

婴幼儿配方粉中香兰素和乙基香兰素的 检测方法比较

陶保华¹, 储小军¹, 赖世云¹, 胡银洲², 任一平^{3*}

(1. 贝因美研究院, 杭州 310057; 2. 浙江大学生物系统工程与食品科学学院, 杭州 310029;
3. 浙江省疾病预防控制中心, 杭州 310051)

摘要: **目的** 建立婴幼儿配方粉中香兰素、乙基香兰素的液相色谱法和同位素稀释液相色谱质谱联用两种测定方法。**方法** 液相色谱法: 样品经乙酸锌沉淀蛋白、Oasis MAX SPE 柱净化, HSS T3 色谱柱分离后, 在 279 nm 波长处进行检测, 外标法定量。同位素稀释液质联用法: 样品采用乙腈沉淀蛋白稀释净化后, 采用 Waters BEH C₁₈ 柱分离, 在质谱检测器多反应监测(UPLC-MS/MS)模式下, 用同位素稀释液质联用法进行检测。**结果** 液相色谱法: 香兰素、乙基香兰素的定量下限(LOQ)均为 0.1 mg/kg。香兰素的方法回收率为 88%~90.8%, 相对标准偏差(RSD)小于 5.2%; 乙基香兰素的方法回收率为 84%~93.3%, RSD 小于 6.2%。同位素稀释液质联用法香兰素、乙基香兰素的 LOQ 分别为香兰素 1、0.5 mg/kg。香兰素、乙基香兰素的方法回收率分别为 82.1%~91.2%、90.2%~97.6%, RSD 分别小于 6.1%、5.8%。**结论** 本文建立的两种方法对同一样品的检测结果一致, 为婴幼儿配方粉中香兰素、乙基香兰素的定量检测提供了较为理想的方法。

关键词: 香兰素; 乙基香兰素; MAX SPE 净化; 超高压液相色谱法; 同位素稀释液质联用法

Comparison of quantification methods of vanillin and ethyl vanillin in infant formulas

TAO Bao-Hua¹, CHU Xiao-Jun¹, LAI Shi-Yun¹, HU Yin-Zhou², REN Yi-Ping^{3*}

(1. Zhejiang Beingmate Rresearch Institute, Hangzhou 310057, China; 2. School of Biosystem, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China; 3. Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou 310051, China)

ABSTRACT: Objective To establish quantitative methods of vanillin and ethyl vanillin in infant formulas by a ultra pressure liquid chromatography-ultraviolet spectrometer (UPLC-UV) and a ultra pressure liquid chromatography-mass spectrometry/mass spectrometry (UPLC-MS/MS). **Methods** In the UPLC-UV method, samples were purified and concentrated by Oasis MAX solid-phase extraction (SPE) cartridges after protein precipitation with zinc acetate. The vanillin and ethyl vanillin elution were separated by an HSS T3 column, and detected by the UV detector at a wavelength of 279 nm. In the UPLC-MS/MS method, the protein was precipitated by acetonitrile. The supernatant were separated by a Waters BEH C₁₈ column and quantified by isotope dilution liquid chromatography combined with mass spectrometry under multiple reaction monitoring (MRM) mode. **Results** LOQ of vanillin and ethyl vanillin were 0.1 mg/kg, as well as the overall spiked re-

基金项目: 公益性行业科研专项基金项目(2012104003-6)

Fund: Supported by Special Fund of Scientific Research in the Public Interest (2012104003-6)

*通讯作者: 任一平, 教授级高级工程师, 主要研究方向为卫生理化检验技术及食品安全检测技术。E-mail: renyiping@263.net

*Corresponding author: REN Yi-Ping, Professorate Senior Engineer, Zhejiang Provincial Center for Disease Prevention and Control. NO. 3399, Bing-sheng Road, Binjiang District, Hangzhou 310051, China. E-mail: renyiping@263.net

coveries were 88%~90.8% (RSD<5.3%) for vanillin and 90.2%~97.6% (RSD<6.5%) for ethyl vanillin in UPLC-UV method. In UPLC-MS/MS method, LOQ of vanillin and ethyl vanillin were 1 mg/kg and 0.5 mg/kg, and the overall spiked recoveries were 82.1%~91.2% (RSD<6.1%) for vanillin and 90.2%~97.6% (RSD<5.8%) for ethyl vanillin. **Conclusion** As the similar performances including good repeatability and high sensitivity, UPLC-UV and UPLC-MS/MS can be used as a routine method for the determination of vanillin and ethyl vanillin in infant formulas.

KEY WORDS: vanillin; ethyl vanillin; MAX SPE; ultra pressure liquid chromatography-ultraviolet spectrometer; ultra pressure liquid chromatography-mass spectrometry/mass spectrometry

1 引言

香兰素(vanillin), 又叫香草醛, 学名 3-甲氧基-4-羟基苯甲醛(图 1); 乙基香兰素(ethyl-vanillin), 学名 3-乙氧基-4-羟基苯甲醛(图 1)。两者均为白色或微黄色结晶性粉末, 微溶于水, 易溶于乙醇、甘油、乙醚、氯仿及香料。

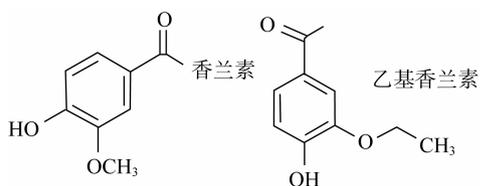


图1 香兰素、乙基香兰素结构图

Fig. 1 The structures of vanillin and ethyl-vanillin

香兰素和乙基香兰素都是重要的食品添加剂, 广泛应用于食品、饮料以及日化用品中。人体大量摄入香兰素等食品添加剂会导致头晕、恶心、呕吐, 还会影响肝脏、肾脏的功能^[1]。目前, 给婴儿添加配方奶粉成为世界各地普遍采用的做法, 而婴幼儿是对有害物质最敏感的群体。2011年《食品添加剂使用标准》(GB2760-2011)^[2]规定了较大婴儿和幼儿配方食品中香兰素最大使用量, 以即食食品计为 5 mg/100 mL, 0至6个月婴幼儿配方食品不得添加任何食用香料, 但没有检测方法。近年来由于婴幼儿食品特别是配方奶粉的质量优劣而频繁引发食品安全事件。因此, 建立准确、可靠地测定婴幼儿配方奶粉中香兰素等的含量非常重要。

目前已报道的测定香兰素、乙基香兰素的方法有分光光度法^[1]和气相色谱法^[3-5], 前者速度快但不能准确定量, 后者预处理操作较繁琐且检测时间长; 也有报道采用用电化学传感器测定香兰素、乙基香兰素^[6], 但并不常见。液相色谱法由于具有快速、高效, 预处理简单等优点而被广泛应用于香兰素、乙基香兰素

的检测^[7-11], 其检测对象大多为基质较简单的食品以及含酒精饮料等, 预处理方法大多为简单溶解、过滤等。婴幼儿配方粉基质复杂, 未经净化的样品杂质与被测物很难进行色谱分离。此外, 也有少量文献报道应用气相色谱质谱联用法^[3,12]和液相色谱质谱联用法^[13]测定香兰素, 前者采用选择离子扫描模式定量测定, 没有内标, 也没有考察基质效应对定量准确性的影响; 后者采用选择离子扫描模式定量测定, 以 3,4-亚甲基二氧苯乙酮为内标物。

本文建立了测定婴幼儿配方粉中香兰素、乙基香兰素的液相色谱法和同位素稀释液相色谱质谱联用法。液相色谱法前处理采用乙酸锌沉淀蛋白, 以强阳离子固相萃取(MAX SPE)小柱净化和浓缩样品, 去除了绝大部分的杂质, 排除了检测中基质的干扰; 采用 Waters HSS T3 色谱柱分离, 10 min 完成一次检测, 快速、高效、灵敏度高。液相色谱质谱联用同位素稀释法前处理用乙腈沉淀蛋白、样品进一步稀释降低基质效应, 采用 Waters BEH C₁₈ 色谱柱分离, 6 min 完成一次检测。两种方法检测结果基本一致。

2 材料与方法

2.1 试剂和仪器

超高压液相色谱仪(带紫外检测器)(美国 Waters 公司); 超高压液相色谱质谱联用仪(美国 Waters 公司); 离心机(Beckman Coulter 公司); 固相萃取装置; Oasis MAX SPE 柱; 香兰素、乙基香兰素、¹³C₆-乙基香兰素(纯度: 99%, Sigma 公司)。

甲醇(色谱纯, Merck 公司); 乙腈(色谱纯, Merck 公司); 甲酸(色谱纯, ROE 公司); 甲酸铵(色谱纯, ROE 公司); 乙酸(色谱纯, TEDIA 公司); 氨水(分析纯); 乙酸锌(分析纯)。

2.2 标准溶液配制

准确称取香兰素、乙基香兰素、香兰素同位素内

标准品 10.0 mg, 用甲醇稀释成 1 mg/mL, -20 °C 冷冻保存。

2.3 样品预处理

2.3.1 采用液相色谱法测定前处理步骤

准确称取 1.0 g 固体样品于 50 mL 离心管, 加入 10 mL 超纯水充分溶解; 超声提取 10 min, 加乙酸锌溶液 2 mL、涡旋充分混匀, 超声 10 min; 10000 r/min 离心 5 min, 取上清液供净化用。

分别用 5 mL 甲醇、5 mL 超纯水活化和平衡 MAX SPE 小柱, 将上清液全部过柱, 依次用 5 mL 5% 氨水、5 mL 甲醇过柱淋洗后, 用 5 mL 2% 甲酸甲醇洗脱小柱上的吸附物, 收集洗脱液。洗脱液用氮气吹至近干, 用超纯水定容至 1 mL, 过 0.22 μm 微孔滤膜后, 用液相色谱仪进行检测。

2.3.2 采用液相色谱质谱联用法测定前处理步骤

准确称取 1.0 g 固体样品于 50 mL 离心管, 加入 7.5 mL 超纯水充分溶解, 超声提取 10 min, 加乙腈 17.5 mL, 涡旋充分混匀, 超声 10 min; 10000 r/min 离心 5 min, 取上清液过 0.22 μm 微孔滤膜备用。

取 100 μL 上清液于进样小瓶, 加入 100 μL 同位素内标, 加入 800 μL 流动相, 用液相色谱质谱联用同位素稀释法进行检测。

2.4 分析检测条件

2.4.1 液相色谱法

色谱柱: Waters HSS T3(2.1 mm×100 mm, 1.8 μm); 进样体积: 10 μL; 流速: 0.3 mL/min; 流动相: 0.1% 甲酸水溶液(A相)和乙腈(B相); 梯度洗脱条件: 84% 的 A 相持续 1.0 min, 经 2 min 线性变化为 82% 的 A 相, 再经 2 min 线性变化为 71% 的 A 相, 持续 0.5 min, 然后经 0.3 min 线性变化为 100% B 相, 持续 1.7 min 最后经 0.2 min 线性变化为初始的 84% A 的相; 柱温 30 °C; 紫外检测波长 279 nm。

2.4.2 液相色谱质谱联用法

色谱柱为 Waters BEH C₁₈ (2.1 mm×50 mm, 1.7 μm); 进样体积: 10 μL; 流速: 0.3 mL/min; 流动相: 0.1% 甲酸水溶液(含 10 mmol/L 甲酸铵, A相)和乙腈(B相); 梯度洗脱条件: 90% 的 A 相持续 0.5 min, 经 2 min 线性变化为 65% 的 A 相, 再经 0.2 min 线性变化为 100% 的 B 相, 持续 1.0 min, 最后经 0.1 min 线性变化为初始的 90% A 相; 柱温 30 °C。质谱参数见表 1。

3 结果与讨论

3.1 预处理方法的优化

3.1.1 蛋白沉淀剂的选择

分别用乙酸锌和乙腈将同一个样品沉淀蛋白后过 MAX SPE 小柱。比较发现, 乙酸锌沉淀蛋白后过 SPE 柱, 被测物可与杂质完全分离, 沉淀效果较好; 而乙腈沉淀蛋白的效果更佳, 但含有乙腈的样品溶液过 MAX SPE 小柱时, 会使香兰素、乙基香兰素在 SPE 上的吸附减弱, 造成回收率过低。乙酸锌沉淀蛋白可获得理想的回收率, 沉淀效果也可满足检测的需要, 因此综合考虑选用乙酸锌作为本实验的蛋白沉淀剂。

3.1.2 样品净化条件的选择

婴幼儿配方粉基质复杂, 如果没有合适的净化方法, 液相色谱很难将被测物与杂质完全分离。根据检测对象、被测物性质与固相萃取净化原理, 本实验选择乙酸锌沉淀蛋白后过 Oasis MAX SPE 柱来净化和浓缩样品。

同位素稀释液质联用法由于检测灵敏度高, 并且有同位素内标矫正定量, 可以通过稀释样品来降低基质效应。因此, 实验选择样品用乙腈沉淀蛋白后用流动相水相稀释 10 倍作为净化方法, 省略 SPE 柱净化步骤, 预处理更加简单、快速而且降低了实验成本。

3.2 基质效应的评定

本研究有香兰素、乙基香兰素两种被测物, 只用一种同位素内标定量矫正, 为考察其定量的准确性, 实验对 3 种不同的婴幼儿配方粉采用提取后添加法分别进行基质干扰的考察, 以样品基质提取后加标峰面积(set 1)与纯标准溶液峰面积(set 2)的比值为基质效应(ME= set1/set2)。具体结果见表 2。

实验结果表明, 香兰素、乙基香兰素在不同样品中都有不同程度的基质增益效应, 但两者在同一基质中的基质效应增益程度的差别在误差允许范围内。因此, 用一种香兰素同位素内标同时定量矫正两种被测物结果可靠。

3.3 线性关系与灵敏度

3.3.1 线性关系

将香兰素、乙基香兰素标准溶液用超纯水稀释成 50、100、200、500、1000 ng/mL, 采用液相色谱法进

表1 质谱参数
Table 1 Mass spectrometry parameters

化合物	离子模式	母离子 (m/z)	子离子 (m/z)	碰撞能量 (V)	锥孔电压 (V)
香兰素	ESI+	153.03	93.04*	15	45
			124.97	10	45
乙基香兰素	ESI+	167.03	111.03*	15	45
			93.03	15	45
13C6-香兰素	ESI+	159.12	131.07*	10	45
			99.05	14	45

注: *定量离子 Quantitative ions

表2 基质效应对香兰素、乙基香兰素的影响
Table 2 The matrix effects on vanillin and ethyl-vanillin

样品编号	化合物	Set 1	Set 2	ME %
S-1	香兰素	14219.8	11991.4	118.6
	乙基香兰素	14532.9	12757	113.9
S-2	香兰素	15233.2	11991.4	127.0
	乙基香兰素	15687.1	12757	123.0
S-3	香兰素	12866.5	11991.4	107.3
	乙基香兰素	12932.1	12757	101.4

行检测,得到香兰素、乙基香兰素的线性方程分别为 $Y=127X-254$, $Y=101X-872$ (Y 为紫外相应值,单位AU; X 为待测浓度,单位ng/mL),香兰素 $R^2=0.9999$,乙基香兰素 $R^2=0.9997$ 。

将香兰素(乙基香兰素)标准溶液用初始流动相稀释成5(2.5)、10(5)、20(10)、40(20)、100(50) ng/mL,同时加入10 ng/mL香兰素同位素内标。采用液相色谱质谱联用法进样检测,计算得到香兰素、乙基香兰素的线性方程分别为 $Y=0.58X-0.017$, $Y=1.26X+0.42$,香兰素 $R^2=0.999$,乙基香兰素 $R^2=0.998$ 。

3.3.2 检出限、定量限

实验用空白样品溶液稀释标准品,液相色谱法400 ng/mL,液相色谱质谱联用法香兰素、乙基香兰素分别为40,20 ng/mL,进样测定。以信噪比(S/N)分别等于3和10为基准,采用液相色谱法时香兰素、乙基香兰素的检出限(LOD)均为30 ng/mL,定量限(LOQ)均为100 ng/mL,结合样品预处理换算出方法的LOD、LOQ分别为0.03、0.1 mg/kg;采用液相色谱质谱联用法测定时香兰素、乙基香兰素的LOD分别为1、0.5 ng/mL,LOQ分别为4、2 ng/mL,香兰素、乙基香兰素结合样品预处理换算出方法的LOD分别为0.3、0.15 mg/kg,LOQ分别为1、0.5 mg/kg。

3.4 加标回收率实验

实验采用标准加入法考察方法的准确度,取阴

性样品加入低中高3个浓度水平的标准品(液相色谱法分别加入0.1、1.0、5.0 mg/kg的香兰素、乙基香兰素的标准品溶液,液相色谱质谱联用法香兰素分别加入1、5.0、10.0 mg/kg,乙基香兰素0.5、2.5、5.0 mg/kg的标准品溶液),每个水平重复6次,按照上述预处理方法和仪器条件进行测定。液相色谱法分别加入0.1、1.0、5.0 mg/kg的香兰素、乙基香兰素的标准品溶液,液相色谱质谱联用法香兰素分别加入1.0、5.0、10.0 mg/kg,乙基香兰素0.5、2.5、5.0 mg/kg的标准品溶液。由表3可知,液相色谱法香兰素的回收率为88%~90.8%,RSD为2.31%~5.17%,乙基香兰素的回收率为84%~93.4%,RSD为3.89%~6.11%。液相色谱质谱联用法香兰素的回收率为82.1%~91.2%,RSD为4.33%~6.01%,乙基香兰素的收率为回收率为90.2%~97.6%,RSD为3.16%~5.71%,两种方法均可满足被测物的检测要求。

3.5 液相色谱法和液相色谱质谱联用法比较

3.5.1 检出限、检测时间比较

实验将同一样品应用本实验建立的液相色谱法和同位素稀释液质联用法分别进样分离检测,比较两者检出限和检测时间。结果见表4。

由表4可以看出,两种方法均可用于样品检测,液相色谱法检出限比液质联用法低5~10倍,液质联

用法检测时间更短。

3.5.2 样品检测结果比较

实验用液相色谱法和同位素稀释液质联用法分

别对 6 个样品进行测定, 由检测结果可知(表 5), 在检测范围内, 两种方法检测结果基本一致, 0~6 个月的初生婴儿配方粉均未检出香兰素或乙基香兰素。

表 3 香兰素、乙基香兰素的加标回收率($n=6$)
Table 3 Recoveries and RSDs of vanillin and ethyl-vanillin in spiked samples ($n=6$)

化合物	空白样 (mg/kg)	测定含量 (mg/kg)	加标量 (mg/kg)	平均回收率 (%)	RSD (%)
UPLC-UV					
香兰素	0.00	0.088	0.1	88	5.17
	0.00	0.95	1	95	3.55
	0.00	4.54	5	90.8	2.31
乙基香兰素	0.00	0.084	0.1	84	5.91
	0.00	0.89	1	89	6.11
	0.00	4.67	5	93.4	3.89
UPLC-MS/MS					
香兰素	0.00	0.821	1	82.1	6.01
	0.00	4.45	5	89	5.61
	0.00	9.12	10	91.2	4.33
乙基香兰素	0.00	0.47	0.5	94	3.25
	0.00	2.44	2.5	97.6	5.71
	0.00	4.51	5	90.2	3.16

表 4 两种检测方法的比较
Table 4 Comparison of two different methods

分析方法	化合物	检出限 (mg/kg)	进样体积 (μL)	分析时间 (min)
UPLC-UV	香兰素	0.03	10	10
	乙基香兰素	0.03	10	10
UPLC-MS/MS	香兰素	0.3	10	6
	乙基香兰素	0.15	10	6

表 5 UPLC-UV 与 UPLC-MS/MS 对香兰素、乙基香兰素的检测结果
Table 5 Contents of vanillin and ethyl-vanillin by UPLC-UV and UPLC-MS/MS

样品类型	样品编号	UPLC-UV (mg/kg)		UPLC-MS/MS (mg/kg)	
		香兰素	乙基香兰素	香兰素	乙基香兰素
婴幼儿配方粉 (0~6 个月)	1	/	/	/	/
	2	/	/	/	/
	3	/	/	/	/
婴幼儿配方粉 (6~36 个月)	4	75.8	79.1	79.6	83.2
	5	/	77.6	/	83.1
	6	/	/	/	/

4 结 论

本文同时建立了测定婴幼儿配方粉中香兰素、乙基香兰素的液相色谱法和同位素稀释液质联用法。液相色谱法预处理采用 MAX SPE 小柱净化、在去除了绝大部分杂质的同时富集了被测物, 相比于目前报

道的气相色谱法^[4]预处理更加方便、快速, 灵敏度更高; 样品预处理方法几乎适用于不同原料组成的婴幼儿配方粉的定量检测, 液相色谱相对于质谱更容易在基层实验室普及。同位素稀释液质联用法预处理采用乙腈沉淀蛋白稀释进样、同位素内标校正定量, 相对于现有的液质联用法^[13]使用 3,4-亚甲二氧苯乙

酮作内标,定性确认更准确,灵敏度可满足低残留的检测需要。经两种方法对同一样品检测表明,结果基本一致。本研究为婴幼儿配方粉中香兰素、乙基香兰素的定量检测提供了较为理想的方法。

参考文献

- [1] Ni YN, Zhang GW, Kokot S. Simultaneous spectrophotometric determination of maltol, ethyl maltol, vanillin and ethyl vanillin in foods by multivariate calibration and artificial neural networks [J]. *Food Chem*, 2005, 89: 465-473.
- [2] GB 2760-2011 食品安全国家标准食品添加剂使用标准[S]. GB 2760-2011 National Food Safety Standards-Standards for uses of food additives [S].
- [3] 韩双, 杨金宝, 刘宁. 气相色谱-质谱/选择离子法测定牛奶中的香兰素[J]. *中国乳品工业*, 2008, 36(8): 53-55.
Han S, Yang JB, Liu N. Determination of vanillin in milk by GC-MS/SIM [J]. *China Dairy Ind*, 2008, 36(8): 53-55.
- [4] 欧菊芳, 顾秀英, 鲍忠定, 等. 气相色谱法测定婴幼儿配方奶粉中香兰素和乙基香兰素[J]. *江西科学*, 2011, 29(1): 23-25.
Ou JF, Gu XY, Bao ZD, *et al.* Determination of Vanillin and Ethyl-Vanillin in Baby Formula by Gas Chromatography [J]. *Jiangxi Sci*, 2011, 29(1): 23-25.
- [5] 王建华, 王亚丽. 气相色谱法测定食品中的香兰素[J]. *中国卫生检验杂志*, 2000, 10(2): 178-179.
Wang JH, Wang YL. Determination of Vanillin in Food by Gas Chromatography [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2000, 10(2): 178-179.
- [6] Bettazzi F, Palchetti I, Sisalli S, *et al.* A disposable electrochemical sensor for vanillin detection [J]. *Anal Chim Acta*, 2006, 555: 134-138.
- [7] 赵志红, 张逢秋, 朱慧. 反相高效液相色谱法同时测定食品中香兰素、乙基麦芽酚的含量[J]. *食品科技*, 2001, 12: 136-138.
Zhao ZH, Zhang FQ, Zhu H. Determination of vanillin and ethyl maltol in food by Reversed-phase high-performance liquid chromatography [J]. *Food Sci Technol*, 2001, 12: 136-138.
- [8] Farthing D, Sicaa D, Abernathy C, *et al.* High-performance liquid chromatographic method for determination of vanillin and vanillic acid in human plasma, red blood cells and urine [J]. *J Chromatogr B*, 1999, 726: 303-307.
- [9] 王建华. 高效液相色谱法检测食品中香兰素的方法研究[J]. *中国卫生检验杂志*, 2001, 11(2): 164-165.
Wang JH. High-performance liquid chromatographic method for determination of vanilli in food [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2001, 11(2): 164-165.
- [10] 李海燕, 汤丹俞, 缪恩明, 等. 巧克力中香兰素的快速分离柱高效液相色谱法测定[J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(21): 9841-9842.
Li HY, Tang DY, Miao EM, *et al.* Determination of vanillin in chocolate by rapid column high performance liquid chromatography [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2009, 37(21): 9841-9842.
- [11] Waliszewski K, Pardo V, Ovando S. A simple and rapid HPLC technique for vanillin determination in alcohol extract [J]. *Food Chem*, 2006, 101: 1059-1062.
- [12] De Jager LA, Perfetti GA, Diachenko GW. Comparison of headspace-SPME-GC-MS and LC-MS for the detection and quantification of coumarin, vanillin, and ethyl vanillin in vanilla extract products [J]. *Food Chem*, 2008, 107: 1701-1709.
- [13] De Jager LA, Perfetti GA, Diachenko GW. Determination of coumarin, vanillin, and ethyl vanillin in vanilla extract products: liquid chromatography mass spectrometry method development and validation studies [J]. *J Chromatogr A*, 2007, 1145: 83-88.

(责任编辑: 张宏梁)

作者简介



陶保华, 本科, 主要研究方向为仪器分析。

E-mail: tbh_12078078@163.com



任一平, 教授级高级工程师, 主要研究方向为卫生理化检验技术及食品安全检验技术。

E-mail: renyiping@263.net