

加压毛细管电色谱法分析调味果蔬汁饮品中5种有机酸

桑大席,张孔海*

(信阳农林学院 食品学院,河南 信阳 464000)

摘要:建立一种可以同时测定调味果蔬汁饮品中草酸、柠檬酸、酒石酸、苹果酸、乙酸的加压毛细管电色谱法。样品加入10%乙醇提取并超声30 min,检测的流动相为80%乙腈-水(含0.05 mol/L KH_2PO_4 , pH 2.5),施加+5 kV电压进行分离,二极管阵列检测器的检测波长为210 nm,并以外标法峰面积定量。结果表明,5种目标物在1.0 $\mu\text{g/mL}$ ~50.0 $\mu\text{g/mL}$ 浓度范围内线性良好,检出限范围为0.20 mg/kg~0.30 mg/kg,定量限范围为0.60 mg/kg~1.0 mg/kg,加标回收率达到90.5%~95.7%。该方法具有操作简单、专属性强、灵敏度高等优点,可满足调味果蔬汁饮品中多种有机酸的检测要求。

关键词:加压毛细管;电色谱;调味;果蔬汁饮品;有机酸

Analysis of Organic Acids in Seasoned Fruit and Vegetable Drinks by Pressurized Capillary Electrochromatography

SANG Da-xi, ZHANG Kong-hai*

(Food College, Xinyang Agricultural and Forestry College, Xinyang 464000, Henan, China)

Abstract: A pressurized capillary electrochromatography method was developed for the simultaneous determination of oxalic acid, citric acid, tartaric acid, malic acid and acetic acid in seasoned fruit and vegetable drinks. Samples were extracted with 10 % ethanol and ultrasound for 30 minutes, and the separation use 80 % acetonitrile-water (0.05 mol/L KH_2PO_4 buffer salt solution of pH 2.5) as mobile phase, with +5 kV applied voltage and diode array detector by 210 nm to detect and external standard method peak area quantification. The linear range of five objects was in the range of 1.0 $\mu\text{g/mL}$ -50.0 $\mu\text{g/mL}$. The detection limit was 0.20 mg/kg -0.30 mg/kg and the quantitative limit was 0.60 mg/kg -1.0 mg/kg. The recovery rate was 90.5 %-95.7 %. This method had the advantages including simple operation, high sensitivity and good selectivity, which could meet the determination requirements of various organic acids in seasoned fruit and vegetable drinks.

Key words: pressurized capillary; electrochromatography; seasoned; fruit and vegetable drinks; organic acids

引文格式:

桑大席,张孔海. 加压毛细管电色谱法分析调味果蔬汁饮品中5种有机酸[J].食品研究与开发,2020,41(18):177-182
SANG Daxi, ZHANG Konghai. Analysis of Organic Acids in Seasoned Fruit and Vegetable Drinks by Pressurized Capillary Electrochromatography[J]. Food Research and Development, 2020, 41(18): 177-182

有机酸作为食品添加剂添加到食品中,具有增强

酸味、调节pH值的作用,常用的有苹果酸、乙酸、柠檬酸等^[1-2]。调味果蔬汁饮品是指在果蔬汁的基础上添加一些其他食品辅料,调配口味,其富含对人体有益的碳水化合物、维生素、矿物质的特点,深受消费者的喜爱。调味果蔬汁饮品中一般都会添加苹果酸、柠檬酸等有机酸作为酸度调节剂,具有调节饮品的pH值,改善饮品

基金项目: 信阳农林学院首批重点学科培育学科建设项目(ZDXK201705)

作者简介: 桑大席(1967—),男(汉),讲师,本科,研究方向:食品科学。

* 通信作者: 张孔海(1962—),男(汉),教授,主要研究领域为食品科学。

的风味,延长产品保质期的作用^[3-4]。调味果蔬汁饮品中有机酸缺乏或过量均会导致口感不协调,因此需要对这类产品中有有机酸的使用情况进行检测和监控^[5-6]。

在调味果蔬汁饮品的研究中,检测其营养成分的研究较多,但与之相关的有机酸的检测研究较少。参考相关有机酸的检测方法,主要有离子色谱法^[7-10]、气相色谱法^[11-12]和高效液相色谱法^[13-15],3种方法各有优势,但分析时间都较长。加压毛细管电色谱技术是一种结合了毛细管电泳的高柱效以及高效液相色谱的高选择性的新型电动微分离技术,具备二者的双重分离机理^[14-16]。与传统高效液相色谱相比,加压毛细管电色谱除压力流驱动外,还有电渗流驱动,柱效更高,分离速度更快,更适合复杂样品的多组分检测。本研究尝试将加压毛细管电色谱(pressurized capillary electrophoresis, pCEC)双重分离机理与二极管阵列检测器(photodiode array, PDA)的优点相结合,开发调味果蔬汁饮品中草酸、柠檬酸、酒石酸、苹果酸、乙酸共5种有机酸的分析检测新方法,并对前处理方法进行优化,所开发的pCEC-PDA检测方法操作简单、分析速度快,具有实用价值。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

2100型加压毛细管电色谱系统、U3000型二极管阵列检测器:美国赛默飞公司。

草酸、柠檬酸、酒石酸、苹果酸、乙酸标准品:国家标准物质中心。

1.2 色谱条件

色谱柱: Waters sunfire C₁₈ (4.6 mm×250 mm, 5 μm); 流速: 0.8 mL/min; 进样量: 20 μL。

柱温: 30℃; 流动相为乙腈: 水=80: 20(体积比)。

1.3 试验方法

参考相关文献^[17-19]中有机酸的分离条件,采用亲水作用毛细管电色谱柱进行5种有机酸的分离。并通过对流动相添加剂体系、电压强度分离条件的优化,以及检测波长选择、前处理条件的优化,最终确定分析调味果蔬汁饮品中5种有机酸的整体方法。

1.3.1 流动相添加剂对有机酸色谱行为的影响

本试验以流动相(乙腈: 水=80: 20, 体积比)为基础,在流动相中分别加入磷酸二氢钾(0.05 mol/L, pH 2.7)、偏磷酸(0.01 mol/L, pH 2.7)和磷酸二氢铵(0.05 mol/L, pH 2.7),并调节流动相体系不同的pH值,考察5种有机酸在不同流动相添加剂体系的分离情况和信噪比。

1.3.2 电压强度对有机酸色谱行为的影响

电压是加压毛细管电色谱试验条件中一个重要的试验参数,施加不同的电压强度对样品的分离能力和分离速度会产生不同影响,试验分别施加0、2、4、5、8 kV正向电压,考察5种有机酸在不同电压强度下的分离情况。

1.3.3 检测波长的选择

影响二极管阵列检测器灵敏度的关键参数一般是特征波长的选择,较佳的特征波长选择会降低杂质峰对目标的影响,减少干扰,一般建立适当的二极管阵列检测方法时,需对此参数进行优化。

1.3.4 标准曲线的制作

分别吸取一定质量的5种有机酸标准品,配制成浓度为1.0、2.0、5.0、10.0、50.0 μg/mL的混合标液,进仪器分析并绘制标准曲线。

1.3.5 样品前处理方法的优化

常用于液态样品提取溶剂的有甲醇、乙醚、磷酸、偏磷酸、乙醇等,鉴于甲醇、乙醚具有一定的毒性,而用磷酸、偏磷酸提取调味果蔬汁饮品时会因提取液中酸根阴离子的存在而影响有机酸的分离测定,因而综合考虑选择乙醇作为提取剂,并对提取剂的浓度进行优化选择。

不同提取方式对目标物的提取有很大影响,以10%乙醇作为提取剂,比较5种不同方式的提取效果。方式Ⅰ: 样品提取剂加入调味果蔬汁饮品后直接离心(5 000 r/min, 10 min); 方式Ⅱ: 提取剂加入调味果蔬汁饮品后静置30 min,离心(5 000 r/min, 10 min); 方式Ⅲ: 提取剂加入调味果蔬汁饮品后均质,离心(5 000 r/min, 10 min); 方式Ⅳ: 提取剂加入调味果蔬汁饮品后振荡30 min,离心(5 000 r/min, 10 min); 方式Ⅴ: 提取剂加入调味果蔬汁饮品后超声30 min,离心(5 000 r/min, 10 min)。

1.3.6 加标回收试验及样品的检测

以已知含量有机酸的调味果蔬汁饮品为基质,加入混合标准液,选择优化后的前处理条件操作,上机检测,计算回收率,并以上述优化后的条件检测抽取的样品。

1.4 数据处理

试验所有数据以平均值表示,采用Excel 2013软件进行统计分析和绘图。

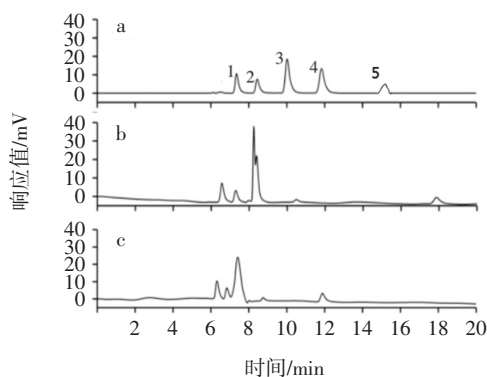
2 结果与讨论

2.1 色谱条件的优化

2.1.1 流动相添加剂对有机酸色谱行为的影响

有机酸在色谱系统中的分离是依据在色谱柱和

流动相之间的分配系数不同而进行的,由于其组分极性较大,流动相中的水比例不能太高,否则有机酸会发生解离。为了能使5种有机酸在色谱系统中以分子形式存在,一般使用酸性流动相来进行组分的分离。本试验比较流动相(乙腈:水=80:20,体积比)中添加磷酸二氢钾(0.05 mol/L, pH 2.7)、偏磷酸(0.01 mol/L, pH 2.7)和磷酸二氢铵($(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (0.05 mol/L, pH 2.7) 3种添加剂^[20-21],研究对5种有机酸色谱行为的影响,结果见图1。



a. 磷酸二氢钾; b. 偏磷酸; c. 磷酸二氢铵; 1. 草酸; 2. 柠檬酸; 3. 酒石酸; 4. 苹果酸; 5. 乙酸。

图1 流动相组成对有机酸色谱行为的影响

Fig.1 Effect of mobile phase composition on chromatographic behavior of organic acids

由图1可知,3种添加剂体系对5种有机酸的色谱行为影响不同。随着流动相组成的不同,5种有机酸的保留时间也不相同,且峰形、分离度和响应信号均发生了较大变化。对比3个图可知,当流动相添加剂为磷酸二氢钾(0.05 mol/L, pH 2.7)时,5种有机酸能达到很好的分离效果;而流动相添加剂为偏磷酸(0.01 mol/L, pH 2.7)或磷酸二氢铵(0.05 mol/L, pH 2.7)时,5种有机酸并不能达到相应的分离效果,且检测基线不稳定、噪音较大。因此,本研究选择流动相添加剂为磷酸二氢钾。

2.1.2 流动相添加剂 pH 值对有机酸色谱行为的影响

在流动相中加入 0.05 mol/L 磷酸二氢钾,固定流速为 0.8 mL/min,柱温为 30 °C, 4 kV 正向电压,用 100 mmol/L 磷酸调节流动相添加剂的 pH 值,比较 2.1、2.3、2.5、2.7、2.9 五个不同 pH 值的流动相添加剂对 5 种有机酸组分保留时间和分离度的影响,结果见图2。

由图2可知,从保留时间上看,随着流动相 pH 值的增大,草酸、柠檬酸、酒石酸的保留时间延长,而苹果酸、乙酸的保留时间基本不受流动相 pH 值的影响。从分离度上看,随着流动相 pH 值增加,草酸、柠檬酸和酒石酸分离度越好。综合考虑保留时间和分离度,选

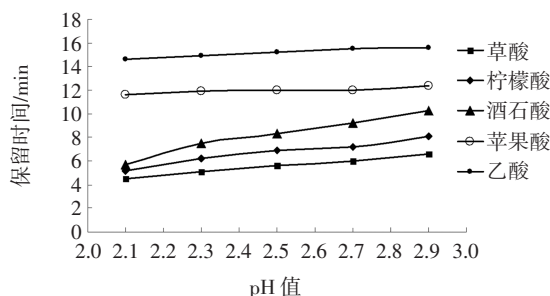


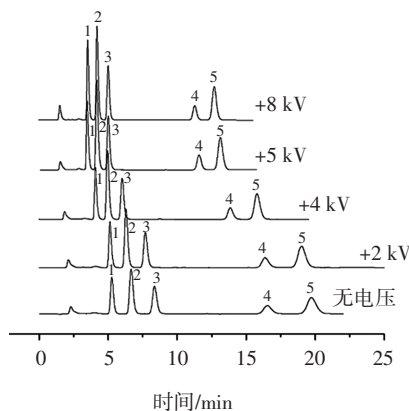
图2 流动相添加剂 pH 值对有机酸保留时间的影响

Fig.2 Effect of pH of mobile phase on the retention time of organic acids

择 pH 2.5 的 0.05 mol/L 磷酸二氢钾溶液作为流动相添加剂较佳。

2.2 电压强度的选择

在流动相中加入磷酸二氢钾溶液(0.05 mol/L, pH 2.5), 分别施加 0、2、4、5、8 kV 正向电压, 结果如图3所示。



1. 草酸; 2. 柠檬酸; 3. 酒石酸; 4. 苹果酸; 5. 乙酸。

图3 电压强度对有机酸分离速度的影响

Fig.3 Effect of voltage intensity on retention time for organic acids

由图3可知,随着电压升高,在电渗流的推动下5种有机酸的分离速度明显加快,同时色谱峰形变窄;当施加电压为+5 kV 时,样品分离时间加快到 15 min 左右,苹果酸、乙酸的保留时间明显提前,并且5种有机酸样品完全分离。当施加电压达到+8 kV 后,分离速度无明显加快,并且仪器电流急剧增大,故本试验最终选择+5 kV 为施加电压。

2.3 检测波长的选择

本试验采用二极管阵列检测器检测,在检测波长 190 nm~600 nm 范围内对 5 种有机酸的标准溶液进行全波长扫描^[22-23],根据各个组分的全波长扫描选择最大的吸收波长,结果见图4。

结果显示有 4 种有机酸在 210 nm 波长附近有较

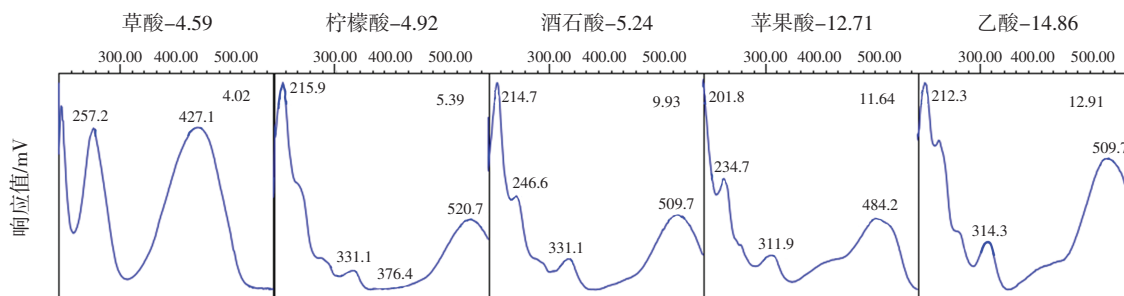


图4 5种有机酸的全波长扫描图

Fig.4 Full wavelength scanning chart of five organic acids

大吸收,只有草酸在 257 nm 和 427 nm 波长处有较大吸收,综合考虑,选用 210 nm 波长进行检测。

2.4 标准曲线的制作

5 种目标组分在 1.0 $\mu\text{g/mL}$ ~50.0 $\mu\text{g/mL}$ 内均具有良好的线性关系,其中柠檬酸、酒石酸、苹果酸的检出限为 0.20 mg/kg,定量限为 0.60 mg/kg;草酸和乙酸的检出限为 0.30 mg/kg,定量限为 1.0 mg/kg,结果见表 1。

表 1 5 种组分的保留时间、标准曲线、相关系数、检出限与定量限

Table 1 Retention time, standard curve, correlation coefficient, detection limit and quantitative limit of five targets

目标化合物	保留时间/min	线性回归方程	r^2	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
草酸	4.59	$Y=4.126X-0.416$	0.999 6	0.30	1.0
柠檬酸	4.92	$Y=1.890X-0.135$	0.999 8	0.20	0.60
酒石酸	5.24	$Y=1.802X+0.240$	0.999 6	0.20	0.60
苹果酸	12.71	$Y=3.514X+0.517$	0.999 6	0.20	0.60
乙酸	14.86	$Y=1.693X-0.497$	0.999 4	0.30	1.0

2.5 样品前处理方法的优化

2.5.1 不同浓度乙醇溶液提取效果

图 5 为乙醇浓度分别为 5 %、10 %、20 %、30 %、40 %、50 % 做提取剂时各有机酸组分含量的测定结果。

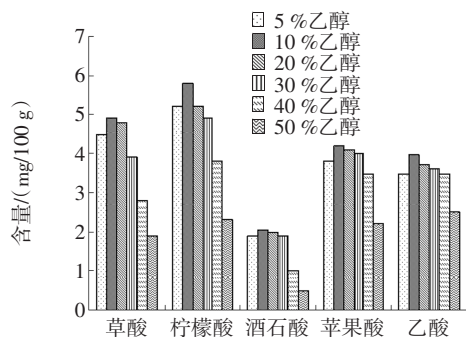


图5 有机酸组分含量随提取剂配比变化情况

Fig.5 The organic acids content increased with extracting ratio change agent

由图 5 可知,以柠檬酸为例,随着乙醇浓度的增加,提取液中柠檬酸检测含量呈现先增加后下降的趋

势,在以 10 %乙醇作为提取溶液时,柠檬酸的含量能达到 5.8 mg/100 g,而以 20 %乙醇溶液和 30 %乙醇溶液提取时柠檬酸含量分别降低了 10.3 %和 15.5 %,以 40 %乙醇溶液和 50 %乙醇溶液提取时柠檬酸含量分别降低了 34.4 %和 60.3 %。样品中其他 4 种组分含量变化也类似,也表现为用 10 %乙醇溶液提取时含量最高,其他浓度的乙醇溶液为提取剂时,组分含量分别有不同程度的降幅。

2.5.2 提取方式的选择

5 种提取方式的试验结果如图 6 所示。

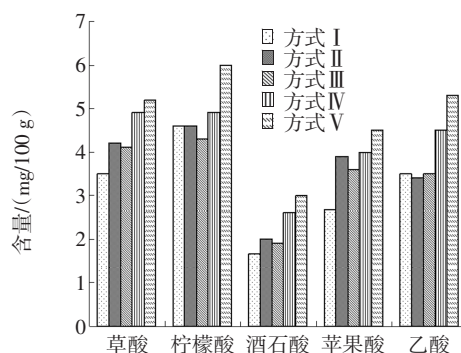


图6 不同提取方式对有机酸测定结果的影响

Fig.6 Effect of different extraction methods on determination results of organic acid

由图 6 可知,以柠檬酸为例,提取方式 V 显著高于其他 4 种提取方式;乙酸中方式 V 和方式 IV 差异明显,但是明显高于方式 III、方式 II 和方式 I;其他 3 种酸中也是提取方式 V 的含量最高。由此可见,提取方式 I、提取方式 II 和提取方式 III 均有对目标物提取不完全的缺陷,而提取方式 V 的效果优于提取方式 IV 的效果。因此,本方法选择提取方式 V 即样品加入提取剂后超声 30 min,并离心(5 000 r/min, 10 min)的提取方式为适宜。

2.6 加标回收率与精密度

以已知有机酸含量的调味果蔬汁饮品为基质,分别添加 1.0、10.0、50.0 mg/kg 3 个梯度浓度的有机酸标

准混合溶液,进行加标回收试验,每个浓度重复测定5次,测定结果见表2。

表2 方法的回收率及相对标准偏差(relative standard deviations, RSD)(n=5)

Table 2 Recoveries and relative standard deviations(RSD) of the method(n=5)

目标物	1.0 mg/kg		10.0 mg/kg		50.0 mg/kg	
	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%	回收率/%	RSD/%
草酸	93.2	2.6	92.1	3.1	94.8	3.6
柠檬酸	92.4	4.6	95.7	2.5	92.4	3.7
酒石酸	90.5	2.6	93.9	2.3	93.1	3.8
苹果酸	93.4	3.1	94.5	3.4	94.3	4.2
乙酸	92.5	2.3	92.6	2.3	95.1	2.7

由表2可见,5种组分3个水平的加标回收率为90.5%~95.7%,相对标准偏差(RSD)为2.3%~4.6%,表明本试验所建立的方法能够满足检测实际样品需要。

2.7 实际样品测定

在市场上随机抽取5种调味果蔬汁饮品检测其中的有机酸,检测结果见表3。

表3 样品中5种有机酸的测定(n=5)

Table 3 Determination of five organic acids in samples (n=5)

目标化合物	mg/100 mL				
	样品1	样品2	样品3	样品4	样品5
草酸	未检出	未检出	未检出	未检出	未检出
柠檬酸	6.35	5.68	未检出	6.87	4.52
酒石酸	未检出	未检出	未检出	未检出	3.82
苹果酸	2.17	3.84	4.24	7.32	6.03
乙酸	4.21	未检出	未检出	未检出	未检出

由表3可以看出不同种类的调味果蔬汁饮品中含有的有机酸种类和含量差异较大,5款饮品中都含有苹果酸,而柠檬酸、酒石酸和乙酸这3种有机酸只有个别饮品中有,而草酸在这5种饮品中没有检出,整体有机酸检测到的种类与产品外包装标签中标出的一致。针对分析测定的结果,可以根据自身的需要,选用不同类型的调味果蔬汁饮品,来补充全面的或者单一的有机酸。

3 结论

本文利用加压毛细管电色谱-二极管阵列联用法,通过对流动相体系的组成、流动相添加剂的pH值、电压强度和检测波长的优化,以及样品提取液、提取方法的比较,建立了同时分离检测调味果蔬汁饮品中草酸、柠檬酸、酒石酸、苹果酸和乙酸5种有机酸的亲水作用电色谱法。结果表明,采用Waters sunfire C₁₈色

谱柱,选择pH2.5的0.05 mol/L磷酸二氢钾溶液作为流动相(乙腈:水=80:20,体积比)的添加剂,电压强度为+5 kV,流速为0.8 mL/min,柱温为30℃,检测波长为210 nm的条件下,5种目标组分能在1.0 μg/mL~50.0 μg/mL内均具有良好的线性关系,检出限范围为0.20 mg/kg~0.30 mg/kg,定量限范围为0.60 mg/kg~1.0 mg/kg。样品加入10%乙醇提取并超声30 min后,加标回收率能达到90.5%~95.7%,RSD为2.3%~4.6%,所建立的方法具有可靠的准确度和精密度,能准确快速有效地检测调味果蔬汁饮品中的5种有机酸的含量,可为调味果蔬汁饮品中多种有机酸的分析 and 监控提供技术支持。

参考文献:

[1] 施超欧,姚宝龙,胡味,等.离子交换色谱-紫外检测法测定啤酒中的无机阴离子和有机酸[J]. 色谱,2016,34(10):951-955

[2] 周春丽,曾雪芳,胡雪雁,等.营养果蔬复合饮料的研究进展[J]. 食品研究与开发,2016,37(12):193-198

[3] 杨枫,杨燕,陈丹,等.果蔬汁饮料的研究现状[J].农产品加工,2017(22):65-67

[4] 石超,吕长鑫,冯叙桥,等.果蔬汁饮料现状及发展前景分析[J]. 食品安全质量检测学报,2014(3):970-976

[5] 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:GB2760-2014[S]. 北京:中国标准出版社,2014

[6] 陈学红,秦卫东,马利华,等.加工工艺条件对果蔬汁的品质影响研究[J].食品工业科技,2014,35(1):355-362

[7] Watanabe E, Baba K, Eun H, et al. Simultaneous determination of neonicotinoid insecticides in agricultural samples by solid-phase extraction cleanup and liquid chromatography equipped with diode-array detection[J]. J Agric Food Chem, 2007, 55(10):3798-3804

[8] Pourreza N, Rastegarzadeh S, Larki A. Determination of fungicide carbendazim in water and soil samples using dispersive liquid-liquid microextraction and microvolume UV-vis spectrophotometry[J]. Talanta, 2015, 134(1):24-29

[9] 胡静,赵瑞峰,施文庄,等.烟草中9种有机酸的梯度离子色谱法测定研究[J].分析测试学报,2011,30(10):1171-1174

[10] 李桂镇,范伢,穆凯艳,等.固相萃取-离子色谱法测定中药罗芙木中常见有机酸和阴离子[J]. 分析试验室,2015(8):913-917

[11] 张霞,刘志华,杨光宇,等.固相萃取富集/气相色谱法测定烟草中的9种有机酸[J].分析测试学报,2014,33(5):545-550

[12] 胡国英,唐丽君,喻磊,等.毛细管气相色谱法检测白酒中的有机酸类组分含量[J].江西化工,2016(5):96-98

[13] 胡继贵,程金权,王玲,等. HPLC法测定泡菜中有机酸的方法探究[J].食品发酵科技,2017,53(3):78-84

[14] 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

[15] 徐慧敏,施婷婷,檀华蓉,等.高效液相色谱法同时测定蔬菜中有

MAE-HPLC-HG-AFS同时测定洛克沙砷及其8种代谢物

崔颖¹, 姜涛¹, 倪松¹, 逯玉凤²

(1. 天津海关动植物与食品检测中心, 天津 300461; 2. 北京海光仪器有限公司, 北京 100015)

摘要:建立一种同时测定动物食品中洛克沙砷(roxarsone, ROX)及其8种代谢物的高效液相色谱-氢化物发生-原子荧光光谱法 (high performance liquid chromatography-hydride generation-atomic fluorescence spectrometry, HPLC-HG-AFS)。对液相色谱、氢化物发生、原子荧光光谱以及提取条件进行优化。在 0~240 $\mu\text{g/L}$ 范围内 ROX 及其 8 种代谢物的线性关系良好, 线性相关系数均大于 0.997。4 种样品的添加回收率在 80.1 %~96.0 % 范围内, 相应的相对标准偏差 (relative standard deviation, RSD) 在 9 % 以内。该方法适用于鸡肝、鸡肾、猪肝、猪肾样品中洛克沙砷及其 8 种代谢物的含量分析。

关键词: 高效液相色谱; 氢化物发生; 原子荧光光谱法; 微波辅助萃取; 洛克沙砷; 代谢物

Simultaneous Determination of Roxarsone and Its 8 Kinds of Metabolites by MAE-HPLC-HG-AFS

CUI Ying¹, JIANG Tao¹, NI Song¹, LU Yu-feng²

(1. Animal & Plant and Food Inspection Center of Tianjin Custom, Tianjin 300461, China; 2. Beijing Haiguang Instruments Co., Ltd., Beijing 100015, China)

Abstract: A method for simultaneous determination of roxarsone (ROX) and its metabolites in foods of animal origin was developed by high performance liquid chromatography-hydride generation-atomic fluorescence spectrometry (HPLC-HG-AFS). The operating conditions of high performance liquid chromatography, hydride generation, atomic fluorescence spectrometry and extraction were optimized. Under the optimal conditions, the calibration curves for ROX and its metabolites were linear over the concentration ranges of 0~240 $\mu\text{g/L}$ with the correlation coefficients were greater than 0.997. The average recoveries of ROX and its metabolites from four samples spiked were range of 80.1 %~96.0 %, respectively and their corresponding relative standard deviations (RSD) were less than 9 %. This method was suitable for the determination of roxarsone and its 8 metabolites in chicken liver, chicken kidney, pig liver and pig kidney.

Key words: high performance liquid chromatography; hydride generation; atomic fluorescence spectrometry; microwave assisted extraction; roxarsone; metabolites

基金项目: 国家质量监督检验检疫总局科技计划项目(2017IK093)

作者简介: 崔颖(1986—), 女(汉), 工程师, 硕士, 研究方向: 元素及其形态分析。

- 机酸与磺胺类抗生素[J]. 分析试验室, 2016(10): 1135-1139
- [16] 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 食品有机酸的测定: GB5009.157-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016
- [17] 梁世杰, 丁克芳. 运动饮料配方设计概[J]. 饮料工业, 2003(3): 1-7
- [18] 郭杨义, 屈联国, 林建康. 运动饮料及其选用[J]. 解放军体育学院学报, 2005, 24(2): 97-99
- [19] 秦劭斐. 碳水化合物、水、电解质与运动饮料[J]. 体育科技, 2000, 21(1): 32-34
- [20] 王琳, 陈双, 徐岩. 固相萃取-超高效液相色谱法测定黄酒中的有机酸[J]. 食品与发酵工业, 2016, 42(10): 142-148
- [21] 旷慧, 李亮亮, 吕长山, 等. RP-HPLC 法测定东北地区 6 种红树莓果实中有机酸组成[J]. 食品科学, 2016, 37(22): 126-130
- [22] 饮料工业. 果蔬汁类及其饮料标准法规解析[J]. 饮料工业, 2016, 32(8): 1-2
- [23] 庞荣丽, 方金豹, 郭琳琳, 等. 水果果实中主要有机酸提取条件的优化[J]. 中国农业科学, 2014, 47(13): 2625-2633

收稿日期: 2019-10-11