

调查研究

调味品和食品天然色素中检出合成着色剂的研究分析

魏宇涛^{1,2}, 温泉^{1,2}, 唐维英³, 钟慈平^{1,2}, 余晓琴^{1,2}, 李澍才^{1,2}, 徐峰^{1,2}, 苏燕^{1,2}, 唐睿艺^{1,2}(1. 四川省食品检验研究院, 四川 成都 611731; 2. 国家市场监管重点实验室(白酒监管技术), 四川 成都 611731; 3. 四川省药品检验研究院, 药物制剂体内外相关性技术研究
国家药监局重点实验室, 四川 成都 611731)**摘要:**目的 建立高效液相色谱快速分析方法对调味品和天然色素中检出合成着色剂情况进行深入研究。**方法** 样品采用水直接超声提取, 以甲醇和 0.02 mol/L 乙酸铵溶液为流动相, 在 ShimNex C18 色谱柱(4.6 mm×150 mm, 5 μm)上分离, 经高效液相色谱仪检测, 外标法定量。**结果** 8种常用合成着色剂在 0.1~25 μg/mL 范围内线性良好(相关系数≥0.999 1), 在空白样品中不同加标水平下的平均回收率为 84.7%~105.3%, RSD 为 0.8%~5.7%。应用该方法在宣称添加天然色素的调味品以及萝卜红、甜菜红天然色素原料中均检出合成着色剂, 分别为胭脂红、日落黄、苋菜红, 且在天然色素原料中还同时检出两种及以上合成着色剂, 表明天然着色剂原料普遍检出合成着色剂, 部分原料中还存在小剂量、多着色剂化合物添加的情况。**结论** 该方法快速可靠, 对企业规避风险、合规使用着色剂以及相关职能部门有效监管着色剂提供了参考和建议, 同时对于保障食品安全具有十分重要的现实意义。**关键词:**天然色素; 调味品; 合成着色剂; 萝卜红; 高效液相色谱; 甜菜红**中图分类号:**R155 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-8456(2025)01-0048-07**DOI:**10.13590/j.cjfh.2025.01.007**Study on the non labeled synthetic colorants were detected in natural food
pigments and condiment**WEI Yutao^{1,2}, WEN Quan^{1,2}, TANG Weiying³, ZHONG Ciping^{1,2}, YU Xiaoqin^{1,2}, LI Shucai^{1,2},
XU Feng^{1,2}, SU Yan^{1,2}, TANG Ruiyi^{1,2}(1. Sichuan Institute of Food Inspection, Sichuan Chengdu 611731, China; 2. Key Laboratory of Baijiu
Supervising Technology for State Market Regulation, Sichuan Chengdu 611731, China; 3. Sichuan Institute
of Drug Control, NMPA Key Laboratory for Technical Research on Drug Products in Vitro and in Vivo
Correlation, Sichuan Chengdu 611731, China)**Abstract: Objective** The method of high performance liquid chromatography (HPLC) was developed to study the detection of synthetic colorants in natural pigments and condiment. **Methods** The analytes were extracted by direct ultrasonic extraction with water. The analytes were separated on a ShimNex C18 column (4.6 mm×150 mm, 5 μm) using a mobile phase comprising methanol and 0.02 mol/L ammonium acetate solution. The analytes were detected by HPLC and quantified by external standard method. **Results** The good linear relationship of peak area was observed for the 8 synthetic colorants used frequently with correlation coefficients ≥0.999 1 in the concentration range of 0.1-25 μg/mL, and the average recoveries of the blank samples at different added levels ranged from 84.7% to 105.3% with RSDs of 0.8%-5.7%. Application of the method, synthetic colorants were detected in condiment claimed to add natural pigments, as well as in radish red and betacyanin natural pigment raw materials, which were ponceau 4R, sunset yellow and amaranth, and more than two synthetic colorants were detected simultaneously in samples. Showed that synthetic colorants were generally detected in the raw materials of natural colorants, the situation of added low doses or multiple colorant compounds existed in some natural colorant raw materials. **Conclusion** The established methods is fast and reliable, and

收稿日期:2024-06-25

作者简介:魏宇涛 男 工程师 研究方向为食品安全 E-mail:314474984@qq.com

通信作者:李澍才 男 主管药师 研究方向为药物化学 E-mail:506814997@qq.com

余晓琴 女 正高级工程师 研究方向为食品安全 E-mail:113343838@qq.com

李澍才和余晓琴为共同通信作者

the suggestions and references for enterprises are provided to avoid risks, using colorants in compliance and effective supervision of relevant functional departments. At the same time, it is great practical significance for ensuring food safety.

Key words: Natural pigments; condiment; synthetic colorants; radish red; high performance liquid chromatography (HPLC); betacyanin

着色剂是一类重要的食品添加剂,具有增加食品色泽,提升消费者感官质量的作用。食品着色剂按来源可分为天然着色剂和化学合成着色剂两大类。天然色素是指主要从动物和植物组织及微生物(培养)中提取的色素,具有高营养价值和保健功能^[1-2],如萝卜红、甜菜红等。合成着色剂是指多以芳烃类化工产品为原料,经过磺化、卤化、偶氮化等有机反应制得,相较于天然色素,合成着色剂因其着色力强、稳定性好、成本低廉等特点,在食品领域被广泛应用,但对人体具有一定的危害作用,长期摄入有致癌风险^[3-6]。目前,食品安全国家标准 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》中规定,可在食品中使用的合成着色剂为 11 种,天然色素为 56 种^[7-8],可见天然色素具有广阔的应用前景。

随着消费水平的提高,人们对食品品质有了更高追求,“色香味”俱全,兼具“健康与天然”的食品逐渐受到消费者青睐,其中“色”更是排在首位^[9],食品中着色剂的种类、数量、含量以及是否天然健康等逐渐成为人们关注的焦点。因此,越来越多的食品企业逐渐使用天然色素代替合成着色剂,但受生产成本、稳定性以及监管力度不足的影响^[2,9-10],一些不法商家可能使用合成着色剂代替天然色素或在天然色素中掺杂其他非标识合成着色剂,从而谋取利益,给消费者健康和使用着色剂的相关企业带来巨大的风险。目前对于合成着色剂的研究主要集中在拓展检测适用范围和丰富检测手段等方面^[3-4,11-15],但前处理过程都比较繁琐且检测成本高,对于天然色素的研究主要集中在提取工艺和稳定性等方面^[9-10,16-17],鲜有将两者联系起来并对天然色素中可能含有非标示合成着色剂情况的研究报道。为了填补这一研究空白,本文建立了液相色谱快速分析方法测定天然色素中可能含有非标示合成着色剂,对于企业合理使用着色剂、有效规避风险以及保障食品安全具有较强的社会和经济意义。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 仪器设备

LC-20AT 型高效液相色谱仪,配二极管阵列检测器购自日本岛津公司;Agilent 1290-6495 超高效液

相色谱-三重四级杆串联质谱仪购自美国 Agilent 公司;X3R 高速离心机购自德国 Thermo Fisher Scientific 公司;IRM IDH30 超声仪购自德国 IRM Technology GmbH 公司;IKA MS3 涡旋混合器德国 IKA 公司。

1.1.2 材料与试剂

甲醇、乙酸铵均为色谱纯,美国 Thermo Fisher Scientific 公司;实验用水为超纯水。

8 种人工合成着色剂混合标准溶液:柠檬黄(CAS 号:1934-21-0)、苋菜红(CAS 号:915-67-3)、胭脂红(CAS 号:2611-82-7)、日落黄(CAS 号:2783-94-0)、诱惑红(CAS 号:25956-17-6)、酸性红(CAS 号:3567-69-9)、赤藓红(CAS 号:16423-68-0)、亮蓝(CAS 号:3844-45-9),浓度为 1 000 $\mu\text{g}/\text{mL}$,天津阿尔塔科技有限公司。萝卜红标准品(CAS 号:134-04-3)、甜菜红标准品(CAS 号:7659-95-2),10 mg,天津阿尔塔科技有限公司。

液体调味料、酱油、醋均购于超市,20 批天然着色剂原料(10 批萝卜红色素原料和 10 批甜菜红色素原料)均购自某网络平台。

1.2 方法

1.2.1 标准曲线制备

准确吸取 8 种混合标准溶液 1.0 mL 于 20 mL 容量瓶中,加水稀释至刻度,摇匀,得 8 种合成着色剂混合标准中间溶液,浓度为 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。从混合标准中间溶液中分别取 0.02、0.04、0.2、0.5、1.0、2.0 和 5.0 mL 于 10 mL 容量瓶中,加水定容至刻度;分别得到 0.1、0.2、1.0、2.5、5.0、10.0、25.0 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的混合标准品使用溶液,在设定的液相色谱条件下,以峰面积为纵坐标、浓度为横坐标制作标准曲线。将萝卜红标准品、甜菜红标准品全部转移至 500 mL 容量瓶中,加水溶解并定容至刻度,摇匀,得萝卜红、甜菜红标准溶液,浓度为 20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 。

1.2.2 样品处理

称取混匀试样 1 g 置于 50 mL 聚丙烯离心管中,加入约 8 mL 水溶液(酸性试样先用氨水调节 pH 至中性),涡旋 1 min,超声提取 20 min,8 000 r/min 离心 5 min(离心温度 4 $^{\circ}\text{C}$ 、离心半径 15 cm),取上清液于 10 mL 容量瓶中,用水定容至刻度,摇匀,过 0.45 μm 的微孔水系滤膜,供高效液相色谱仪检测。

1.2.3 仪器条件

液相仪器条件:ShimNexC18 色谱柱(4.6 mm $\times$

150 mm, 5 μ m); 流动相: 0.02 mol/L 乙酸铵溶液(A)-甲醇(B)(0~5 min: 5%B, 5~7 min: 5%~30%B, 7~12 min: 30%~35%B, 12~15 min: 35%~85%B, 15~17 min: 85%~5%B, 17~18 min: 5%B); 流速: 0.8 mL/min; 柱温: 40 $^{\circ}$ C; 外标注定量法检测波长与国家标准 GB 5009.35—2023《食品中合成着色剂的测定》中规定一致^[18]。在上述仪器条件下 8 种合成着色剂的色谱图分离效果和线性关系较好, 相关系数(R^2)均大于 0.999 1, 分别如图 1 和表 1 所示。胭脂红测定的液相色谱-质谱条件: Agilent Eclipse Plus C18 柱(150 $\times$ 3.0 mm, 1.8 μ m); 柱温: 35 $^{\circ}$ C; 进样量 20 μ L; 流动相: A: 5 mmol/L 乙酸铵, B: 甲醇; 流速 0.3 mL/min; 梯度洗脱: (0~1.0 min, 10%B; 1~3.0 min, 60%B; 3.0~6.0 min, 60%B; 6.0~18 min, 95%B; 18~22 min, 95%B), 电喷雾离子源(ESI⁺); 多反应监测模式(MRM); 毛细管电压: 3.5 kV; 干燥气温度: 290 $^{\circ}$ C; 干燥气流量: 11 L/min; 雾化气压力: 35 psi; 鞘气温度: 350 $^{\circ}$ C; 鞘气流量: 11 L/min。胭脂红监测离子对及碰撞能量参数见表 2。

1.2.4 回收率与精密度

在空白液体调味料、天然色素原料样品中分别

表 1 8 种合成着色剂的线性方程和相关系数

Table 1 Linear equations and correlation coefficients of 8 synthetic colorants

分析物	线性方程	相关系数 R^2	定量限/(mg/kg)
柠檬黄	$y=77\ 873.4x-1\ 461.88$	0.999 1	1.5
苋菜红	$y=60\ 495.4x-1\ 077.32$	0.999 5	1.0
胭脂红	$y=61\ 901.9x-1\ 463.23$	0.999 7	1.5
日落黄	$y=43\ 158.1x-553.138$	0.999 6	1.5
诱惑红	$y=34\ 038.6x-1\ 519.94$	0.999 4	1.0
酸性红	$y=34\ 324.2x-1\ 468.80$	0.999 7	1.0
赤藓红	$y=129\ 232x-7\ 473.78$	0.999 1	1.0
亮蓝	$y=260\ 396x-5\ 513.36$	0.999 5	1.0

表 2 胭脂红着色剂的质谱参数

Table 2 Mass spectrum parameters of the ponceau 4R colorant

分析物	母离子/ (m/z)	子离子/ (m/z)	碰撞电压/eV	采集模式	定量限/ (mg/kg)
胭脂红	539.3	222.9	40	positive	0.5
		158.3	50		
		130.1	40		

添加低、中、高 3 个浓度的目标分析物, 每个添加水平重复测定 6 次, 计算平均加标回收率和精密度, 其结果见表 3。8 种化合物各添加水平下的平均回收率为 84.7%~105.3%; RSD 为 0.8%~5.7%。方法的准确度和精密度均能满足定量分析的要求。

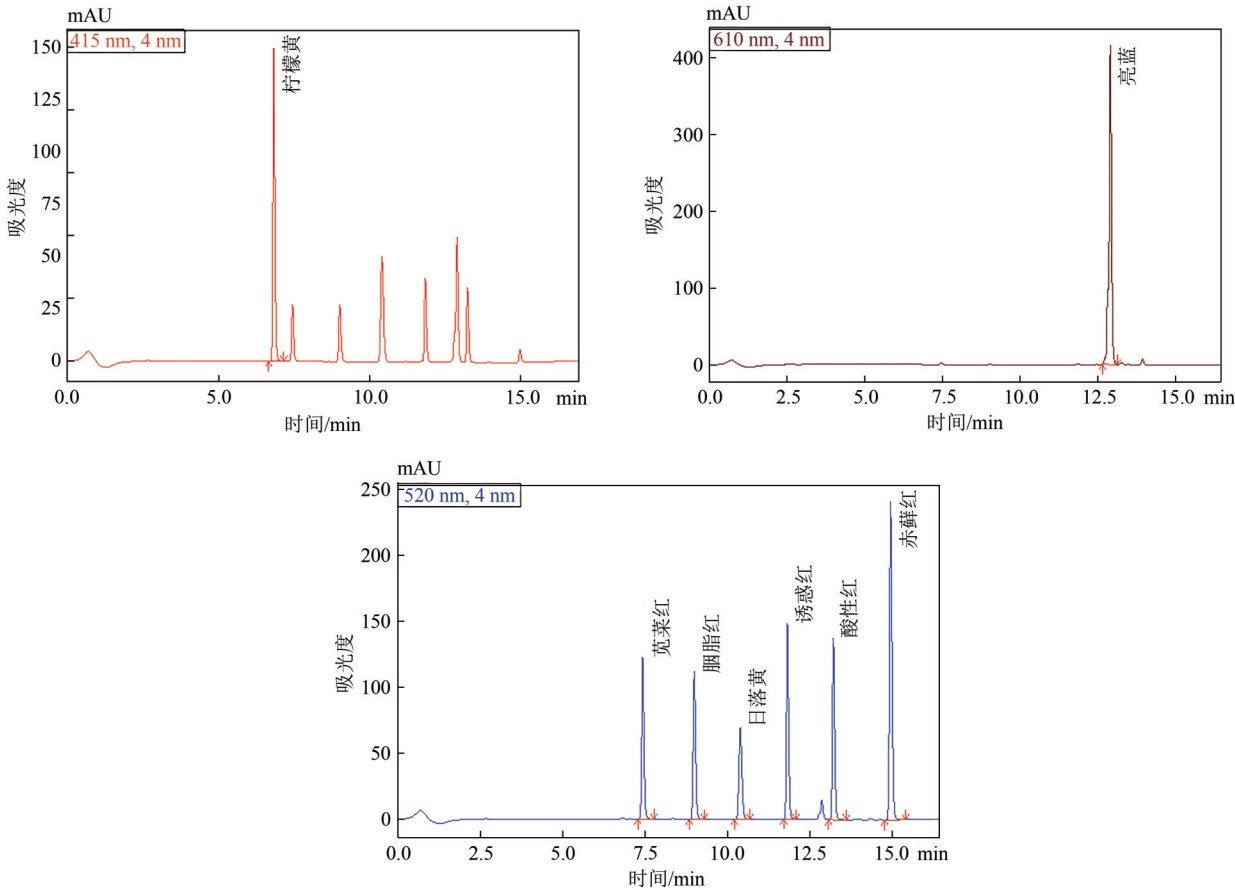


图 1 8 种合成着色剂标准溶液色谱图

Figure 1 Chromatogram of the 8 synthetic colorants standard solution

表3 8种目标分析物的回收率和精密度
Table 3 Recoveries and RSDs of 8 compounds

化合物	加标水平/(mg/kg)	液体调味品		天然色素	
		回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
柠檬黄	1.0、2.0、10.0	97.6、102.3、99.6	3.7、2.9、3.4	96、101.2、93.1	4.5、1.7、2.5
苋菜红	1.0、2.0、10.0	103.1、101.2、105.3	2.1、1.9、4.6	98.4、102、89.3	2.0、3.5、4.6
胭脂红	1.0、2.0、10.0	92.5、91.9、96.5	3.1、4.4、2.9	97.5、96、96.7	2.1、1.7、4.5
日落黄	1.0、2.0、10.0	93.9、99.1、102.2	2.3、1.1、4.5	101.3、98.3、94.8	0.8、2.3、5.2
诱惑红	1.0、2.0、10.0	98.8、102.7、100.7	3.2、3.3、1.5	102、99.2、101.4	2.2、3.7、4.0
酸性红	1.0、2.0、10.0	93.8、96.3、94.5	2.6、4.7、1.8	94.9、102.1、95	4.8、1.9、3.4
赤藓红	1.0、2.0、10.0	88.4、85、89.1	4.7、5.0、3.9	84.7、88.3、85.2	5.7、4.9、4.6
亮蓝	1.0、2.0、10.0	96、102.9、104.2	1.7、3.2、3.9	92.8、103.1、97.3	2.7、3.1、4.1

2 结果与讨论

2.1 调味品中合成着色剂检出结果分析

采用高效液相色谱快速分析方法,发现 1 批液体调味料、1 批醋、2 批酱油中都检出了胭脂红着色剂,结果如表 4 所示,其中 1 批液体调味料和 1 批醋标签上明确标示添加的是萝卜红色素,其他两批酱油标签上明确没有添加任何着色剂,液体调味料样品(调味醋)中胭脂红及其标准品色谱峰如图 2 所示。根据 GB 2760—2014《食品安全国家标准 食

品添加剂使用标准》中规定液体调味料、醋、酱油中均不得添加合成着色剂^[7]。

表4 调味品样品中检出胭脂红结果分析

Table 4 Analysis of the ponceau 4R detected in condiment samples			
样品名称	样品类别	胭脂红/(g/kg)	配料表是否标识着色剂
调味醋	液态复合调味料	0.32	萝卜红
大红浙醋	食醋	0.18	萝卜红
特红老抽酱油	酱油	0.022	无
特红老抽酱油	酱油	0.016	无

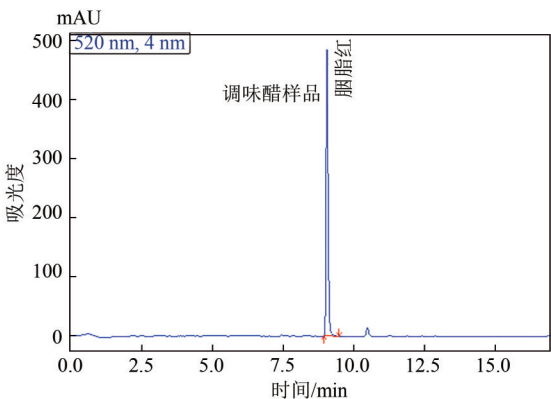
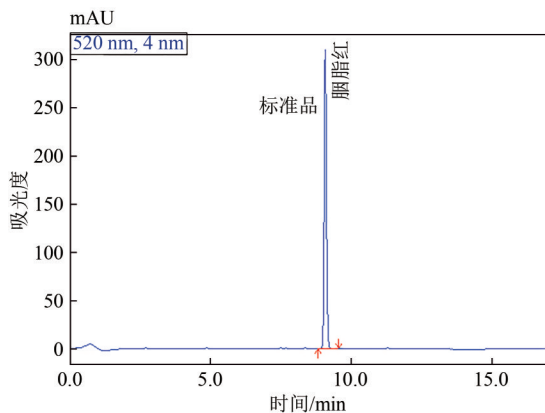


图2 胭脂红标准品和调味醋样品中胭脂红色谱图

Figure 2 Chromatogram of the ponceau 4R in standards and seasoned vinegar samples

2.1.1 胭脂红的质谱确证

在 1.2.3 仪器条件下,将甜菜红标准溶液、胭脂红标准溶液和萝卜红标准溶液分别注入液相色谱仪,发现甜菜红标准溶液出峰时间较早,与胭脂红不存在干扰情况,其色谱图如图 3 所示,而萝卜红标准溶液与胭脂红标准溶液出峰时间却几乎一致,此外,胭脂红的最大吸收波长约为 509 nm,而萝卜红最大吸收峰也约为 520 nm^[16]且两者的光谱很相似,单纯通过紫外光谱难以将其完全区分开,其出峰时间及光谱图如图 4 所示。为了定性准确以及防止样品中假阳性的结果出现,选择液相色谱-串联质谱仪进行进一步确证,其结果表明样品中胭脂红的碎片离子、定性离子丰度比与胭脂红标准品一致,其胭脂红标准品和液体调味料样品(调味醋)中

胭脂红的定量离子对色谱图如图 5 所示。

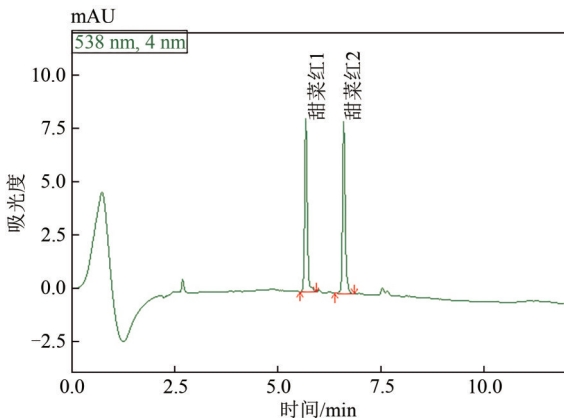


图3 甜菜红标准品色谱图

Figure 3 Chromatogram of betacyanin standards

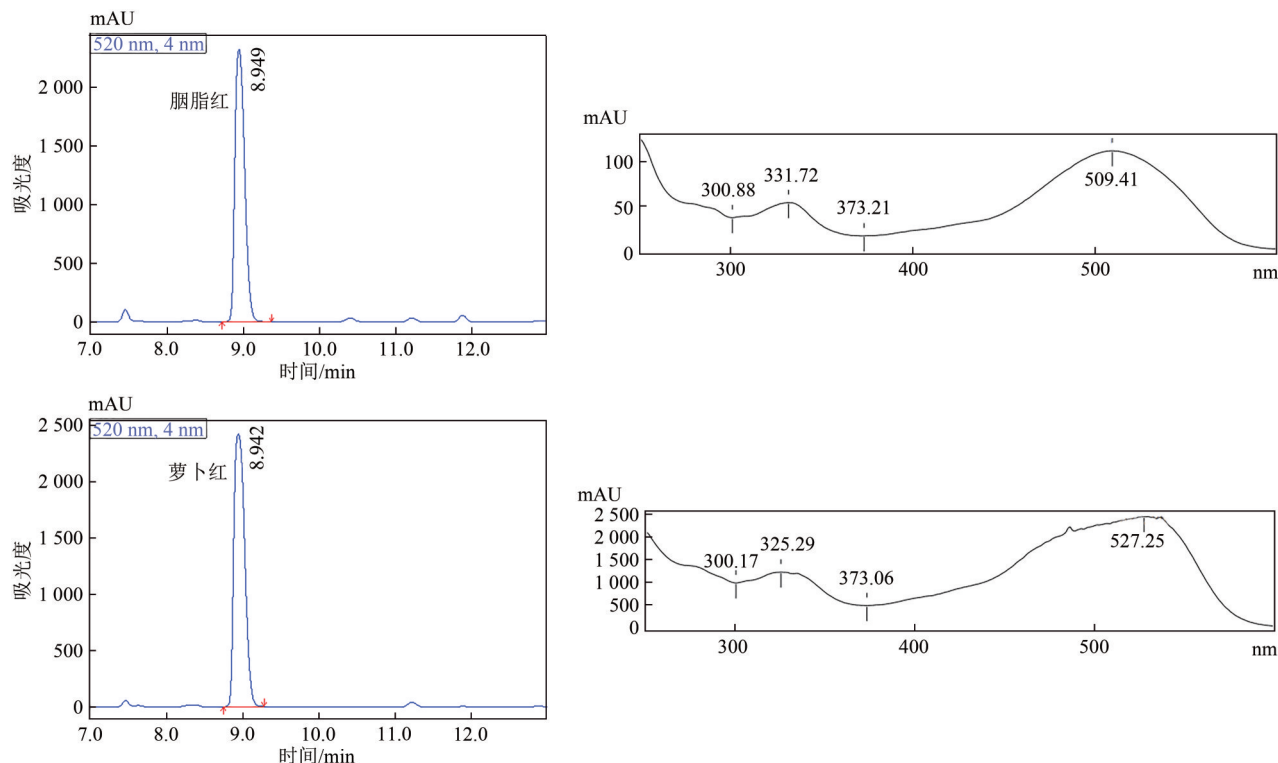


图4 胭脂红和萝卜红色谱图及光谱图

Figure 4 Chromatogram and spectrogram of the ponceau 4R and radish red

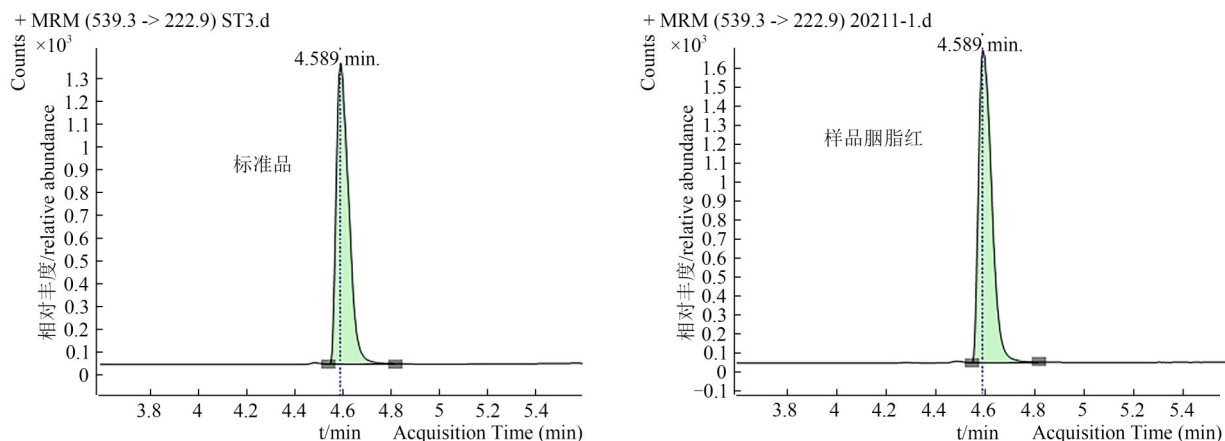


图5 标准品和调味醋样品中胭脂红的定量离子对色谱图

Figure 5 Quantitative ion pair chromatograms of the ponceau 4R in standards and seasoned vinegar samples

针对上述调味品样品中不同程度检出胭脂红着色剂的情况,两批酱油中检出胭脂红值相对不高,可能是企业为了增加产品色泽加入了少量合成着色剂或者生产过程中污染所致,而配料表标示添加萝卜红色素而实际检出较高含量胭脂红着色剂的两批样品,相关企业都坚称添加的是萝卜红而非胭脂红着色剂,通过排查分析后发现可能是企业购买的萝卜红色素原料存在问题。

2.2 天然色素原料中合成着色剂检出结果分析

2.2.1 天然色素原料中合成着色剂检出情况

为了进一步研究天然色素中含有非标示合成着色剂情况,从网上购买了20批不同厂家的萝卜

红、甜菜红天然色素原料,采用建立的高效液相色谱快速分析方法对其进行检测,结果如表5所示,其中20批天然着色剂中有8批检出合成着色剂,检出率为40%,检出的化合物有胭脂红、苋菜红、日落黄,其中检出两种及以上合成着色剂的原料样品有6批,占有检出着色剂样品的75%。

2.2.2 天然色素原料中检出合成着色剂原因分析

由上述检测结果可知,天然色素萝卜红、甜菜红原料中掺杂合成着色剂情况比较严重,部分原料中还存在小剂量、多着色剂化合物添加的情况,其主要原因有两个:一方面是相关生产企业生产工艺有缺陷、质量控制不严等,天然色素的提取方法大

表5 天然色素原料中非标示合成着色剂检出情况
Table 5 The detection of non-labeled synthetic colorants in natural pigment raw materials

原料	编号	胭脂红/(g/kg)	苋菜红/(g/kg)	日落黄/(g/kg)
萝卜红	22261	85	1	3.5
萝卜红	22264	45	—	—
萝卜红	22295	29	—	80
甜菜红	22304	106	—	2
萝卜红	22305	94	0.96	2.1
甜菜红	22307	97	—	1.7
甜菜红	22633	100	1.4	—
萝卜红	22634	613	—	—

部分都采用有机溶剂直接提取,其工艺简单,提取的色素质量和纯度无法保证,同时天然色素的稳定性相较于合成着色剂差,受温度、光照、pH 等影响较大,对储存和加工环境要求苛刻,在食品加工过程中容易被氧化破坏,如甜菜红色素本身具有抗氧化、抗菌的功效,但在高温和碱性条件下,红色的甜菜色素中的醛二胺键会发生水解,变成黄色^[9];另一方面是天然色素成本高、着色能力较人工合成着色剂差,导致不法商家向天然色素原料中掺杂合成着色剂增强着色能力、以假乱真,谋取利益。

2.2.3 天然色素原料中检出合成着色剂潜在的风险及安全监管建议

目前已有许多针对天然色素提取以及稳定性方面的研究,但都没有一种较理想的方法既可以降低成本又能获得稳定的天然色素。不仅天然色素中存在掺杂未标示合成着色剂的情况,合成着色剂原料中同样存在该现象,在日常检验中发现一批天津某实业公司生产的食品添加剂胭脂红辅料中,除检出胭脂红着色剂外,还检出了苋菜红(0.059 8 g/kg)和酸性红(0.060 8 g/kg);在陕西某生物技术有限公司用于生产保健食品的樱桃提取物中,也检测出了胭脂红着色剂(0.4 g/kg),而该保健品声称未添加任何着色剂。

着色剂原料中掺杂未标示合成着色剂,会传导至最终产品本身,对消费者健康以及下游相关食品生产企业会带来巨大的风险。对于相关食品生产企业来说,应该重点关注和控制着色剂原料的质量,包括着色剂的纯度、是否含有非标示着色剂等,只有从源头上解决着色剂原料是否含有非标示着色剂等问题,才能有效保证相关企业安全使用着色剂以及规避食品安全风险。

3 结论

本文建立的高效液相色谱快速分析方法准确可靠、检测时间短,并应用于调味品以及天然色素样品中含有其他非标识合成着色剂研究分析,结果

表明天然着色剂原料中掺杂其他合成着色剂情况比较严重,部分原料中还存在小剂量、多着色剂化合物添加的情况,其主要原因可能是生产工艺缺陷、质量控制不严以及成本高等,而原料质量问题会传导至最终产品本身,给消费者健康以及下游相关食品生产企业带来巨大的安全隐患。本研究提供的快速检测分析方法以及对天然色素中含有其他非标识合成着色剂的分析能为企业有效规避食品安全风险以及相关政府职能部门有效监管着色剂提供参考和依据,同时对于保障食品安全具有非常重要的现实意义。未来天然色素仍将是关注的重点,如何克服其生产工艺缺陷、提高稳定性和着色能力、降低成本以及扩大应用范围是今后一段时间食品行业研究的热点和重点。

参考文献

[1] 汪文秀. 人工合成色素对人体的危害及天然色素的应用前景[J]. 食品安全导刊, 2019(25): 72-73.
WANG W X. Harm of artificial pigments to human body and application prospect of natural pigments[J]. China Food Safety Magazine, 2019(25): 72-73.

[2] 廖若宇, 孙悦, 刘新保, 等. 食品中合成着色剂的提取方式及测定方法研究进展[J]. 食品工业科技, 2020, 41(20): 342-350.
LIAO R Y, SUN Y, LIU X B, et al. Research progress on extraction and determination of synthetic colorants in food[J]. Science and Technology of Food Industry, 2020, 41(20): 342-350.

[3] 石璐, 高天蓝星, 刘颖, 等. 复杂食品基质中12种人工色素高通量检测技术研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(7): 296-304.
SHI L, GAO T L X, LIU Y, et al. High throughput detection of 12 kinds of artificial pigments in complex food substrates[J]. Journal of Food Safety & Quality, 2023, 14(7): 296-304.

[4] 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.
GUO Y H, ZHAO L X, KE Z H, et al. Determination of colorants and industrial dyes in food by high performance liquid chromatography[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(17): 259-263.

[5] LI R, WANG Y, TAN J, et al. Simultaneous determination of synthetic edible pigments in beverages by titania-based RP-HPLC[J]. Arabian Journal of Chemistry, 2020, 13(2): 3875-3881.

[6] 龚蕾, 韩智, 彭青枝, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时检测肉制品中17种合成色素的含量[J]. 食品工业科技, 2023, 44(21): 309-315.
GONG L, HAN Z, PENG Q Z, et al. Determination of 17 kinds of synthetic colorants in meat products by UPLC-MS/MS [J]. Science and Technology of Food Industry, 2023, 44(21): 309-315.

[7] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品安全国家标准食品添加剂使用标准: GB 2760—2014[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014.

- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard-standards for uses of food additives: GB 2760—2011[S]. Beijing: Standards Press of China, 2014.
- [8] 戚平, 刘佳, 毛新武, 等. 食品中色素检测的研究进展[J]. 食品与机械, 2018, 34(11): 167-173.
- QI P, LIU J, MAO X W, et al. Progresses on the detection of the food colours[J]. Food & Machinery, 2018, 34(11): 167-173.
- [9] 王秀莲, 熊婕, 王军. 天然食用色素在食品中应用及稳定性研究[J]. 工业微生物, 2024, 54(1): 93-99.
- WANG X L, XIONG J, WANG J. Research progress of natural food coloring in food[J]. Industrial Microbiology, 2024, 54(1): 93-99.
- [10] 王怡龄, 赵云蛟, 吴昊天, 等. 多种水溶性天然色素的热稳定性研究[J]. 中国食品添加剂, 2015(10): 88-92.
- WANG Y L, ZHAO Y J, WU H T, et al. Study on thermal stability of water-soluble natural pigment[J]. China Food Additives, 2015(10): 88-92.
- [11] 祝世军, 高卓瑶, 蒋玲波, 等. HPLC-MS/MS法测定水产品中11种水溶性合成着色剂[J]. 食品工业, 2023, 44(6): 316-321.
- ZHU S J, GAO Z Y, JIANG L B, et al. Simultaneous determination of 11 kinds of water-soluble synthetic colorants in aquatic products by ultra-performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry[J]. The Food Industry, 2023, 44(6): 316-321.
- [12] 孙珊珊, 王明栋, 赵慧男, 等. 盐析辅助-高效液相色谱快速测定糕点中的禁用色素喹啉黄[J]. 中国食品卫生杂志, 2023, 35(2): 198-203.
- SUN S S, WANG M D, ZHAO H N, et al. Determination of banned pigment quinoline yellow in pastries by salting out assisted-high performance liquid chromatography[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2023, 35(2): 198-203.
- [13] 李道霞, 黄丽娟, 唐昌云, 等. 阴离子固相萃取-HPLC法测定肉制品中13种合成色素[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(17): 157-164.
- LI D X, HUANG L J, TANG C Y, et al. Determination of 13 synthetic colorants in meat products based on anionic solid phase extraction high performance liquid chromatography[J]. Food Research and Development, 2021, 42(17): 157-164.
- [14] 李青松, 张雪梅. 一种用于测定食品中合成着色剂含量的液相检测方法[J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(3): 296-307.
- LI Q S, ZHANG X M. A method for determination of artificial colorants in food by high performance liquid chromatography[J]. China Food Additives, 2023, 34(3): 296-307.
- [15] 冉丹, 罗苏苏, 张可欣, 等. HPLC法检测蜜饯中20种合成着色剂含量[J]. 食品工业科技, 2022, 43(16): 281-289.
- RAN D, LUO S S, ZHANG K X, et al. Determination of 20 kinds of synthetic colorants in candied fruit by HPLC[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(16): 281-289.
- [16] 熊勇, 李冬梅, 张军兵, 等. 萝卜红色素的提取工艺及其稳定性的研究[J]. 中国食品添加剂, 2019, 30(3): 75-80.
- XIONG Y, LI D M, ZHANG J B, et al. Study on the extraction and stability of red radish pigment[J]. China Food Additives, 2019, 30(3): 75-80.
- [17] 何敏, 苗侨伟, 刘伟, 等. 甜菜红素的提取优化及稳定性研究[J]. 中国调味品, 2023, 48(1): 187-190, 209.
- HE M, MIAO Q W, LIU W, et al. Study on extraction optimization and stability of betacyanin[J]. China Condiment, 2023, 48(1): 187-190, 209.
- [18] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 食品安全国家标准食品中合成着色剂的测定: GB 5009.35—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. National food safety standard-Determination of synthetic colorants in food: GB 5009.35—2023[S]. Beijing: Standard Press of China, 2023.