

# 分散固相萃取-高效液相色谱-串联质谱法测定 水果中3种乙醇胺

李秀英, 陈伟萍, 周朗君, 岑建斌, 管嘉武, 何敏恒\*

[广州检验检测认证集团有限公司, 国家加工食品质量检验检测中心(广东), 广州 511447]

**摘要:** **目的** 建立一种简单、快速的分散固相萃取-高效液相色谱-串联质谱法测定水果中单乙醇胺(monoethanolamine, MEA)、二乙醇胺(diethanolamine, DEA)和三乙醇胺(triethanolamine, TEA)残留量的分析方法。**方法** 样品均质后以乙醇超声提取, 提取液经N-丙基乙二胺(primary secondary amine, PSA)+C<sub>18</sub>混合分散净化后, 采用Accucore polar premium (100 mm×4.6 mm, 2.6 μm)色谱柱分离, 以5 mmol/L 甲酸铵-乙腈为流动相梯度洗脱, 在电喷雾正离子多反应监测模式下检测, 外标法定量。**结果** 单乙醇胺、二乙醇胺和三乙醇胺分别在10.0~1000.0、3.0~1000.0、1.0~1000.0 μg/L 范围内线性关系良好, 相关系数均大于0.996, 单乙醇胺、二乙醇胺和三乙醇胺的检出限分别为50.0、15.0和5.0 μg/kg, 定量限分别为150.0、40.0和15.0 μg/kg, 3种乙醇胺类化合物在高中低浓度的加标回收率为79.4%~102.1%, 重复性精密度为1.4%~9.6% (n=6)。**结论** 该方法具有操作简便、定量准确、灵敏快速的特点, 适用于水果中单乙醇胺、二乙醇胺和三乙醇胺的检测确证。

**关键词:** 水果; 乙醇胺类; 高效液相色谱-串联质谱法; 分散固相萃取

## Determination of 3 kinds of ethanolamines in fruits by dispersive solid-phase extraction-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

LI Xiu-Ying, CHEN Wei-Ping, ZHOU Lang-Jun, CEN Jian-Bin, GUAN Jia-Wu, HE Min-Heng\*

[Guangzhou Inspection Testing and Certification Group Co., Ltd., National Quality Inspection and Testing Center for Processed Foods (Guangdong), Guangzhou 511447, China]

**ABSTRACT: Objective** To establish a simple and rapid analytical method for the determination of monoethanolamine (MEA), diethanolamine (DEA) and triethanolamine (TEA) residues in fruits by dispersive solid-phase extraction-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry. **Methods** The samples were homogenized, followed by ultrasonic extraction with ethanol, after the primary secondary amine (PSA)+C<sub>18</sub> dispersion purification of the extractive solution, the samples were separated using an Accucore polar premium (100 mm×4.6 mm, 2.6 μm) chromatographic column, and gradient elution was performed using 5 mmol/L ammonium formate-acetonitrile as the mobile phase, and the samples were detected under the electrospray positive ion multiple reaction monitoring mode, and quantified by external standard method. **Results** The linear relationship of MEA,

基金项目: 广东省市场监督管理局科技计划项目(2020CS03)

Fund: Supported by the Scientific and Technological Project of Guangdong Administration for Market Regulation (2020CS03)

\*通信作者: 何敏恒, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全研究。E-mail: minheng.he@qq.com

\*Corresponding author: HE Min-Heng, Master, Senior Engineer, Guangzhou Inspection Testing and Certification Group Co., Ltd., Guangzhou 511447, China. E-mail: minheng.he@qq.com

DEA and TEA were good in the range of 10.0–1000.0, 3.0–1000.0 and 1.0–1000.0  $\mu\text{g/L}$  respectively, the correlation coefficients were greater than 0.996, the detection limits of MEA, DEA and TEA were 50.0, 15.0 and 5.0  $\mu\text{g/kg}$  respectively, the quantitation limits were 150.0, 40.0 and 15.0  $\mu\text{g/kg}$ , respectively. The recoveries of the 3 kinds of ethanolamine compounds at high, medium, and low concentrations were 79.4%–102.1%, and the repeatability precisions were 1.4%–9.6% ( $n=6$ ). **Conclusion** This method is simple, accurate, sensitive and rapid, and suitable for the determination and confirmation of MEA, DEA and TEA in fruits.

**KEY WORDS:** fruits; ethanolamines; high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry; dispersive solid-phase extraction

## 0 引言

单乙醇胺(monoethanolamine, MEA)、二乙醇胺(diethanolamine, DEA)和三乙醇胺(trolamine, TEA)等乙醇胺类化合物是重要的精细化工原料,广泛应用于表面活性剂、化学试剂、农药、医药、气体净化剂等的生产,在化工生产领域具有重要地位<sup>[1-2]</sup>。然而,乙醇胺类物质多具有毒性,长期过量接触会引起皮炎和湿疹,甚至可能引起肝肿瘤等脏器病变<sup>[3-4]</sup>。因此,国内外对 MEA、DEA 和 TEA 等乙醇胺类物质制定了限量标准,我国 GB 9685—2016《食品安全国家标准 食品接触材料及制品用添加剂使用标准》规定了各类型食品接触材料及制品中乙醇胺类化合物的限量要求,其中食品接触用涂料和涂层中 MEA 的特定迁移限量(specific migration limit, SML)为 0.05 mg/kg;在食品接触用橡胶材料及制品中 DEA 的最大使用量和 SML 分别为 5%和 0.3 mg/kg, TEA 的最大使用量和 SML 分别为 5%和 0.05 mg/kg;在食品接触材料及制品用油墨中 MEA 的 SML 为 0.05 mg/kg。乙醇胺类作为添加剂应用于食品接触材料生产时,可能残留在包装材料产品中,在食品的生产加工运输储存等过程可能进一步迁移至食品中,例如水果在种植、采摘、运输、上架等过程中均可能使用到塑料、纸箱、泡沫等食品接触材料,乙醇胺类可能迁移至水果中而被人体摄入,对人体造成一定的伤害<sup>[5]</sup>。此外,乙醇胺作为农药的乳化剂或生产原料(例如作为田地杀螺剂<sup>[6-7]</sup>、草甘膦的中间体<sup>[8]</sup>等)在环境中广泛存在,也可能在水果的生长过程中富集残留在水果中,因此开展水果中乙醇胺残留检测具有现实意义。

目前关于乙醇胺的检测研究对象多集中在化妆品<sup>[9-11]</sup>、环境样本<sup>[12-14]</sup>、食品接触材料<sup>[5]</sup>、生物样本<sup>[15]</sup>、工业品<sup>[16-18]</sup>和药品<sup>[19]</sup>等方面,在食品中残留检测方面的研究鲜少报道。样品的前处理技术主要有针对环境场所样本的吸收液富集法<sup>[3]</sup>、针对化妆品样本的超声提取法<sup>[4]</sup>、针对药品样本的甲醇稀释法<sup>[19]</sup>以及食品模拟物迁移<sup>[5,17]</sup>等,这些前处理基质未包含食品或水果基质,且基质差异比较大,研究建立适用于水果基质中乙醇胺的检测方法可以解决目前方法缺失的问题,为水果中乙醇胺污染情况探索提供检测技术支持。超声提取法是针对固液两相萃取的经典方法,分

散固相萃取净化是一种快速简便的净化方法,在食品样品的前处理中得到广泛的应用<sup>[20-21]</sup>。乙醇胺的检测技术主要有气相色谱法<sup>[16-18]</sup>、气相色谱-质谱联用法<sup>[2,10]</sup>、离子色谱法<sup>[3,11,14]</sup>、液相色谱法<sup>[4,19]</sup>、液相色谱-串联质谱法<sup>[5,15]</sup>等,液相色谱-串联质谱法在食品质量安全检测中具有定性准确和检测灵敏的优点<sup>[22-23]</sup>,适合低含量物质的检测。因此本研究采用高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)检测水果中单乙醇胺、二乙醇胺和三乙醇胺的残留量,以期对相关研究提供借鉴。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料与试剂

标准品:单乙醇胺(纯度 $\geq 99\%$ ,上海安谱实验科技股份有限公司);二乙醇胺(纯度 98.7%)、三乙醇胺(纯度 99.5%)(美国 Chem Service Inc.公司)。

乙腈、甲醇、丙酮(色谱纯,德国 Merck 公司);乙醇(色谱级)、N-丙基乙二胺(primary secondary amine, PSA)、 $\text{C}_{18}$ (上海安谱实验科技股份有限公司);甲酸(色谱级,美国 Sigma 公司);石墨化炭黑(graphitized carbon black, GCB)(广州太玮生物科技有限公司);甲酸铵(色谱级,上海阿拉丁生化科技股份有限公司);0.22  $\mu\text{m}$  尼龙 66 滤膜(天津市津腾实验设备有限公司);超纯水为 Milli-Q 去离子水发生器净化制备。

分析样品:水果样品均购于不同市场、商超或水果店。

### 1.2 仪器与设备

Exion LC-AB Sciex Qtrap 5500 plus 高效液相色谱-串联质谱仪(美国 AB SCIEX 公司);Milli-Q 去离子水发生器(美国 Millipore 公司);3K15 高速离心机(美国 Sigma 公司);MS3 basic 漩涡混合器(德国 IKA 公司);KQ-500DE 型数控超声波清洗仪(昆山市超声仪器有限公司);Accucore polar premium 液相色谱柱[100 mm $\times$ 4.6 mm, 2.6  $\mu\text{m}$ , 赛默飞世尔科技(中国)有限公司]。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 标准溶液的配制

分别准确称取 MEA、DEA 和 TEA 标准品约 10 mg(精

确至 0.1 mg), 用超纯水溶解并定容至 10 mL 棕色容量瓶中, 配制质量浓度约为 1000 mg/L 的单标储备液。分别移取适量单标储备液, 用甲醇配成 10 mg/L 混标中间液, 4 °C 避光保存, 临用时用流动相稀释成所需浓度的标准工作液。

### 1.3.2 样品前处理

称取均质后的水果样品 5.00 g (精确至 0.01 g) 于 25 mL 容量瓶中, 加入 15 mL 无水乙醇, 涡旋 1 min, 超声提取 15 min, 然后添加无水乙醇定容至 25.00 mL。取 10 mL 溶液于离心管中, 以 6000 r/min 速度离心 5 min, 然后取 1 mL 上清液加入 12.5 mg PSA 和 12.5 mg C<sub>18</sub>, 涡旋振荡 1 min 后以 10000 r/min 离心 2 min, 上清液过 0.22 μm 尼龙 66 滤膜后, 供 HPLC-MS/MS 测定。

### 1.3.3 色谱条件

色谱柱: Accucore polar premium (100 mm×4.6 mm, 2.6 μm); 流动相: A 为 5 mmol/L 甲酸铵, B 为乙腈, 洗脱梯度: 0.0~6.00 min 75% B; 6.01~8.00 min 90% B; 8.01~10.0 min 75% B; 流速: 0.6 mL/min; 进样量: 1 μL; 柱温: 30 °C。

### 1.3.4 质谱条件

电喷雾电离(electrospray ionization, ESI<sup>+</sup>)正离子模式; 电喷雾电压 5500 V; 离子源温度 550 °C; 雾化气压力 50 psi; 辅助气压力 50 psi; 气帘气压力 30 psi; 监测方式: 多反应离子监测(multiple reaction monitoring, MRM)模式; 3 种乙醇胺类化合物的母离子、子离子、去簇电压及碰撞能量等参数见表 1, 每个离子对的驻留时间均为 50 ms。

表 1 3 种乙醇胺类化合物的质谱参数  
Table 1 Mass parameters of 3 kinds of ethanolamine compounds

目标物	母离子 ( <i>m/z</i> )	子离子 ( <i>m/z</i> )	去簇电压 /V	碰撞能量 /eV
MEA	62.1	44.0*, 29.1	80.0	15.2, 36.9
DEA	106.2	88.0*, 70.0	80.0	15.0, 18.2
TEA	150.2	132.1*, 88.0	80.0	18.3, 22.0

注: \*定量离子。

## 2 结果与分析

### 2.1 质谱参数优化

乙醇胺类化合物结构上具有氨基和羟基, 在质谱电离时易获得质子, 故可能采用正离子模式进行检测, 以 500 μg/L 乙醇胺单标溶液, 通过仪器自动优化模式获得 3 种目标化合物的准分子离子峰, 对准分子离子进行二级质谱扫描, 选择丰度较高的两个碎片离子为定性定量离子, 并对各个离子对的质谱参数如去簇电压、碰撞能、碰撞池出口电压等参数进行优化, 使仪器的灵敏度、稳定性和分离效率均处于最佳状态, 确定仪器参数如表 1 所述。

### 2.2 色谱条件的优化

乙醇胺类化合物具有醇羟基和胺基, 极性比较大, C<sub>18</sub> 色谱柱基本无保留, 根据色谱分离的保留原理, 应选择具有极性的色谱柱, 本研究比较了目标分析物在 Acquity UPLC BEH C<sub>18</sub> (50 mm×2.1 mm, 1.7 μm)、Acquity UPLC BEH Amide (50 mm×2.1 mm, 1.7 μm)、Accucore polar premium (100 mm×4.6 mm, 2.6 μm) 3 种色谱柱中的分离效果及响应情况。结果表明, 3 种乙醇胺类化合物在 C<sub>18</sub> 色谱柱基本无保留, 在 BEH Amide 色谱柱和 Accucore polar premium 色谱柱上均能实现保留及分离, 在 Accucore polar premium 色谱柱上峰形对称尖锐, 信噪比高, 因此选择 Accucore polar premium 色谱柱。图 1 为 3 种目标分析物的定量离子对 MRM 色谱图。

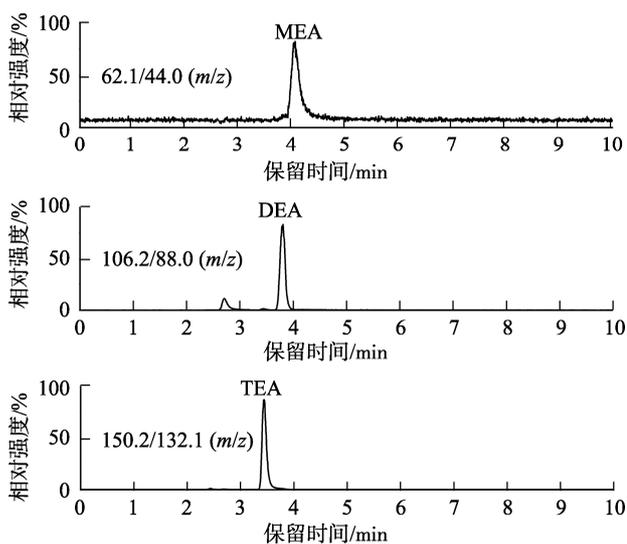


图 1 3 种乙醇胺类化合物的 MRM 色谱图(50.0 μg/L)

Fig.1 MRM chromatograms of the 3 kinds of ethanolamine compounds (50.0 μg/L)

### 2.3 提取剂的选择

水果样品含较多的水分, 均质匀浆后, 可直接添加提取液提取, 乙醇胺类化合物含羟基和胺基等极性基团, 是极性化合物, 本研究比较了乙腈、无水乙醇、甲醇、丙酮和乙腈水(7:3, V:V)的提取效果。在梨样品中添加 100 μg/kg 乙醇胺类, 分别用 25 mL 上述提取液超声提取。结果见图 2, 乙腈的提取回收率最差, 可能与分子相似相溶原理有关, 乙醇胺可与水、乙醇、丙酮混溶, 乙腈水溶液的提取回收率明显高于乙腈溶液, 但不如乙醇的提取回收率。丙酮提取液的颜色较深, 可能与提取剂极性相关, 综合 3 种目标化合物的提取回收率考虑, 选择乙醇作为提取溶剂。

### 2.4 提取方式的优化

有机物检测分析中常用的提取方式包括超声提取和振荡提取, 比较两种提取方式, 在相同的提取时间内, 超

声提取具有更好的提取效率, 水果样品均质匀浆后呈微小颗粒, 超声提取更适于固液提取, 因此选择超声提取作为样品提取方式。采用梨加标样品, 涡旋振荡 1 min 后, 考察了超声时间分别为 5、10、15 和 20 min 的提取回收率, 结果表明, 超声提取回收率在提取 15 min 达到基本稳定, 故选择 15 min 作为提取时间, 具体见图 3。

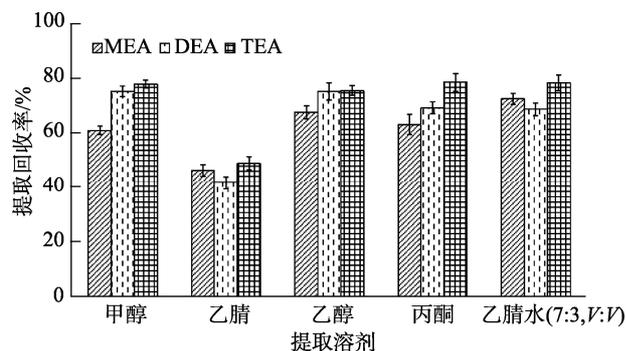


图 2 不同提取剂的提取回收率( $n=3$ )  
Fig.2 Extraction recoveries of different solvents ( $n=3$ )

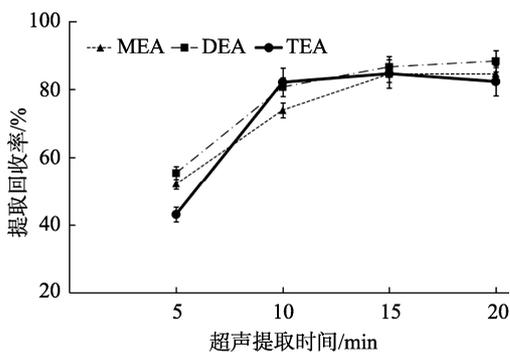


图 3 超声提取时间对提取回收率的影响( $n=3$ )  
Fig.3 Effects of ultrasonic extraction time on extraction recovery ( $n=3$ )

## 2.5 分散固相萃取净化条件的优化

在水果样品检测中, 分散固相萃取净化常用的净化剂有 PSA、 $C_{18}$  和 GCB, PSA 的分子结构中含有两个氨基, 具有较强的离子交换能力, 能与基质中的脂肪酸、糖类、甾醇等分子中的羟基形成共价键氢键而将其除去, 但可能会与多羟基化合物产生吸附作用。 $C_{18}$  的硅胶末端键合十八烷基, 由于十八烷基的非极性较强, 因此易吸附非极性物质。净化剂在去除杂质的同时也可能对目标化合物产生一定的吸附效应, 为选择最佳的净化剂种类和用量, 以橙基质制备阳性样品(3 种乙醇胺含量均为 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ), 通过考察上述 3 种净化剂以及混合净化剂(PSA +  $C_{18}$  为 1:1,  $m:m$ ) 的净化效果及回收率, 4 种净化剂用量分别为 5、10、25、50、100 mg, 对 1 mL 样品提取溶液进行净化实验。结果表明, 用量在 25 mg 及以下时, 4 种吸附剂未表现出明显吸附作用差异。回收率范围看, 使用  $C_{18}$  或 PSA+ $C_{18}$  净化后回

收率高于单独采用 GCB 或 PSA 净化。而用量在 50 mg 或 100 mg 时, 4 种净化剂对目标物表现出吸附, 且强度次序为: GCB>PSA>PSA+ $C_{18}$ ≈ $C_{18}$ , 具体回收率情况见图 4。从净化效果看, GCB 和 PSA 对色素的净化效果优于  $C_{18}$ , 综合考虑净化剂对色素的净化能力及对回收率的影响, 本研究最终选定在 1 mL 样液中添加 12.5 mg  $C_{18}$  及 12.5 mg PSA 混合作为净化剂。

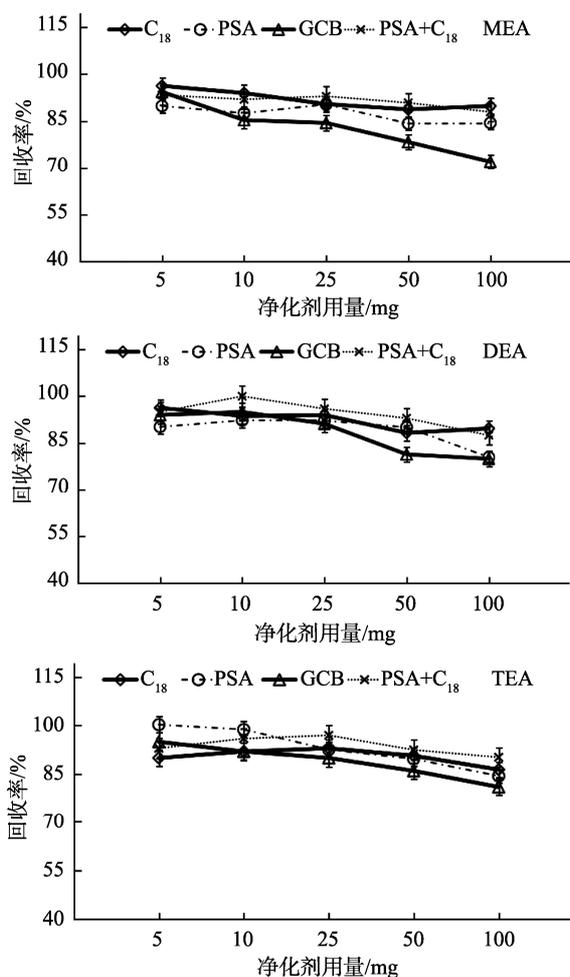


图 4 净化剂用量对目标物回收率的影响( $n=3$ )  
Fig.4 Effects of purification agent dosage on recoveries of target analytes ( $n=3$ )

## 2.6 线性范围与检出限

在优化条件下, 对 3 种待测物的系列混合标准工作液进行 HPLC-MS/MS 分析, 记录各目标物定量离子峰面积 ( $Y$ ), 以峰面积相对应的目标物质量浓度 ( $X$ ,  $\mu\text{g}/\text{L}$ ) 进行回归分析, 得到 3 种乙醇胺类化合物的线性方程。根据仪器的检出限 (limits of detection, LODs,  $S/N=3$ ) 及定量限 (limits of quantitation, LOQs,  $S/N=10$ ), 结合样品的前处理过程, 计算得到方法检出限和方法定量限 (见表 2), 分别为 5.0~50.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 15.0~150.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

## 2.7 方法回收率与精密度

为验证方法的准确度,按本实验方法对油桃样品进行了高中低 3 个水平的加标回收实验,其中 MEA 在水平 1、水平 2 和水平 3 的加标量分别为 150、300 和 1000  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,

DEA 和 TEA 在 3 个水平的加标量为 50.0、100 和 500  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,实验结果见表 3。3 种乙醇胺的平均回收率为 79.4%~102.1%,重复性精密度( $S_r$ ,  $n=6$ )在 1.4%~9.6%之间。方法显示了良好的准确性和重现性。

表 2 3 种乙醇胺类化合物的线性方程、相关系数、检出限和定量限  
Table 2 Linear equations, correlation coefficients ( $r^2$ ), LODs and LOQs of the 3 kinds of analytes

目标物	线性范围/ $(\mu\text{g}/\text{L})$	线性方程	相关系数( $r^2$ )	检出限/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	定量限/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$
MEA	10.0~1000.0	$Y=3348.5X+18706$	0.9963	50.0	150.0
DEA	3.0~1000.0	$Y=35819X-60837$	0.9985	15.0	40.0
TEA	1.0~1000.0	$Y=115998X+1258347$	0.9992	5.0	15.0

表 3 油桃样品中 MEA、DEA 和 TEA 的加标回收率及精密度( $n=6$ )  
Table 3 Recoveries and repeatabilities for MEA, DEA and TEA in nectarine ( $n=6$ )

目标物	水平 1		水平 2		水平 3	
	回收率/%	精密度/%	回收率/%	精密度/%	回收率/%	精密度/%
MEA	79.4	9.6	86.7	7.7	90.8	1.4
DEA	86.7	5.3	92.4	4.8	91.4	5.6
TEA	89.9	4.8	91.5	5.3	102.1	3.8

## 2.8 实际样品检测

为验证方法的可行性,将建立的方法应用于苹果、猕猴桃、草莓、香蕉、香梨、橙、西柚、葡萄、西瓜、龙眼、芒果、油桃、早酥梨 13 种水果 50 份样品中 MEA、DEA 和 TEA 的检测,5 个样品检出 MEA,含量为 159.5~336.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,2 个样品检出 DEA,含量为 53.5~106.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,3 个样品检出 TEA,含量为 16.12~97.34  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

## 3 结 论

本研究建立了一种检测水果中 3 种乙醇胺的分析方法,水果样品均质匀浆后,用乙醇超声提取,PSA+C<sub>18</sub>混合分散固相萃取净化,以高效液相色谱-串联质谱仪 MRM 模式测定,外标法定量。方法的检出限为 5.0~50.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 、定量限为 15.0~150.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,3 种乙醇胺的加标回收率范围为 79.4%~102.1%,重复性精密度( $S_r$ ,  $n=6$ )在 1.4%~9.6%之间。经实际样品检测验证,本方法具有净化效果好、定量准确、灵敏快速的特点,适用于水果中单乙醇胺、二乙醇胺和三乙醇胺的快速确认和准确定量分析,可为水果中乙醇胺含量检测提供依据。

## 参考文献

- [1] 余孔捷,黄杰,杨方,等.气相色谱内标法测定食品加工助剂三乙醇胺中单乙醇胺、二乙醇胺[J].食品工业科技,2008,29(8):281-282.  
YU KJ, HUANG J, YANG F, *et al.* Determination of monoethanolamine and diethanolamine in food processing aids trolamine by GC internal

- standard method [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2008, 29(8): 281-282.  
[2] 赵彦伟,李蕊,王海瑞,等.气相色谱-质谱法测定洗涤剂中的乙醇胺类化合物[J].分析实验室,2016,35(1):78-81.  
ZHAO YW, LI R, WANG HR, *et al.* Determination of ethanolamines in detergents by gas chromatography-mass spectrometric method [J]. *Chin J Anal Lab*, 2016, 35(1): 78-81.  
[3] 王真,姜振邦,李仁勇.离子色谱法测定空气中的氨、胍和乙醇胺[J].色谱,2016,34(10):972-975.  
WANG Z, JIANG ZB, LI RY. Determination of ammonia, hydrazine and ethanol amine in air by ion chromatography [J]. *Chin J Chromatogr*, 2016, 34(10): 972-975.  
[4] 吴颖,季红斌.高效液相色谱法测定化妆品中二乙醇胺的量[J].日用化学工业,2013,43(4):317-320.  
WU Y, JI HB. Determination of diethanol amine content in cosmetics by HPLC [J]. *Chin Surfact Deterg Cosmet*, 2013, 43(4): 317-320.  
[5] 李慧勇,王海洋,熊小婷,等.液相色谱-串联质谱法测定食品接触材料中 5 种乙醇胺类化合物的迁移量[J].分析测试学报,2018,37(8):930-934.  
LI HY, WANG HY, XIONG XT, *et al.* Determination of migration of 5 ethanolamine compounds in food contact materials by liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Instrum Anal*, 2018, 37(8): 930-934.  
[6] 周陆礼,覃燕光.70%杀螺胺乙醇胺盐可湿性粉剂防治水稻福寿螺田间药效试验[J].农业工程技术,2020,8:15-16.  
ZHO LL, QIN YG. Field efficacy trial of 70% spiroamide ethanolamine salt wetttable powder against rice fusarium fusarium [J]. *Agric Eng Technol*, 2020, 8: 15-16.  
[7] 李秋平,李之阳,杨其荣,等.50%杀螺胺乙醇胺盐悬浮剂喷洒法杀灭钉螺效果观察[J].实用预防医学,2018,25(9):1043-1046.

- LI QP, LI ZY, YANG QR, *et al.* Molluscicidal effect of 50% suspension of niclosamide ethanolamine salt by spraying method [J]. *Pract Prev Med*, 2018, 25(9): 1043–1046.
- [8] 郑红朝. 一乙醇胺催化脱氢及应用于草甘膦合成[D]. 杭州: 浙江大学, 2003.
- ZHENG HC. Catalytic dehydrogenation of ethanolamine and its application in synthesis of glyphosate [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2003.
- [9] 肖时俊, 张丹青, 黄龙娣. 气相色谱法测定化妆品中的乙醇胺[J]. *广东化工*, 2011, 38(4): 144, 155.
- XIAO SJ, ZHANG DQ, HUANG LD. Determination of ethanolamines in cosmetic by gas chromatography [J]. *Guangdong Chem Ind*, 2011, 38(4): 144, 155.
- [10] 王星, 王超, 蔡天培, 等. 化妆品中乙醇胺类的 GC-MS 分析[J]. *分析测试学报*, 2007, (1): 352–354.
- WANG X, WANG C, CAI TP, *et al.* Determination of monoethanolamine, diethanolamine, triethanolamine in cosmetics by gas chromatography-mass spectrometry [J]. *J Instrum Anal*, 2007, (1): 352–354.
- [11] 何成, 张丽娟, 杜宇, 等. 非抑制离子色谱法测定多种状态进出口化妆品中三乙醇胺的含量[J]. *中国口岸科学技术*, 2021, (1): 77–81.
- HE C, ZHANG LJ, DU Y, *et al.* Determination of triethanolamine in cosmetics under multiple states by non-suppressed ion chromatography [J]. *China Port Sci Technol*, 2021, (1): 77–81.
- [12] 孟成名, 孟正丽, 余善法. 硅胶管采集工作场所空气中乙醇胺的检测方法分析[J]. *中国工业医学杂志*, 2019, 32(6): 490–492, 499.
- MENG CM, MENG ZL, YU SF. Analysis on detection method for ethanolamine in workplace air collected by silica gel tube [J]. *Chin J Ind Med*, 2019, 32(6): 490–492, 499.
- [13] ZKA B, JZA B, ND C, *et al.* A simple and ultrasensitive metal-organic framework-based aptasensor for fluorescence detection of ethanolamine [J]. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 2022, 267: 120488.
- [14] 张嫣秋, 陆伟英, 王嬉巧, 等. 离子色谱法测定化工废水中有机醇胺类化合物[J]. *环境监测管理和技术*, 2020, 32(4): 48–51.
- ZHANG YQ, LU WY, WANG XQ, *et al.* Determination of ethanolamines in chemical industry by ion chromatography [J]. *Admin Tech Environ Monit*, 2020, 32(4): 48–51.
- [15] HAMZAH N, KJELLBERG M, VANNINEN P. Optimized method for analysis of ethanolamines, hydrolysis products of nitrogen mustards, from urine samples using LC-MS/MS [J]. *J Chromatogr B*, 2021, 1176: 122762.
- [16] 李晓睿, 姚晨之, 严方. 气相色谱法测定酰胺类表面活性剂及其制品中微量乙醇胺[J]. *理化检验(化学分册)*, 2015, 51(1): 50–53.
- LI XR, YAO CZ, YAN F. GC determination of trace ethanol amine in the amide surfactant and its products [J]. *Phys Test Chem Anal Part B*, 2015, 51(1): 50–53.
- [17] 胡玉婷. 气相色谱法在助磨剂醇胺类检测中的应用[J]. *水泥工程*, 2021, 4: 64–66.
- HU YT. Application of gas chromatography in the detection of alcoholamines in grinding aids [J]. *Cement Eng*, 2021, 4: 64–66.
- [18] 刘明珍, 冯上体, 赵振莹, 等. 气相色谱法测定工业三乙醇胺含量的不确定度评定[J]. *当代化工研究*, 2021, (13): 39–41.
- LIU MZ, FENG ST, ZHAO ZY, *et al.* Evaluation of uncertainty for determination of industrial triethanolamine's content by gas chromatography [J]. *Mod Chem Res*, 2021, (13): 39–41.
- [19] 王晓东, 蓝娟, 狄斌. 高效液相色谱-蒸发光散射检测法测定三乙醇胺乳膏的含量[J]. *中国新药杂志*, 2012, 21(16): 1942–1945.
- WANG XD, LAN J, DI B. Determination of triethanolamine in cream by HPLC-ELSD [J]. *Chin J New Drugs*, 2012, 21(16): 1942–1945.
- [20] 施佳男, 曹超, 许佳玉, 等. 超声提取柿果皮总三萜酸工艺优化[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(14): 4574–4580.
- SHI JN, CAO C, XU JY, *et al.* Optimization of ultrasonic extraction technology of total triterpenoid acid from persimmon peel [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(14): 4574–4580.
- [21] 侯俐南, 李彬, 乔亚森, 等. 甲醇超声提取法测定保健食品中维生素 A[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(3): 938–944.
- HOU LN, LI B, QIAO YS, *et al.* Determination of vitamin A in health foods by ultrasonic extraction with methanol [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(3): 938–944.
- [22] JUNG HN, PARK DH, YOO KH, *et al.* Simultaneous quantification of 12 veterinary drug residues in fishery products using liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2021, (46): 129105.
- [23] SU M, CHENG Y, ZHANG C, *et al.* Determination of the levels of tryptophan and 12 metabolites in milk by liquid chromatography-tandem mass spectrometry with the QuEChERS method [J]. *J Dairy Sci*, 2020, 103(11). DOI: 10.3168/jds.2020-18260

(责任编辑: 张晓寒 于梦娇)

## 作者简介



李秀英, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量与安全研究。  
E-mail: 328444798@qq.com



何敏恒, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全研究。  
E-mail: minheng.he@qq.com