

超高效液相色谱法同时测定含乳饮料中 12 种食品添加剂

曹梅荣, 孙 磊, 贾文轩, 刘红冉, 范素芳*

(河北省食品检验研究院, 河北省食品安全重点实验室, 石家庄 050091)

摘要: 目的 建立超高效液相色谱法同时快速测定含乳饮料中 3 种甜味剂、7 种防腐剂 and 2 种酸味剂的检测方法。**方法** 样品用水提取后, 加入亚铁氢化钾和乙酸锌溶液沉淀蛋白质及其他杂质。以 Waters XBridge BEH C₁₈ 柱(100 mm×2.1 mm, *i.d.* 1.7 μm)为分离柱, 甲醇-20 mmol/L 乙酸铵溶液为流动相梯度洗脱, 流速为 0.3 mL/min, 采用二极管阵列检测器进行检测, 检测波长为 230 nm 和 210 nm。**结果** 12 种目标物可以在 6 min 内达到较好的分离, 在 0.010~80 μg/mL 范围内呈良好的线性关系($r^2 \geq 0.9996$), 检出限为 0.03~0.15 mg/kg, 定量限 0.10~0.50 mg/kg, 样品在 3 个加标水平(1、10 和 50 mg/kg)的回收率为 80.2%~99.7%, 相对标准偏差为 1.23%~4.70%。**结论** 该方法操作简单, 快速, 适用于含乳饮料中 12 种食品添加剂的检测。

关键词: 超高效液相色谱法; 食品添加剂; 含乳饮料; 防腐剂; 甜味剂; 酸味剂

Simultaneous determination of 12 kinds of food additives in milk-containing beverages by ultra performance liquid chromatography

CAO Mei-Rong, SUN Lei, JIA Wen-Xuan, LIU Hong-Ran, FAN Su-Fang*

(Hebei Food Inspection and Research Institute, Hebei Food Safety Key Laboratory, Shijiazhuang 050091, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for simultaneous determination of 3 kinds of preservatives, 7 kinds of sweeteners and 2 kinds of acidulants in milk-containing beverage by ultra performance liquid chromatography (UPLC). **Methods** After the sample was extracted with water, ferrous potassium hydride and zinc acetate solution were added to precipitate proteins and other impurities, and then it was gradient eluted by a column of Waters XBridge BEH C₁₈ (100 mm×2.1 mm, *i.d.* 1.7 μm) with the mobile phase of methanol and 20 mmol/L ammonium acetate solution at a flow rate of 0.3 mL/min. Detection was performed using a diode array detector with detection wavelengths of 230 nm and 210 nm. **Results** The 12 kinds of food additives could be effectively separated within 6 min. In the range of 0.010-80 μg/mL, there was a good linear relationship ($r^2 \geq 0.9996$), the limit of detection was 0.03-0.15 mg/kg, and the limit of quantification was 0.10-0.50 mg/kg. The recoveries of samples at 3 levels (1, 10 and 50 mg/kg) were 80.2%-99.7% and the relative standard deviations (RSDs) were 1.23%-4.70%. **Conclusion** This method is rapid and convenient, which is suitable for the determination of 12 kinds of food additives in milk-containing beverages.

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1603401)

Fund: Supported by National Key Research and Development Program (2018YFC1603401)

*通讯作者: 范素芳, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: fansufang840502@163.com

*Corresponding author: FAN Su-Fang, Ph.D, Senior Engineer, Hebei Food Inspection and Research Institute, Fanrong Road, Shijiazhuang 050091, China. E-mail: fansufang840502@163.com

KEY WORDS: ultra performance liquid chromatography; food additives; milk beverage; preservatives; sweeteners; acidulants

1 引言

含乳饮料是以乳或者乳制品为原料,加入水及适量辅料经过配制或发酵而成的饮料制品。根据 GB/T 21732-2008^[1]的分类方法,可将其分为配制型含乳饮料、发酵型含乳饮料和乳酸菌饮料3类。含乳饮料以其酸甜的口感深受青少年的欢迎,但是某些生产厂家在含乳饮料包装和宣传上误导消费者,导致消费者认为含乳饮料就是酸奶。实际上,第一,含乳饮料产品标准要求乳酸菌饮料中蛋白质的含量 $\geq 0.7\%$,配制型和发酵型含乳饮料中蛋白质的含量 $\geq 1.0\%$,其蛋白质含量远低于酸奶。第二,含乳饮料中除含有部分乳制品外,还添加了水、白糖和多种食品添加剂成分,如防腐剂、甜味剂、酸味剂、增稠剂、着色剂、香精香料等^[2]。在国家标准规定的范围内添加食品添加剂可以改善乳饮料的口感、品质和色泽,延长货架期。但如果长期大量食用含有这些添加剂的食品,会影响人体健康,尤其不利于青少年的健康成长^[3,4]。

在2016~2017年国家食品安全监督抽检发现的主要问题中,超范围和超限量使用食品添加剂占每季度主要问题构成比例的24%~33.8%^[5],食品添加剂的安全使用仍是国家监督抽检和风险监测的重点。但现行国家标准大都针对单个或者几种食品添加剂,针对不同样品前处理方法复杂,检测效率低^[6-8]。近年来同时检测多种食品添加剂的方法越来越多,随着检测仪器种类的多样化,方法的灵敏度和准确度都有所提高。常见的检测方法有超高效液相色谱检测法(ultra performance liquid chromatography, UPLC)^[9,10]、高效液相色谱检测法(high performance liquid chromatography, HPLC)^[11,12]、液相色谱-串联质谱法(liquid chromatography-mass spectrometry, LC-MS)^[13-15]、气相色谱检测法(gas chromatography, GC)^[16]、离子色谱法^[17]、毛细管电泳法^[18]等。其中UPLC以其操作简便、分析快速、重现性好等特点,成为开发多种食品添加剂检测方法的重要手段。牟霄等^[10]建立了饮料中7种水溶性着色剂、3种防腐剂和4种甜味剂的超高效液相分析方法,14种食品添加剂在20 min内完全分离。谭建林等^[11]建立了超高效液相色谱法同时测定5种防腐剂和甜味剂的分析方法,优化了样品的前处理过程,比较两种流动相的检测结果,当流动相为乙腈-磷酸二氢钾体系时,5种添加剂有较好的分离效果。

然而,目前同时检测防腐剂、甜味剂和酸味剂的检测方法报道较少,并且未见有关新型酸味剂顺丁烯二酸和富马酸及常见防腐剂和甜味剂的同时检测方法。本研究针对

含乳饮料的产品特点,建立超高效液相色谱法快速测定含乳饮料中12种常见的食品防腐剂、甜味剂和酸味剂,将该方法成功的应用于大批量含乳饮料的检测中,检测效率更高更准确,以期实现高通量和快速测定。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

标准品:乙酰磺胺酸钠(安赛蜜)、苯甲酸、山梨酸、糖精钠(1.0 mg/mL,中国计量科学研究院);阿斯巴甜(含量 $\geq 99.0\%$,德国DR公司);脱氢乙酸(1.0 mg/mL,北京坛墨质检科技公司);对羟基苯甲酸甲酯、对羟基苯甲酸乙酯、对羟基苯甲酸丙酯、对羟基苯甲酸丁酯(1.0 mg/mL,北京海岸鸿蒙标准物质技术有限责任公司);顺丁烯二酸(含量 $\geq 98.1\%$,中国药品生物制品检定所);富马酸(含量 $\geq 98.9\%$,德国DR公司)。

甲醇、乙腈(色谱纯,美国默克公司);乙酸铵(纯度99.2%,美国Fisher Scientific公司);实验用水为屈臣氏蒸馏水;冰乙酸、乙酸锌、亚铁氰化钾等其他试剂(分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司)。

2.2 仪器与设备

PE A-30 超高效液相色谱仪[内附二极管阵列检测器(PDA),美国PE公司];色谱柱为Waters XBridge BEH C₁₈柱(2.1 mm \times 100 mm, 1.7 μ m,美国Waters公司);3K15高速冷冻离心机(德国Sigma公司);ME204E万分之一分析天平(法国Mettler公司);P300H超声波清洗器(德国Elma公司);电子移液器量程分别为0.2、1.0和5.0 mL(德国Eppendorf公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 样品前处理

在当地超市分别购买娃哈哈品牌的3种含乳饮料,小洋人品牌的5种含乳饮料和养乐多活菌型乳酸菌饮品共计9种样品。

准确称取约5 g样品于50 mL刻度试管中,加入20 mL水,涡旋混匀1 min,加2.5 mL亚铁氰化钾溶液(106 g/L)和2.5 mL乙酸锌溶液(220 g/L),涡旋混匀后超声提取20 min。用水定容至刻度,混匀,于8000 r/min离心2 min,上清液过0.22 μ m滤膜,待液相色谱测定。

2.3.2 标准溶液配制

标准储备液:准确称取适量阿斯巴甜、顺丁烯二酸和富马酸标准品于10 mL容量瓶中,用水定容至刻度,分别配成浓度为1.0 mg/mL的标准储备液。

混合标准溶液:准确移取上述各标准储备液和糖精钠、安赛蜜、山梨酸、苯甲酸、脱氢乙酸、对羟基苯甲酸甲酯、对羟基苯甲酸乙酯、对羟基苯甲酸丙酯、对羟基苯甲酸丁酯标准溶液(浓度均 1.0 mg/mL)各 2.0 mL 于 25 mL 容量瓶中,用水定容至刻度,得到 12 种物质 80 $\mu\text{g/mL}$ 的混合标准溶液。

用水将上述混合标准工作液逐级稀释为 0.01、0.02、0.05、0.1、1.0、10、20、50、80 $\mu\text{g/mL}$ 的系列混合标准工作液,并在下述色谱条件下测定,得到各自的标准曲线方程。

2.3.3 色谱条件

色谱柱为 Waters XBridge BEH C_{18} 柱(2.1 mm \times 100 mm, 1.7 μm),以甲醇为流动相 A,以 20 mmol/L 乙酸铵溶液为流动相 B,采用梯度洗脱程序详见表 1;流速为 0.3 mL/min;进样体积为 2 μL ;色谱柱温度 30 $^{\circ}\text{C}$;检测波长为 230、210 nm。

表 1 梯度洗脱程序
Table 1 Gradient elution procedure

检测时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%
0	5	95
2.5	90	10
3.0	90	10
4	70	30
4.5	30	70
4.6	5	95

3 结果与分析

3.1 样品前处理优化

在含乳饮料中常会添加羧甲基醋酸纤维素钠、果胶、黄原胶或瓜尔多胶等食品添加剂,以达到饮料浓稠的目的,所以含乳饮料在前处理过程中首要除去蛋白质和上述糖类物质。铁氰化钾溶液(106 g/L)和乙酸锌溶液(220 g/L)作为澄清剂可以有效沉淀蛋白质和可溶性糖类,因此本实验选用该沉淀剂处理样品。

超声波提取能加速提取成分的扩散释放并与溶剂充分混合,有利于样品的沉淀。所以超声提取的时间也是影响提取效果的一个因素。本实验通过比较 12 种目标物的峰面积来衡量加标样品在 10~40 min 内的超声提取的效果。从检测的峰面积看,在 10~20 min 内,随着超声时间的增长,目标物的峰面积逐渐增加,但是超声时间在 20~40 min 内 12 种目标物的峰面积变化不大,综合考虑提取效率和

时间,实验选用 20 min 作为超声提取的时间。

3.2 流动相的优化

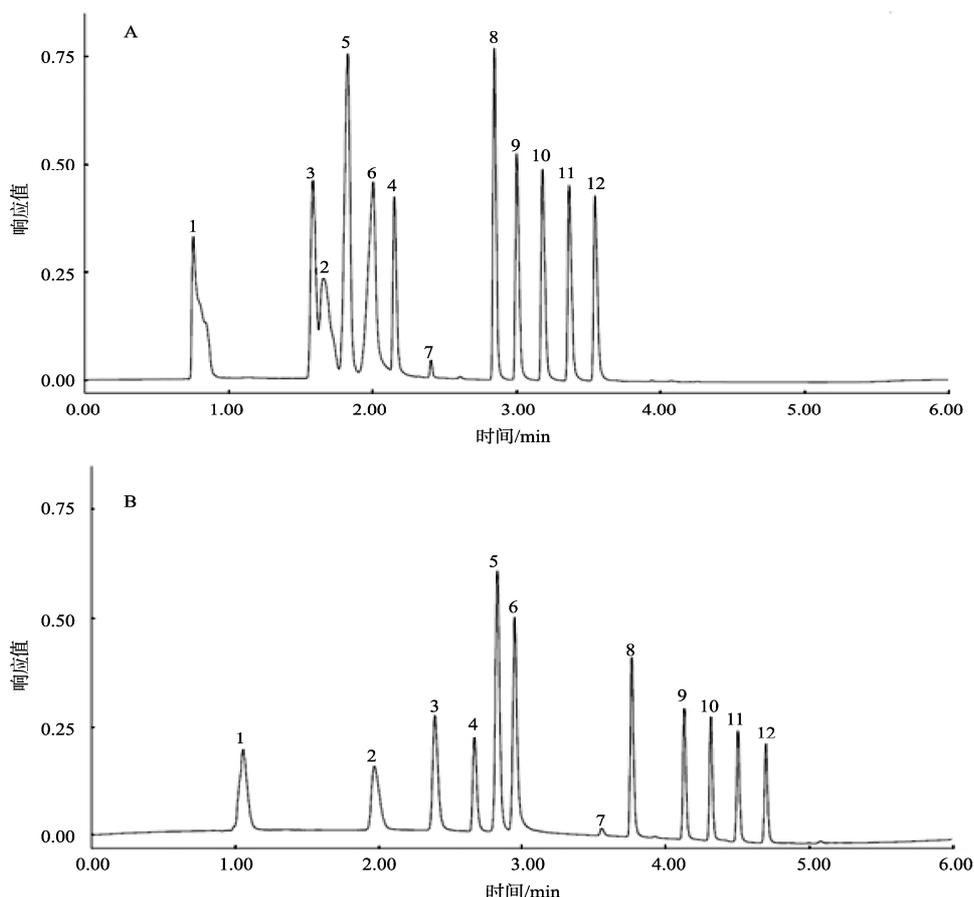
乙酸铵溶液-甲醇和乙酸铵溶液-乙腈体系常用于多种食品添加剂的分离,所以实验比较了甲醇-乙酸铵缓冲溶液和乙腈-乙酸铵缓冲溶液作为流动相行为,乙酸铵浓度为 20 mmol/L。如图 1,在相同的梯度条件下,流动相为乙腈-20 mmol/L 乙酸铵缓冲溶液时,各组分出峰时间较早且峰较密集,顺丁烯二酸峰形拖尾严重,安赛蜜、苯甲酸没有基线分离。因此,实验选择甲醇-乙酸铵体系作为流动相。实验优化甲醇-10 mmol/L 乙酸铵体系、甲醇-20 mmol/L 乙酸铵体系、甲醇-30 mmol/L 乙酸铵体系和甲醇-50 mmol/L 乙酸铵体系时,各组分的出峰情况。结果显示乙酸铵浓度为 20 mmol/L 时,目标物峰型尖锐且所有组分都能基线分离。乙酸铵浓度过高时,容易出现结晶现象,从而导致柱压升高。因此实验最终采用甲醇-20 mmol/L 乙酸铵作流动相,12 种目标物在 6 min 内基线分离。

3.3 各组分检测波长的选择

多种物质同时检测时选择波长的原则是既要每种分析物的检测响应值尽可能高,定量方法又不能太复杂。本实验采用 PDA 检测器在 190~400 nm 波长范围内对混合标准溶液进行扫描,得到各组分的最大吸收波长(见表 2),由于甲醇的最大吸收波长为 200 nm,背景紫外吸收较高,所以最终选定检测波长为 230 nm 和 210 nm。12 种目标物标准溶液在不同检测波长时的色谱图见图 2。

表 2 12 种目标物的最大吸收波长和检测波长
Table 2 The maximum and characteristic absorption wavelength of 12 food additives

目标物	最大吸收波长/nm	检测波长/nm
苯甲酸	223.4	230
山梨酸	253.0	230
安赛蜜	225.8	230
脱氢乙酸	229.3	230
对羟基苯甲酸甲酯	225.0	230
对羟基苯甲酸乙酯	225.0	230
对羟基苯甲酸丙酯	225.0	230
对羟基苯甲酸丁酯	225.0	230
糖精钠	205.7	230
顺丁烯二酸	211.6	230
富马酸	211.6	230
阿斯巴甜	208.1	210



注: a: 乙腈-20 mmol/L 乙酸铵溶液作流动相; b: 甲醇-20 mmol/L 乙酸铵溶液作流动相

1. 顺丁烯二酸; 2. 安赛蜜; 3. 苯甲酸; 4. 糖精钠; 5. 山梨酸; 6. 脱氢乙酸; 7. 阿斯巴甜; 8. 富马酸; 9. 对羟基苯甲酸甲酯; 10. 对羟基苯甲酸乙酯; 11. 对羟基苯甲酸丙酯; 12. 对羟基苯甲酸丁酯

图 1 12 种目标物在不同流动相下的色谱图(230 nm 波长下)

Fig.1 Chromatograms of 12 kinds of mixed food additives with mobile phase of methanol-ammonium acetate and acetonitrile-ammonium acetate (230 nm)

3.4 方法线性关系、精密度、检出限和定量限

将 0.01、0.02、0.05、0.1、1、10、20、50、80 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的系列标准溶液在所选定的色谱条件下测定, 每个浓度重复测定 3 次, 以 3 次的平均峰面积和相应的质量浓度绘制成标准曲线, 得到各自的标准曲线方程。将混合标准溶液用空白样品溶液连续稀释, 按照建立的前处理方法进行分析, 确定含乳饮料中 12 种添加剂的检出限(以 3 倍信噪比计算)和定量限(以 10 倍信噪比计算)。12 种添加剂的标准曲线的线性方程、线性范围、相关系数(r^2)、检出限和定量限见表 3。从表 3 中可得, 12 种组分在 0.010~80 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内有良好线性, 线性相关系数均大于 0.9996, 方法的检出限为 0.030~0.15 mg/kg , 定量限为 0.10~0.50 mg/kg 。

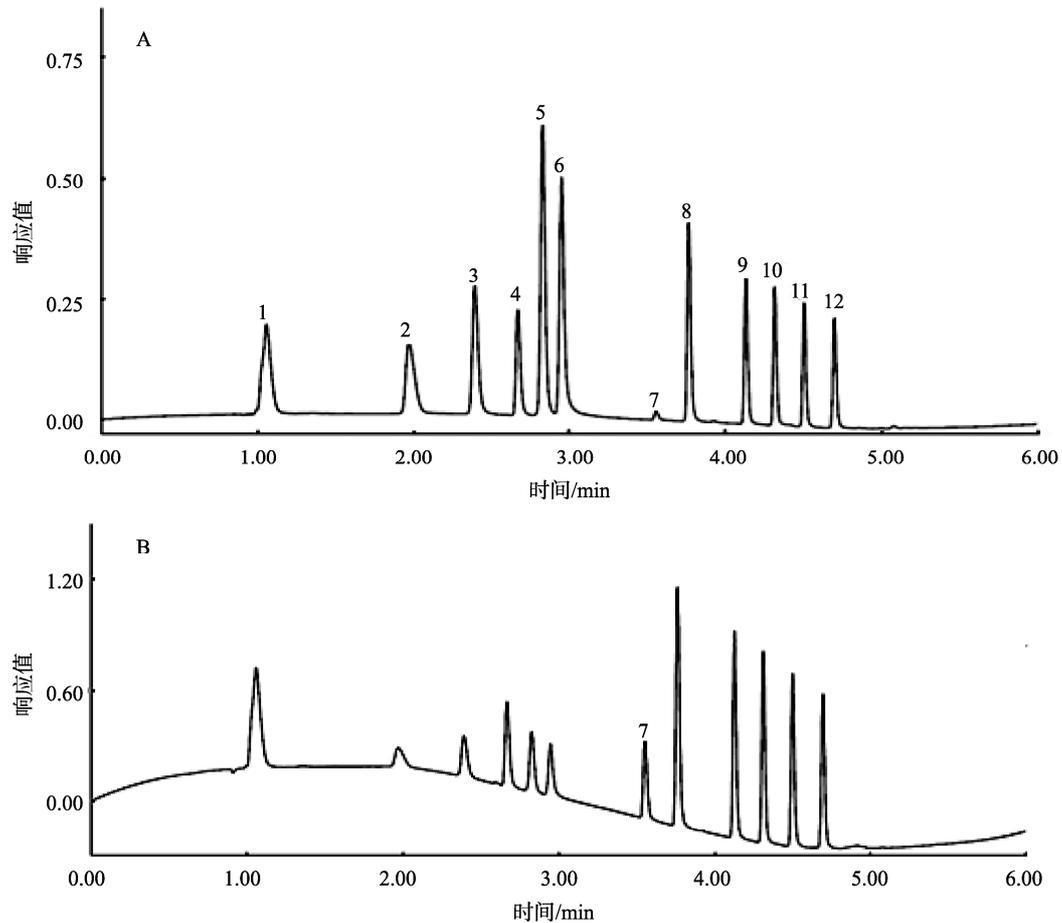
3.5 方法的回收率与精密度

选取同一空白样品的平行试样 6 份, 分别添加高(50 mg/kg)、中(10 mg/kg)、低(1 mg/kg) 3 个水平的等量混

合标准溶液, 按照 2.3.1 节样品处理进行回收率实验, 每个水平重复操作 3 次, 所得的回收率及精密度见表 4。12 种食品添加剂的回收率范围在 80.2%~99.7%之间, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)为 1.23%~4.70%, 说明该方法准确可靠。

3.6 实际样品检测

2018 年实验室采用本方法对监督抽检任务中 60 批次的样品进行测定, 分别为 30 批次配制型含乳饮料、20 批次发酵型含乳饮料和 10 批次乳酸菌饮料。其中 58 份样品中检出不同浓度的食品添加剂, 以苯甲酸、山梨酸、安赛蜜和阿斯巴甜为主, GB 2760-2014《食品添加剂卫生标准》中规定允许饮料中限量使用上述 4 种添加剂^[19]。样品中苯甲酸检出批次为 6 批次, 检出率为 10.0%; 山梨酸的检出批次为 31 批次, 检出率为 51.7%, 安赛蜜检出批次为 50 批次, 检出率为 83.3%, 阿斯巴甜的检出批次为 29 批次, 检出率为 48.3%, 样品没有发现超范围超限量使用的情况。



注: a: 230 nm 波长下色谱图; b: 210 nm 波长下色谱图

1. 顺丁烯二酸; 2. 安赛蜜; 3. 苯甲酸; 4. 糖精钠; 5. 山梨酸; 6. 脱氢乙酸; 7. 阿斯巴甜; 8. 富马酸; 9. 对羟基苯甲酸甲酯; 10. 对羟基苯甲酸乙酯; 11. 对羟基苯甲酸丙酯; 12. 对羟基苯甲酸丁酯

图2 质量浓度为 20 µg/mL 的 12 种混和标准溶液的色谱图

Fig.2 Chromatogram of 12 standards at the centration of 20 µg/mL

表3 方法线性方程、线性范围、定量限和检出限

Table 3 Calibration curves, correlation coefficients (r^2), linear ranges, limits of quantification and limits of detection limits of 12 kinds of food additives

组分名称	线性方程	线性范围/(µg/mL)	相关系数 r^2	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
苯甲酸	$Y=11545X-3561$	0.020~80	0.9998	0.060	0.20
山梨酸	$Y=19224X-5472$	0.010~80	0.9997	0.030	0.10
脱氢乙酸	$Y=10125X-5428$	0.030~80	0.9999	0.100	0.30
对羟基苯甲酸甲酯	$Y=11705X-1851$	0.020~80	0.9996	0.060	0.20
对羟基苯甲酸乙酯	$Y=11510X-1245$	0.020~80	0.9996	0.060	0.20
对羟基苯甲酸丙酯	$Y=11050X-1174$	0.020~80	0.9997	0.060	0.20
对羟基苯甲酸丁酯	$Y=11370X-1089$	0.020~80	0.9996	0.060	0.20
安赛蜜	$Y=7498X-881$	0.050~80	0.9999	0.150	0.50
糖精钠	$Y=6970X-3060$	0.040~80	0.9996	0.100	0.40
阿斯巴甜	$Y=19981X-208$	0.030~80	0.9998	0.100	0.30
顺丁烯二酸	$Y=8546X-1511$	0.040~80	0.9997	0.120	0.40
富马酸	$Y=78467X-996$	0.040~80	0.9996	0.120	0.40

表 4 加标回收率实验结果($n=6$)
Table 4 Average recoveries and relative standard deviations (RSDs) of 12 kinds of food additives spiked in blank sample($n=6$)

添加剂名称	本底值/(mg/kg)	添加水平 1/(1 mg/kg)		添加水平 2/(10 mg/kg)		添加水平 3/(50 mg/kg)	
		回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
苯甲酸	ND*	90.6	2.71	96.4	1.23	98.8	1.72
山梨酸	ND	93.7	4.62	97.7	3.63	99.7	2.19
脱氢乙酸	ND	89.2	2.12	93.2	2.84	94.9	3.23
对羟基苯甲酸甲酯	ND	96.5	4.23	92.0	2.94	95.5	3.37
对羟基苯甲酸乙酯	ND	98.6	3.35	96.7	2.57	96.8	2.21
对羟基苯甲酸丙酯	ND	99.3	4.61	97.8	2.74	99.3	1.82
对羟基苯甲酸丁酯	ND	97.2	4.70	98.2	3.85	98.4	2.65
安赛蜜	ND	80.2	3.50	95.2	2.41	96.2	1.76
糖精钠	ND	80.6	4.45	83.1	2.73	97.5	2.35
阿斯巴甜	ND	88.9	2.74	95.3	1.62	95.4	1.54
顺丁烯二酸	ND	85.1	3.11	87.5	3.48	94.1	3.27
富马酸	ND	85.7	3.42	90.1	2.91	93.7	2.88

注: *ND 表示未检出

表 5 实验方法比对
Table 5 Comparison of experimental methods

食品添加剂	样品	分析方法	分析时间/min	检出限/(mg/kg)	加标回收范围	相关文献
12 种防腐剂、甜味剂和酸味剂	含乳饮料	UPLC	6	0.03 ~ 0.15	80.2% ~ 99.7%	本研究建立方法
14 种着色剂、甜味剂和防腐剂	饮料	UPLC	20	0.3 ~ 0.6	92.7% ~ 97.1%	[10]
5 种防腐剂和甜味剂	食品	UPLC	20	0.050 ~ 0.6	92.1% ~ 101.4%	[9]
12 种防腐剂和甜味剂	食品	HPLC	50	1.0 ~ 5.0	70.9% ~ 115.6%	[11]
8 种防腐剂和甜味剂	饮料	HPLC	50	0.1~0.3	91%~102.5%	[12]

3.7 实验方法比较

将本研究建立的方法与相关文献报道的方法的部分参数比较, 见表 5。本研究建立的超高效液相色谱法同时测定 12 种食品添加剂的方法定量限较低; 分析检测时间短, 仅需 6 min, 优于相关文献报道的方法。因此, 本研究建立的方法适用于含乳饮料中 12 种食品添加剂的测定。

4 结 论

本研究建立了超高效液相色谱法同时检测含乳饮料中 7 种防腐剂、3 种甜味剂和 2 种酸味剂的分析方法。该方法适用于大批量含乳饮料的检测工作, 操作简单快速。该方法回收率高, 检出限和定量限低, 结果准确可靠, 方

法的定量范围可以满足含乳饮料中 12 种食品添加剂的检测要求。

参考文献

- [1] GB/T 21732-2008 食品安全国家标准 含乳饮料[S]. GB/T 21732-2008 National food safety standard- Milk beverage [S].
- [2] 刘印平, 路杨, 杨立新, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法快速测定饮料中 22 种添加剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, (3): 980-986. Liu YP, Lu Y, Yang LX, *et al.* Simultaneous determination of 22 additives in beverage by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2015, (3): 980-986.
- [3] Tfouni SAV, Toledo MCF. Determination of benzoic and sorbic acids in Brazilian food [J]. Food Control, 2002, 13(2): 117-123.
- [4] Golden R, Gandy J, Vollmer G. A review of the endocrine activity of parabens and implications for potential risks to human health [J]. Crit Rev Toxicol, 2005, 35(5): 435-458.

- [5] 吕冰峰, 吕卓, 应雨晴, 等. 2016-2017 年全国食品安全监督抽检结果分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(11): 2862-2867.
Lv BF, Lv Z, Ying YQ, *et al.* National food supervision and sampling inspection in 2016-2017 [J]. J Food Saf Qual, 2018, 9(11): 2862-2867.
- [6] GB 5009.28-2016 食品安全国家标准 食品中苯甲酸、山梨酸和糖精钠的测定[S].
GB5009.28-2016 National food safety standard-Determination of benzoic acid, sorbic acid and saccharin sodium in food [S].
- [7] GB 5009.121-2016 食品安全国家标准 食品中脱氢乙酸的测定[S].
GB 5009.121-2016 National food safety standard-Determination of dehydroacetic acid in food [S].
- [8] GB 5009.263-2016 食品安全国家标准 食品中阿斯巴甜和阿力甜的测定[S].
GB 5009.263-2016 National food safety standard-Determination of aspartame and altanle in food [S].
- [9] 蒋孟圆, 张瑞雨, 刘晓松, 等. 二级管阵列-超快速液相色谱法同时测定食品中 5 种添加剂的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(10): 3819-3825.
Jiang MY, Zhang RY, Liu XS, *et al.* Simultaneous determination of 5 kinds of additives in food by ultra high performance liquid chromatography with diode array detector [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(10): 3819-3825.
- [10] 牟宵, 张璐, 张崇森, 等. 超高效液相色谱法同时测定饮料中 14 种食品添加剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(8): 3177-3184.
Mou X, Zhang L, Zhang CM, *et al.* Simultaneous determination of 14 kinds of food additives in beverage by ultra performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(8): 3177-3184.
- [11] 谭建林, 冯雷, 俸金梅, 等. 高效液相色谱法同时测定食品中 12 种防腐剂 and 甜味剂[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(10): 4101-4105.
Tan JL, Feng L, Feng JM, *et al.* Simultaneous determination of 12 kinds of preservatives and sweeteners in food by high performance liquid chromatography [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(10): 4101-4105.
- [12] 卫星华, 李荣, 董曼曼, 等. 高效液相法同时测定食品中 8 种食品添加剂[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(24): 137-140.
Wei XH, Li R, Dong MM, *et al.* Determination of eight food additives in drink by HPLC [J]. Food Res Dev, 2017, 38(24): 137-140.
- [13] Fabio F, Chiara G, Alessandro LM. Multi-detection of preservatives in cheeses by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. J Chromatogr B, 2012, 906(1): 9-18.
- [14] Xiu Q, Zhang LF, Sun YY, *et al.* Accurate screening for synthetic preservatives in beverage using high performance liquid chromatography with time-of-flight mass spectrometry [J]. Anal Chim Acta, 2008, 608(2): 165-177.
- [15] Anton K. Analysis of a variety of inorganic and organic additives in food products by ion-pairing liquid chromatography coupled to high-resolution mass spectrometry [J]. Anal Bioanal Chem, 2018, 410(22): 5629-5640.
- [16] 周家萍, 李典, 李治东, 等. 气相色谱法同时测定食品中 8 种防腐剂[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(14): 161-163.
Zhou JP, Li D, Li ZD, *et al.* Determination of eight food additives in drink by HPLC [J]. Food Res Dev, 2017, 38(14): 161-163.
- [17] 沈燕飞, 朱仙娜, 姚澄, 等. 阀切换离子色谱技术同时检测饮料中的糖类、甜味剂和防腐剂[J]. 食品科学, 2018, 39(16): 311-315.
Shen YF, Zhu XN, Yao C, *et al.* Simultaneous determination of sugars, sweeteners, and preservatives in beverages using ion chromatography couple of valve switching technique [J]. Food Sci, 2018, 39(16): 311-315.
- [18] Souza DJFF, Guadalupe CA, Lais DAP, *et al.* Simple and fast method for simultaneous determination of propionate and sorbate in bread by capillary electrophoresis with UV spectrophotometric detection [J]. J Food Compos Anal, 2018, (72): 93-96.
- [19] GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S].
GB 2760-2014 National food safety standard-Standards for uses of food additives [S].

(责任编辑: 苏笑芳)

作者简介



曹梅荣, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: caomeirong@nepp.com.cn



范素芳, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: fansufang840502@163.com