

高效液相色谱法同时测定碳酸饮料中 13种食品添加剂

孙稚菁, 任国杰*, 王灵芝, 李颖, 吴海霞, 李崇

(大连市产品质量检测研究院, 大连 116630)

摘要: **目的** 采用高效液相色谱法建立同时检测碳酸饮料中防腐剂、抗氧化剂、稳定剂(苯甲酸、山梨酸)、甜味剂(安赛蜜、糖精钠)和9种着色剂(柠檬黄、新红、苋菜红、靛蓝、胭脂红、日落黄、诱惑红、亮蓝和赤鲜红)的分析方法。**方法** 将待测饮料样品经水稀释到合适的浓度,离心过滤后,以10 mmol/L醋酸铵溶液-10 mmol/L醋酸铵甲醇溶液作为流动相在ZORBAX SB-Aq(3.0 mm×150 mm, 3.5 μm)色谱柱上梯度洗脱进行分离,检测波长为230、427、507、620 nm。以目标物的色谱保留时间和紫外光谱图与标准物质一致进行定性分析。以色谱峰的峰面积用标准曲线外标法进行定量。**结果** 在优化条件下,各目标物的线性范围为0.1~100 mg/L,相关系数均大于0.999。13种食品添加剂的定量限为0.5~1.5 mg/kg。在低、中、高3个水平下,各目标物的回收率在90%~110%之间,相对标准偏差(RSD)均低于10%。**结论** 该方法准确、简便、灵敏、可靠,可用于碳酸饮料中此13种食品添加剂的同时定量测定。

关键词: 碳酸饮料; 食品添加剂; 高效液相色谱

Simultaneous determination of 13 kinds of food additives in sodas by high performance liquid chromatography

SUN Zhi-Jing, REN Guo-Jie*, WANG Ling-Zhi, LI Ying, WU Hai-Xia, LI Chong

(Dalian Institute Research Institute of Product Quality, Dalian 116630, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the simultaneous determination of preservatives (benzoic acid and sorbic acid), sweet agents (acesulfame and saccharin sodium dehydrate) and colorants (hydrazine yellow, new red, naphthol red, acid blue 74, carmine, sunset yellow, allura red, brilliant blue and acid red 51) in sodas by high performance liquid chromatographic (HPLC). **Methods** Sodas samples were diluted to the right concentration by 10 mmol/L ammonium acetate. After filtered, the extract was separated on an ZORBAX SB-Aq column (3.0 mm×150 mm, 3.5 μm) using a gradient elution program with mobile phase of 10 mmol/L ammonium acetate - 10 mmol/L ammonium acetate methanol solution. Detection wavelengths were set at 230, 427, 507 and 620 nm, respectively. The qualitative analysis was based on chromatographic retention time and UV spectrum, and the quantitative analysis was performed by the standard curve method of peak area. **Results** The linear ranges of 13 analytes were in the range of 0.1~100 mg/L, with correlation coefficients more than 0.999. The limits of quantiation (LOQs) were in the range of 0.5~1.5 mg/kg. The average recoveries at three spiked levels ranged from 90%~110% with RSDs less than 10%.

*通讯作者: 任国杰, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品、药品、以及化妆品中功效成分及禁限用成分检测方法的研究与开发。E-mail: fgrrhf@163.com

*Corresponding author: REN Guo-Jie, Master, Engineer, Dalian Institute Research Institute of Product Quality, Dalian 116630, China. E-mail: fgrrhf@163.com

Conclusion This method is accurate, simple, sensitive and reliable, and can be used for the simultaneous determination of 13 kinds of food additives in sodas.

KEY WORDS: sodas; food additives; high performance liquid chromatography

1 引言

人工合成着色剂与我们的生活关系越来越密切,广泛用于有颜色饮料的生产。其中柠檬黄、新红、苋菜红、靛蓝、胭脂红、日落黄、诱惑红、亮蓝和赤鲜红为饮料中常见的9种着色剂。另外,甜味剂和防腐剂也是碳酸饮料常用食品添加剂,其中苯甲酸、山梨酸为碳酸饮料中常用防腐剂(另外还用作抗氧化剂和稳定剂),糖精钠、安赛蜜为使用频率较高的甜味剂和增味剂。这13种食品添加剂在GB 2760-2014《食品添加剂使用卫生标准》中均制定了最大使用量。近年来,研究发现在这些食品添加剂中,有些可能会引起人类一些不良反应,特别是在超剂量使用的情况下。例如日落黄、诱惑红、柠檬黄、胭脂红,这几种色素被认为与儿童多动症可能有相关性^[1]。过量的苯甲酸和苯甲酸钠的摄入,将会影响肝脏酶对脂肪酸的作用,其次苯甲酸钠中过量的钠对人体血压、心脏和肾脏功能也会形成影响,特别对于心脏。对肝肾功能弱的人群而言,苯甲酸和苯甲酸的摄入是不合适的^[2]。另外也有关于过多的山梨酸摄入对人体也会带来危害(荨麻疹和假过敏)的案例报道^[3,4]。加拿大的流行病学调查表明,人工甜味剂(尤其是糖精钠)的消耗量与男性膀胱癌的发病率呈正相关^[5],安赛蜜的安全性相对稍高,但国家也明确规定食品只能限量使用,近年来已有关于安赛蜜会导致糖尿病人血压上升的报道^[6]。另外,食品添加剂在混合使用时可能产生食品添加剂的联合毒性作用,例如苯甲酸钠分别与糖精钠、柠檬黄联合作用L-929细胞,表现出毒性相加作用^[7]。

这13种食品添加剂所起的几类作用在很大程度上影响了碳酸饮料的品质,所以在碳酸饮料中多存在防腐剂、甜味剂与着色剂等不同类型食品添加剂联用的情况。经文献查阅发现,测定饮品中该13种食品添加剂的方法多为高效液相色谱法^[1,8-12],另外还有高效液相色谱-串联质谱法^[13,14]、气相色谱法^[15]、气相色谱-串联质谱法^[16]、离子色谱法^[17]等方法,这些文献大多数仅涉及单类食品添加剂的分析测定,少数文献涉及两类食品添加剂的同时测定,涉及3类食品添加剂同时测定的文献极少,共包括了8种食品添加剂的同时测定^[18]。在日常检测过程中完成对碳酸饮料中该13种着色剂、甜味剂和防腐剂的测定需参照几个相应的标准,分别来完成相关目标物的测定工作,增加了检验工作的工作量和工作难度。通过文献研究发现,现有的检测方法很难满足这13种食品添加剂的同时测定,

饮料中这13种食品添加剂同时测定的研究存在很大的空白,因此建立该13种食品添加剂同时测定的方法十分必要。本文采用高效液相色谱法同时测定碳酸饮料中的13种(多种类型)食品添加剂,在很大程度上提高工作效率,节约劳动成本。

2 实验部分

2.1 仪器与试剂材料

高效液相色谱仪-二极管阵列检测器(Agilent 1260, 美国 Agilent 公司); 分析天平(感量 0.1 mg、0.01 mg); 漩涡混合器((XW-80A, 上海精科实业有限公司); 超声波清洗器(KQ-250DB, 昆山市超声仪器有限公司); 移液枪或移液器。

柠檬黄、新红、苋菜红、胭脂红、日落黄、亮蓝、赤鲜红、山梨酸和安赛蜜购于德国 Dr. Ehrensorfer 公司, 纯度大于 99%; 苯甲酸、诱惑红和糖精钠购于中国计量科学研究院, 纯度大于 98%; 靛蓝购于日本 TCI 公司, 纯度大于 98%; 甲醇、乙腈(色谱纯, 德国 Merck 公司); 醋酸铵(色谱纯, 美国 Alfa Aesar 公司)

2.2 溶液配制

10 mmol/L 醋酸铵溶液: 称取醋酸铵 0.77 g, 于 1000 mL 容量瓶中, 加入适量水充分溶解, 冷却, 用水定容至刻线, 经 0.45 μm 滤膜滤过, 制得醋酸铵浓度为 10 mmol/L 的醋酸铵溶液。

10 mmol/L 醋酸铵甲醇溶液: 称取醋酸铵 0.77 g, 于 1000 mL 容量瓶中, 加入适量甲醇充分溶解, 冷却, 用甲醇定容至刻线, 经 0.45 μm 滤膜滤过, 制得醋酸铵浓度为 10 mmol/L 的醋酸铵溶液。

标准储备溶液: 称取柠檬黄、新红、苋菜红、靛蓝、胭脂红、日落黄、诱惑红、亮蓝、赤鲜红各 10 mg(精确至 0.1 mg), 置于同一 10 mL 容量瓶中, 加入适量的水充分溶解, 用水定容至刻线, 配制成各目标物浓度为 1.0 mg/mL 的标准储备溶液 I。称取山梨酸、苯甲酸、糖精钠、安赛蜜各 10 mg(精确至 0.1 mg), 置于同一 10 mL 容量瓶中, 加入适量的水充分溶解, 用水定容至刻线, 配制成各目标物浓度为 1.0 mg/mL 的标准储备溶液 II。

标准溶液的配制: 准确移取各标准储备液各 0.1 mL, 于同一 10 mL 容量瓶中, 用水定容至刻线, 配制成各目标物浓度为 100 $\mu\text{g/mL}$ 的混合标准溶液, 再用水稀释成各目标物浓度为 50、20、10、1.0、0.1 $\mu\text{g/mL}$ 的系列混合标准

溶液, 用于高效液相色谱法标准曲线的绘制。

2.3 液相色谱分析参考条件

色谱柱: Agilent poroshell 120 EC-C₁₈(3.0 mm×100 mm, 2.7 μm)。流动相: A: 10 mmol/L 醋酸铵溶液; B: 10 mmol/L 醋酸铵甲醇溶液。梯度洗脱条件: 0~2 min, 5%B~12%B; 2~7 min, 12%B; 7~12 min, 12%B~45%B; 12~15 min, 45%B~80%B; 15~15.1 min, 80%B~5%B; 15.1~21 min, 5%B。检测波长: 230、427、507、620 nm。柱温: 35 ℃。流速: 0.5 mL/min。进样量: 2 μL。

2.4 试样制备

将待测碳酸饮料超声 5 min 脱气, 称取样品约 5.0 g(精确至 1 mg)于 25 mL 刻度试管中, 用 10 mmol/L 的醋酸铵溶液定容至 25 mL, 摇匀, 经 0.45 μm 微孔滤膜过滤后待测。

3 结果与讨论

3.1 样品前处理条件的优化

由于碳酸饮料中存在一定量的二氧化碳和酸味剂导致饮料呈一定的酸性, 直接过膜进样分析时, 会出现待测样品中部分色谱峰的保留时间与标准物质的色谱峰的保留时间出现一定的偏离, 影响目标物的结果分析。经过实验发现, 在样品溶液中加入一定量的醋酸铵能有效改善这一现象, 经过多次试验确定, 用 10 mmol/L 的醋酸铵溶液对样品进行稀释 5 倍后, 可以达到稳定的分析状态。

3.2 液相色谱条件优化

3.2.1 色谱柱的选择

选择合适的色谱柱是分析方法的关键。C₁₈ 色谱柱是实验室最常使用的色谱柱, 因此分析方法也优先选择 C₁₈ 色谱柱。经过考察 14 种目标成分在 C₁₈ 色谱柱上的分离效果, 结果显示该部分目标物在 C₁₈ 色谱柱上存在不同程度的拖尾, 色谱峰峰形严重展宽, 且跟其他化合物色谱峰重叠严重。考虑到该 13 种目标物在提取溶液中存在一定的酸碱性质或离子形态, 推测造成拖尾的原因可能是目标物与固定相上残余的硅羟基之间的相互作用所致。为此我们选择试验了硅羟基作用较弱的 Agilent poroshell 120 EC-C₁₈ 和 ZORBAX SB-Aq 色谱柱。研究显示, 在 ZORBAX SB-Aq 色谱柱上, 优化的色谱条件下对 13 个目标物的色谱分离获得了 13 个基线分离的色谱峰。这说明所有目标物在该色谱柱上获得了优异的色谱分离度。为此我们最终选择了 Agilent ZORBAX SB-Aq 为分析用色谱柱。

3.2.2 流动相的选择

实验中比较了在水相为流动相 A 相(弱洗脱溶剂), 而

流动相 B 相(强洗脱溶剂)分别采用甲醇、乙腈时, 梯度洗脱对 13 种目标化合物色谱分离行为的影响。结果表明, 在优化的色谱条件下, 以乙腈和甲醇作为流动相 B 相时, 乙腈表现出较好的分离和洗脱能力, 但无绝对的分离优势。当在水相中加入一定量的醋酸铵时, 各色谱峰的分度得到明显的改善, 但在梯度洗脱过程中发现, 230 nm 波长条件下的色谱图基线在 5 min 后随着有机相的增加而明显降低, 严重干扰了糖精钠的准确分析, 为此我们选择在有机相中加入一定量的醋酸铵来改善这一现象, 鉴于甲醇对醋酸铵具有一定的溶解能力, 为此选择一定浓度的醋酸铵甲醇溶液做为有机相洗脱溶剂, 经过实验发现, 以 10 mmol/L 的醋酸铵溶液为 A 相, 10 mmol/L 的醋酸铵甲醇溶液为 B 相时, 在梯度洗脱过程中, 基线平稳且各色谱峰均获得良好的分离, 为此采用该流动相系统对 14 种目标物进行色谱分离。

3.2.3 紫外检测波长的优化

通过对所有目标物在 190~700 nm 紫外扫描光谱的分析, 结合该 13 个目标物的最大吸收和常存在的干扰情况, 经优化后确定同时采集 230、427、507 和 620 nm 4 个波长下的液相色谱分离图谱。其中苯甲酸、山梨酸、糖精钠和安赛蜜在 230 nm 波长条件下, 紫外吸收较大, 因此确定该 4 个目标物的检测波长为 230 nm。柠檬黄在 427 nm 波长条件下, 紫外吸收较大, 干扰较小, 因此确定该目标物的检测波长为 427 nm。新红、苋菜红、胭脂红、日落黄、诱惑红和赤鲜红在 507 nm 波长条件下, 紫外吸收较大, 在此波长条件下常见干扰物质基本无紫外吸收, 因此确定该 6 个目标物的检测波长为 507 nm。靛蓝和亮蓝在 620 nm 波长条件下, 紫外吸收尤为明显, 因此确定该 2 个目标物的检测波长为 620 nm。在实验过程中采用二极管阵列检测器, 可以实现单次测定同时采集不同波长通道的数据, 极大缩短了测定时间。

以优化的色谱条件对目标物进行液相色谱分离, 结果表明, 13 种目标物可获得完全的基线分离, 在 18 min 内可获得最优色谱分离效果(见图 1)。

3.3 线性范围与相关系数

移取系列标准溶液, 按照 2.3 色谱条件进行高效液相色谱分析, 以系列标准溶液质量浓度为横坐标, 峰面积为纵坐标, 进行线性回归分析。研究结果表明: 各目标物在 0.5~100 μg/mL 范围内具有良好的线性, 各目标物的线性回归方程及相关系数如表 1 所示。

3.4 回收率与定量限

3.4.1 定量限

向不含目标物质的空白样品中定量添加混合标准溶液, 按前处理方法处理后, 进行检测, 计算信噪比(S/N)。以 S/N=3 为检出限, 以 S/N=10 为定量下限, 各目标物的检出

限与定量下限如表1所示。

3.4.2 回收率

对14种目标物分别在1、10、100 mg/kg 3个浓度水平下进行加标回收实验,每个水平平行测定6个样品,其回收率与相对标准偏差见表2。由表可知,各目标物回收率91.8%~109.9%,相对标准偏差(RSD)均低于10%。方法显示了良好的回收率与精密性。

3.5 实际样品测定

应用本方法对70个实际碳酸饮料进行测定。在实际测定过程中发现,碳酸饮料的配方相对简单,所产生的干扰峰较少,经过该色谱条件分析后,在实际样品分析图谱中各目标物的色谱峰与各干扰峰具有良好分离效果,尤其是色素分析时长波长的应用,使所存在的色谱干扰峰进一步减少。典型实际样品分析图谱如图2所示。

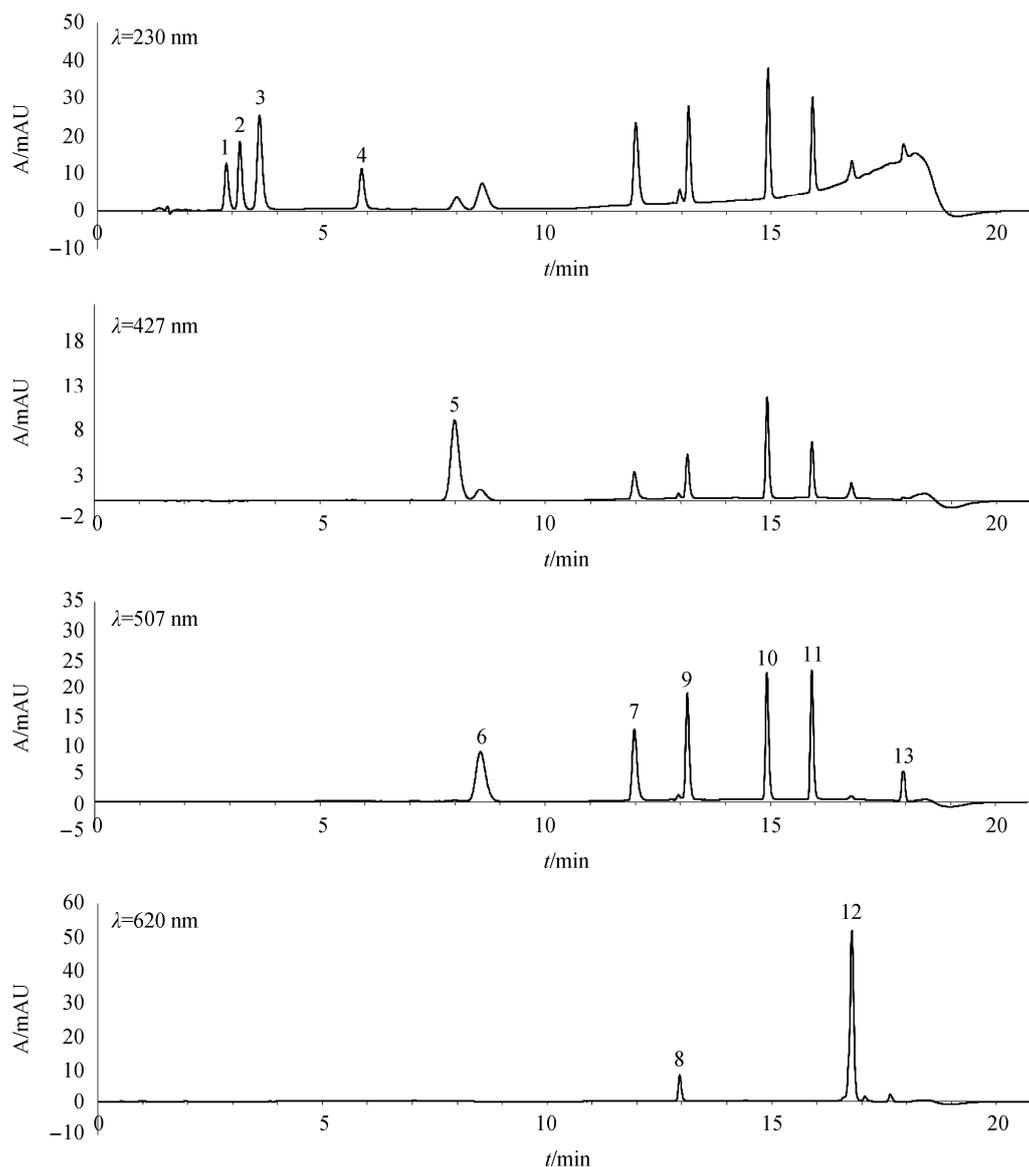


图1 13种食品添加剂的标准色谱图

Fig. 1 Chromatograms of 13 kinds of food additives

1: 苯甲酸(benzoic acid); 2: 安赛蜜(acesulfame); 3: 山梨酸(sorbic acid); 4: 糖精钠(saccharin sodium dehydrate); 5: 柠檬黄(hydrazine yellow); 6: 新红(new red); 7: 苋菜红(naphthol red); 8: 靛蓝(acid blue 74); 9: 胭脂红(carmine); 10: 日落黄(sunset yellow); 11: 诱惑红(allura red); 12: 亮蓝(brilliant blue); 13: 赤藓红(acid red 51)

表 1 13 种食品添加剂的线性回归方程、相关系数、检出限和定量下限
 Table 1 Regression equations, correlation coefficients, LODs and LOQs of 13 kinds of food additives

序号	化合物	线性回归方程	相关系数(r^2)	LOD/(mg/kg)	LOQ/(mg/kg)
1	苯甲酸	$Y=8.102X+0.7746$	0.9995	0.25	1.0
2	安赛蜜	$Y=11.47 X -0.1116$	0.9999	0.15	0.5
3	山梨酸	$Y=20.42 X -0.5555$	0.9999	0.15	0.5
4	糖精钠	$Y=10.09 X -1.639$	0.9994	0.25	1.0
5	柠檬黄	$Y=12.20 X -0.04577$	0.9999	0.25	1.0
6	新红	$Y=13.72 X +0.04225$	0.9999	0.25	1.0
7	苋菜红	$Y=9.499 X +0.1297$	0.9999	0.25	1.0
8	靛蓝	$Y=4.021 X -0.008572$	0.9999	0.5	1.5
9	胭脂红	$Y=10.53 X +0.2648$	0.9999	0.25	1.0
10	日落黄	$Y=11.26 X +0.1141$	0.9999	0.15	0.5
11	诱惑红	$Y=10.89 X +0.02735$	0.9999	0.15	0.5
12	亮蓝	$Y=32.00 X +0.4726$	0.9999	0.15	0.5
13	赤藓红	$Y=3.384 X -0.03892$	0.9999	0.50	1.5

表 2 13 种食品添加剂的方法回收率和 RSD ($n=6$)
 Table 2 Average recoveries and RSDs of 13 kinds of food additives ($n=6$)

化合物	100 mg/kg		10 mg/kg		1 mg/kg	
	平均回收率(%)	RSD(%)	平均回收率(%)	RSD(%)	平均回收率(%)	RSD(%)
苯甲酸	105.2	1.90	101.5	2.63	100.8	4.75
安赛蜜	94.7	3.08	102.6	4.20	101.4	4.91
山梨酸	108.1	2.63	103.8	2.63	105.0	2.46
糖精钠	102.4	3.11	100.2	2.24	101.4	4.55
柠檬黄	96.3	2.54	101.2	4.98	102.0	4.37
新红	93.4	4.34	98.3	5.63	100.9	4.46
苋菜红	102.4	6.23	104.1	4.68	108.1	2.46
靛蓝	92.8	5.01	91.9	5.52	99.7	4.59
胭脂红	95.4	4.80	92.4	3.57	96.3	6.65
日落黄	106.0	1.56	101.4	1.69	109.9	7.10
诱惑红	101.5	2.84	101.2	2.06	101.5	4.36
亮蓝	103.9	3.57	100.6	2.39	100.9	4.50
赤藓红	91.8	2.90	101.2	1.56	93.0	6.66

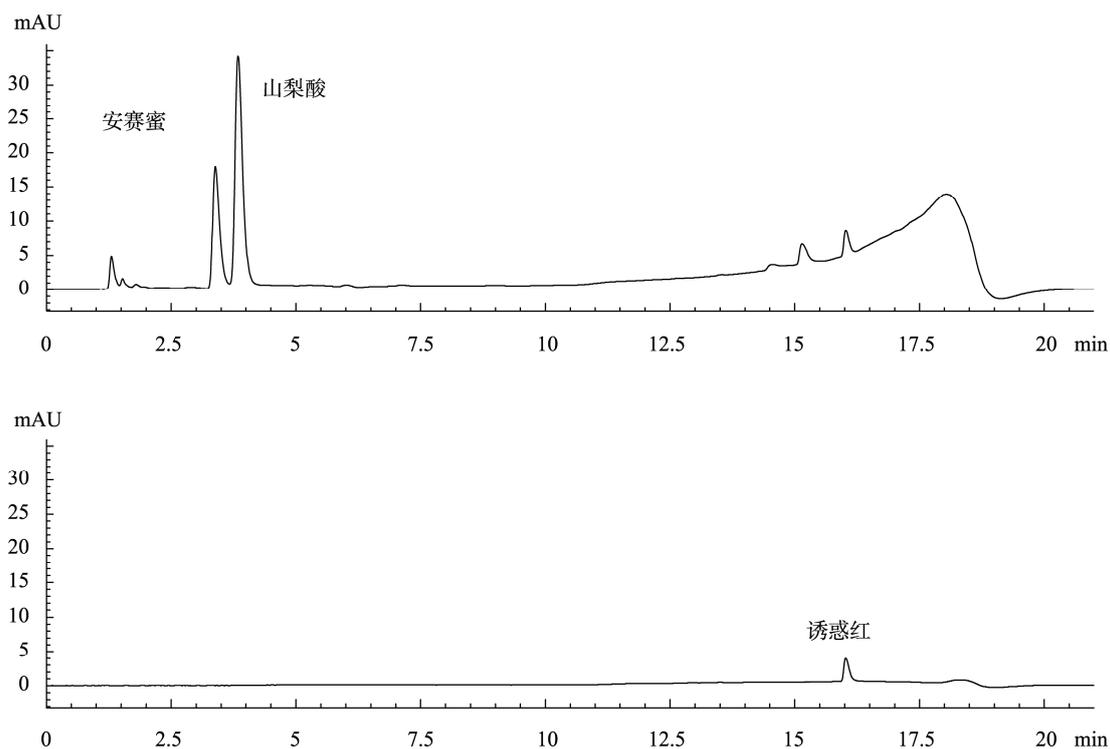


图2 实际样品色谱图

Fig. 2 Chromatograms of samples

4 结论

本文用液相色谱技术建立了同时测定碳酸饮料中 13 种食品添加剂的分析方法。经空白样品加标试验,证明该方法准确、简便、灵敏、可靠,可用于碳酸饮料中该 13 种食品添加剂的同时定量测定,在很大程度上提高工作效率,节约劳动成本。

参考文献

- [1] 肖海龙, 屠海云, 王红青, 等. 反向高效液相色谱法快速测定食品中 18 种水溶性合成着色剂[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(2): 264-266.
Xiao HL, Tu HY, Wang HQ, *et al.* Rapid method for simultaneous determination of 18 water-soluble synthetic pigments in food by RP-HPLC [J]. Chin J Health Lab Technol, 2011, 21(2): 264-266.
- [2] 牟冠文, 李光浩. 食品防腐剂的概况及其检测方法[J]. 食品与发酵工业, 2006, 32(10): 103-107.
Mou GW, Li GH. The introduction of food preservatives and their determination technology [J]. Food Ferment Ind, 2006, 32(10): 103-107.
- [3] Hannuksela M, Haahtela T. Hypersensitivity reactions to food additives [J]. Allergy, 1987, 42(8): 561-575.
- [4] Safford RJ, Basketter DA, Allenby CF, *et al.* Immediate contact reactions to chemicals in the fragrance mix and a study of the quenching action of eugenol [J]. Br J Dermatol, 1990, 123(5): 595-606.
- [5] Howe GR, Burch JD, Miller AB, *et al.* Artificial sweeteners and human bladder cancer [J]. Lancet, 1977, 2(8038): 578-581.
- [6] 郭士平, 冯辉. 生产企业在葡萄酒中违规添加安赛蜜会给消费者带来怎样的危害[J]. 监督与选择, 2006, 4: 27.
Guo SP, Feng H. Production enterprises add oxathiazinone will bring what kind of harm to consumers in the Wine [J]. Superv Choice, 2006, 4: 27.
- [7] 付佳, 吴亦蓬, 邹志飞. 苯甲酸钠与糖精钠、柠檬黄对 L-929 细胞联合毒性的研究[J]. 毒理学杂志, 2010, 24(1): 47-50.
Fu J, Wu CP, Zou ZF. Sodium benzoate and saccharin sodium, citric yellow joint toxicity to the cells of L-929 [J]. J Toxicol, 2010, 24(1): 47-50.
- [8] 张慧, 顾强, 乙小娟, 等. 变波长高效液相色谱法同时测定葡萄酒中 7 种人工合成色素及防腐剂[J]. 食品与发酵科技, 2015, 51(6): 64-67.
Zhang H, Gu Q, Yi XJ, *et al.* Determination of 7 synthetic colors and preservative in wine by HPLC transform wavelength [J]. Food Ferment Technol, 2015, 51(6): 64-67.
- [9] 肖琳, 刘赐敏, 周金森, 等. HPLC 法测定饮料中安赛蜜、糖精钠和阿斯巴甜[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(5): 1120-1122.
Xiao L, Liu CM, Zhou JS, *et al.* Determination of acesulfame potassium, saccharin sodium and aspartame in drinks by HPLC [J]. Chin J Health Lab Technol, 2011, 21(5): 1120-1122.
- [10] 王莉丽, 宋宇, 刘连利, 等. HPLC 法快速测定软饮料中苯甲酸、糖精钠、山梨酸的含量[J]. 渤海大学学报(自然科学版), 2007, 28(2): 129-131.
Wang LL, Song Y, Liu LL, *et al.* Quick test of contents of benzoic acid, saccharin acid and sorbic acid in soft drinks by using HPLC method [J]. J Bohai Univ (Nat Sci Ed), 2007, 28(2): 129-131.

- [11] 陈丹萍, 杨富春, 张宝元. 超高效液相色谱法快速测定饮料中的安赛蜜、苯甲酸、山梨酸和糖精钠[J]. 现代食品科学, 2011, 27(5): 533-601-603.
Chen DP, Yang FC, Zhang BY. Rapid determination of acesulfame, benzoic acid, sorbic acid and sodium saccharin in beverage by ultra performance liquid chromatography [J]. Mod Food Sci. Technol, 2011, 27(5): 533, 601-603.
- [12] 顾慧, 成霏, 刘温喜. 超高效液相色谱(UPLC)测定饮料中 6 种着色剂[J]. 科技创新导报, 2010, 5: 11-13.
Gu H, Chen P, Liu WX. Simultaneous determining 6 kinds of coloring agent in beverage by UPLC [J]. Sci Technol. Innov Her, 2010, 5: 11-13.
- [13] 刘佟, 杨悠悠, 王浩, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定饮品中 7 种人工合成甜味剂[J]. 分析测试技术与仪器, 2015, 21(4): 218-223.
Liu D, Yang YY, Wang H, *et al.* Determination of 7 artificial sweeteners in drink using ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Anal Test Technol Instrum, 2015, 21(4): 218-223.
- [14] 伊熊海, 邓晓军, 杨慧琴, 等. 液相色谱-串联质谱法检测食品中的多种以滥用着色剂[J]. 色谱, 2011, 29(11): 1062-1069.
Yin XH, Deng XJ, Yang H, *et al.* Determination of commonly abused dyes in food by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Chromatogr, 2011, 29(11): 1062-1069.
- [15] 侯瑞霞, 吴青. 气相色谱法同时测定食品中 11 种防腐剂[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(4): 865-867.
Hou RX, Wu Q. Simultaneous determination of 11 Preservatives in foods by gas chromatography [J]. Chin J Health Lab Technol, 2011, 21(4): 865-867.
- [16] 陈琦, 凌云, 张峰, 等. 搅拌棒吸附萃取结合气相色谱/质谱/质谱法同时测定饮料和果酱中的 7 种防腐剂[J]. 分析化学, 2010, 38(8):1156-1160.
Chen Q, Ling Y, Zhang F, *et al.* Simultaneous determination of seven preservatives in beverage and jam using stir bar sorptive extraction and gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chin J Anal Chem, 2010, 38(8): 1156-1160.
- [17] 陈志涛, 张睿, 郑香平, 等. 离子色谱法测定葡萄酒中的山梨酸和苯甲酸含量[J]. 理化检验-化学分册, 2015, 51(12): 1658-1660.
Chen ZT, Zhang R, Zheng XP, *et al.* Determination of sorbic acid and benzoic acid in wine by ion chromatography [J]. PTCA (Part B: Chem Anal), 2015, 51(12): 1658-1660.
- [18] 吕孝丽, 徐焯, 雷雅娟. 高效液相色谱法同时测定饮料中的着色剂、甜味剂与防腐剂[J]. 当代化工, 2007, 36(2): 202-205.
Lv XL, Xu H, Lei YJ. The Determined simultaneously of many colorants, preservatives and sweeteners by high performance liquid chromatography [J]. Contem Chem Ind, 2007, 36(2): 202-205.

(责任编辑: 白洪健)

作者简介



孙稚菁, 高级工程师, 主要研究方向为食品和化工产品质量安全监测。
E-mail: 531639538@qq.com



任国杰, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品、药品、以及化妆品中功效成分及禁用成分检测方法的研究与开发。
E-mail: fgrhrfy@163.com