

UPLC – DAD 法同时测定预调鸡尾酒中 24 种水溶性合成色素

武太鹏¹, 张京晨², 马康^{1*}

(1. 中国计量科学研究院, 北京 100029; 2. 中国石化石油化工科学研究院, 北京 100083)

摘要: 建立了预调鸡尾酒中 24 种水溶性合成色素的超高效液相色谱 – 二极管阵列检测器 (UPLC – DAD) 分析方法, 对流动相、色谱柱、洗脱梯度等色谱条件进行了优化, 确定最佳分离条件为: Waters BEH C₁₈ 色谱柱 (2.1 mm × 50 mm, 1.7 μm), 流动相为 10 mmol/L 乙酸铵 (pH 6.25) 和甲醇 – 乙腈 (2 : 8, 体积比), 采用梯度洗脱, 在 16 min 内实现 24 种色素的快速分离。24 种色素在 0.01 ~ 50.0 mg/L 范围内具有良好的线性关系 ($r^2 > 0.998 0$), 方法检出限为 0.66 ~ 27.78 μg/L, 定量下限为 2.19 ~ 92.59 μg/L; 日内相对标准偏差 (RSD) 为 0.04% ~ 5.3%, 日间 RSD 为 0.08% ~ 6.4%; 回收率为 53.4% ~ 114%。该方法具有所测色素种类多、分析时间短、检出限低等优势, 已成功应用于市售预调鸡尾酒样品的检测。

关键词: 合成色素; 预调鸡尾酒; 超高效液相色谱 – 二极管阵列检测器 (UPLC – DAD)

中图分类号: O657.7; R155.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004 – 4957(2019)02 – 0207 – 06

Simultaneous Determination of 24 Water-soluble Synthetic Colors in Premade Cocktails by Ultra-performance Liquid Chromatography with Diode Array Detector

WU Tai-peng¹, ZHANG Jing-chen², MA Kang^{1*}

(1. National Institute of Metrology of China, Beijing 100029, China; 2. Sinopec Research Institute of Petroleum Processing, Beijing 100083, China)

Abstract: A method for the simultaneous determination of 24 water-soluble synthetic colors in pre-made cocktails was developed using ultra-performance liquid chromatography with diode array detector (UPLC – DAD). In this paper, the chromatographic conditions for mobile phase, column and eluting gradient were optimized, and the best separation conditions were as follows: column: a Waters BEH C₁₈ column (2.1 mm × 50 mm, 1.7 μm), mobile phase: 10 mmol/L ammonium acetate solution (pH 6.25) and methanol – acetonitrile (2 : 8, by volume), eluting by a gradient program. Under the optimized conditions, all the water-soluble synthetic colors could be rapidly separated within 16 min. There were good linear relationships for the analytes in the concentration range of 0.01 – 50.0 mg/L with their correlation coefficients (r^2) greater than 0.998 0. The limits of detection (LOD, $S/N = 3$) and the limits of quantitation were in the ranges of 0.66 – 27.78 μg/L and 2.19 – 92.59 μg/L, respectively. The intra-day and inter-day RSD for the analytes were in the ranges of 0.04% – 5.3% and 0.08% – 6.4%, respectively. The recoveries for the synthetic colors ranged from 53.4% to 114%. With the advantages of many kinds of dyes detected, short analysis time and low detection limit, the method was successfully applied in the determination of cocktail samples on the market.

Key words: synthetic colors; pre-made cocktails; ultra-performance liquid chromatography with diode array detector (UPLC – DAD)

色素作为一类重要的食品添加剂, 因能赋予食品靓丽的色彩而被广泛应用。色素主要分为天然色素和合成色素两类, 其中天然色素为天然产物, 一般对人体无害, 但价格昂贵, 稳定性差; 而合成色素具有成本低、色泽鲜艳、性能稳定、色调多、着色力强、使用方便等特点, 因此其应用更为广泛。

收稿日期: 2018 – 05 – 30; 修回日期: 2018 – 08 – 06

基金项目: 国家科技支撑项目 (2015BAK45B01); 科技部公益性行业科研专项 (2012104001)

* 通讯作者: 马康, 博士, 副研究员, 研究方向: 食品添加剂计量溯源技术, E – mail: makang@nim.ac.cn

目前我国允许添加的合成色素主要有柠檬黄、苋菜红、胭脂红、日落黄、亮蓝等,对其使用范围和最大限量标准等有明确规定。而配制酒中允许添加的色素多达 37 种,其中合成色素有赤藓红、靛蓝、喹啉黄、亮蓝、柠檬黄、日落黄、苋菜红、新红、胭脂红、诱惑红^[1]。合成色素作为化工产品,大多对人体存在一定的危害,如可能导致过敏或致癌等。因此,为保障食品安全必须对食品所含色素的种类及含量进行准确测定。

目前,针对食品中色素的检测方法主要有光谱法^[2-5]、毛细管电泳法^[6-7]、电化学法^[8-11]、薄层色谱法^[12]、离子迁移谱法^[13]、液相色谱法^[14-22]以及色谱-质谱联用法^[23-27]等。其中,液相色谱法因具有样品用量少、灵敏度高、分离效果好等优点而应用最多。预调鸡尾酒是近年来兴起的一种酒类饮品,目前尚无预调鸡尾酒中色素检测方法的报道,故建立预调鸡尾酒中色素的快速、高通量、准确测定方法具有重要意义。本文采用固相萃取技术对预调鸡尾酒进行前处理,通过超高效液相色谱-二极管阵列检测器(UPLC-DAD)进行检测,实现了预调鸡尾酒中 14 种偶氮类色素、4 种三苯甲烷类色素、3 种氧杂蒽类色素以及萘酚黄 S、中性红、荧光红共 24 种水溶性合成色素的快速测定,填补了预调鸡尾酒中色素检测的空白,为其准确、快速测定提供了技术支持。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

Dionex Ultimate 3000 超高效液相色谱仪,配二极管阵列检测器(美国 Thermo 公司);Fotector-06C 型全自动固相萃取仪(美国 Reeko 公司);XP205 型电子天平(精度为 0.01 mg)、E20 实验室 pH 分析仪(瑞士 Mettler Toledo 公司);SIGMA 3-18K 离心机(德国 Sartorius 公司);KQ-300 VDV 型超声波清洗器(昆山市超声仪器有限公司);Vortex-Genie 2 型涡旋混合器(美国 Scientific Industries 公司);EVA 32 型多功能样品浓缩仪(普立泰科仪器有限公司);Milli-Q 型超纯水发生器(美国 Millipore 公司)。

质量浓度均为 0.5 mg/mL 的柠檬黄、苋菜红、日落黄、胭脂红、亮蓝标准溶液来自中国计量科学研究院(NIM)。丽春红 S、萘酚黄 S、橙黄 G、固绿、橙黄 IV、吡啶黄、碱性橙 2、罗丹明 B、结晶紫、亮绿(美国 Chem Service 公司);诱惑红(加拿大 Toronto Research Chemicals Inc.);红色 2G(美国 Sigma-Aldrich 公司);偶氮玉红、胭脂红 SX(日本 Tokyo Chemical Industry);中性红(美国 Damas-Beta 公司);赤藓红(波兰 Department of Dyes and Organic Products in Zgierz),橙黄 II(美国 Acros Organics 公司);荧光红、酸性红 52(德国 Dr. Ehrenstorfer 公司)。

乙腈、甲醇、乙酸铵(色谱纯,德国 Merck 公司);甲酸(色谱纯,美国 Acros Organics 公司);乙酸(色谱纯,德国 CNW Technologies GmbH);氨水(分析纯,北京化工厂);实验用水由 Milli-Q 纯水系统制备。

1.2 标准溶液的配制

准确称取 19 种合成色素(除由 NIM 获得的 5 种色素标准溶液)固体粉末适量,溶于水中得质量浓度为 100 mg/L 的储备溶液。取适量该混合标准溶液与由 NIM 获得的 5 种合成色素标准溶液混合,得质量浓度为 50.0 mg/L 的 24 种合成色素混合标准溶液。逐步稀释,制得 0.01、0.05、0.1、0.5、1.0、5.0、8.0、10.0、20.0 mg/L 的系列混合标准溶液,置于 4 °C 冰箱保存备用。

1.3 样品预处理

取 15 mL 预调鸡尾酒样品于离心管中,8 000 r/min 离心 5 min,取上层清液 10.0 mL,40 °C 水浴氮吹 10 min,以除去样品中的乙醇。然后置于超声水浴中超声 10 min,除去样品中残留的气体。静置 10 min 后,用水定容至 10.0 mL,充分涡旋混匀,以氨水调至 pH 6.5。

对经上述处理的预调鸡尾酒样品进行固相萃取,HLB 固相萃取小柱(6 mL/500 mg, Waters 公司)依次用 5 mL 甲醇和 5 mL 0.1% (体积分数)甲酸水活化,上样,调节流速为 1.0 mL/min,用 5 mL 甲醇-水(15:85,体积比)进行淋洗,弃去洗脱液,再分别用 3 mL 甲醇和 3 mL 氨化甲醇(5% 氨水,体积分数)进行洗脱。45 °C 加热氮吹至干,以 1.0 mL 水复溶,待测。

1.4 实验条件

色谱柱: Waters BEH C₁₈ (2.1 mm × 50 mm, 1.7 μm); 流动相: A 为 10 mmol/L 乙酸铵(pH

6.25), B 为甲醇-乙腈(2:8, 体积比)。梯度洗脱程序: 0~12.0 min, 4%~50% B; 12.0~12.1 min, 50%~99% B; 12.1~16.5 min, 99% B; 16.5~17.0 min, 99%~4% B。流速: 0.3 mL/min; 柱温: 35 ℃; 进样体积: 5 μ L。

2 结果与讨论

2.1 色谱条件的优化

2.1.1 流动相组成 本实验以 10 mmol/L 乙酸铵(pH 6.25)作为水相, 甲醇-乙腈混合溶液作为有机相, 考察了甲醇与乙腈的体积比(10:0、2:8、4:6、5:5、6:4、8:2)对 24 种色素分离效果的影响。结果表明, 随着有机相中甲醇比例的增加, 24 种色素的保留时间均延长, 当甲醇与乙腈的体积比为 2:8 时可获得最佳的分离效果; 同时, 比较了乙酸铵的浓度(5、10、15 mmol/L)和 pH 值(5.0~6.8)对 24 种色素分离效果的影响, 最终选择 10 mmol/L 乙酸铵(pH 6.25)作为水相。

2.1.2 色谱柱的选择 在相同的流动相条件下, 考察了安捷伦 Zorbax SB-C₁₈(4.6 mm \times 50 mm, 1.8 μ m)、岛津 Shim-pack XR-C₁₈(3.0 mm \times 75 mm, 2.2 μ m)和 Waters Acquity UPLC BEH C₁₈(2.1 mm \times 50 mm, 1.7 μ m)3 种色谱柱在各自适宜的流速和洗脱梯度下对 24 种色素的分离效果。结果显示, 采用安捷伦 Zorbax SB-C₁₈(4.6 mm \times 50 mm, 1.8 μ m)和岛津 Shim-pack XR-C₁₈(3.0 mm \times 75 mm, 2.2 μ m)色谱柱时, 无法实现 24 种色素的全部分离, 且峰形差, 响应小(图 1a、b); 而采用 Waters Acquity UPLC BEH C₁₈(2.1 mm \times 50 mm, 1.7 μ m)色谱柱时, 24 种色素可完全分离, 峰形对称且响应大(图 1c), 故选其作为分析柱。

2.1.3 梯度条件的优化 由于待测色素种类较多, 且其保留行为差异明显, 故采用梯度洗脱以提高分析效率和分离效果。考察了 4 种梯度条件下 24 种色素的分离效果: 梯度 1: 如“1.4”所示。梯度 2: 0~15.0 min, 5%~65% B; 15.0~17.0 min, 65% B; 17.0~17.1 min, 65%~5% B。梯度 3: 0~8.0 min, 5%~40% B; 8.0~11.0 min, 40% B; 11.0~14.0 min, 40%~65% B; 14.0~17.0 min, 65% B; 17.0~17.1 min, 65%~5% B。梯度 4: 0~12.0 min, 5%~55% B; 12.0~12.1 min, 55%~90% B; 12.1~17.0 min, 90% B; 17.0~17.5 min, 90%~5% B。

结果表明, 采用梯度 3 时, 中性红和赤藓红无法分离, 且分析时间较长; 采用梯度 2 时, 中性红和赤藓红未完全分离; 采用梯度 4 时, 中性红和赤藓红可实现完全分离, 但荧光红和偶氮玉红的分离度减小, 无法基线分离; 而采用梯度 1 时, 24 种色素均可实现完全分离且分析时间短, 故采用梯度 1 的洗脱程序。

2.1.4 检测波长的选择 待测的偶氮类色素中, 柠檬黄、橙黄 II 等分别在 420、490 nm 附近有最大吸收, 其余红色色素的最大吸收波长均在 520 nm 附近; 三苯甲烷类色素中, 除结晶紫外, 其余 3 种色素的最大吸收波长均在 620 nm 附近; 氧杂蒽类色素的最大吸收波长均在 520 nm 附近, 而萘酚黄 S、中性红、荧光红的最大吸收波长分别在 430、460、490 nm 附近。因此实验选择在 420、490、520、620 nm 波长下分别对色素进行检测(表 1)。

在上述最佳条件下, 16 min 内即可实现对 24 种水溶性合成色素的分离、检测(图 2), 且所有色素的分离度均大于 2(表 1)。

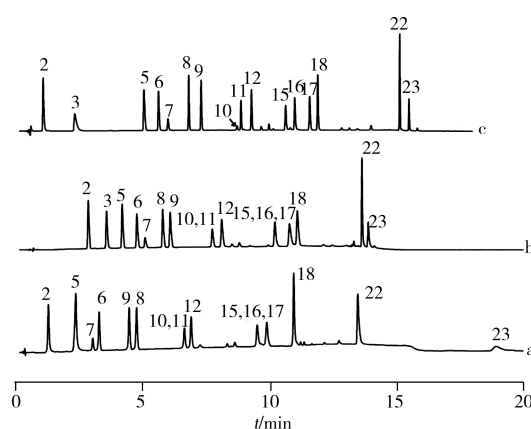


图 1 24 种合成色素在不同色谱柱下的色谱图
Fig. 1 Chromatograms of 24 synthetic colors in different columns

a: Zorbax SB-C₁₈; b: Shim-pack XR-C₁₈; c: Acquity UPLC BEH C₁₈; detection wavelength: 520 nm; the peak numbers denoted were the same as those in Table 1

表 1 24 种合成色素的保留时间、检测波长、线性关系、分离度、检出限及定量下限

Table 1 Retention times, detection wavelength, linear relationships, resolutions, LODs and LOQs of 24 synthetic colors

No.	Compound	Retention time (min)	λ /nm	Linear range (mg/L)	r^2	Resolution	LOD ($\mu\text{g/L}$)	LOQ ($\mu\text{g/L}$)
1	Tartrazine(柠檬黄)	0.89	420	0.01~50.0	0.999 9	8.95	1.09	3.62
2	Amaranth(苋菜红)	1.69	520	0.01~50.0	0.999 9	19.32	1.75	5.83
3	Ponceau S(丽春红 S)	4.00	520	0.05~50.0	0.999 9	14.05	5.60	18.66
4	Naphthol yellow S(萘酚黄 S)	2.04	420	0.05~50.0	0.999 9	6.39	6.91	23.04
5	Ponceau 4R(胭脂红)	5.46	520	0.01~50.0	0.999 9	6.19	1.34	4.46
6	Sunset yellow(日落黄)	5.92	490	0.01~50.0	0.999 9	4.60	1.06	3.53
7	Orange G(橙黄 G)	6.26	490	0.01~50.0	0.999 9	9.75	2.69	8.96
8	Allura red AC(诱惑红)	6.96	520	0.01~50.0	0.999 9	7.05	0.97	3.23
9	Red 2G(红色 2G)	7.43	520	0.01~50.0	0.999 9	18.60	1.00	3.32
10	Uranine(荧光红)	8.80	490	0.01~20.0	0.999 9	2.36	1.57	5.23
11	Azorubine(偶氮玉红)	8.97	520	0.01~20.0	0.999 8	5.98	2.11	7.04
12	Ponceau SX(胭脂红 SX)	9.37	520	0.05~20.0	0.999 7	5.13	1.25	4.17
13	Fast green FCF(固绿)	9.75	620	0.01~50.0	0.999 9	4.07	0.98	3.26
14	Brilliant blue(亮蓝)	10.06	620	0.01~50.0	0.999 9	3.20	0.66	2.19
15	Neutral red(中性红)	10.74	490	0.10~50.0	0.999 5	4.12	27.78	92.59
16	Erythrosine(赤藓红)	11.04	520	0.01~50.0	0.998 4	7.85	1.58	5.27
17	Orange II(橙黄 II)	11.68	490	0.01~50.0	0.999 9	3.64	2.62	8.74
18	Acid red 52(酸性红 52)	11.97	520	0.01~50.0	0.999 9	12.59	1.74	5.79
19	Orange IV(橙黄 IV)	12.92	420	0.01~50.0	0.998 1	3.55	2.52	8.39
20	Metanil yellow orange MNO(吡啶黄)	13.22	420	0.01~50.0	0.999 6	3.43	2.04	6.79
21	Chrysoidine Y(碱性橙 2)	13.57	420	0.05~50.0	0.999 1	15.22	3.84	12.79
22	Rhodamine B(罗丹明 B)	14.91	520	0.01~50.0	0.999 8	5.90	1.74	5.81
23	Gentian violet(结晶紫)	15.26	520	0.05~50.0	0.999 7	5.94	6.88	22.94
24	Brilliant green(亮绿)	15.62	620	0.05~50.0	0.999 8	5.93	4.90	16.34

2.2 线性关系、检出限与定量下限

在优化条件下,对不同质量浓度的 24 种合成色素混合标准溶液进行测定,分别以峰面积对其质量浓度作图,24 种合成色素在 0.01~50.0 mg/L 范围内线性关系良好,相关系数(r^2)均大于 0.998 0。分别以 3 倍信噪比($S/N=3$)确定方法检出限(LOD),10 倍信噪比确定定量下限(LOQ),可得该方法对 24 种合成色素的 LOD 为 0.66~27.78 $\mu\text{g/L}$,LOQ 为 2.19~92.59 $\mu\text{g/L}$ (见表 1)。

2.3 精密度及加标回收率

通过计算多次测量结果的相对标准偏差(RSD)对方法的日内与日间精密度进行评价。日内精密度:采用本方法对 0.5、5、10 mg/L 的 24 种合成色素混合标准溶液在 1 d 内连续测定 6 次,计算峰面积的 RSD;日间精密度:对 0.5、5、10 mg/L 的 24 种合成色素混合标准溶液,每天进样 3 次,连续测定 5 d,计算峰面积的 RSD。结果表明,方法的日内 RSD 为 0.04%~5.3%,日间 RSD 为 0.08%~6.4%(见表 2)。

向空白的预调鸡尾酒样品中添加 24 种合成色素的混合标准溶液,得到低(0.1 mg/L)、中(0.5 mg/L)、高(1 mg/L)3 个水平的基质加标溶液,按本方法进行测定,每个加标水平平行处理 2 个样品,每个样品分别测定 3 次(表 2)。结果表明,在低、中、高 3 个浓度水平下,除碱性橙 2、亮绿和结晶紫外,21 种色素的加标回收率分别为 71.2%~114%、72.8%~96.3%、70.6%~109%,RSD 分别为 0.19%~1.5%、0.40%~4.8%、1.5%~6.0%;而碱性橙 2、亮绿和结晶紫的加标回收率略低(53.4%~72.5%),RSD 为 3.3%~8.9%,可能是由于预调鸡尾酒样品中柠檬酸等成分与这 3 种色素相结合,导

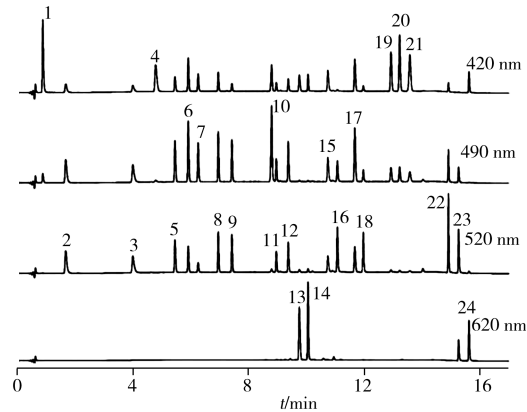


图 2 优化条件下 24 种合成色素的色谱图(5 mg/L)
Fig. 2 Chromatograms of 24 synthetic colors under optimized conditions(5 mg/L)

the peak numbers denoted were the same as those in Table 1

致固相萃取柱对其的吸附量减少;同时这 3 种色素均为碱性色素,在酸性条件下与吸附剂的吸附能力较弱,从而使其回收率降低。

表 2 方法重复性及回收率

Table 2 Reproducibility and recovery of the method

No.	Intra-day RSD/% (n=6)			Inter-day RSD/% (n=5)			Recovery/%			RSD/%		
	Low	Middle	High	Low	Middle	High	Low	Middle	High	Low	Middle	High
1	0.12	0.27	0.48	0.22	2.1	2.4	89.5	88.2	85.0	0.58	1.0	3.5
2	0.07	0.07	0.52	0.20	2.3	1.6	86.8	90.8	84.8	0.19	1.9	1.5
3	0.04	0.55	0.12	0.29	3.0	3.6	90.0	92.2	92.3	0.35	0.48	1.6
4	0.08	0.34	0.11	0.12	1.7	2.8	91.5	94.5	95.9	0.47	0.54	2.8
5	0.07	0.20	0.29	0.18	1.6	1.3	96.1	94.2	93.3	0.40	0.86	2.2
6	0.05	0.23	0.86	0.23	3.0	1.4	95.6	94.1	93.1	0.55	0.66	3.0
7	0.07	0.27	0.19	0.17	1.1	1.9	94.1	93.1	94.2	0.40	0.82	2.4
8	0.09	0.35	0.31	0.10	2.1	1.5	94.9	94.3	93.7	0.37	0.87	2.5
9	0.06	0.41	0.41	0.14	1.3	1.5	95.6	94.9	94.4	0.34	0.54	2.8
10	0.20	0.59	1.1	0.38	4.6	3.1	80.0	80.3	76.8	1.0	2.7	6.0
11	0.08	0.06	0.20	0.08	0.7	1.7	88.2	88.9	86.4	0.26	1.2	2.2
12	0.07	0.31	0.23	0.29	1.6	1.3	89.6	89.5	86.5	0.42	0.40	3.1
13	0.24	0.75	1.1	0.51	4.3	1.5	91.3	94.1	93.7	1.0	1.9	5.9
14	0.20	0.77	1.1	0.52	3.9	0.89	91.5	93.8	93.0	1.3	3.4	5.3
15	0.91	0.76	0.35	0.66	3.5	4.0	77.3	74.9	70.6	0.36	2.8	2.1
16	1.3	4.9	5.3	1.9	5.5	6.4	71.2	79.0	82.1	0.56	3.1	5.5
17	0.04	0.53	0.57	0.14	2.3	3.5	91.8	91.1	89.3	0.80	2.7	3.5
18	0.13	0.24	0.25	0.16	1.2	1.0	88.6	92.6	91.4	0.31	0.71	1.8
19	0.24	2.4	3.0	0.50	3.6	6.4	114	96.3	109	0.57	2.6	3.5
20	0.22	0.66	2.1	0.88	2.1	4.5	73.1	72.8	76.1	0.86	4.3	4.0
21	0.16	0.70	1.5	0.77	2.9	3.9	55.3	59.4	53.4	4.6	5.5	7.1
22	0.11	0.82	0.63	0.78	2.0	4.0	71.9	75.0	76.1	1.5	4.8	4.8
23	1.7	2.1	1.4	1.3	3.9	5.4	66.9	70.0	72.5	3.3	6.6	7.3
24	1.4	2.6	3.0	4.2	4.3	4.7	62.1	63.8	63.9	5.1	8.9	7.2

the peak numbers denoted were the same as those in Table 1

2.4 实际样品的检测

采用所建立方法对市售的 10 种品牌共 50 余种预调鸡尾酒进行检测,结果表明,除无色(荔枝口味)的预调鸡尾酒样品外,在其余有色的预调鸡尾酒样品中均检出了合成色素,最多的同时检出 3 种色素。在所测样品中共检出诱惑红、苋菜红、胭脂红、柠檬黄、日落黄、亮蓝 6 种合成色素,质量浓度分别为 2.05~10.62 mg/L、1.82~10.41 mg/L、0.72~3.88 mg/L、0.04~0.87 mg/L、1.74~10.02 mg/L、0.12~3.48 mg/L,检出的样品数分别为 9 种、18 种、8 种、23 种、10 种、28 种。虽未发现违禁使用色素或单种色素超量添加的现象,但目前并未有针对预调鸡尾酒中色素的限量标准,故同时检出多种色素的预调鸡尾酒的安全性有待验证。同时发现,有 5 种低档价位、2 种中档价位共 20 余种样品存在配料表所标色素与实际添加色素不符的情况。

2.5 本方法与文献方法的比较

将本方法与已报道的文献方法^[17-22]进行比较。文献方法可分析的色素为 6~16 种,分析时间为 13~30 min,而本方法在色素数量、分析时间上具有明显优势;与文献[17-19]相比,本方法的分析时间缩短了 20% 以上。而与文献[20-22]相比,柠檬黄、苋菜红等色素的检出限至少降低了 30 多倍,

表 3 食品中合成色素分析方法的检出限比较

Table 3 Comparison of method detection limits for

Compound	This article	synthetic pigments in food $\rho/(\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$					
		[17]	[18]	[19]	[20]	[21]	[22]
Tartrazine	1.09	11	-*	1.22	150	190	50
Amaranth	1.75	10	2	1.41	150	-	60
Ponceau 4R	1.34	8	2	1.20	150	105	70
Sunset yellow	1.06	16	2	1.06	150	147	90
Allura red AC	0.97	12	2	4.58	-	146	150
Red 2G	1.00	8	-	-	-	-	-
Azorubine	2.11	10	-	1.32	-	106	-
Fast green FCF	0.98	-	-	0.29	-	-	-
Brilliant blue	0.66	6	-	0.18	150	1154	40
Erythrosine	1.58	-	2	-	-	-	110
Rhodamine B	1.74	-	2	-	-	-	-

* not detected

文献[20]、[21]、[22]中对柠檬黄的检出限分别为 150、190、50 $\mu\text{g/L}$ ，而本方法对柠檬黄的检出限为 1.09 $\mu\text{g/L}$ (见表 3)。

3 结 论

本文采用超高效液相色谱-二极管阵列检测器，建立了同时测定预调鸡尾酒中 24 种水溶性合成色素含量的方法。与已报道方法相比，本方法的分析时间缩短了 20% 以上，且具有分析色素种类多、重现性好、检出限低等优点，已成功应用于 50 余种预调鸡尾酒实际样品的测定。

参考文献:

- [1] GB2760-2014. Standards of Using Food Additives. National Standards of the People's Republic of China(食品添加剂使用标准. 中华人民共和国国家标准).
- [2] Ou Y M, Wang X H, Lai K Q, Hang Y Q, Rasco B, Fan Y X. *J. Agric. Food Chem.*, **2018**, 66(11): 2954-2961.
- [3] Llamas N E, Garrido M G, Nezio M S D, Beatriz S F B. *Anal. Chim. Acta*, **2009**, 655(1/2): 38-42.
- [4] Asadpour-Zeynali K, Manafi-Khoshmanesh S. *J. Chin. Chem. Soc.*, **2015**, 62(9): 772-779.
- [5] Yao Y, Wang W, Tian K Z, Ingram W M, Cheng J, Qu L L, Li H T, Han C Q. *Spectrochim. Acta A*, **2018**, 195: 165-171.
- [6] Mejia E, Ding Y S, Mora M F, Garcia C D. *Food Chem.*, **2007**, 102(4): 1027-1033.
- [7] Huang H Y, Shih Y C, Chen Y C. *J. Chromatogr. A*, **2002**, 959: 317-325.
- [8] Gao Y D, Wang L, Zhang Y L, Zou L N, Li G P, Ye B X. *Talanta*, **2017**, 168: 146-151.
- [9] Lipskikh O I, Nikolaeva A A, Korotkova E I. *J. Anal. Chem.*, **2017**, 72(4): 396-401.
- [10] Yu L L, Mao Y X, Gao Y, Qu L B. *Food Anal. Methods*, **2014**, 7(6): 1179-1185.
- [11] Ming L, Xi X, Chen T T, Liu J. *Sensors*, **2008**, 8(3): 1890-1990.
- [12] Andrade F I D, Guedes M I F, Vieira Í G P, Mendes F N P, Rodrigues P A S, Maia C S C, Ávila M M M, Ribeiro L D M. *Food Chem.*, **2014**, 157(1): 193-198.
- [13] Jiao J D, Wang J F, Li M F, Li J Q, Li Q H, Quan Q B, Chen J Q. *J. Chromatogr. B*, **2016**, 1025: 105-109.
- [14] Ma K, Jiang X X, Zhao M, Cai Y Q. *Chin. J. Anal. Chem.* (马康, 蒋孝雄, 赵敏, 蔡冶强. 分析化学), **2012**, 40(11): 1661-1667.
- [15] Ma K, Yang Y N, Xing J J, Zhao M, Zhang P C. *J. Instrum. Anal.* (马康, 杨亚楠, 邢金京, 赵敏, 张培成. 分析测试学报), **2012**, 31(3): 296-301.
- [16] Jiang S X, Liu H L, Ma Y J, Ruan L P. *J. Instrum. Anal.* (蒋树新, 刘华良, 马永建, 阮丽萍. 分析测试学报), **2016**, 35(12): 1581-1585.
- [17] Rejczak T, Tuzimski T. *Food Anal. Methods*, **2017**, 10(11): 3572-3588.
- [18] Tang B B, Xi C X, Zou Y, Wang G M, Li X L, Zhang L, Chen D D, Zhang J D. *J. Chromatogr. B*, **2014**, 960(6): 87-91.
- [19] De A S B W, Lima B P, Paim A P. *Food Chem.*, **2015**, 183: 154-160.
- [20] Floriano L, Ribeiro L C, Saibt N, Bandeira N M G, Prestes O D, Zanella R. *J. Braz. Chem. Soc.*, **2018**, 29(3): 602-608.
- [21] Mazdeh F Z, Khorrami A R, Moradi-Khatoonabadi Z, Esmaeili A F, Ardekani M R S, Moghaddam G, Hajimahmoodi M. *Trop. J. Pharm. Res.*, **2016**, 15(1): 173-181.
- [22] Zhang Y, Zhou H, Wang Y G, Wu X L, Zhao Y G. *J. Chromatogr. Sci.*, **2015**, 53(2): 210-218.
- [23] Ma K, Li X J, Wang H F, Zhao M. *Food Anal. Methods*, **2015**, 8(1): 203-212.
- [24] Qi P, Lin Z H, Chen G Y, Xiao J, Liang Z A, Luo L N, Zhou J, Zhan X W. *Food Chem.*, **2015**, 181: 101-110.
- [25] Li H, Sun N, Zhang J X, Liang S X, Sun H W. *Anal. Methods*, **2013**, 6(2): 537-547.
- [26] Li X Q, Zhang Q H, Ma K, Li H M, Guo Z. *Food Chem.*, **2015**, 182: 316-326.
- [27] Chen X H, Zhao Y G, Shen H Y, Zhou L X, Pan S D, Jin M C. *J. Chromatogr. A*, **2014**, 1346: 123-128.

(责任编辑: 丁 岩)