测化合物的离子化效率最高,检测灵敏度最高,故确定流动相体系组成为甲醇和 0.1%的甲酸水溶液。

2.2.2 质谱条件的优化

将 1.0 $\mu\text{g/mL}$ 的标准溶液通过针泵进样方式,找到各化合物的母离子、子离子,优化去簇电压等质谱参数,建立 MRM 方法;切换到 EPI 模式,在不同碰撞能量下,采集各化合物的二级全扫描质谱图;添加 IDA,建立 MRM-IDA-EPI 方法。

2.3 方法的线性范围及检出限

为了消除基质效应的影响,本研究采用基质匹配标准曲线的方法定量。用空白基质溶液配制质量浓度分别为

0.01、0.02、0.05、0.10、0.50、2.00 $\mu\text{g/mL}$ 的 7 种工业染料混合标准溶液,以质量浓度为横坐标,峰面积比为纵坐标绘制标准曲线。结果表明,7 种工业染料在 0.01~2.00 $\mu\text{g/mL}$ 范围内均呈现良好的线性关系,相关系数(r)均大于 0.995,见表 3。依据信噪比 $S/N=3$ 计算方法的检出限,7 种着色剂的检出限为 0.4~3.6 $\mu\text{g/kg}$,见表 3。

2.4 回收率及精密度实验

向酱鸡肝空白样品中分别添加 7 种工业染料的混合标准溶液,制成浓度分别为 0.2、0.4、2.0 mg/kg 的模拟加标样品,每个加标水平平行测定 6 次,按照上述实验方法测定,计算各化合物的平均回收率和相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)。结果表明,酱鸡肝样品中 7 种工业染料平均回收率为 68.9%~99.9%,相对标准偏差为 4.8%~8.4%,表明该方法测定准确,回收率好,具体结果见表 3。

2.5 实际样品检测

应用本研究所建立的方法,对市售的酱鸡肝、鸭脖等 10 余种肉制品进行检测,其中在火腿肠中检测到罗丹明 B,含量为 5.6 $\mu\text{g/kg}$ 。

表 3 方法学验证数据
Table 3 Methodology validation data

化合物	检出限/ ($\mu\text{g/kg}$)	线性方程	相关系数	检测浓度范围 ($\mu\text{g/mL}$)	添加水平 (mg/kg)	平均回收率 /% ($n=6$)	相对标准 偏差/% ($n=6$)
碱性嫩黄 O	0.4	$Y=7.52 \times 10^5 X + 3.41 \times 10^5$	0.9990	0.01~2.00	0.2	89.6	5.4
					0.4	94.7	4.8
					2.0	99.8	7.3
碱性红 2	0.5	$Y=1.52 \times 10^5 X + 4.33 \times 10^4$	0.9956	0.01~2.00	0.2	78.5	6.4
					0.4	84.3	8.4
					2.0	90.1	6.7

表 3(续)

化合物	检出限/ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	线性方程	相关系数	检测浓度范围 ($\mu\text{g}/\text{mL}$)	添加水平 (mg/kg)	平均回收率 /% ($n=6$)	相对标准 偏差/% ($n=6$)
碱性橙 22	0.7	$Y=5.66\times 10^5 X+2.34\times 10^5$	0.9996	0.01~2.00	0.2	80.7	7.6
					0.4	78.3	8.2
					2.0	75.9	5.2
罗丹明 B	0.5	$Y=3.19\times 10^5 X+4.37\times 10^5$	0.9980	0.01~2.00	0.2	77.3	6.3
					0.4	80.6	6.7
					2.0	83.9	8.1
碱性红 1	0.5	$Y=1.19\times 10^5 X+3.45\times 10^4$	0.9981	0.01~2.00	0.2	70.1	5.6
					0.4	72.4	8.3
					2.0	74.7	4.9
碱性橙 2	3.6	$Y=1.38\times 10^4 X-2.59\times 10^4$	0.9977	0.02~2.00	0.2	72.0	7.1
					0.4	68.9	5.7
					2.0	75.1	6.4
碱性橙 21	0.5	$Y=5.5\times 10^5 X+7.39\times 10^5$	0.9985	0.01~2.00	0.2	96.9	4.8
					0.4	99.9	7.3
					2.0	98.4	6.1

3 结 论

本研究采用乙腈(含 1%醋酸)溶液提取, Oasis WCX 固相萃取柱净化, 超高效液相色谱-四极杆串联离子阱复合质谱法建立了肉制品中 7 种碱性工业染料的定性、定量分析方法。在四级杆质谱 MRM 基础上, 结合离子阱质谱特有的 EPI 扫描模式, 通过谱库检索、比对功能, 实现对色谱图中未知峰的筛查、及可疑峰的确证。该方法应用于实验室日常检测, 可提高检测结果的准确性和检测效率, 对样品中的未知组分分析提供了新的思路。

参考文献

- [1] 王宏伟, 刘素丽, 赵梅, 等. 食品中非法添加工业染料危害的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(1): 1-7.
WANG HW, LIU SL, ZHAO M, *et al.* Research progress on hazards of illegally adding industrial dyes in food [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(1): 1-7.
- [2] 郭平, 金会会, 李瑾瑾, 等. 高效液相色谱法同时测定饮料中十种食用合成着色剂[J]. 食品工业科技, 2011, 32(8): 400-403.
GUO P, JIN HH, LI JJ, *et al.* Simultaneous determination of ten edible synthetic colorants in beverages by HPLC [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2011, 32(8): 400-403.
- [3] 刘瑜, 房建美, 吴渺渺, 等. 超高效液相色谱-串联四极杆-线性加速离子阱复合质谱法检测加工肉制品中 6 种合成着色剂[J]. 中国食品添加剂, 2016, (11): 204-207.
LIU Y, FANG JM, WU MM, *et al.* Determination of six synthetic

colorants in processed meat products by ultra performance liquid chromatography tandem quadrupole linear accelerated ion trap mass spectrometry [J]. *China Food Addit*, 2016, (11): 204-207.

- [4] 赵榕, 赵海燕, 李兵, 等. 建立同时测定调味品中非法添加的 4 种工业染料 SPE-UPLC-MS/MS 法研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2009, 21(5): 410-414.
ZHAO R, ZHAO HY, LI B, *et al.* Establishment of SPE-UPLC-MS/MS method for simultaneous determination of four illegally added industrial dyes in condiments [J]. *Chin J Food Hyg*, 2009, 21(5): 410-414.
- [5] 郭永辉, 赵连兴, 柯泽华, 等. 高效液相色谱法测定食品中着色剂和工业染料[J]. 食品与发酵工业, 2020, 46(17): 259-263, 270.
GUO YH, ZHAO LX, KE ZH, *et al.* Determination of colorants and industrial dyes in food by HPLC [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(17): 259-263, 270.
- [6] 胡贝, 李丽霞, 刘红, 等. HPLC 法测定饮料中 8 种食品添加剂和 3 种工业染料[J]. 食品工业, 2019, 40(10): 323-326.
HU B, LI LX, LIU H, *et al.* Determination of eight food additives and three industrial dyes in beverages by HPLC [J]. *Food Ind*, 2019, 40(10): 323-326.
- [7] 胡海山, 鄢兵, 张云伟, 等. 凝胶色谱净化超高效液相色谱法测定食品中 10 种工业染料[J]. 分析科学学报, 2017, 33(3): 362-366.
HU HS, YAN B, ZHANG YW, *et al.* Gel chromatography purification ultra performance liquid chromatography for the determination of 10 industrial dyes in food [J]. *J Anal Sci*, 2017, 33(3): 362-366.
- [8] 张春玲, 蒲彦利, 王红波, 等. 高效液相色谱法测定薯片中 9 种工业染料[J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(21): 3077-3079, 3101.
ZHANG CL, PU YL, WANG HB, *et al.* Determination of nine industrial dyes in potato chips by HPLC [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2017,

- 27(21): 3077–3079, 3101.
- [9] YANG CD, ZHANG H, LI FJ, *et al.* Research on the determination of 10 industrial dyes in foodstuffs [J]. *J Chromatogr Sci*, 2017, 55(10): 1021–1025.
- [10] KARANIKOLOPOULOS G, GERAKIS A, PAPADO-POULOU K, *et al.* Determination of synthetic food colorants in fish products by an HPLC-DAD method [J]. *Food Chem*, 2015, 177: 197–203.
- [11] PING Q, ZI HL, GUI YC. Fast and simultaneous determination of eleven synthetic color additives in flour and meat products by liquid chromatography coupled with diode-array detector and tandem mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2015, 181(15): 101–110.
- [12] 黄伟蓉, 张朋杰, 张宪臣, 等. HPLC-MS/MS 法测定熟肉中生物碱和工业染料[J]. *食品工业*, 2019, 40(10): 339–343.
HUANG WR, ZHANG PJ, ZHANG XC, *et al.* Determination of alkaloids and industrial dyes in cooked meat by HPLC-MS/MS [J]. *Food Ind*, 2019, 40(10): 339–343.
- [13] 张海君, 何微娜, 倪承珠, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定虾干中 12 种工业染料[J]. *中国卫生检验杂志*, 2019, 29(6): 658–661, 668.
ZHANG HJ, HE WN, NI CZ, *et al.* Determination of 12 industrial dyes in dried shrimp by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2019, 29(6): 658–661, 668.
- [14] 陈林, 温家欣, 吴霞, 等. EMR-lipid 样品前处理技术结合 LC-QQQ 同时快速检测辣椒制品中 14 种非法添加工业染料[C]. *中国化学会*, 2017.
CHEN L, WEN JX, WU X, *et al.* Simultaneous and rapid detection of 14 kinds of illegally added industrial dyes in pepper products by EMR lipid sample pretreatment technology combined with LC-QQQ [C]. *Chinese Chemical Society*, 2017.
- [15] 钟丽琪, 曹进, 钱和, 等. 高效液相色谱法测定食品中可能掺杂的 16 种工业染料[J]. *食品科学*, 2021, (2): 119–129.
ZHONG LQ, CAO J, QIAN H, *et al.* Determination of 16 industrial dyes in food by HPLC [J]. *Food Sci*, 2021, (2): 119–129.
- [16] 范赛, 张楠, 刘平, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法检测熟肉制品中 10 种工业染料残留[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(13): 4177–4184.
FAN S, ZHANG N, LIU P, *et al.* Determination of 10 industrial dye residues in cooked meat products by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(13): 4177–4184.
- [17] 刘梅. 高通量合成色素测定方法的建立及其在熟肉制品检测中的应用[D]. 泰安: 山东农业大学, 2018.
LIU M. Establishment of a high throughput method for the determination of synthetic pigments and its application in cooked meat products [D]. Tai'an: Shandong Agricultural University, 2018.
- [18] 李玮, 艾连峰, 马育松, 等. 超高效液相色谱-四极杆-飞行时间质谱法测定辣椒中多种禁用着色剂[J]. *分析科学学报*, 2020, 36(1): 75–80.
LI W, AI LF, MA YS, *et al.* Determination of several banned colorants in pepper by ultra performance liquid chromatography quadrupole time of flight mass spectrometry [J]. *J Anal Sci*, 2020, 36(1): 75–80.
- [19] 陈驰. 基于液相色谱-飞行时间质谱建立食品中着色剂筛查方法的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2012.
CHEN C. Study on screening method of colorants in food based on liquid chromatography time of flight mass spectrometry [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2012.
- [20] 王茜. 加工肉制品中未知添加物质筛查与确证技术研究[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2011.
WANG H. Research on screening and confirmation technology of unknown additives in processed meat products [D]. Shenyang: Shenyang Agricultural University, 2011.

(责任编辑: 张晓寒 郑丽)

作者简介



刘 瑜, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: liuyu-0117@163.com