

# 超声辅助提取-液相色谱-串联质谱法同时测定 马卡龙中人工合成色素与天然色素

胡文彦, 刘新梅\*, 刘其南, 应月  
(南京市食品药品监督检验院, 南京 211100)

**摘要:** **目的** 建立超声辅助提取-液相色谱-串联质谱法同时测定马卡龙中的8种人工合成色素与天然色素。**方法** 样品在60%的乙醇水溶液中, 使用超声辅助方式提取色素, 提取液过滤后直接采用液相色谱-串联质谱法进行检测, 基质外标法进行定量。**结果** 在较宽的线性范围内, 线性关系良好( $r^2 > 0.99$ ); 在3个添加水平下, 回收率在80.3%~103.7%之间, 且相对标准偏差均小于15%; 8种色素的检出限为0.27~0.84 mg/kg, 定量限为0.9~2.6 mg/kg。**结论** 该方法快速、简便, 灵敏度较高, 适用于马卡龙中人工合成色素与天然色素的测定。**关键词:** 马卡龙; 液相色谱-串联质谱法; 人工合成色素; 天然色素

## Simultaneous determination of synthetic and natural pigments in macaron with ultrasound-assisted extraction-liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrometry

HU Wen-Yan, LIU Xin-Mei\*, LIU Qi-Nan, YING Yue  
(Nanjing Institute of Food and Drug Control, Nanjing 211100, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a method for simultaneous determination of 8 synthetic and natural pigments in macaron by ultrasound-assisted extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Methods** The sample was extracted by ultrasonic assisted method in 60% ethanol aqueous solution. After filtration, the extract was detected by liquid chromatography-tandem mass spectrometry and quantified by matrix external standard method. **Results** In a wide linear range, the linear relationship was good ( $r^2 > 0.99$ ); at the 3 levels of addition, the recoveries were between 80.3% and 103.7%, and the relative standard deviations were less than 15%. The limits of detection of 8 pigments were 0.27-0.84 mg/kg, and the limits of quantification were 0.9-2.6 mg/kg. **Conclusion** The method is rapid, simple and sensitive, which is suitable for the determination of synthetic pigments and natural pigments in macarons.

**KEY WORDS:** macaron; liquid chromatography-tandem mass spectrometry; synthetic pigment; natural pigment

基金项目: 南京市科技发展计划项目(201608004)、上海市科委“长三角科技联合攻关领域”项目(18395810300)

Fund: Supported by Nanjing Science and Technology Development Plan Project (201608004), and Yangtze River Delta Science and Technology Joint Research Project (18395810300)

\*通讯作者: 刘新梅, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测技术。E-mail: 1787090250@qq.com

\*Corresponding author: LIU Xin-Mei, Master, Senior Engineer, Nanjing Institute of Food and Drug Control, Nanjing 211100, China. E-mail: 1787090250@qq.com

## 1 引言

马卡龙(macaron), 又称作玛卡龙、法式小圆饼, 是一种用蛋白、杏仁粉、白砂糖和糖霜制作, 并夹有水果酱或奶油的法式甜点<sup>[1]</sup>。近年来以其艳丽的色彩、清新细腻的口感和新颖玲珑的造型, 受到人们的青睐。但目前市场上, 特别是网络销售平台的马卡龙产品乌龙混杂、质量参差不齐, 产品中是否存在违规使用着色剂的情况, 受到监管部门和消费者的强烈关注。

从目前市场上销售的产品看, 马卡龙产品添加的着色剂主要为天然色素, 如胭脂树橙、胭脂虫红等, 也有个别产品明示添加了柠檬黄、苋菜红、胭脂红、日落黄、亮蓝、喹啉黄等人工合成色素。马卡龙作为一种糕点, 按照我国食品添加剂限量使用标准 GB 2760-2014 的规定<sup>[2]</sup>, 这些人工着色剂都不允许使用, 这就在一定程度上存在风险隐患。

食品中人工合成着色剂检测方法研究的文献较多<sup>[3-11]</sup>, 方法也较为成熟, 所选用的技术手段多为聚酰胺吸附净化后采用色谱仪器检测, 但存在耗时长、回收率低等缺点。截至目前, 同时检测食品中天然色素多种人工与天然色素的方法研究较少。近年来, 液相色谱-串联质谱技术(liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS)在检测食品中色素方面的优势逐渐显现<sup>[5,8,10]</sup>, 采用多反应监测技术(multiple reaction monitoring, MRM), 可大大提高检测的灵敏度和特异性, 因此采用比传统方法更为简便的前处理技术, 是同时快速检测多种色素的理想方法。

为了解马卡龙产品中着色剂的使用情况, 开发并建立了马卡龙产品中常见人工色素和天然色素的同时快速检测方法, 并对市场上的随机采样进行检测, 以期对日常监管提供数据支撑。

## 2 材料与方法

### 2.1 主要仪器与试剂

Agilent 1290 UPLC-6495QQQ 型超高效液相色谱-串联质谱仪(配有电喷雾离子源, 美国 Agilent 公司); XS205 型电子天平(瑞士 Metler-Toledo 公司); 微孔滤膜(0.22 μm, 上海安谱实验科技股份有限公司); Poroshell 120 EC-C<sub>18</sub> 色谱柱(3.0 mm×100 mm, 2.7 μm, 美国安捷伦公司); 涡旋混合器(美国 Labnet 公司); KQ3200V 超声提取仪(40 kHz, 昆山超声仪器有限公司); ZORBAX SB-Aq(3.0 mm×100 mm, 3.5 μm)、Poroshell 120 EC-C<sub>18</sub>(3.0 mm×100 mm, 2.7 μm)、ZORBAX Eclipse XDB-C<sub>18</sub>(2.1 mm×50 mm, 1.8 μm)(美国安捷伦公司)。

甲醇、乙醇(HPLC 级, 美国 ROE 公司); 乙酸铵(纯度 ≥98.0%, 上海安谱实验科技股份有限公司); 柠檬黄、苋菜

红、胭脂红、日落黄、亮蓝、喹啉黄(德国 Dr.Ehrenstorfer 公司); 胭脂树橙(降红木素)、胭脂虫红酸(瑞士 CaroteNature 公司); 实验室用水为经 Mili-Q 净化系统(0.22 μm 过滤膜)过滤的超纯水。

实验样品: 马卡龙产品 42 批次, 其中 7 批次购买于超市、蛋糕房、餐饮消费等场所, 35 批购买于京东、淘宝等网店, 涉及生产企业 26 家。

### 2.2 仪器工作条件

#### 2.2.1 色谱条件

液相色谱柱为 Poroshell 120 EC-C<sub>18</sub>(3.0 mm×100 mm, 2.7 μm), 柱温 35 °C, 进样量 1 μL, 流动相 A 为甲醇, 流动相 B 为 10 mmol/L 乙酸铵水溶液, 流速 0.3 mL/min, 流动相梯度洗脱程序为: 0~1 min, 80%B; 1~3.2 min, 80%~65%B; 3.2~3.7 min, 65%B~50%B; 3.7~9.0 min, 50%B~10%B; 9.0~10.0 min, 10%B; 10.1~12.0 min, 80%B。单针总运行时间 12 min。

#### 2.2.2 质谱条件

离子源: 电喷雾离子源; 扫描方式: 正离子扫描; 检测方式: 多反应监测; 毛细管电压: 3500 V; 干燥气温度: 200 °C; 干燥气流速: 16 L/min; 雾化气压力: 172.4 kPa(25 psi); 鞘气温度: 350 °C; 鞘气流速: 11 L/min; 碎裂电压: 380 V; 高压离子漏斗电压: 150 V; 低压离子漏斗电压: 60 V, 其他优化后的质谱条件见表 1。

表 1 8 种色素的优化质谱参数  
Table 1 Optimized parameters of MS/MS for 8 pigments

分析物	母离子( <i>m/z</i> )	子离子( <i>m/z</i> )	碰撞能量/eV	离子源
柠檬黄	468.9	450.9 <sup>a</sup> , 200.2	28,28	ESI+
苋菜红	538.9	223.1, 348.0 <sup>a</sup>	28,28	ESI+
胭脂红	538.9	223.0 <sup>a</sup> , 158.0	36,36	ESI+
日落黄	408.9	236.1 <sup>a</sup> , 173.0	36,24	ESI+
亮蓝	749.0	171.0 <sup>a</sup> , 306.3	32,28	ESI+
喹啉黄	431.6 <sup>a</sup> /352.0 <sup>b</sup>	287.9 <sup>a</sup> , 368.0/ 287.9 <sup>a</sup> , 244.2	47,33/35,45	ESI-
降红木素	381.1	143.2 <sup>a</sup> , 91.2	32,70	ESI+
胭脂虫红	493.0	354.8 <sup>a</sup> , 373	30,15	ESI+

注: <sup>a</sup>定量离子; <sup>a</sup>喹啉黄二钠盐; <sup>b</sup>喹啉黄钠盐。

### 2.3 标准溶液配制

分别准确称取 8 种化合物标准品适量, 置于 100 mL 容量瓶中, 用甲醇分别溶解并定容至刻度, 配制成 100 mg/L 的标准储备溶液, 4 °C 下避光保存备用。临用前, 分别移取适量标准储备溶液, 用空白样品提取液稀释制成适当浓度的基质混合标准工作溶液。空白样品提取液是取

不含待测目标物的马卡龙样品,按照本方法规定的步骤进行提取后获得的。

## 2.4 样品前处理

准确称取约 2 g 粉碎后的样品于 50 mL 离心管中,加入 20 mL 乙醇-水溶液(60:40, V:V), 震荡混匀后于超声提取仪中提取 5 min, 取出静置 2 min 后, 上清液过 0.22  $\mu\text{m}$  聚醚砜滤膜, 滤液待上机测试。

## 3 结果与分析

### 3.1 仪器条件的优化

已有的研究表明<sup>[3,8]</sup>, 着色剂类物质在反相  $\text{C}_{18}$  填充材料的色谱柱上分离较好, 但本次研究的对象种类较多、性质各异, 马卡龙样品本身基质较为复杂, 这就对分析分离的效果提出了更高的要求。在本次研究中, 我们依次选择了安捷伦 ZORBAX SB-Aq(3.0 mm $\times$ 100 mm, 3.5  $\mu\text{m}$ )、安捷伦 Poroshell 120 EC- $\text{C}_{18}$ (3.0 mm $\times$ 100 mm, 2.7  $\mu\text{m}$ )和安捷伦 ZORBAX Eclipse XDB- $\text{C}_{18}$ (2.1 mm $\times$ 50 mm, 1.8  $\mu\text{m}$ )3 种不同型号和规格的反相色谱柱, 先采取线性梯度洗脱, 再分段进行优化。结果发现在 Poroshell 这根柱子上各目标物保留行为最好, 峰形对称, 8 种化合物基本实现了基线分离, 见图 1。

研究发现, 除喹啉黄外, 其余 7 种色素均在正离子模式下的响应值更高。在水相中加入 10 mmol 乙酸铵后, 绝大多数化合物在含盐体系中的响应值要略高于纯溶剂体系。同时, 在做 MRM 测试中我们选择离子丰度最高的子离子作为定量离子, 选择丰度次高的子离子作为定性离子, 尽量不选择低质核比的离子, 以免流动相中的低分子量杂质对检测造成影响。其余质谱采集参数均通过自动调谐予

以优化, 最终选择的质谱采集离子信息见表 1。

### 3.2 提取条件的优化

#### 3.2.1 提取方式的选择

色素提取净化的技术手段目前多采用聚酰胺吸附法。因色素多含有羟基、羧基等极性基团, 易与聚酰胺材料产生氢键缔合等作用, 进而选择性的去除非极性的杂质。但聚酰胺吸附法同时存在耗时长、操作复杂, 成本高等缺点, 在进行大批量样品检测时, 工作效率不高。如果后端检测改为抗干扰能力更强、选择性更高的串联液相色谱质谱仪, 可以在达到相同检测灵敏度的前提下, 降低样品前处理的要求, 进而大幅提高工作效率。考虑到马卡龙产品的特性, 我们选择超声辅助提取的方式将着色剂提取到试剂中, 因为超声提取的方式可以使样品基质尽量分散, 提取效率较高。根据提取效率对超声的时间进行了优化, 依次选择超声 1、2、5、10 和 20 min 对加标样品进行提取, 发现所有目标物在超声时间到达 5 min 后回收率基本达到恒定, 不再随时间增加, 因此我们选择超声 5 min 作为提取的方式。

#### 3.2.2 提取溶剂的选择

本次所选择的研究对象, 无论是人工合成色素还是天然色素, 都是亲水性的。对于这些物质来说, 水是较好的媒介, 但由于马卡龙和糕点的基质类似, 产品中淀粉很多, 用纯水超声提取后, 淀粉颗粒大量悬浮在溶液中, 造成后续处理的麻烦。因此我们考虑在水中加入适量醇, 使淀粉类物质沉降下来的同时也能提高提取效率。我们首先对加入醇的种类进行了考量, 发现甲醇和乙醇效果相差不大, 考虑到乙醇毒性较低, 所以优选乙醇作为提取溶剂, 进一步对乙醇和水的比例进行了优化, 结果见图 2。由图

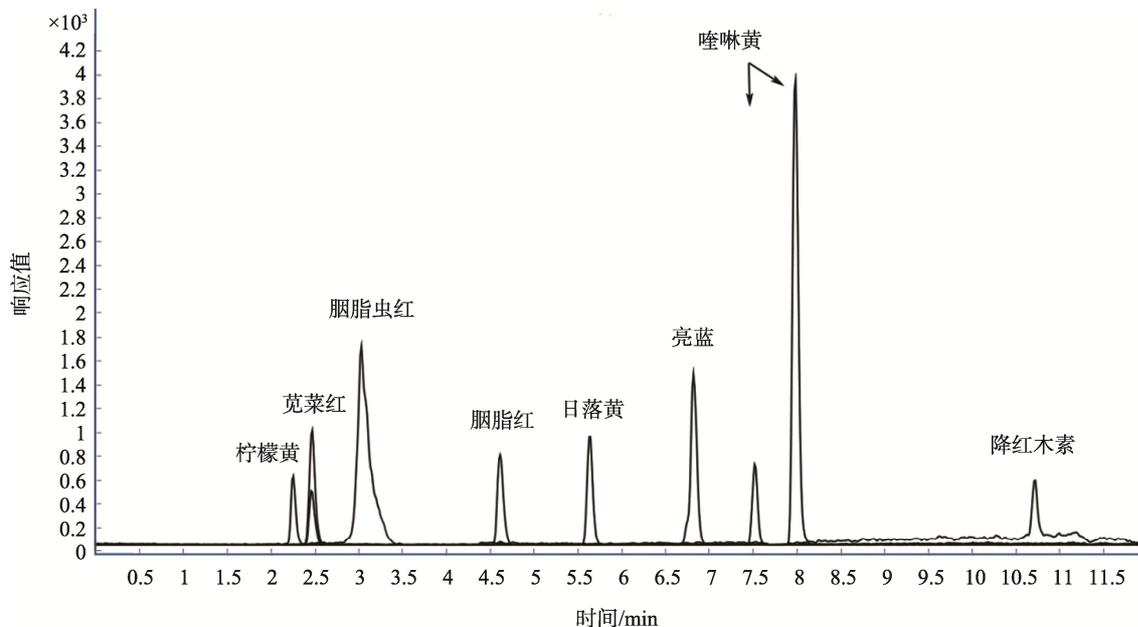


图 1 8 种色素基质加标提取离子色谱图(5 mg/kg)

Fig.1 MRM chromatogram of 8 pigments spiked at 5 mg/kg

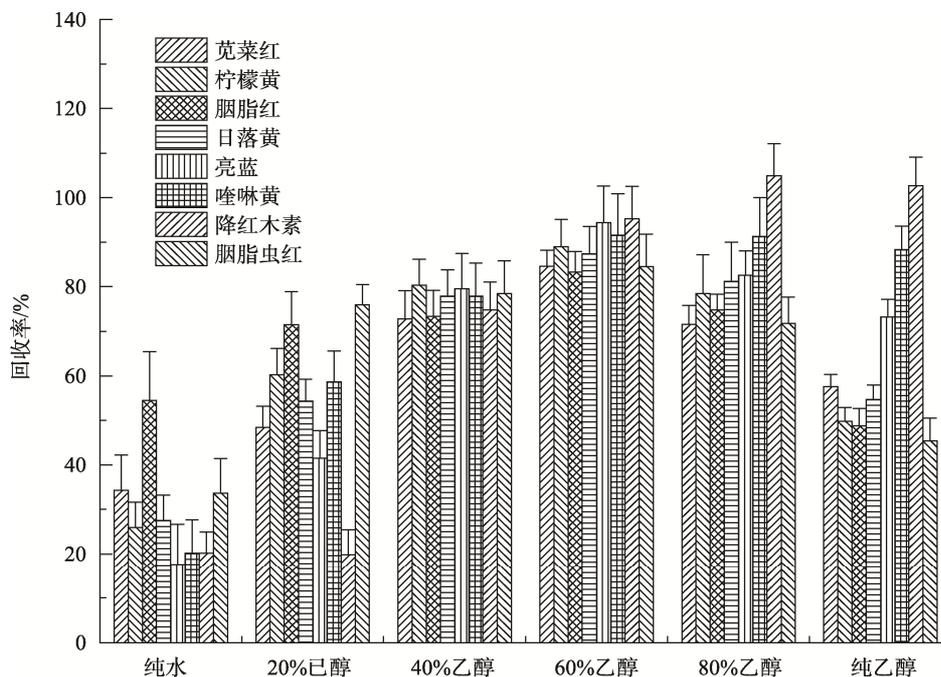


图 2 不同比例乙醇提取回收率考察(n=6)

Fig.2 Investigation on recovery of ethanol extraction in different proportions (n=6)

可见,在纯水溶液中,所有色素的提取效率都不高,结果平行性也较差。这可能是由于悬浮的淀粉颗粒影响了目标物在水中的溶解性,同时增大了提取过程的不确定性。随着醇比例的增加,提取效率也不断提高,在乙醇的含量达到 60%时,绝大多数的化合物回收率达到最大值,由此可见,60%的乙醇水溶液应是提取这 8 种化合物的最优溶剂。

### 3.2.3 不同材质滤膜吸附的影响

着色类物质多含有共轭双键结构,基于这个化学特性,易与大分子聚合物产生物理或化学的吸附作用,这在我们以往的研究中已有报道<sup>[12]</sup>。我们对聚四氟乙烯(polytetrafluoroethylene, PTFE)、聚醚砜(polyether sulfone, PES)、尼龙这 3 种常见微孔滤膜材料进行了吸附率的考察,具体方法为把选定材料过滤前后的标准品溶液分别上机测试,比较过滤前后的峰面积变化,进而考察过滤过程中的损失。结果发现 3 种滤膜材料对 8 种色素的吸附性能各异,尼龙材质对所有色素都有吸附,吸附率可达 30%~80%,尤其是对具有磺酸基团的喹啉黄、苋菜红等色素吸附效果明显,易造成目标物的大量损失;聚四氟乙烯材料对降红木素的吸附率很高,可达 50%;而聚醚砜材质的滤膜仅对降红木素和亮蓝有少量吸附,且吸附率均小于 5%,因此我们最终选择聚醚砜滤膜过滤后上机测试。

### 3.3 基质效应评价

考虑到本方法前处理比较简单,检测中应充分考虑基质效应对结果准确度的影响。基质效应通过对每个待测物的基质增强或抑制效应进行评价。具体计算公式为

$$ME(\%) = [SL_M / SL_S - 1] \times 100\%$$

其中  $SL_M$  为目标化合物在空白加标样品基质溶液中的校正曲线斜率,  $SL_S$  为目标化合物在溶剂中的校正曲线斜率。一般认为  $ME$  绝对值大于 50% 为强基质效应,需要对方法进行进一步优化; 20%~50% 为弱基质效应; 小于 20% 则认为没有基质效应<sup>[13]</sup>。取不含待测目标物的马卡龙样品,按照本方法规定的步骤进行提取,获得空白基质溶液,在空白溶液中分别添加不同梯度水平的标准溶液,通过定容等方式得到系列浓度的基质校正溶液,与系列标准工作溶液一起上机测试,分别绘制校正曲线。结果显示,待测目标物的  $ME$  分别为: 柠檬黄(-38.3)、苋菜红(-21.2)、胭脂红(-9.1)、日落黄(-12.7)、亮蓝(5.1)、喹啉黄(1.9)、降红木素(-20.8)、胭脂虫红(-7.6)。柠檬黄、苋菜红、降红木素属于弱基质效应; 其余目标物可认为无基质效应,所选择的提取方案可以满足实际检测要求。

### 3.4 方法学考察

通过计算各目标物在空白基质中信噪比(S/N)为 3 时对应的浓度来获得检出限(limit of detection, LOD), 而定量限(limit of quantity, LOQ)则为 10 倍信噪比对应的浓度。回收率实验是通过在空白样品中分别添加 1 倍、2 倍和 10 倍定量限浓度水平的待测目标物,按照方法设定的条件,平行测定 6 次,计算回收率和相对标准偏差,结果详见表 2。从结果可以看出,8 种色素的 LOD 在 0.27~0.84 mg/kg 之间, LOQ 在 0.9~2.6 mg/kg 之间,回收率在 80.3%~103.7% 之间,且 RSD 均小于 15%,在较宽的线性范围内,线性关系良好,相关系数均大于 0.99,完全符合国家标准对色素检测要求。

表 2 方法验证结果( $n=6$ )  
Table 2 Validation results of the developed method ( $n=6$ )

化合物	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)	线性关系	线性范围/(ng/mL)	添加量/(mg/kg)	回收率及相对标准偏差/%
柠檬黄	0.32	1.0	$Y=6.15X+41.69$ ( $r^2=0.9991$ )	50~5000	1.0	82.4±12.1
					2.0	87.4±9.1
					10.0	88.3±6.6
苋菜红	0.36	1.0	$Y=6.16X+51.57$ ( $r^2=0.9978$ )	50~5000	1.0	80.6±11.1
					2.0	83.7±8.7
					10.0	80.6±5.3
胭脂红	0.27	0.9	$Y=5.87X+65.55$ ( $r^2=0.9972$ )	50~5000	1.0	80.3±9.5
					2.0	85.4±6.9
					10.0	83.8±8.8
日落黄	0.37	1.1	$Y=9.24X+1.55$ ( $r^2=0.9968$ )	50~5000	1.0	91.7±13.5
					2.0	88.4±10.4
					10.0	89.6±7.5
亮蓝	0.31	1.0	$Y=13.58X+169.61$ ( $r^2=0.9991$ )	50~5000	1.0	85.6±9.7
					2.0	83.2±7.2
					10.0	88.7±6.5
喹啉黄	0.53	1.6	$Y=17.07X+39.745$ ( $r^2=0.9945$ )	100~10000	2.0	98.3±12.5
					10.0	103.7±11.3
					20.0	102.5±8.8
降红木素	0.84	2.6	$Y=8.67X-100.71$ ( $r^2=0.9979$ )	100~10000	3.0	94.2±7.6
					15.0	99.9±2.5
					30.0	100.2±6.5
胭脂虫红	0.71	2.0	$Y=28.76X+114.46$ ( $r^2=0.9906$ )	100~10000	2.0	81.4±11.1
					4.0	87.6±10.5
					20.0	88.1±5.7

### 3.5 定性定量

使用电喷雾离子源做分析时,要消除基质效应,除了采用合适的前处理方法外,使用内标物或基质外标法校正<sup>[14]</sup>是目前液相色谱-质谱分析的主流手段。对于本次分析来说,要想获取待测目标物的同位素内标难度很大,即使能够获取,检测成本也会大幅提升。我们最终采用了基质空白加标的方法进行目标物的分析,并取得了满意的效果。目标物喹啉黄为喹啉黄一钠盐和二钠盐的混合物,且可能相互转化,定量时分别对所有异构体加和后进行计算<sup>[15]</sup>。

### 3.6 实际样品检测

42 批马卡龙产品有 39 批检出上述 8 种色素,其中检出人工合成色素的批次数为 15 批次,检出率为 35.7%。我国国家标准<sup>[1]</sup>规定喹啉黄作为着色剂仅可用于配制酒,在焙烤食品等其他食品中均为不得使用,本次测试发现

1 批马卡龙产品检出喹啉黄(含量 0.013 g/kg),存在超范围使用着色剂的问题。2 批样品检出胭脂树橙(检出值: 0.0013 g/kg、0.0037 g/kg),柠檬黄检出 13 批、苋菜红检出 5 批、胭脂红检出 9 批、日落黄检出 7 批、亮蓝检出 9 批,含量范围在 0.001~0.116 g/kg。另外还有部分产品存在标签标注不规范的问题,特别对于食品添加剂的标注信息含糊不清,仅简单在配料中标注天然色粉、食用色素,未具体明示使用的着色剂情况。

## 4 结论

针对公众普遍关注的马卡龙中可能违规添加的着色剂成分,我们建立了一种基于超声辅助提取和串联液相色谱质谱法分析的、马卡龙产品中多种人工合成色素与天然色素的同时快速检测方法,考察了多种不同材质滤膜对着色剂的吸附影响,并对方法的基质效应进行了评价。经验

证, 该方法具有快速、准确、稳定等优点。利用该方法对市场随机采集的 42 批马卡龙进行了测试, 多个产品检出着色物质, 且部分产品存在违规添加和标签标识不明确等问题, 为监管部门更好地开展马卡龙产品的监管提供了技术和数据支撑。

### 参考文献

- [1] Macaron [EB/OL]. [2019-01-25]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Macaron>.
- [2] GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].  
GB 2760-2014 Food safety national standards-Standards for the use of food additives [S].
- [3] Kucharska M, Grabka J. A review of chromatographic methods for determination of synthetic food dyes [J]. *Talanta*, 2010, 80(3): 1045–1051.
- [4] 曾楚莹, 王露, 黎秀娟. 固相萃取-高效液相色谱法测定食品基质中 5 种不同合成红色着色剂[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(5): 1341–1345.  
Zeng CY, Wang L, Li XJ. Determination of 5 kinds of different synthetic red colorants in food substrates by solid phase extraction-high performance liquid chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(5): 1341–1345.
- [5] 林慧, 徐春祥, 刘成志, 等. 液相色谱-串联四极杆飞行时间质谱快速筛查食品中违禁着色剂[J]. *食品安全质量检测学报*, 2017, 8(4): 1389–1396.  
Lin H, Xu CX, Liu CZ, *et al.* Rapid screening of banned pigments in food by liquid chromatography-tandem quadrupole time of flight mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2017, 8(4): 1389–1396.
- [6] 黄文氢, 刘静. 液体核磁共振法快速检测食品中的 3 种食用合成色素[J]. *分析实验室*, 2018, (7): 848–851.  
Huang WQ, Liu J. Rapid determination of 3 edible synthetic pigments in food by <sup>1</sup>H NMR [J]. *China J Anal Lab*, 2018, 37(7): 848–851.
- [7] Zhu SQ, Zhou J, Jia HF, *et al.* Liquid-liquid microextraction of synthetic pigments in beverages using a hydrophobic deep eutectic solvent [J]. *Food Chem*, 2018, 243: 351–356.
- [8] Shen Y, Zhang X, Prinyawiwatkul W, *et al.* Simultaneous determination of red and yellow artificial food colourants and carotenoid pigments in food products [J]. *Food Chem*, 2014, 157: 553–558.
- [9] Li XL, Jin JJ, Sun CJ, *et al.* Simultaneous determination of six main types of lipid-soluble pigments in green tea by visible and near-infrared spectroscopy [J]. *Food Chem*, 2019, 270: 236–242.
- [10] Zhou WE, Zhang Y, Li Y, *et al.* Determination of gardenia yellow

colorants in soft drink, pastry, instant noodles with ultrasound-assisted extraction by high performance liquid chromatography-electrospray ionization tandem mass spectrum [J]. *J Chromatogr A*, 2016, 1446: 59–69.

- [11] 周伟娥, 凌云, 张元, 等. 高效液相色谱法测定肉制品中栀子黄色素含量[J]. *食品科学*, 2016, 37(2): 187–192.  
Zhou WE, Ling Y, Zhang Y, *et al.* Determination of gardenia yellow in meat products by high performance liquid chromatography [J]. *Food Sci*, 2016, 37(2): 187–192.
- [12] 凌睿, 胡文彦, 乔玲. 高分辨快速液相色谱-串联质谱法测定肉制品中的刚果红[J]. *分析测试学报*, 2012, 31(6): 730–733.  
Ling R, Hu WY, Qiao L. Determination of congo red in meat products by rapid resolution liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Instrum Anal*, 2012, 31(6): 730–733.
- [13] Ferrer C, Lozano A, Ana A, *et al.* Overcoming matrix effects using the dilution approach in multiresidue methods for fruits and vegetables [J]. *J Chromatogr A*, 2011, 1218(42): 7634–7639.
- [14] Matuszewski BK, Constanzer ML, Chavez-Eng CM. Strategies for the assessment of matrix effect in quantitative bioanalytical methods based on HPLC-MS/MS [J]. *Anal Chem*, 2003, 75(13): 3019–3030.
- [15] DBS 32/012-2016 食品安全地方标准 食品中喹啉黄的检测 高效液相色谱法、液相色谱-质谱/质谱法[S].  
DBS 32/012-2016 Local food safety standards for the determination of quinoline yellow in foods by high performance liquid chromatography, liquid chromatography-mass spectrometry/mass spectrometry [S].

(责任编辑: 韩晓红)

### 作者简介



胡文彦, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测技术。  
E-mail: hu\_wy@qq.com



刘新梅, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测技术。  
E-mail: 1787090250@qq.com