

DOI:10.13995/j.cnki.11-1802/ts.021898

引用格式:江虹,庞向东,曾晓莎.双波长可见吸收光谱法测定糕点及碳酸饮料中的苯甲酸[J].食品与发酵工业,2020,46(2):266-271. JIANG Hong, PANG Xiangdong, ZENG Xiaosha. Determination of benzoic acid in pastries and carbonated beverages by dual-wavelength visible absorption spectrometry[J]. Food and Fermentation Industries, 2020, 46(2):266-271.

双波长可见吸收光谱法测定糕点及碳酸饮料中的苯甲酸

江虹*, 庞向东, 曾晓莎

(长江师范学院 化学化工学院, 重庆, 408100)

摘要 该文建立快速测定糕点及碳酸饮料中苯甲酸的双波长可见吸收光谱法。研究表明,在 pH 8.54 Tris-盐酸介质中,苯甲酸与乙基紫反应生成二元离子缔合物。最大负吸收波长位于 497 nm,次大负吸收波长位于 628 nm,苯甲酸的质量浓度在 0.03 ~ 1.2 mg/L 时与吸光强度呈良好的线性关系,服从朗伯-比尔定律。表观摩尔吸光系数(κ)分别为 $5.04 \times 10^4 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$ (497 nm) 和 $3.70 \times 10^4 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$ (628 nm),检出限为 0.026 mg/L (497 nm) 和 0.028 mg/L (628 nm),碳酸饮料的定量限为 4.33 mg/L (497 nm) 和 4.66 mg/L (628 nm),糕点的定量限为 14.4 mg/kg (497 nm) 和 15.4 mg/kg (628 nm)。用双波长法测定时,线性范围为 0.02 ~ 1.2 mg/L,表观摩尔吸光系数为 $8.74 \times 10^4 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$,检出限为 0.014 mg/L,碳酸饮料和糕点的定量限分别为 2.33 和 7.33 mg/kg,加标回收率为 97.1% ~ 103%,相对标准偏差 $\text{RSD}(n=5)$ 为 2.0% ~ 2.8%。该法简便、快速、灵敏,适于碳酸饮料及糕点中苯甲酸的测定。

关键词 碳酸饮料;糕点;苯甲酸;乙基紫;双波长;吸收光谱法

Determination of benzoic acid in pastries and carbonated beverages by dual-wavelength visible absorption spectrometry

JIANG Hong*, PANG Xiangdong, ZENG Xiaosha

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Yangtze Normal University, Chongqing 408100, China)

ABSTRACT A double wavelength visible absorption spectrometry method for the rapid determination of benzoic acid in pastries and carbonated beverages was developed. In a Tris-hydrochloric acid medium of pH 8.54, benzoic acid reacted with ethyl violet to form a binary ionic association complex. The maximum negative absorption wavelength was located at 497 nm, and the second largest negative absorption wavelength was at 628 nm. The mass concentration of benzoic acid in the range of 0.03 to 1.2 mg/L has a good linear relationship with the light absorption intensity, and the Lambert-beer's law was obeyed. The apparent molar absorptivity (κ) were $5.04 \times 10^4 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$ (497 nm) and $3.70 \times 10^4 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$ (628 nm), respectively. The detection limit was 0.026 mg/L (497 nm) and 0.028 mg/L (628 nm) respectively. The quantitative limits of carbonated beverages were 4.33 mg/L (497 nm) and 4.66 mg/L (628 nm), respectively, and the quantitative limits of pastries were 14.4 mg/kg (497 nm) and 15.4 mg/kg (628 nm). When measured by the dual-wavelength method, linear range was 0.02 to 1.2 mg/L, the apparent molar absorptivity (κ) was $8.74 \times 10^4 \text{ L}/(\text{mol} \cdot \text{cm})$, the detection limit was 0.014 mg/L. The quantitative limits of carbonated beverages and pastries were 2.33 mg/kg and 7.33 mg/kg, respectively; and the spiked recovery was 97.1% to 103%, the relative standard deviation $\text{RSD}(n=5)$ was 2.0% to 2.8%. The method was simple, rapid and sensitive, which was suitable for the determination of benzoic acid in carbonated beverages and pastries.

Key words carbonated beverages; pastries; benzoic acid; ethyl violet; dual-wavelength; absorption spectrometry

第一作者:学士,教授(本文通讯作者, E-mail: jianghongch@163.com)

基金项目:重庆市教委科技基金资助项目(KJ1401226);长江师范学院科技基金资助项目(2018CXX117)

收稿日期:2019-08-04, 改回日期:2019-09-10

苯甲酸和山梨酸作为常用食品添加剂,具有保持食品营养、防止食品腐败变质,提高食品质量的作用。但当过量使用时,则具有一定的毒性,对食用者的健康会造成一定的危害。为此,世界各国对食品中某些添加剂的使用量和残留量均作了严格规定。我国食品安全国家标准食品添加剂使用标准 GB 2760—2014 中,对各种食品中苯甲酸的最大使用量有严格规定。鉴于此,对食品中的防腐剂含量进行研究有着重要意义。近年,国内外对食品中苯甲酸的检测方法主要有:高效液相色谱法^[1-9],气相色谱法^[10-11],电化学法^[12-13]、气-质联用法^[14-16]、液-质联用法^[17-21]和紫外分光光度法^[22-24]等。高效液相色谱法、气相色谱法、气-质联用、液-质联用等方法的前处理较为麻烦,日常运行费用较高,电化学法条件要求较苛刻,已报道的紫外分光光度法线性范围窄、灵敏度不高。因此,研究更为简便、快速和灵敏的方法有着重要意义。本实验发现,在一定的 Tris-HCl 介质中,苯甲酸能与乙基紫反应(在可见光区产生较强的负吸收信号),而食品中可能共存的山梨酸(sorbic acid, SBA)在相同条件下与乙基紫反应则基本无吸收。基于这一点,建立了不需分离山梨酸即可测定苯甲酸的双波长可见吸收光谱法,方法用于糕点及碳酸饮料中苯甲酸的测定,结果满意。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

苯甲酸(benzoic acid, BZA)(≥99%),成都化夏化学试剂有限公司;山梨酸(sorbic acid, SBA):(99.8%),上海迈瑞尔化学技术有限公司;乙基紫(ethyl violet, ETV):(AR 级),上海迈瑞尔化学技术有限公司;三羟甲基氨基甲烷(Tris):(AR 级),山东西亚化学工业有限公司;HCl:(AR 级),重庆川东(化工)集团有限公司;样品,市售碳酸饮料(简写为 1# 和 2#)、蛋糕(简写为 3#)和面包(简写为 4#)。

BZA 标准溶液:准确称取适量纯度 ≥99% 的 BZA(精确至 ±0.000 1 g),用少许无水乙醇溶解后,用水定容,配成 1.00×10^{-3} mol/L 贮备液,操作液为 1.00×10^{-4} mol/L。SBA 标准溶液:准确称取纯度为 99.8% 的 SBA 适量(精确至 ±0.000 1 g),用少许无水乙醇溶解,用水定容,配成 1.00×10^{-3} mol/L 贮备液,操作液为 1.00×10^{-4} mol/L;ETV 溶液: 1.00×10^{-3} mol/L;Tris 溶液:0.20 mol/L;HCl 溶液:0.10 mol/L。Tris-HCl 溶液:pH 3.0 ~ 9.8(用 pH 计测

定)。

1.2 仪器与设备

U-3010 型紫外-可见分光光度计,日本日立公司;EL104 型电子天平,上海精密仪器仪表有限公司;pHS-3C 精密酸度计,上海虹益仪器仪表有限公司;TD5A-WS 型离心机,湖南湘仪离心机仪器有限公司;KQ-200VDE 超声波清洗机,昆山市超声仪器有限公司。

1.3 样品处理

准确移取 1# 和 2# 碳酸饮料 10 mL 于小烧杯中,40 ℃ 水浴超声 20 ~ 30 min,除去 CO₂后冷至室温,用水定容于 100 mL 容量瓶中,摇匀,即为碳酸饮料待测液。

准确称取已粉碎混匀的糕点样品 3# 和 4# 各 2 ~ 3 g(精确至 ±0.000 1 g)于 50 mL 烧杯中,加适量水,40℃ 超声提取 20 ~ 30 min 后,移入离心管中,以 4 000 r/min 离心分离 10 min,清液转入 100 mL 容量瓶中,用水定容。

1.4 实验方法

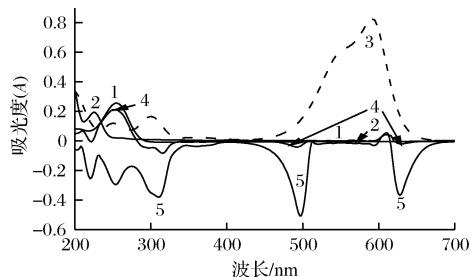
准确移取 pH 8.54 Tris-HCl 溶液 1.00 mL、ETV 溶液 2.00 mL 于 10 mL 比色管中,摇匀后加入 0 ~ 1.00 mL 1.00×10^{-4} mol/L BZA 标准操作溶液,摇匀,用水定容至刻度。静置 10 min 后,以试剂空白作参比,扫描吸收光谱,在 497 nm 和 628 nm 处,用双波长法测定溶液的吸光强度 *A*。

2 结果与分析

2.1 BZA 及 SBA 与 ETV 的吸收光谱特征比较

图 1 和表 1 是苯甲酸体系的吸收光谱特征及可能共存物山梨酸体系的吸收光谱特征比较。由图 1 和表 1 可知,单独的 BZA 和 SBA 在可见光区几乎无吸收,在紫外区有较强吸收(曲线 1 和 2)。ETV 的弱碱性溶液有强吸收(曲线 3),最大吸收波长位于 594 nm。在 ETV 的弱碱性(pH 8.54)溶液中加入 SBA 溶液后,SBA 体系溶液在可见光区几乎无吸收,在紫外区有较强吸收(曲线 4)。当在与 SBA 体系相同条件的 ETV 弱碱性溶液中加入与 SBA 同浓度的 BZA 溶液后,ETV 体系溶液在可见光区产生 2 个较强的负吸收峰,最大负吸收峰位于 497 nm(蓝移 97 nm);次大负吸收峰位于 628 nm,(红移 34 nm)(曲线 5),并使溶液发生褪色现象。由图 2 可知,BZA 体系在 497 nm 和 628 nm 处,BZA 的浓度与吸光度的绝对值(|*A*|)有线性关系,并服从朗伯-比尔定律。由上可见,在 pH 8.54 的 Tris-HCl 介质中,山梨酸-乙基紫体系在可见光区几乎无吸

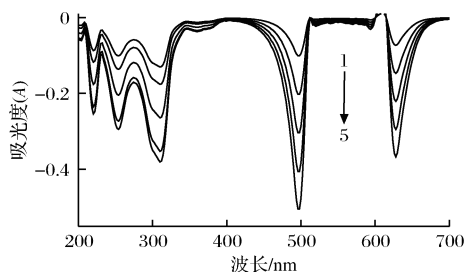
收,而同条件下的苯甲酸-乙基紫体系在可见光区不仅有较强的负吸收,而且遵从朗伯-比尔定律,可用于苯甲酸的定量分析。故当山梨酸与苯甲酸共存时,可以不经分离直接测定苯甲酸。为了提高方法的灵敏度,本工作采用 497 nm 和 628 nm 处的双波长(DWO-VIS)法(吸光度具有加和性)来定量测定苯甲酸,其灵敏度约为单波长法的 2 倍。



1 - 1.00×10^{-5} mol/L 山梨酸, 水作参比; 2 - 1.00×10^{-5} mol/L 苯甲酸, 水作参比; 3 - 2.00×10^{-5} mol/L 乙基紫, 水作参比; 4 - 1.00×10^{-5} mol/L 山梨酸- 2.00×10^{-4} mol/L 乙基紫, 试剂空白作参比; 5 - 1.00×10^{-5} mol/L 苯甲酸 - 2.00×10^{-4} mol/L 乙基紫, 试剂空白作参比; pH 8.54

图 1 吸收光谱

Fig. 1 The absorption spectra



1 ~ 5 - 0.20, 0.40, 0.60, 0.80, 1.00 mL 1.00×10^{-5} mol/L 苯甲酸- 2.00×10^{-4} mol/L 乙基紫, 试剂空白作参比; pH 8.54

图 2 苯甲酸与乙基紫的线性吸收光谱

Fig. 2 Linear absorption spectroscopy of benzoic acid and ethyl violet

2.2 反应的适宜条件

2.2.1 溶液 pH 的选择

考察了 BZA-ETV 体系及可能共存物 SBA-ETV 体系在其他条件相同的情况下,不同 pH 的 Tris-HCl 溶液对各体系吸光度绝对值($|A|$)的影响(497 nm 和 628 nm 处),见图 3。由图 3 可知,BZA-ETV 体系受酸度影响较大,当方法的灵敏度相对最大时,在 497 nm 和 628 nm 处的最佳酸度为 pH 8.54,此条件下 BZA 与 ETV 能反应完全。当 pH 大于或小于 8.54 时,由于体系碱性偏大或酸性偏强(未达理想酸度)

均不能使 BZA 与 ETV 间的反应完全(即只能部分反应),因而 $|A|$ 有所降低。而 SBA-ETV 体系在碱性范围内, $|A|$ (很低)基本不受酸度的影响,而在酸性条件下对 $|A|$ 有一定影响。酸度对 BZA 体系与 SBA 体系所产生的不同影响,是由于 BZA 与 SBA 结构差异所致。由此可见,只要控制好溶液的酸度(控制在碱性范围内),即可实现不分离山梨酸(可能的共存物)便可直接测定苯甲酸的目的。为了提高方法的灵敏度,采用 DWO-VIS 法定量测定苯甲酸。

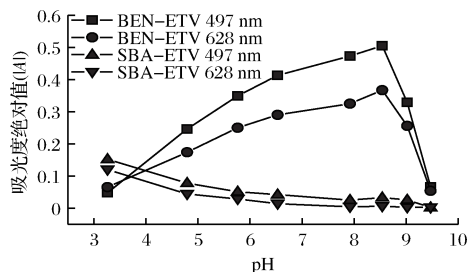


图 3 pH 对 $|A|$ 的影响

Fig. 3 Effect of buffer pH on $|A|$

表 1 苯甲酸-乙基紫体系与山梨酸-乙基紫体系吸收光谱特征

Table 1 Absorption spectrum characteristics of benzoic acid-ethyl violet system and sorbic acid-ethyl violet system

物质	A_{497}	A_{628}	λ^{Ab}	λ^F
山梨酸	—	—	256 ($A = 0.257$)	—
苯甲酸	—	—	224 ($A = 0.197$)	—
山梨酸-乙基紫 (pH 8.54)	-0.042 4	-0.021 1	256, 610	314, 497, 628
苯甲酸+乙基紫 (pH 8.54)	-0.509	-0.363	610	220, 252, 310, 497, 628

注:—表示基本无吸收。

2.2.2 pH 8.54 Tris-HCl 溶液用量的选择

考察了室温下 497 nm 和 628 nm 处, pH 8.54 Tris-HCl 溶液的用量对 BZA-ETV 体系 $|A|$ 的影响,见图 4。由图 4 可知, pH 8.54 Tris-HCl 溶液用量为 1.00 mL 时,体系 $|A|$ 相对最大,即灵敏度最高。当 pH 8.54 Tris-HCl 溶液用量大于或小于 1.00 mL 时,因用量过多或过少(即条件不合适)而使反应不发生或部分发生,从而使 $|A|$ 降低;故实验用 1.00 mL pH 8.54 Tris-HCl 溶液。

2.2.3 ETV 溶液浓度的选择

考察了室温下 497 nm 和 628 nm 处, ETV 溶液浓度(取 ETV 溶液 0.50、1.00、1.50、2.00、2.50、3.00、3.50、4.00 mL)对 BZA-ETV 体系 $|A|$ 的影响,见图 5。由图 5 可知,灵敏度最大时,ETV 溶液的浓度为 2.00×10^{-4} mol/L。当 ETV 溶液浓度小于 2.00×10^{-4} mol/L

时,因 ETV 用量不够使反应不能完全,从而导致 $|A|$ 有所降低;当 ETV 溶液浓度大于 $2.00 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ 时,因 ETV 用量过多使自身聚集作用增强,从而使 BZA 和 ETV 的反应不能完全,导致 $|A|$ 降低。故实验取 $1.00 \times 10^{-3} \text{ mol/L}$ 乙基紫溶液 2.00 mL。

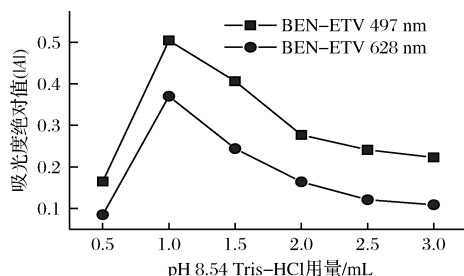


图4 pH 8.54 Tris - HCl 用量对 $|A|$ 的影响

Fig.4 Effect of pH 8.54 Tris - HCl on $|A|$

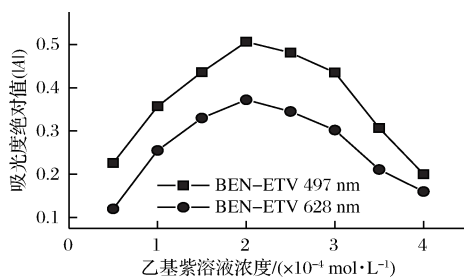


图5 乙基紫溶液浓度对 $|A|$ 的影响

Fig.5 Effect of ethyl violet solution concentration on $|A|$

2.2.4 试剂加入顺序的选择

考察了室温下 497 nm 和 628 nm 处,1.00 mL BZA 标准溶液、2.00 mL ETV 溶液及 1.00 mL pH 8.54 Tris-HCl 溶液为不同加入顺序时对 BZA-ETV 体

系 $|A|$ 的影响。结果表明,试剂加入的先后顺序对 BZA 与 ETV 的反应完全程度有一定影响。当灵敏度相对最大时的加入顺序是:Tris-HCl 溶液、ETV 溶液、BZA 溶液 ($A_{497} = -0.498$, $A_{628} = -0.368$)。故实验按最佳顺序进行。

2.2.5 反应时间及稳定性

考察了室温下 497 nm 和 628 nm 处,BZA 与 ETV 反应时间对体系 $|A|$ 的影响。结果表明,该反应在 10 min 内可进行完全,10 min 时, $A_{497} = -0.504$, $A_{628} = -0.370$;10 ~ 100 min, $|A|$ 基本处于平稳状态;100 min 后, $|A|$ 有下降趋势。故实验选在 10 min 后的平稳区进行测定。

2.3 工作曲线及相关参数

依照前面各项选定的最佳条件,取 0.00、0.20、0.40、0.60、0.80、1.00 mL $1.00 \times 10^{-4} \text{ mol/L}$ BZA 标准操作液,配制标准系列溶液,并用 DWO-VIS 法测定各溶液的吸光度,作 $A_{497+628} - \rho$ 标准曲线,见图 6,相关参数见表 2。可知,用双波长法测定的灵敏度约是单波长法测定的 2 倍,即双波长法能有效提高方法的灵敏度。后续实验均用双波长法进行测定。

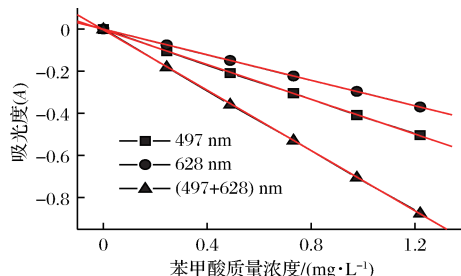


图6 苯甲酸的标准曲线

Fig.6 Standard curve of benzoic acid

表2 标准曲线相关参数

Table 2 Related parameters of standard curves

测定方法	回归方程	相关系数 (r)	线性范围/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	表观摩尔吸光系数 (κ) / [$\text{L} \cdot (\text{mol} \cdot \text{cm})^{-1}$]	检出限/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	定量限	
						碳酸饮料/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	糕点/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
单波长法 A_{497}	$-0.003\ 380 - 0.412\ 4\ \rho$	0.999 9	0.03 ~ 1.2	5.04×10^4	0.026	4.33 mg/L	14.4 mg/kg
单波长法 A_{628}	$-0.000\ 714\ 3 - 0.302\ 7\ \rho$	0.999 9	0.03 ~ 1.2	3.70×10^4	0.028	4.66 mg/L	15.4 mg/kg
双波长法 $A_{497+628}$	$-0.004\ 1 - 0.715\ 1\ \rho$	0.999 9	0.02 ~ 1.2	8.74×10^4	0.014	2.33 mg/L	7.73 mg/kg

2.4 共存物质的影响

考察了室温下,用双波长法测定 1.22 mg/L BZA 时,某些常见共存物质的影响。结果表明,当相对误差不大于 $\pm 5\%$ 时,以下物质不干扰测定:100 倍的葡萄糖、乳糖、蔗糖、烟酸、L-赖氨酸、L-白氨酸、L-亮氨酸、L-色氨酸、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Na^+ 、 Cl^- 、 NO_3^- ;40 倍的麦芽糖、果

糖、L-丙氨酸、甘氨酸、L-组氨酸、 Ba^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Pb^{2+} 、 Mn^{2+} 、 Sn^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Ac^- 、 $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ 、 PO_4^{3-} ;20 倍的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 SO_3^{2-} 、 CO_3^{2-} 、 $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ 、淀粉、柠檬酸三钠、山梨酸钾;5 倍的 Fe^{3+} 和 Al^{3+} 。可见,该法有较好的选择性。

2.5 样品分析

取 1.3 节已处理的 1# 待测液 2.00 mL、2# ~ 4#

待测液各 3.00 mL 分别代替 1.4 节中的苯甲酸标准溶液,再按 1.4 节方法加入其他试剂溶液并定容至 10 mL。借助标准曲线或回归方程,用双波长法测定待测样液及原始饮料及糕点中的苯甲酸含量。各样液平行测定 5 份。结果见表 3。

为了判断新方法的准确度,续做加标回收试验。

表 3 碳酸饮料及糕点样品分析结果及回收试验 (n=5)

Table 3 Analysis results and recovery test of carbonated beverages and pastries samples

样品	样品测得值 DWO-VIS 法	定量限	本底值/ (× 10 ⁻³ mg)	加标量/ (× 10 ⁻³ mg)	测得平均值/ (× 10 ⁻³ mg)	平均回收率/%	相对标准 偏差/%
1#	17.8 mg/L	2.33 mg/L	3.56	1.22	4.76	98.4	2.0
				3.66	7.14	97.8	2.3
				6.11	9.56	98.2	2.1
				2.44	6.76	97.5	2.8
2#	14.6 mg/L	1.55 mg/L	4.38	4.88	9.16	98.0	2.5
				7.33	11.5	97.1	2.5
				2.44	2.58	103	2.0
				4.88	5.03	102	2.6
3#	ND	6.20 mg/kg	<0.14	7.33	7.59	103	2.7
				1.22	1.26	97.5	2.3
				3.66	3.68	98.6	2.4
				6.11	6.07	98.2	2.6

注:ND 为未检出;样品含量 < 检出限的按检出限的 1/2 计算回收率。

3 结论

以乙基紫作显色剂,在可见光区测定苯甲酸的双波长吸收光谱法,操作简便、快速,有较高的准确度、精密度及灵敏度,也有良好的选择性及较宽的线性范围(较文献^[23-24]的线性范围宽)。样品前处理简单,测定过程中,样液不需分离,可直接测定样品中的苯甲酸。本方法适于糕点及饮料中苯甲酸的快速测定。

参 考 文 献

[1] TOMAR V, BEUERLE T, SIRCAR D. A validated HPTLC method for the simultaneous quantifications of three phenolic acids and three withanolides from Withania somnifera plants and its herbal products [J]. Journal of chromatography B, Analytical technologies in the biomedical and life sciences, 2019, 1124:154 – 160.

[2] IWAKOSHI K, SHIOZAWA Y, YAMAJIMA Y, et al. Determination of nine preservatives in processed foods using a modified QuEChERS extraction and quantified by HPLC-PDA [J]. Food Additives & Contaminants Part A, 2019, 36(7):1 020 – 1 031.

[3] ZHENG Huiwen, ZHANG Qiuyun, QUAN Junping, et al. Determination of sugars, organic acids, aroma components, and carotenoids in grapefruit pulps [J]. Food Chemistry, 2016,205:112 – 121.

[4] 刘书来,郭元帅,许凯希,等. 高效液相色谱法测定秘鲁鲑鱼肉中的有机酸[J]. 食品与发酵工业,2015,41(10):135 – 139.

[5] 孙琦,谢让金,邓烈,等. 江津甜橙 3 个变异品种的果实品质及酸组分分析[J]. 食品科学, 2015,36(6):124 – 129.

[6] ARESTA A, ZAMBONIN C. Simultaneous determination of salicyl-

准确移取各原始碳酸饮料 10 mL 或准确称取糕点样品 2 ~ 3 g(精确至 ± 0.000 1 g),加入高、中、低 3 水平的苯甲酸标准溶液后,按 1.3 节的方法处理样品,再用水定容于 100 mL 容量瓶中,各水平平行配制 5 份。测定结果见表 3。表中数据表明,本法有较高的准确度和精密度。

ic, 3-methyl salicylic, 4-methyl salicylic, acetylsalicylic and benzoic acids in fruit, vegetables and derived beverages by SPME – LC – UV/DAD [J]. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis, 2016,121:63 – 68.

[7] MA YaJie, GUAN Chao, DONG Yingjie, et al. High-performance liquid chromatography utilization of ionic liquids as mobile phase additives for separation and determination of the isomers of amino benzoic acids [J]. Chinese Chemical Letters, 2016,27 (5):749 – 752.

[8] QIANGBA G Z, ZHU G T, YU Q W, et al. Simple and sensitive determination of aromatic acids in coconut water by g-C₃N₄@ SiO₂ based solid-phase extraction and HPLC-UV analysis [J]. Chemical Research in Chinese Universities, 2018,34 (4):528 – 535.

[9] TIMOFFEVA I, KANASHINA D, KIRSANOV D, et al. A heating-assisted liquid-liquid microextraction approach using menthol: Separation of benzoic acid in juice samples followed by HPLC-UV determination [J]. Journal of Molecular Liquids, 2018,261:265 – 270.

[10] 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.

[11] JAWAID S, TALPUR F N, NIZAMANI S, et al. Rapid in situ esterification method for the determination of benzoic acid in dairy milk by GC-FID [J]. Food Analytical Methods, 2015,8 (6):1 477 – 1 483.

[12] ZERAVUK J, FOHLEROVA Z, MIODRAG M, et al. Various instrumental approaches for determination of organic acids in wines [J]. Food Chemistry,2016,194(8):432 – 440.

[13] AUNG H P, PYELL U. In-capillary derivatization with o-phthalaldehyde in the presence of 3-mercaptopropionic acid for the simultaneous determination of monosodium glutamate, benzoic acid, and

- sorbic acid in food samples via capillary electrophoresis with ultra-violet detection [J]. *Journal of Chromatography A*, 2016, 1 449: 156 – 165.
- [14] SAGANDYKOVA G N, ALIMZHANOVA M B, NURZHANOVA Y T, et al. Determination of semi-volatile additives in wines using SPME and GC-MS [J]. *Food Chemistry*, 2017, 220: 162 – 167.
- [15] DING Mingzhen, LIU Weixi, PENG J, et al. Simultaneous determination of seven preservatives in food by dispersive liquid-liquid microextraction coupled with gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Food Chemistry*, 2018, 269: 187 – 192.
- [16] 韩雪, 张富新, 邵玉宇, 等. 气相色谱-质谱联用法同时测定红枣中六种酚酸[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(4): 220 – 225.
- [17] MOLOGNON I, DAGUER H, DESÁPLO ÊNCIO L A, et al. A multi-purpose tool for food inspection: Simultaneous determination of various classes of preservatives and biogenic amines in meat and fish products by LC-MS [J]. *Talanta*, 2018, 178: 1 053 – 1 066.
- [18] LIM H J, LEE M J, PARK H J, et al. Simultaneous determination of synthetic food additives in kimchi by liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry [J]. *Food Science and Biotechnology*, 2018, 27 (3): 877 – 882.
- [19] 李艳美, 李芳, 栗有志, 等. QuEChERS 前处理结合高效液相色谱-串联质谱法同时测定酵母产品中 4 种抗氧化剂和 5 种防腐剂[J]. *食品与发酵工业*, 2019, 45(12): 215 – 221.
- [20] 张勋, 刘韬, 吴连鹏, 等. 高效液相色谱-串联质谱法测定多种食品中 7 种酚类抗氧化剂和对羟基苯甲酸酯类防腐剂[J]. *食品与发酵工业*, 2016, 42(11): 206 – 211.
- [21] 马帅, 王纪华, 高媛, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法同时测定 5 个产地花椰菜和西兰花中的 23 种酚酸类化合物[J]. *食品科学*, 2018, 39(4): 176 – 187.
- [22] FUJIYOSHI T, IKAMI T, KIKUKAWA K, et al. Direct quantitation of the preservatives benzoic and sorbic acid in processed foods using derivative spectrophotometry combined with micro dialysis [J]. *Food Chemistry*, 2018, 240: 386 – 390.
- [23] 崔金娟, 谢漫漫, 赵丽冰. 紫外分光光度法测定酱油中苯甲酸含量的实验优化探究[J]. *中国调味品*, 2017, 42(11): 110 – 114.
- [24] 王金贵, 郑霞. 紫外分光光度法测定苯甲酸含量影响因素的探究[J]. *青海师范大学学报(自然科学版)*, 2016, 32(1): 21 – 28.