

DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20250212005

引用格式: 李彪, 张岩岩, 徐宏岩. 全自动固相萃取-液相色谱法同时测定饮料中的 11 种合成着色剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(13): 155–161.

LI B, ZHANG YY, XU HY. Simultaneous determination of 11 kinds of synthetic colorants in beverages by automated solid-phase extraction-liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(13): 155–161. (in Chinese with English abstract).

全自动固相萃取-液相色谱法同时测定饮料中的 11 种合成着色剂

李 彪¹, 张岩岩², 徐宏岩^{1*}

[1. 阜阳市产品质量监督检验所, 阜阳 236000;
2. 国家再生有色金属橡塑材料质量监督检验中心(安徽), 阜阳 236000]

摘 要: 目的 建立全自动固相萃取-液相色谱法同时测定饮料中 11 种合成着色剂含量的方法。**方法** 取 2 g 饮料试样, 用氨水乙醇溶液提取, 借助全自动固相萃取仪依次进行活化、上样、淋洗、洗脱、收集操作, 氮吹复溶后采用液相色谱仪[二极管阵列多波长多通道同时检测, 检测波长 415 nm(柠檬黄、喹啉黄), 520 nm(新红、苋菜红、胭脂红、日落黄、诱惑红、酸性红和赤藓红), 610 nm(靛蓝、亮蓝)]; 流动相: A 为 20 mmol/L 乙酸铵溶液, B 为甲醇, 流速 1 mL/min 梯度洗脱]上机测定。**结果** 在 0.2~10.0 $\mu\text{g/mL}$ 质量浓度范围内, 11 种合成着色剂的浓度与峰面积呈现良好线性关系, 线性相关系数均大于 0.99, 检出限符合 GB 5009.35—2023《食品安全国家标准 食品中合成着色剂的测定》要求。标准加入法回收试验中, 回收率处于 91.3%~106.0%, 测定值的相对标准偏差($n=6$)均小于 5.0%。将该方法应用于长三角食品类检测机构饮料中的胭脂红、日落黄能力验证, 胭脂红含量为 5.86 mg/kg, 日落黄含量为 4.31 mg/kg, 其余合成着色剂均未检出。**结论** 该方法前处理富集效果好、自动化程度高、操作简单、稳定性好、时间短、效率高、灵敏性好, 准确度高、重现性好, 适用于大批量饮料中合成着色剂的测定分析。

关键词: 全自动固相萃取法; 液相色谱法; 合成着色剂; 饮料

Simultaneous determination of 11 kinds of synthetic colorants in beverages by automated solid-phase extraction-liquid chromatography

LI Biao¹, ZHANG Yan-Yan², XU Hong-Yan^{1*}

[1. Fuyang Institute of Product Quality Supervision & Inspection, Fuyang 236000, China; 2. National Recycled Nonferrous Metals Rubber & Plastic Materials Quality Supervision and Inspection Center (Anhui), Fuyang 236000, China]

ABSTRACT: Objective To establish a method for the simultaneous determination of 11 kinds of synthetic colorants in beverages by automated solid-phase extraction-liquid chromatography. **Methods** The 2 g of the beverage sample was taken, it was extracted with an ammonia ethanol solution, and operations such as activation,

收稿日期: 2025-02-12

第一作者: 李彪(1988—), 男, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 1346893469@qq.com

*通信作者: 徐宏岩(1985—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: 308326640@qq.com

sample loading, washing, eluting and collection were performed in turn with the help of a fully automatic solid-phase extraction instrument. After nitrogen blowing and redissolution, the liquid chromatography instrument was used for on-line determination [diode multi-wavelength multi-channel simultaneous detection, detection wavelengths 415 nm (citrus yellow and quinoline yellow), 520 nm (new red, amaranth red, carmine, sunset yellow, temptation red, acidic red, and red algae), 610 nm (indigo and bright blue); mobile phase: A 20 mmol/L ammonium acetate solution, B methanol, flow rate 1 mL/min, gradient elution]. **Results** In the range of 0.2–10.0 µg/mL, the mass concentration of 11 kinds of synthetic colorants showed good linear relationship with peak area, and the linear correlation coefficients were all greater than 0.99, the limit of detection met the requirements of GB 500935—2023 *National food safety standard-Determination of synthetic colorants in food*. In the standard addition method recovery test, the recovery rates were between 91.3% and 106.0%, and the relative standard deviation of the determination value ($n=6$) was less than 5.0%. This method was applied to the ability verification of sunset yellow and carmine in beverages in food testing institutions in the Yangtze River Delta. The content of carmine was 5.86 mg/kg, and the content of sunset yellow was 4.31 mg/kg. The other synthetic colorants were not detected. **Conclusion** This method achieve good enrichment effect, high automation degree, simple operation, good stability, short time, high efficiency, good sensitivity, high accuracy and good reproducibility, and is suitable the determination and analysis of synthetic colorants in a large number of beverages.

KEY WORDS: automatic solid-phase extraction; liquid chromatography; synthetic colorant; beverage

0 引言

着色剂是使食品赋予色泽和改善食品色泽的物质。在饮料生产中被广泛使用^[1-2], 但合成色素不能向人体提供营养物质, 某些合成色素会危害人体健康, 具有遗传毒性及联合毒性^[3-6]诱发中毒, 致癌和致突变^[7-11]。我国制定了相关食品添加剂使用标准 GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》, 着色剂在饮料中使用要求见表 1。

表 1 饮料中作色剂使用分类及限量
Table 1 Classification and limitation of the use of colorants in beverages

着色剂名称	使用范围	最大限量 (g/kg)
赤藓红及其铝色淀	果蔬汁(浆)饮料、碳酸饮料、风味饮料	0.05
靛蓝及其铝色淀	果蔬汁(浆)饮料、碳酸饮料、风味饮料	0.1
喹啉黄和酸性红	饮料中不得使用	不得使用
亮蓝及其铝色淀	果蔬汁(浆)饮料、碳酸饮料、风味饮料、含乳饮料	0.025
	固体饮料	0.2
柠檬黄及其铝色淀	包装饮用水除外	0.1
日落黄及其铝色淀	果蔬汁(浆)饮料、碳酸饮料、风味饮料	0.1
苋菜红及其铝色淀	果蔬汁(浆)饮料、碳酸饮料、风味饮料	0.05
新红及其铝色淀	果蔬汁(浆)饮料、碳酸饮料、风味饮料	0.05
胭脂红及其铝色淀	果蔬汁(浆)饮料、碳酸饮料、风味饮料	0.05
诱惑红及其铝色淀	包装饮用水除外	0.1

根据近几年不同地方市场监管发布的食品安全监督抽检信息公告显示^[12-16], 仍有部分饮料生产企业为了更好的产品卖相和更高的售卖价格, 在利益驱使下超范围超限量使用合成作色剂的案例时有发生。为了加强食品安全风险隐患排查, 确保食品安全, 规范市场合规使用合成着色剂, 安徽省食品安全监督抽检实施细则(2024 年版)检测要求中规定了果蔬汁类及其饮料和其他饮料(包括风味饮料)中视色泽而定检测合成着色(苋菜红、胭脂红、柠檬黄、日落黄、亮蓝)监管的要求, 同时细则中规定 11 种合成作色剂的检测方法为 GB 5009.35—2023《食品安全国家标准 食品中合成着色剂的测定》。GB 5009.35—2023 发布时间为 2023 年 9 月 6 日发布, 2024 年 3 月 6 日实施。新标准与 GB 5009.35—2016 标准相比, 增加了靛蓝、诱惑红、喹啉黄和酸性红 4 种合成着色剂, 增加和明确了适用基质种类, 修改了样品前处理方法和仪器条件等, 有文献研究高效液相色谱法同时测定食品中 9 种合成作色剂的方法^[17], 目前已无法满足监管要求和标准规定。近些年全自动样品前处理仪器的更新可极大程度上解决部分检测机构人员与任务严重不匹配问题, 特别是新标准实施后, 准确检测和分离食品中的着色剂对于保障食品安全和质量具有重要意义。然而, 目前在着色剂检测过程中仍面临诸多挑战, 尤其是在分离多种着色剂、提高检测准确度以及实现高效自动化检测方面。本研究旨在探讨如何更有效地分离 11 种常见着色剂, 并通过优化检测方法和引入自动化设备全自动固相萃取仪^[18], 提升检测的准确性和效率, 以期为相关领域的研究和应用提供参考依据。

全自动固相萃取仪具有高通量、低成本、效率高、自

动化程度高、连续运行可靠性强、灵活性大、除杂和富集效果好、人为干扰不稳定因素少等优点^[19-20]。本研究聚焦于着色剂检测的关键问题,旨在通过系统的试验和分析,为食品检测领域提供一种高效、准确且自动化程度高的检测方法。研究成果有望推动着色剂检测技术的进一步发展,为食品安全监管提供有力支持,基于近半年的样品检测工作,现将积累的实践经验进行总结与分享,供同行参考与借鉴。

1 材料与方法

1.1 仪器、材料与试剂

U3000 高效液相色谱仪(配二极管阵列检测器)(美国赛默飞世尔科技有限公司); Raykol Fotector Plus 全自动固相萃取仪、RayCure WAX 混合型弱阴离子交换柱(150 mg/6 mL)(睿科集团股份有限公司); BSA224S 万分之一电子天平[赛多利斯科学仪器(北京)有限公司]; H1850R 台式高速冷冻离心机(湖南湘仪实验室仪器开发有限公司); C₁₈ 液相色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)(北京迪科马科技有限公司); DC 系列 12 位水浴氮吹仪(上海安谱实验科技股份有限公司)。

实验样品由 2024 年度长三角食品类检测机构能力验证组织机构提供。

10 种(柠檬黄、新红、苋菜红、胭脂红、日落黄、诱惑红、亮蓝、酸性红、喹啉黄、赤藓红)着色剂混合标准储备溶液(质量浓度 1000 μg/mL)、靛蓝标准品(纯度 90.7%)(天津阿尔塔科技有限公司); 甲醇(色谱纯,天津氏安科技发展有限公司); 乙醇、氨水(优级纯,国药集团化学试剂有限公司); 乙酸铵(色谱级,上海安谱实验科技股份有限公司); 试验室用水为超纯水。

1.2 仪器工作条件

1.2.1 全自动固相萃取条件

为了获得最优的全自动固相萃取条件^[21-22](表 2),本研究分别探究了 2%氨化甲醇、5%氨化甲醇和 8%氨化甲醇洗脱能力对色素加标回收率的影响。此处为最优全自动固相萃取条件:采用免疫亲和柱模式,柱插杆下插距离为 4.5 cm,依次用 6 mL 甲醇、6 mL 超纯水活化固相萃取小柱,将净化液以 2 mL/min 的速度加载到固相萃取小柱上,依次用 6 mL 的 2%甲酸水和甲醇淋洗小柱,柱推后用 8 mL 5%氨化甲醇分两次洗脱小柱,先用 4 mL 氨化甲醇以 4 mL/min 的速度快速覆盖柱床,然后用 4 mL 氨化甲醇以 0.8 mL/min 的速度洗脱小柱,收集洗脱液。

1.2.2 色谱条件

参考文献[23-24]获得优化的多种色素同时检测的色谱条件。色谱选择条件为:色谱柱: C₁₈ (250 mm×4.6 mm, 5 μm); 进样量 10 μL; 柱温 30 ℃; 检测器: 二极管阵列检测器检测

波长范围(400~800 nm),检测波长 415 nm(柠檬黄、喹啉黄), 520 nm(新红、苋菜红、胭脂红、日落黄、诱惑红、酸性红和赤藓红), 610 nm(靛蓝、亮蓝); 流动相: A 为 20 mmol/L 乙酸铵溶液, B 为甲醇,梯度设置详见表 3。

表 2 Fotector Plus 全自动固相萃取仪仪器条件
Table 2 Instrument conditions of Fotector Plus auto solid phase extractor

命令	溶剂	排出	流速 /(mL/min)	体积 /mL
清洗样品通道	甲醇	有机废液	5	16
活化	甲醇	有机废液	5	6
活化	水	无机废液	5	6
上样	-	有机废液	2	15
清洗样品瓶	2%甲酸水溶液	无机废液	60	6
淋洗	甲醇	有机废液	5	6
气推	-	有机废液	30	20
清洗注射泵	5%氨水甲醇	有机废液	5	6
洗脱	5%氨水甲醇	收集	4	4
暂停	-	收集	-	-
洗脱	5%氨水甲醇	收集	0.8	4
气推	-	收集	1	3
气推	-	收集	40	10
结束	-	-	-	-

注: -表示无此项。

表 3 流动相梯度条件
Table 3 Gradient conditions of the mobile phase

时间/min	流速/(mL/min)	A/%	B/%
-8.00	1.00	82	18
0.00	1.00	82	18
5.00	1.00	70	50
12.00	1.00	55	45
19.00	1.00	35	65
22.00	1.00	25	75
27.00	1.00	2	98

1.3 试验方法

准确称取 2 g 样品于 50 mL 塑料离心管中,加入 25 mL 的乙醇氨水,涡旋 1 min, 5000 r/min 离心 5 min,用乙醇氨水溶液定容至 50 mL,混匀,准确吸取 10 mL 上清液于 15 mL 离心管中,于 50 ℃下氮吹浓缩至 3 mL 左右,分 3 次共加入 10 mL 5%甲醇水溶液溶解,经全自动固相萃取仪净化(全自动固相萃取仪条件见 1.2.1),净化后于 50 ℃下氮吹至近干,准确加入 2 mL pH 为 9.0 乙酸铵缓冲溶液溶解^[25],溶液过针筒过滤器,孔径 0.45 μm 的滤膜过滤,弃去 2~5 滴初滤液,取过滤液上液相色谱测试^[26]。

1.4 数据处理

采用 Chromeleon 7 软件进行原始数据处理并进行统计学数据处理分析和制图, Microsoft 2010 系列软件制表, 样品进行 6 平行试验。

2 结果与分析

2.1 不同洗脱液的选择

按照 GB 5009.35—2023 和文献[27–28]中规定的色谱条件和试验前处理方法, 分别使用 2%氨化甲醇、5%氨化甲醇和 8%氨化甲醇对样品进行洗脱效果试验。11 种合成作色剂在加标量为 10 mg/kg 的水平下, 2%氨化甲醇进行洗脱平均回收率范围在 70.5%~99.6%, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)范围在 3.5%~4.7%; 5%氨化甲醇进行洗脱平均回收率范围在 95.7%~102.0%, RSDs 范围在 2.5%~3.7%; 8%氨化甲醇进行洗脱平均回收率范围在 96.4%~106.0%, RSDs 范围在 2.9%~4.3%。具体到各种作色剂的加标回收率和 RSDs 见表 4。

表 4 不同洗脱液加标回收试验结果
Table 4 Results of the spiked recovery tests of different eluents

化合物	加标量 (mg/kg)	2%氨化甲醇		5%氨化甲醇		8%氨化甲醇	
		平均 回收率/%	RSDs /%	平均 回收率/%	RSDs /%	平均 回收率/%	RSDs /%
柠檬黄	10	98.0	4.3	98.6	3.7	101.0	3.9
喹啉黄	10	97.5	3.9	95.8	3.4	102.0	4.1
新红	10	96.2	4.1	102.0	3.5	96.4	3.7
苋菜红	10	99.6	4.2	101.0	3.6	98.5	4.3
胭脂红	10	97.3	4.5	100.0	3.6	101.0	3.7
日落黄	10	92.6	4.6	96.9	3.6	99.6	3.9
诱惑红	10	95.4	4.3	95.7	3.2	103.0	3.8
酸性红	10	80.3	4.1	96.0	3.4	102.0	3.7
赤藓红	10	70.5	4.7	95.8	3.6	98.6	3.7
靛蓝	10	88.6	3.5	102.0	2.5	106.0	2.9
亮蓝	10	80.2	3.9	98.0	3.6	105.0	3.8

表 4 表明, 使用 2%氨化甲醇作为洗脱液, 11 种色素中大部分色素的回收率符合 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》质量控制标准要求(被测组分含量在 1~100 mg/kg, 回收率范围在 90%~110%), 但酸性红和赤藓红, 靛蓝和亮蓝的的加标回收率偏低。使用 8%氨化甲醇作为洗脱液和使用 5%氨化甲醇作为洗脱液, 从加标回收的效果来看几乎一致, 但根据整体的加标回收率 RSDs 范围和日常大批量检测和质控结果以及能力验证结果实践证明, 5%氨化甲醇作为洗脱液效果更优, 因此本研究最终确定使用 5%氨化甲醇作为洗脱液。

2.2 色谱行为

按照仪器工作条件测定标样。1.0 μg/mL 混合标准溶液, 各合成作色剂在波长 415 nm(柠檬黄、喹啉黄), 520 nm(新红、苋菜红、胭脂红、日落黄、诱惑红、酸性红和赤藓红), 610 nm(靛蓝、亮蓝)检测得到色谱峰如图 1~3: 在 415 nm 波长通道下, 柠檬黄及 4 种喹啉黄同分异构体都能分离完全且色谱峰型对称; 在 520 nm 波长通道下, 新红、苋菜红、胭脂红、日落黄、诱惑红、酸性红和赤藓红都能分离完全且色谱峰型对称; 在 610 nm 波长通道下, 靛蓝、亮蓝能分离完全且色谱峰型对称。

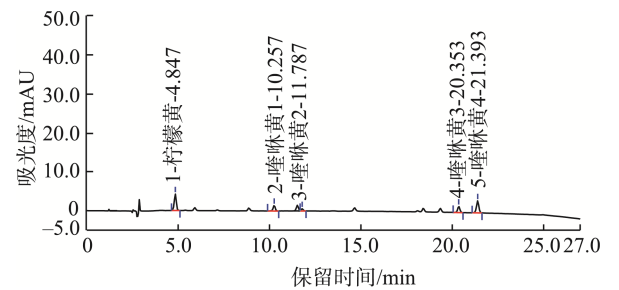


图 1 混合标准溶液的色谱图(415 nm)
Fig.1 Chromatogram of the mixed standard solution (415 nm)

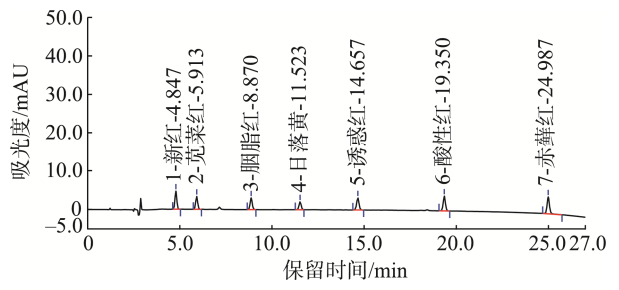


图 2 混合标准溶液的色谱图(520 nm)
Fig.2 Chromatogram of the mixed standard solution (520 nm)

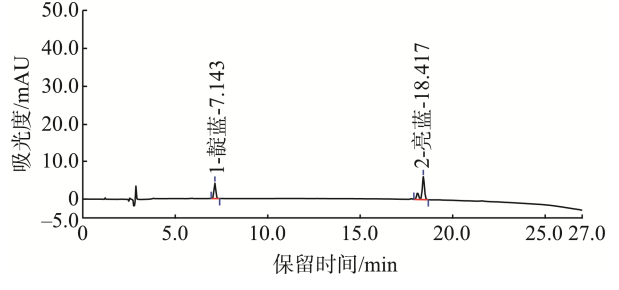


图 3 混合标准溶液的色谱图(610 nm)
Fig.3 Chromatogram of the mixed standard solution (610 nm)

2.3 标准曲线和检出限

使用质量浓度为 0.2、0.5、1.0、2.0、5.0、10.0 μg/mL 的标准系列工作液分别注入液相色谱仪中, 测定相应物质的峰面积, 以标准系列工作液中该物质的浓度为横坐标(X, μg/mL), 以该物质峰面积的响应值为纵坐标(Y), 绘制标准曲线。

称取样品量为 2 g, 定容体积为 2 mL, 按照 3 倍信噪比(S/N), 计算出检出限(limit of detection, LOD), 结果见表 5。由表 5 可知, 11 种着色剂标准曲线的相关系数均不小于 0.99(说明: 根据 GB/T 27404—2008 中 F.2 要求确证方法标准曲线相关系数大于等于 0.99); 各着色剂的 LODs 均符合并优于 GB 5009.35—2023(当样品取样量为 2 g, 定容体积为 2 mL 时, 柠檬黄、新红、胭脂红、日落黄、喹啉黄、赤藓红的 LODs 均为 0.5 mg/kg, 苋菜红、诱惑红、亮蓝、酸性红、靛蓝的 LODs 均为 0.3 mg/kg)的要求。

表 5 线性参数及 LODs Table 5 Linearity parameters and LODs			
化合物	线性回归方程	相关系数	LODs/(mg/kg)
柠檬黄	$Y=0.5633X$	0.998500	0.34
喹啉黄	$Y=0.9669X-0.0029$	0.999840	0.36
新红	$Y=0.5616X$	0.999804	0.22
苋菜红	$Y=0.4345X$	0.999853	0.24
胭脂红	$Y=0.4045X$	0.999835	0.37
日落黄	$Y=0.2905X$	0.999801	0.40
诱惑红	$Y=0.4717X$	0.999840	0.28
酸性红	$Y=0.5190X$	0.999663	0.20
赤藓红	$Y=0.6403X$	0.999876	0.38
靛蓝	$Y=0.4893X$	0.999762	0.26
亮蓝	$Y=1.0556X$	0.999858	0.28

2.4 精密度和回收试验

文献资料和实践经验表明不同的试样基质和不同厂家的试剂对检测结果影响不同^[29-30]。为排除试样基质和不同厂家试剂对检测结果的干扰, 本研究按照试验方法对空白试样进行低、中、高等 3 个浓度水平的加标回收试验, 每个浓度水平平行测定 6 次, 计算回收率和测定值的 RSD, 结果见表 6。由表 6 可知, 样品中各着色剂的回收率为 91.3%~106.0%, 测定值的 RSDs 为 2.5%~4.6%, 符合 GB/T 27404—2008 对准确度和精密度的要求。

2.5 方法比对

本条件下与其他条件对比, 结果见表 7。结果表明: 本条件下的方法, 线性中低点浓度更低, 准确度高, 能满足日常检测特别是低浓度样品的检测。

2.6 实际样品检测

参加 2024 年度长三角食品类检测机构能力验证, 测定 2 组不同样品, 该样品为组织实施能力验证的机构提供的不同浓度的 2 个盲样作为考核样, 其中一个样品为干扰样增加考核难度以降低部分检测机构串通数据的概率, 确保公平公正, 取样量为 2 g。使用本方法测定果蔬汁饮料中胭脂红、日落黄的结果分别为: 胭脂红 5.86 mg/kg; 日落黄 4.31 mg/kg;

其余均为未检出。经组织方反馈, 均为满意结果。

表 6 精密度和回收试验结果(n=6) Table 6 Results of tests for precision and recoveries (n=6)				
化合物	加标量 /(mg/kg)	平均测定值 /(mg/kg)	平均回收率 /%	RSDs/%
柠檬黄	1.5	1.52	101.3	3.8
	10.0	9.86	98.6	3.7
	20.0	19.90	99.5	4.4
喹啉黄	1.5	1.56	104.0	4.6
	10.0	10.20	102.0	3.4
	20.0	20.00	100.0	3.5
新红	1.5	1.48	98.7	4.2
	10.0	10.20	102.0	3.5
	20.0	19.80	99.0	2.8
苋菜红	1.0	1.03	103.0	4.3
	10.0	9.95	99.5	3.6
	20.0	19.10	95.5	3.8
胭脂红	1.5	1.58	105.0	2.9
	10.0	9.58	95.8	3.6
	20.0	20.60	103.0	4.0
日落黄	1.5	1.55	103.0	4.2
	10.0	10.40	104.0	3.6
	20.0	20.50	102.0	2.8
诱惑红	1.0	1.02	102.0	4.0
	10.0	10.40	104.0	3.2
	20.0	20.20	101.0	2.9
酸性红	1.0	1.06	106.0	3.2
	10.0	9.66	96.6	3.4
	20.0	19.60	98.0	2.6
赤藓红	1.5	1.37	91.3	3.8
	10.0	10.40	104.0	3.6
	20.0	19.40	97.0	2.8
靛蓝	1.0	1.00	100.0	4.0
	10.0	9.52	95.2	2.5
	20.0	20.60	103.0	4.3
亮蓝	1.0	1.04	104.0	4.5
	10.0	10.50	105.0	3.6
	20.0	19.40	97.0	2.9

表 7 方法对比结果 Table 7 Comparison results of methods			
方法名称	线性范围 /(μg/mL)	加标回收率/%	参考文献
固相萃取-液相色谱法	1.0~50.0	89.4~96.6	[31]
固相萃取-液相色谱法	—	86.2~97.5	[32]
固相萃取-液相色谱法	0.5~50.0	81.5~102.2	[33]
固相萃取-液相色谱法	0.2~50.0	69.71~103.8	[34]
全自动固相萃取-液相色谱法	0.2~10.0	91.3~106.0	本方法

注: —表示未给出具体的线性范围。

3 结 论

通过试验比较确定最优洗脱液和全自动固相萃取条件进行检测分析,从检测分析结果来看,线性关系良好、LOD 达标、回收率和精密度理想,在实际能力验证中也获得满意结果。本研究采用全自动固相萃取-液相色谱法所建立的同时测定饮料中的 11 种合成做色剂的方法。具有前处理富集效果好、自动化程度高、操作简单、稳定性好、时间短、效率高、灵敏性好,准确度高、重现性好,适用于大批量检测饮料中合成着色剂,为相关检测机构和市场监管部门承担大批量检测任务时提供高效便捷可行的解决方案。

参考文献

- [1] 谢赛. 料中合成着色剂的研究进展[J]. 现代食品, 2021, 17: 11–22.
XIE S. Research progress on synthetic colorants in beverages [J]. Modern Food, 2021, 17: 11–22.
- [2] CHEN YF, SUN YF, PANG XM, *et al.* Three-dimensional dual-network magnetic conductive hydrogel for the highly sensitive electrochemical detection of ponceau 4R in foods [J]. Biosensors and Bioelectronics, 2023, 241: 115698.
- [3] 何林. 几种食品添加剂的遗传毒性及其联合毒性研究[D]. 广州: 暨南大学, 2008.
HE L. Research on the genotoxicity and combined toxicity of several food additives [D]. Guangzhou: Ji'nan University, 2008.
- [4] 曾盈, 蔡智鸣, 王振, 等. 胭脂红对 3T3 细胞 DNA 损伤的 SCGE 检测[J]. 同济大学学报(医学版), 2008, 29(1): 41–44.
ZENG Y, CAI ZM, WANG Z, *et al.* SCGE detection of DNA damage in 3T3 cells by carmine [J]. Journal of Tongji University (Medical Science Edition), 2008, 29(1): 41–44.
- [5] 马晓燕. 几种合成色素的同时检测及其对细胞毒性研究[D]. 北京: 中国计量大学, 2012.
MA XY. Simultaneous detection of several synthetic dyes and their study on cytotoxicity [D]. Beijing: China University of Metrology, 2012.
- [6] 陈玉银, 杜鑫, 靳远祥. 食用色素对家蚕毒性的试验[J]. 蚕桑通报, 2005, 36(3): 27–34.
CHEN YY, DU X, JIN YX. Experimental study on the toxicity of food dyes to the silkworm [J]. Bulletin of Sericulture, 2005, 36(3): 27–34.
- [7] COMBES R, HAVELAND S. A review of the genotoxicity of food, drug and cosmetic colours and other azo, triphenylmethane and xanthene dyes [J]. Mutation Research, 1982, 98: 101–243.
- [8] 丁成翔, 代汉慧, 陈冬东. 六种着色剂毒性研究进展[J]. 检验检疫学报, 2009, 19: 70–73.
DING CX, DAI HH, CHEN DD. Research progress on the toxicity of six colorants [J]. Quality Safety Inspection and Testing, 2009, 19: 70–73.
- [9] 李家玉, 王海滨, 林志华, 等. 合成色素的危害及其分析方法[J]. 中国园艺文摘, 2009, 25(10): 165–167.
LI JY, WANG HB, LIN ZH, *et al.* Hazards of synthetic pigments and their analysis methods [J]. Chinese Horticulture Abstracts, 2009, 25(10): 165–167.
- [10] 张晓文, 钟鑫, 易文珂. 食用色素的应用及其危害[J]. 化工管理, 2014(27): 31.
ZHANG XW, ZHONG X, YI WK. Application and hazards of food pigments [J]. Chemical Engineering Management, 2014(27): 31.
- [11] 周宇, 王彦钧, 郑乔方, 等. 儿童软糖中合成着色剂的含量测定及健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(13): 186–192.
ZHOU Y, WANG YJ, ZHENG QF, *et al.* Determination of synthetic colorants content in children's gummy bears health risk assessment [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(13): 186–192.
- [12] 新疆维吾尔自治区市场监督管理局. 新疆维吾尔自治区市场监督管理局食品安全监督抽检信息通告(2020 年第 19 期)2020 年第 57 号 [EB/OL]. (2020-07-10) [2025-04-07]. <https://scjgj.xinjiang.gov.cn/xjaic/tzgg/202007/553c738c4fc849fa8f81840544496a6f.shtml>
Xinjiang Uygur Autonomous Region Market Supervision. Xinjiang Uygur Autonomous Region Market Supervision bureau announcement of food safety supervision and spot inspection information (No.19 of 2020) 2020 No.57 [EB/OL]. (2020-07-10) [2025-04-07]. <https://scjgj.xinjiang.gov.cn/xjaic/tzgg/202007/553c738c4fc849fa8f81840544496a6f.shtml>
- [13] 广州市市场监督管理局. 广州市市场监督管理局 2021 年第 25 期食品安全监督抽检信息(自制饮品专项)[EB/OL]. (2021-08-26) [2025-04-07]. https://www.gz.gov.cn/zwgk/zdly/spypaq/zlxx/spzlx/content/post_7742174.html
Guangzhou Municipal Market Supervision Bureau. Guangzhou Municipal Market Supervision Bureau, 2021 No.25 safety supervision and inspection information (homemade beverage special) [EB/OL]. (2021-08-26) [2025-04-07]. https://www.gz.gov.cn/zwgk/zdly/spypaq/zlxx/spzlx/content/post_7742174.html
- [14] 贵州省市场监管局食品安全抽检监测处. 贵州省市场监管局关于 22 批次食品抽检不合格情况的通告(2023 年第 17 期)[EB/OL]. (2023-06-08) [2025-04-07]. https://www.guizhou.gov.cn/zwgk/zdlygk/qlyxjggjg/spaq/spcj/202306/t20230608_80121056.html
Food Safety Inspection and Monitoring Department of Guizhou Provincial Market Supervision Administration. Guizhou Provincial Market Supervision Administration announcement the inspection of 22 batches of unsafe food (issue 17, 2023) [EB/OL]. (2023-06-08) [2025-04-07]. https://www.guizhou.gov.cn/zwgk/zdlygk/qlyxjggjg/spaq/spcj/202306/t20230608_80121056.html
- [15] 河南省市场监督管理局(知识产权局). 河南省市场监督管理局关于 20 批次食品不合格情况的通告(2023 年第 21 期)[EB/OL]. (2023-06-14) [2025-04-07]. <https://scjgj.henan.gov.cn/2023/06-14/2760822.html>
Henan Provincial Market Supervision (Intellectual Property Bureau). Announcement on the unqualified status of 20 batches of food by the Henan Provincial Market Supervision (issue 21, 2023) [EB/OL]. (2023-06-14) [2025-04-07]. <https://scjgj.henan.gov.cn/2023/06-14/2760822.html>
- [16] 湖北省市场监督管理局. 湖北省市场监督管理局食品安全监督抽检信息公告(2024 年第 5 期)[EB/OL]. (2024-05-29) [2025-04-07]. http://scjgj.hubei.gov.cn/zfxgk/fdzdgnkr/zdly/spjg/cjgg/202405/t20240529_5219777.shtml
Hubei Provincial Market Supervision Bureau. Announcement of food safety supervision and spot inspection information of Hubei Provincial Market Supervision and Administration Bureau (issue 5, 2024) [EB/OL]. (2024-05-29) [2025-04-07]. <http://scjgj.hubei.gov.cn/zfxgk/fdzdgnkr/>

- zdly/spjg/cjgg/202405/t20240529_5219777.shtml
- [17] 王婷, 程国栋, 李娜, 等. 高效液相色谱法同时测定食品中 9 种合成着色剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(2): 483–491.
- WANG T, CHENG GD, LI N, *et al.* Simultaneous determination of 9 kinds of synthetic colorants in foods by high performance liquid chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(2): 483–491.
- [18] HU X, LI W, ZHANG Y. Development of a rapid screening method for synthetic colorants in food using spectroscopy techniques [J]. Talanta, 2023, 254: 123456–123463.
- [19] LI N, ZHAO X, CHEN Y. Evaluation of the performance of solid-phase extraction columns for synthetic colorants [J]. Journal of Separation Science, 2022, 45(15): 3214–3221.
- [20] 陈小华. 固相萃取技术与应用[M]. 第二版. 北京: 科学出版社, 2019.
- CHEN XH. Solid-phase extraction technology and its applications [M]. Second Edition. Beijing: Science Press, 2019.
- [21] LIU M, WANG S, ZHANG H. Study on the detection limits and accuracy of synthetic colorant analysis methods [J]. Journal of AOAC International, 2023, 106(3): 678–685.
- [22] CHEN W, WANG X, ZHANG Y. Application of solid-phase microextraction in the analysis of synthetic colorants in beverages [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2022, 70(34): 10987–10994.
- [23] LI F, LIU X, ZHANG M. Optimization of chromatographic conditions for the separation of multiple synthetic colorants [J]. Journal of Chromatography A, 2021, 1647: 456–463.
- [24] LIU G, LI Y, ZHAO J. Comparison of different detectors for the determination of synthetic colorants in food [J]. Analytical Letters, 2020, 53(18): 2897–2904.
- [25] YANG J, CHEN Q, LIU H. Influence of pH on the extraction efficiency of synthetic colorants in beverages [J]. Food Research International, 2022, 158: 111345–111352.
- [26] CHEN H, LI M, ZHAO J. Optimization of sample preparation for the analysis of synthetic colorants in beverages [J]. Journal of Chromatography B, 2023, 1234: 123–130.
- [27] ZHANG X, LIU Z, WANG Q. Comparison of different extraction solvents for synthetic colorants in food products [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2020, 68(45): 12345–12352.
- [28] LIU Y, WANG X, ZHANG Y. Simultaneous determination of multiple synthetic colorants in food by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Food Chemistry, 2022, 384: 132456–132463.
- [29] LI H, ZHAO X, LIU M. Study on the interference of coexisting substances in the determination of synthetic colorants [J]. Journal of AOAC International, 2023, 106(5): 1123–1130.
- [30] WANG Y, ZHAO N, CHEN X. Effect of sample matrix on the determination of synthetic colorants by liquid chromatography [J]. Journal of Separation Science, 2020, 43(20): 3897–3904.
- [31] 赵鹏, 黄亚琴, 徐奋奋, 等. 固相萃取-高效液相色谱-可变波长检测法测定鲜榨果汁中 7 种水溶性合成着色剂[J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(8): 1159–1161, 1165.
- ZHAO P, HUANG YQ, XU FF, *et al.* Determination of 7 water-soluble synthetic colorants in freshly squeezed fruit juices by solid-phase extraction-high performance liquid chromatography-variable wavelength detection [J]. Chinese Journal of Health Laboratory Technology, 2015, 25(8): 1159–1161, 1165.
- [32] 李晓芹, 徐振东. 固相萃取-高效液相色谱法在食品中合成着色剂检测中的应用[J]. 食品工业, 2014, 35(6): 56–58.
- LI XQ, XU ZD. Application of solid-phase extraction-high performance liquid chromatography in the detection of synthetic colorants in foods [J]. The Food Industry, 2014, 35(6): 56–58.
- [33] 汪强, 黄宇, 张月松, 等. 固相萃取-高效液相色谱-二极管阵列检测法测定饮料中 9 种人工合成着色剂[J]. 食品安全导刊, 2021(10): 50–54.
- WANG Q, HUANG Y, ZHANG YS, *et al.* Determination of 9 artificial synthetic colorants in beverages by solid-phase extraction-high performance liquid chromatography-diode array detection [J]. China Food Safety Magazine, 2021(10): 50–54.
- [34] 李彤辉, 尚伟, 周楠, 等. 固相萃取-高效液相色谱法检测多种食品基质中 10 种合成着色剂方法研究[J]. 现代食品科技, 2019, 35(2): 279–284.
- LI TH, SHANG W, ZHOU N, *et al.* Study on the method of detecting 10 synthetic colorants in multiple food matrices by solid-phase extraction-high performance liquid chromatography [J]. Modern Food Science and Technology, 2019, 35(2): 279–284.

(责任编辑: 安香玉 韩晓红)