

# 高效液相色谱-串联质谱法测定液体乳中 氯酸盐和高氯酸盐

刘煜, 周佳, 朱书强, 李雁, 杨振东, 王丽君\*

(甘肃省食品检验研究院, 兰州 730000)

**摘要:** **目的** 建立高效液相色谱-串联质谱法(high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry, HPLC-MS/MS)测定液体乳中的氯酸盐和高氯酸盐的分析方法。**方法** 样品经 0.2%甲酸水-甲醇(10:90, V:V)提取, HLB 固相萃取柱净化。经 Acclaim Trinity P1 复合阴离子交换柱(100 mm×2.1 mm, 3 μm)洗脱。在流速 0.5 mL/min 下以乙腈-20 mmol/L 甲酸铵溶液(70:30, V:V)作为流动相, 梯度分离。采用三重四极杆电喷雾离子源电离-多反应监测(multiple reaction monitoring, MRM)-负离子监测模式检测, 分别以氯酸根-<sup>18</sup>O<sub>3</sub> 高氯酸根-<sup>18</sup>O<sub>4</sub> 为内标物, 进行内标法定量。**结果** 氯酸盐和高氯酸盐分别在 0.0~50.0 μg/kg 和 0.0~25.0 μg/kg 范围内线性关系良好, 相关系数  $r^2$  都大于 0.999。方法的测定下限分别为 0.4 μg/kg 和 0.6 μg/kg。回收率为 80.0%~93.6%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 2.14%~6.68%。**结论** 该方法提取率高, 准确可靠, 适用于液体乳中氯酸盐和高氯酸盐的定量分析。

**关键词:** 复合阴离子交换柱; 氯酸盐; 高氯酸盐; 液体乳; 高效液相色谱-串联质谱法

## Determination of chlorate and perchlorate in liquid milk by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

LIU Yu, ZHOU Jia, ZHU Shu-Qiang, LI Yan, YANG Zhen-Dong, WANG Li-Jun\*

(Gansu Institute of Food Inspection, Lanzhou 730000, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a method for the determination of chlorate and perchlorate in liquid emulsion by high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS). **Methods** The samples were extracted by 0.2% formate water and methanol (10:90, V:V) and purified by HLB solid phase extraction column. The Acclaim Trinity P1 composite anion exchange column (100 mm×2.1 mm, 3 μm) was used for elution. Acetonitrile-20 mmol/L ammonium formate (70:30, V:V) was used as the mobile phase at the flow rate of 0.5 mL/min for gradient separation. Triple quadrupole electrospray ion source (ESI source) ionization-multiple reaction monitoring (MRM)-anion monitoring mode was used for detection. Using <sup>18</sup>O<sub>3</sub> and <sup>18</sup>O<sub>4</sub> as internal standards, internal standard method was used for quantitative analysis. **Results** The linear relationships of chlorate and perchlorate were good in the ranges of 0.0–50.0 g/kg and 0.0–25.0 g/kg, respectively, and the correlation coefficients  $r^2$  were greater than 0.999. The lower limits of the method were 0.4 μg/kg and 0.6 μg/kg, respectively. The recovery rates were 80.0%–93.6%, and relative standard deviations (RSDs) were 2.14%–6.68%. **Conclusion** The experimental results showed that the method had a high extraction rate, was accurate and reliable, and was suitable

\*通信作者: 王丽君, 中级工程师, 主要研究方向为食品和农产品安全质量检测。E-mail: 1075921311@qq.com

\*Corresponding author: WANG Li-Jun, Intermediate Engineer, Gansu Institute of Food Inspection, Lanzhou 730000, China. E-mail: 1075921311@qq.com

for the quantitative analysis of chlorate and perchlorate in liquid milk.

**KEY WORDS:** composite anion exchange column; chlorate; perchlorate; liquid milk; high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry

## 0 引言

氯酸盐和高氯酸盐是一种持久和可移动的新型污染物,其来源广泛、化学性质稳定、迁移性强、潜在毒性大、暴露途径多,对食品安全和人体健康构成巨大威胁,是环境、食品和健康等领域共同关注的焦点之一<sup>[1]</sup>。考虑到全民健康的风险,2020年国家市场监管局把液体乳中的氯酸盐和高氯酸盐作为风险监测的项目来进行检测,但目前,我们国家还暂未对液体乳中氯酸盐和高氯酸盐的限量作出制定。

目前,氯酸盐和高氯酸盐的测定方法主要有:分光光度法、离子色谱法<sup>[2-3]</sup>、离子色谱-串联质谱法、高效液相色谱-串联质谱法<sup>[4-11]</sup>。分光光度法,前处理步骤繁琐且灵敏度底,仅适用于高含量物质的测定。离子色谱法能够分析水质和水果中的氯酸盐和高氯酸盐,但由于电导检测器的选择性较差,检测液体乳等基质复杂的样品时容易造成假阳性。离子色谱-串联质谱法,对样品的选择性较强,但离子色谱与质谱联用的设备较少,且价格昂贵,难以普及。相比之下,高效液相色谱-串联质谱法,对样品选择性广,前处理步骤简单,灵敏度高,定性准确,有利于方法的推广使用。因此,本研究采用同位素稀释、固相萃取等技术,建立了高效液相色谱-串联质谱法测定液体乳中氯酸盐和高氯酸盐的检测方法,以期对液体乳中氯酸盐和高氯酸盐的监控提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 试剂与材料

甲醇、乙腈(色谱纯,赛默飞世尔科技有限公司);甲酸铵(色谱纯,东莞市乔科化学有限公司);甲酸、乙酸(色谱纯,天津赛孚瑞科技有限公司);氯酸盐标准品(200 μg/mL)、高氯酸盐标准品(100 μg/mL)(上海安谱实验科技有限公司);氯酸盐同位素内标(200 μg/mL)、高氯酸盐同位素内标(100 μg/mL)(北京振祥科技有限公司);

样品:液体乳(发酵乳、调制乳)均为市售。

### 1.2 仪器与设备

5500QTRAP 液相色谱-串联质谱仪(美国 AB SCIEX 公司);Avantij-26XP 型离心机(德国 BECKMAN COULTER 公司);电子天平[感量为 0.1 g;瑞士梅特勒-托利多仪器(中国)有限公司];Industries SI Vortex-Genie 2/2T 旋涡混合器(美国 Thermo Fisher Scientific 公司);RP 柱(赛默飞世尔

科技有限公司);C<sub>18</sub>、HLB、WAX 固相萃取柱(均为:60 mg、3 mL)、Acclaim Trinity P1 复合阴离子交换柱(100 mm×2.1 mm, 3 μm)(美国 Waters 公司);J2SCIENTIFIC 半自动正压固相萃取仪(美国正压固相萃取仪的公司);

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 标准曲线的绘制

##### (1)混合标准中间液

准确吸取氯酸盐(200 μg/mL)、高氯酸盐(100 μg/mL)标准储备液各 1 mL 加水定容到 100 mL,此溶液氯酸盐、高氯酸盐质量浓度分别为 2、1 μg/mL。

##### (2)同位素内标中间使用液

分别准确吸取氯酸盐(<sup>18</sup>O<sub>3</sub>)同位素内标(200 μg/mL)、高氯酸盐(<sup>18</sup>O<sub>4</sub>)同位素内标(100 μg/mL)75、20 μL 置于同一 10.0 mL 容量瓶中,用超纯水稀释至刻度。此溶液氯酸盐同位素内标-<sup>18</sup>O<sub>3</sub>、高氯酸盐-<sup>18</sup>O<sub>4</sub>同位素内标质量浓度分别为 1500、200 ng/mL 的混合同位素内标液。

##### (3)混合标准使用液

分别准确量取混合标准中间液 0、10、25、50、75、100 μL,及混合同位素内标液 100 μL,用甲酸铵甲醇溶液稀释并定容至 10 mL,作为混合标准工作溶液。氯酸盐质量浓度依次为:0.00、2.00、5.00、10.0、15.0、20.0、50.0 ng/mL,高氯酸盐质量浓度依次为:0.00、1.00、2.50、5.00、7.50、10.0、25.0 ng/mL,混合标准工作液中氯酸盐-<sup>18</sup>O<sub>3</sub>、高氯酸盐-<sup>18</sup>O<sub>4</sub>质量浓度分别为 15.0、2.0 ng/mL。

#### 1.3.2 样品前处理

##### (1)样品提取

准确称取 5 g(精确至 0.001 g)试样置于 25 mL 具塞离心管中,加入 100 μL 混合同位素内标液,加入 1.0 mL 0.2%甲酸水溶液,用 9.0 mL 甲醇定容至 10 mL。涡旋振荡 5 min 后在 20000 r/min、5 °C 下离心 5 min,取上清液待净化<sup>[12-13]</sup>。

##### (2)样品的净化

用 5 mL 甲醇和 5 mL 水将 HLB 固相萃取柱淋洗活化。将上述提取液以 1 mL/min 通过 HLB 固相萃取柱,弃去初滤液,流出液经 0.22 μm 萃取的膜过滤,供高效液相色谱-串联质谱仪测定。

#### 1.3.3 计算公式

结果按式(1)计算:

$$X=C \times V / m \quad (1)$$

X—试样中各待测组分的含量, μg/kg;

C—待测样品的浓度, ng/mL;

$V$ -待测样品的定容体积, mL;

$m$ -待测样品称样量, g;

### 1.3.4 仪器条件

#### (1) 色谱条件

Acclaim Trinity P1 复合离子交换柱(100 mm×2.1 mm, 3 μm), 流动相: A 为乙腈, B 为 10 mmol/L 甲酸铵溶液, 进行梯度洗脱(见表 1)。流速: 0.5 mL/min, 柱温: 40 °C。进样量: 5 μL。

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

规格色谱柱		
时间/min	流动相 A/%	流动相 B/%
0.0	75	25
0.5	75	25
3.0	90	10
7.0	90	10
8.0	75	25
10.0	75	25

#### (2) 质谱条件

离子源: 气帘气压力(air curtain pressure, CUR): 35 psi; 雾化气压力(ion source gas 1, GS1): 55 psi; 辅助加热气压力(ion source gas 2, GS2): 50 psi; 碰撞气压力(collisational activation dissociation, CAD): 中等; 电喷雾电压(ionspray voltage, IS): -4500 V; 离子源温度(temperature, TEM): 550 °C。优化后 4 种化合物的质谱参数见表 2。

表 2 氯酸盐和高氯酸盐定性、定量离子对和质谱分析参数

Table 2 Qualitative and quantitative ion pairs and mass spectrometric analysis parameters of chlorate and perchlorate

化合物	母离子 ( $m/z$ )	子离子 ( $m/z$ )	锥孔电压 /V	碰撞能量 /eV
氯酸根	83.1	67.2*	-100	-27
	85.1	69.1	-100	-25
高氯酸根	99.0	83.1*	-70	-33
	101	85.0	-70	-35
氯酸根内标	89.0	71.1*	-90	-30
高氯酸根内标	107.0	89.1*	-110	-35

注: “\*”表示定量离子及其相应的碰撞能量

## 2 结果与分析

### 2.1 色谱柱的选择

Acclaim TRINITY P1 复合离子交换柱(100 mm×2.1 mm, 3 μm), 在流动相: A 为乙腈, B 为 10 mmol/L 甲酸铵溶液, 流速 0.5 mL/min, 柱温 40 °C, 进样量 5 μL 的条件下保留时间、峰形, 灵敏度都能满足分析的要求(详见图 1、2)。氯酸盐和高氯酸盐都是极性较大的离子化合物, 常用的反相色谱柱如  $C_{18}$  等很难将其分离测定。因此本研究采用 Waters Acclaim TRINITY P1 复合离子交换色谱柱。该色谱柱填料的键合相能与氯酸根和高氯酸根以离子交换的方式不断分配而达到分离的作用, 同时解决了离子交换色谱柱不能使用有机相作为流动相的缺点。具有特异性强, 灵敏度高, 假阳性少的优点, 适合于液体乳中氯酸盐和高氯酸盐的含量测定。

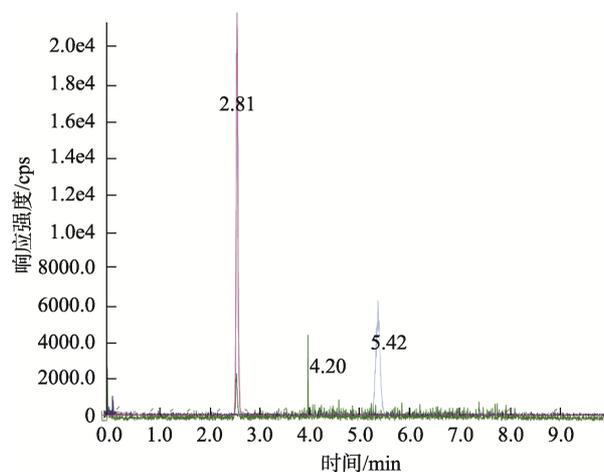


图 1 氯酸盐、高氯酸盐及其内标的色谱图

Fig.1 Multiple reaction monitoring (MRM) chromatograms of chlorate, perchlorate and their internal standards

### 2.2 提取溶剂的选择

发酵乳、调制乳中配料中除了纯牛奶, 还添加了一些食品添加剂, 目的是为了增加粘稠度和口感。但液体乳的主要成分有蛋白、脂肪、碳水化合物、维生素、膳食纤维等有机成分和盐类。蛋白质可用甲醇沉淀, 但脂肪、碳水化合物、膳食纤维不溶解有机溶剂。通过多次实验发现用 0.2%甲酸-甲醇(10:90, V:V)提取, 既能沉淀样品中的蛋白, 同时还除去了添加剂带来的一些无机成分, 提高了样品的回收率。采用不同溶剂的提取溶剂对回收率进行测定(详见表 3), 结果表明, 0.2%甲酸-甲醇(1:9, V:V), 脂肪、蛋白质沉淀效果较好, 提取液澄清透明, 回收率高。因此本方法采用 0.2%甲酸-甲醇(10:90, V:V)作为提取溶剂。

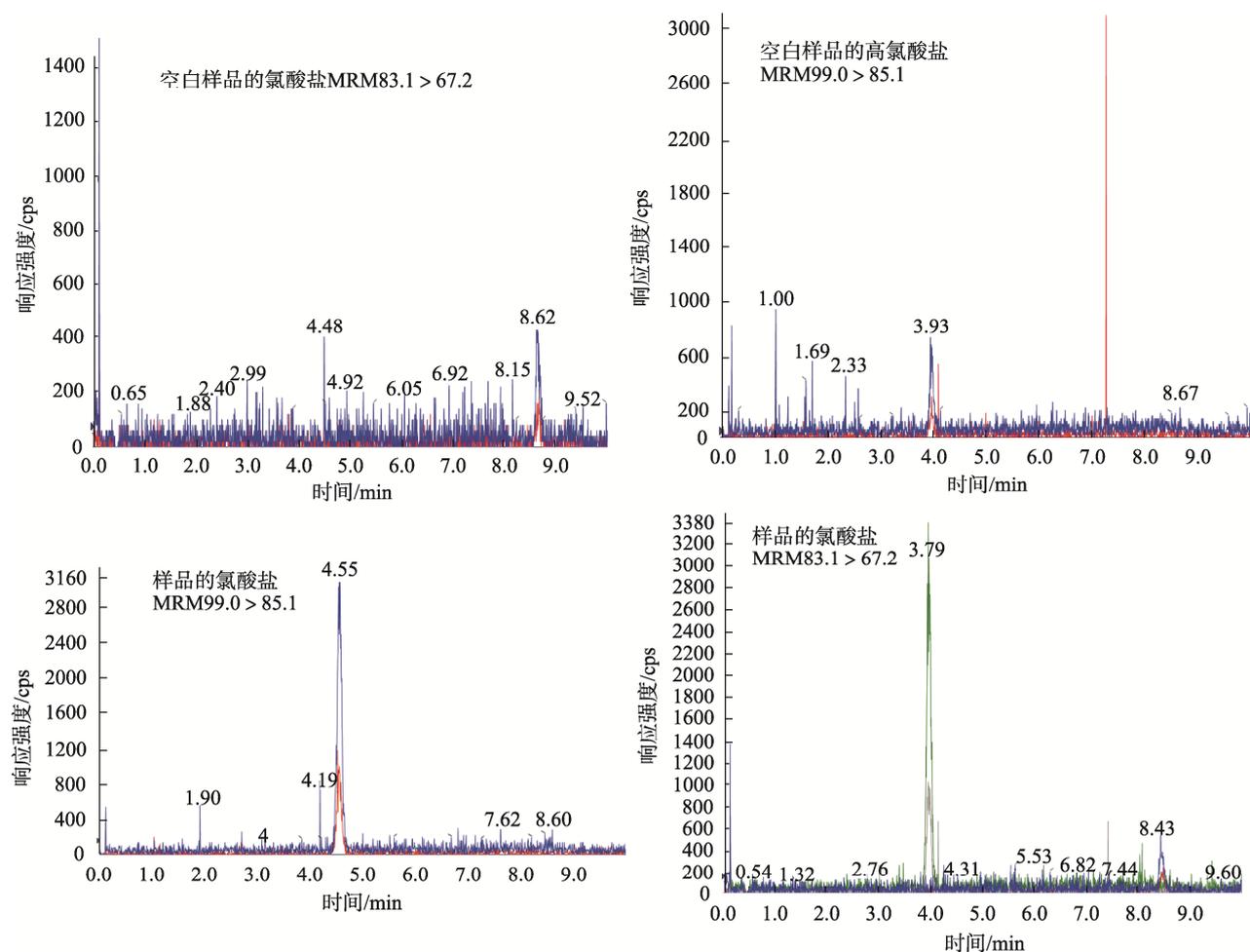


图 2 氯酸盐、高氯酸盐的空白及样品的 MRM 色谱图

Fig.2 MRM chromatograms of blank and spiked chlorate and perchlorate

表 3 不同提取溶剂对回收率的影响

Table 3 Influences of different extraction solvents on recovery rate

提取溶剂	氯酸盐回收率/%	高氯酸盐回收率/%
0.2%乙酸-乙腈(1:9, V:V)	87.2	83.6
0.2%乙酸-甲醇(1:9, V:V)	85.4	84.3
0.2%甲酸-甲醇(1:9, V:V)	90.2	92.6
0.2%甲酸-乙腈(1:9, V:V)	85.6	84.7
0.1%甲酸-乙腈(1:9, V:V)	86.2	82.9

### 2.3 固相净化柱的选择

本研究用了 4 种不同填料的固相萃取小柱, 分别是 C<sub>18</sub> 柱、RP 柱、WAX 柱、HLB 柱对样品提取液进行净化(结果见表 4)。4 种不同 SPE 小柱净化后收集的待测液中, RP 柱净化后的待测液呈浑浊状, 为避免污染色谱柱和质谱仪, 不用作质谱采集。C<sub>18</sub>、WAX、HLB 柱都能得到澄清的待测液。因此, 选用 C<sub>18</sub>、WAX、HLB 柱做回收率实验, 结果表明 HLB 柱净化后的回收率最高<sup>[14-17]</sup>。综合考虑, 本研

究采用 HLB 固相萃取柱作为前处理净化柱。

表 4 不同固相萃取柱对回收率的影响

Table 4 Effects of different SPE columns on recovery rates

净化固相萃取柱	氯酸盐/%	高氯酸盐/%
HLB	88.3	86.4
C <sub>18</sub>	82.6	80.6
WAX	78.3	72.9

## 2.4 基质效应

在实验过程中,发现使用外标法定量,加标回收实验的回收率整体偏高。说明在用 ESI 源对样品进行电离,外标法定量时产生基质增强效应,影响定量结果的准确性。为了消除基质效应,本研究采用同位素稀释法,在待测样品中加入氯酸根- $^{18}\text{O}_3$ 和高氯酸根- $^{18}\text{O}_4$ ,使得氯酸盐和高氯酸盐及其同位素内标在样品前处理过程中,即使发生吸附和损失,也不会影响其同位素内标组成,减少测量误差。同时,在色谱分离和 ESI 离子源离子化过程中,同位素内标的色谱和质谱行为相似,补偿了由于基质效应引起氯酸盐和高氯酸盐响应值的变化,因此,本研究采用同位素稀释内标法结合固相萃取净化进行定量,以减少基质效应的影响,确保定量分析结果的准确性和重复性。

## 2.5 方法学验证

### 2.5.1 线性关系、检出限与定量限

由表 5 可知,液体乳中氯酸盐和高氯酸盐的线性范围分别在 0~50.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 0~25.0  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,相关系数  $r^2>0.9994$

和  $r^2>0.9998$ ,线性关系良好。以 3 倍的信噪比( $S/N$ )计算各目标物的检出限(limits of detection, LOD)。以 10 倍的信噪比( $S/N$ )计算各目标物的定量限(limits of quantification, LOQ)。氯酸盐的检出限 0.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限 0.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。高氯酸盐的检出限为 0.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,定量限 0.6  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ,满足检测的要求。

### 2.5.2 回收率和精密度

采用含量较低的发酵乳和调制乳样品作为本底进行加标回收率和精密度实验。在发酵乳和调制乳样品中分别加入 10、50、100  $\mu\text{L}$  的 1  $\mu\text{g}/\text{mL}$  氯酸盐和高氯酸盐的混合标准溶液,使样品中氯酸盐和高氯酸盐的添加量分别为 1、5、10  $\text{ng}/\text{mL}$ ,按照 1.3 的方法测定其含量,并计算回收率,每个样品浓度重复测定 6 次,得到回收率和精密度。结果见表 6。由表 6 可知,氯酸盐和高氯酸盐的回收率为 80.0%~93.6%,RSD 值为 2.14%~6.68%,实验表明该方法重现性好,回收率稳定,可用于液体乳中氯酸盐和高氯酸盐含量的检测。

表 5 氯酸盐和高氯酸盐的线性方程、相关系数、线性范围、检出限、定量限  
Table 5 Linear equations, correlation coefficients, linear ranges, limits of detection and limits of quantification of chlorate and perchlorate

基质	目标物	线性方程	相关系数( $r^2$ )	线性范围/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	检出限/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	定量限/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$
发酵乳	氯酸盐	$Y=2.33X+0.0382$	0.9996	0.0~50.0	0.1	0.4
	高氯酸盐	$Y=1.24X+0.0204$	0.9999	0.0~25.0	0.2	0.6
调制乳	氯酸盐	$Y=1.73X+0.0284$	0.9996	0.0~50.0	0.1	0.4
	高氯酸盐	$Y=1.03X+0.0103$	0.9998	0.0~25.0	0.2	0.6

表 6 氯酸盐和高氯酸盐的回收率及精密度( $n=6$ )  
Table 6 Recoveries and relative standard deviations (RSDs) of chlorate and perchlorate ( $n=6$ )

样品名称	添加量/ $(\mu\text{g}/\text{kg})$	回收率/%	RSD/%
液体乳	1.0	80.6	6.68
	1.0	80.0	3.02
	1.0	83.0	4.23
	5.0	89.8	2.36
	5.0	84.2	4.56
	5.0	86.4	6.34
	10	93.0	2.14
	10	93.6	2.56
	10	91.0	2.91

### 2.5.3 实际样品的测定

采用该方法对实际液体乳样品进行检测。40 批液体乳样品中,氯酸盐检出 8 批,含量范围在 2.62~11.25  $\mu\text{g}/\text{kg}$  之间。其余均未检出。大多数样品中,高氯酸盐均有不同程度的检出。含量范围在 1.02~6.95  $\mu\text{g}/\text{kg}$  之间。

## 3 结论与讨论

本研究采用 AcclaimTRINITYP1 复合阴离子交换柱作为分析柱。10  $\text{mol}/\text{L}$  的甲酸铵-乙腈作流动相。HLB 净化萃取柱,以多反应检测(multiple reaction monitoring, MRM)的方法进行采集,内标法定量。实验表明该方法前处理步骤简单,实验成本低,分析时间短,定性准确,回收率高,适合液体乳中氯酸盐和高氯酸盐的含量测定,为食品安全提供了技术保障。

## 参考文献

- [1] 方齐乐, 陈宝梁. 新型环境污染物高氯酸盐的环境化学行为、食品安全及健康风险[J]. 科学通报, 2013, 58(26): 2626-2642.  
FANG QL, CHEN BL. Environmental chemical behavior, food safety and health risk of perchlorate [J]. Chin Sci Bull, 2013, 58(26): 2626-2642.
- [2] 刘勇建, 牟世芬. 离子色谱在饮用水消毒副产物及高氯酸盐分析中的应用[J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, 5(3): 1.  
LIU YJ, MOU SF. Application of ion chromatography in analysis of disinfection by-products and perchlorate in drinking water [J]. Environ Poll Control Technol Equip, 2004, 5(3): 1.
- [3] 牟世芬. 离子色谱在饮用水消毒副产物及高氯酸盐分析中的应用[C]//第十届全国离子色谱学术报告会, 2004.  
MOU SF. Application of ion chromatography in the analysis of disinfection by-products and perchlorate in drinking water [C]// The 10th National Ion Chromatography Academic Remark Conference, 2004.
- [4] 王浩, 贾婧怡, 张杉, 等. 液质联用法同时测定婴幼儿配方乳粉中氯酸盐和高氯酸盐残留[J]. 中国乳品工业, 2019, 47(2): 48-50, 64.  
WANG H, JIA JY, ZHANG S, *et al.* Simultaneous determination of chlorate and perchlorate residues in infant formula milk powder by liquid mass spectrometry [J]. Chin Dairy Ind, 2019, 47(2): 48-50, 64.
- [5] 秦娟, 李琴, 张金良, 等. 高氯酸盐对女性甲状腺功能影响的初步调查[J]. 环境与健康杂志, 2010, (11): 34-37.  
QIN J, LI Q, ZHANG JL, *et al.* Preliminary investigation of the effect of perchlorate on female thyroid function [J]. J Environ Health, 2010, (11): 34-37.
- [6] 顾华坚. 高氯酸盐对女性甲状腺功能的影响调查[J]. 中国现代医生, 2012, (20): 5-7.  
GU HJ. Investigation on the effect of perchlorate on female thyroid function [J]. Chin Mod Doc, 2012, (20): 5-7.
- [7] 方齐乐, 陈宝梁. 新型环境污染物高氯酸盐的环境化学行为、食品安全及健康风险[J]. 科学通报, 2013, 58(26): 2626-2626.  
FANG QL, CHEN BL. Environmental chemical behavior, food safety and health risks of new environmental pollutants perchlorate [J]. Chin Sci Bull, 2013, 58(26): 2626-2626.
- [8] 周勇. 水环境中的高氯酸盐污染[J]. 工程与建设, 2007, (3): 355-356.  
ZHOU Y. Perchlorate pollution in water environment [J]. Eng Const, 2007, (3): 355-356.
- [9] 高立红, 李仁勇, 刘慧, 等. 离子色谱-串联质谱法检测碳酸饮料中的高氯酸盐[J]. 环境化学, 2017, 36(9): 2082-2083.  
GAO LH, LI RY, LIU H, *et al.* Detection of perchlorate in carbonated beverages by ion chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Environ Chem, 2017, 36(9): 2082-2083.
- [10] 刘小芳, 方从容, 刘慧, 等. 离子色谱-串联质谱法检测茶叶中的高氯酸盐[J]. 色谱, 2016, (10): 986-988.  
LIU XF, FANG CR, LIU H, *et al.* Determination of perchlorate in tea by ion chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chromatography, 2016, (10): 986-988.
- [11] 刘艳英, 吴敏, 林立毅, 等. 高效液相色谱串联质谱法测定牛奶中的高氯酸盐[J]. 分析测试学报, 2011, (7): 115-118.  
LIU YY, WU M, LIN LY, *et al.* Determination of perchlorate in milk by high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. Chin J Anal Lab, 2011, (7): 115-118.
- [12] BJS 201706 食品中氯酸盐和高氯酸盐的测定[S].  
BJS 201706 Determination of chlorate and perchlorate in food [S].
- [13] 宁啸骏. 离子色谱串联质谱法测定牛乳、乳粉及配方粉中高氯酸盐含量检验技术研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2012.  
Ning XJ. Ion chromatography tandem mass spectrometry determination of perchlorate content in milk, milk powder and formula powder [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2012.
- [14] 朱伟, 宁啸骏, 秦宇. 离子色谱串联质谱法测定婴幼儿配方奶粉中高氯酸盐和高氯酸盐[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(11): 3474-3480.  
ZHU W, NING XJ, QIN Y. Determination of chlorate and perchlorate in infant formula milk powder by ion chromatography tandem mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(11): 3474-3480.
- [15] 黄钟莹, 罗岳平, 吴小平. 分光光度法与离子色谱法测定空气中氯化氢的对比研究[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2009, 19(2): 69-71.  
HUANG ZT, LUO YP, WU XP. Comparative study on the determination of hydrogen chloride in air by spectrophotometry and ion chromatography [J]. J Chin Inst Environ Manag, 2009, 19(2): 69-71.
- [16] 宁啸骏, 朱伟, 杜茹芸, 等. 离子色谱-串联质谱法测定婴幼儿配方奶粉中高氯酸盐[J]. 理化检验, 2016, (52): 19-23.  
NING XJ, ZHU W, DU RY, *et al.* Determination of perchlorate in infant formula milk powder by ion chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Phy Test Chem Anal, 2016, (52): 19-23.
- [17] SN/T 4089—2015 进出口食品中高氯酸盐的测定[S].  
SN/T 4089—2015 Determination of perchlorate in import and export food [S].

(责任编辑: 于梦娇)

## 作者简介



王丽君, 中级工程师, 主要研究方向为食品和农产品安全质量检测。  
E-mail: 1075921311@qq.com