

离子色谱柱后衍生紫外法测定面制品中的水溶性硅酸盐

孙金影¹, 蔡志斌¹, 廖栩泓², 杨敏¹, 张浩玲^{1*}

(1. 深圳市龙岗区疾病预防控制中心, 深圳 518172; 2. 瑞士万通中国有限公司, 广州 510070)

摘要: **目的** 建立离子色谱柱后衍生紫外检测法测定面制品中水溶性硅酸盐含量的分析方法。**方法** 面制品经烘干、粉碎后, 称取适量样品, 以水为溶剂超声提取 30 min, 随后在 10000 r/min 转速下离心 10 min, 上清液经 0.22 μm 微孔滤膜过滤后待上机分析。以 25 mmol/L NaOH-0.5 mmol/L Na₂CO₃ 为淋洗液, 流速 0.7 mL/min, 柱温 45 °C, 进样量 250 μL。柱后衍生试剂为 200 mmol/L HNO₃+20 mmol/L 钼酸钠溶液, 衍生试剂流速 0.3 mL/min, 衍生反应温度 45 °C, 紫外检测器波长设定为 360 nm, 外标法定量。**结果** 硅酸根离子在 0.01~0.80 mg/L 浓度范围内线性关系良好, 相关系数为 0.9999, 方法检出限为 0.005 mg/L (以 SiO₃²⁻计)。面制品样品的加标回收率介于 98.4%~106.0%之间, 相对标准偏差为 4.5%~6.3% (n=3)。采用本方法测定了 46 种市售面制品(包括碱水面)中硅酸根离子的含量, 面制品中硅酸根离子含量在 4.64~51.15 mg/kg 之间。**结论** 本方法选择性和灵敏度高、准确性好、分析速度快, 尤其适合大批量面制品样品中可溶性硅酸盐含量的测定。

关键词: 水溶性硅酸盐; 离子色谱法; 柱后衍生; 紫外检测法; 面制品

Determination of soluble silicates in flour products by ion chromatography and postcolumn derivatization with ultraviolet detection

SUN Jin-Ying¹, CAI Zhi-Bin¹, LIAO Xu-Hong², YANG Min¹, ZHANG Hao-Ling^{1*}

(1. Longgang District Center for Disease Control and Prevention, Shenzhen 518172, China;
2. Metrohm China Co., Ltd., Guangzhou 510070, China)

ABSTRACT: Objective To establish an analytical method for soluble silicates determination in flour products using ion chromatography and postcolumn derivatization with ultraviolet detection. **Methods** After flour products were dried and reduced to powders, moderate powders were weighed and dissolved in water. The above solution was sonicated for 30 min, then it was centrifugated at 10000 r/min for 10 min, followed with filtration through a 0.22 μm membrane. The prepared solution was injected into the instrument for analysis. Eluent flow rate was 0.7 mL/min by employing 25 mmol/L NaOH mixed with 0.5 mmol/L Na₂CO₃ as eluent. The column temperature was set at 45 °C and the injection volume was 250 μL. The postcolumn derivatization reagent was 20 mmol/L sodium molybdate in 200 mmol/L HNO₃ with flow rate of 0.3 mL/min and the reaction temperature fixed at 45 °C. The ultraviolet detector wavelength was set at 360 nm and external standard method was used for quantification. **Results** Silicate ions were

基金项目: 深圳市龙岗区医疗卫生科技计划项目(LGKCYLWS2018000031)

Fund: Supported by the Medical Scientific and Technologic Project of Longgang District (LGKCYLWS2018000031)

*通信作者: 张浩玲, 主管技师, 主要研究方向为食品安全。E-mail: 775417643@qq.com

*Corresponding author: ZHANG Hao-Ling, Technologist-in-Charge, Longgang District Center for Disease Control and Prevention, Shenzhen 518172, China. E-mail: 775417643@qq.com

lined between 0.01 and 0.80 mg/L with a correlation coefficient 0.9999. The limit of detection for silicate ions was 0.005 mg/L (calculated by SiO_3^{2-}). The recoveries ranged from 98.4% to 106.0% flour products fortified with silicate ions and the relative standard deviations were 4.5%–6.3% ($n=3$). Soluble silicates were analyzed for 46 kinds of flour products saled on the market, and 4.64–51.15 mg/kg were obtained for silicate ions. **Conclusion** This method has high selectivity and sensitivity, good accuracy and fast analysis speed, which is especially suitable for the determination of soluble silicate in large quantities of flour products.

KEY WORDS: soluble silicate; ion chromatography; postcolumn derivatization; ultraviolet detection; flour products

0 引言

硅是地壳中除氧以外含量最丰富的元素之一, 在自然界中主要以二氧化硅和硅酸盐的形式存在。硅元素在动、植物生长过程中具有重要作用, 能够提高作物的抗病虫害能力并增加产量^[1-3]。在食品工业中二氧化硅、硅酸和硅酸盐可作为抗粘剂使用。硅与人体健康关系密切, 能够促进骨骼形成、维持人体正常发育, 具有预防疾病及抗衰老等功能, 是人体必需微量元素^[4-6]。人体每日硅正常摄入量为 19~31 mg, 不超过 50 mg, 其中 75%由谷物提供^[7-8]。不同类别的食物以及不同形态的硅其生物利用度也不同, 一般流体食物中的硅以及硅的原硅酸形态更利于人体对硅的吸收^[9]。但过量摄入硅也会危害健康, 如长期大量吸入二氧化硅粉尘容易引起矽肺, 长期高硅饮食则可导致肾脏器官损伤^[1,10]。

硅的重要化合物之一是硅酸钠, 其水溶液呈碱性, 俗称水玻璃, 为无色粘稠液体, 用途广泛, 常用作防水剂、防火剂并用于木材防腐等。近年来人们发现在碱水面制作过程中不法商贩可能会非法添加水玻璃以增加面制品的筋道程度、改善口感从而增加销售量。而硅酸钠经口摄入时可腐蚀消化道, 并导致恶心、呕吐、头痛以及肾损伤等中毒症状甚至死亡^[11-12]。为此, 全国食品安全整顿工作办公室已将水玻璃列入《食品中可能违法添加的非食用物质和易滥用的食品添加剂名单》, 为面制品流通环节可能非法添加的非食用物质, 但至今尚无面制品中非法添加水玻璃的检测方法报道。

目前硅钼蓝、硅钼黄分光光度法^[13-15]、高分辨连续光源火焰原子吸收法^[16]、微波消解-电感耦合等离子体发射光谱法^[10,17]、干法灰化-电感耦合等离子体质谱法^[4]等已用于食品中硅含量测定。分光光度法易受溶液中共存有色物质干扰, 且操作步骤烦琐, 不适合大批量样品的测定, 而原子吸收法、电感耦合等离子体发射光谱法和电感耦合等离子体质谱法其样品前处理复杂, 同时对仪器操作人员技术水平要求高, 仪器运行和维护价格昂贵, 不利于在基层推广使用。

离子色谱法因其对可离子化合物具有分离效率高、分析速度快及灵敏度高等优点, 近年来在食品安全检测领

域发挥着越来越重要的作用^[18-19], 如离子色谱、离子色谱柱后衍生紫外检测法已用于面制品中硼酸盐、溴酸盐及水中硅酸盐的测定^[20-24], 但至今未见面制品中硅酸盐离子色谱检测方法报道。硅酸为弱酸, 水溶液中解离困难, 采用常规电导检测方法灵敏度和选择性差, 本研究以水为溶剂提取面制品中的水溶性硅酸盐, 并基于离子色谱分离和硅酸根离子与钼酸盐在酸性条件下反应生成硅钼黄络合物的原理, 建立了面制品中水溶性硅酸盐的离子色谱柱后衍生紫外检测方法, 并用于批量面制品中水溶性硅酸盐的测定, 以期对面制品非法添加水玻璃行为判定提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂

1.1.1 仪器

930型离子色谱仪(配备柱后衍生系统和944型紫外可见检测器)、阴离子交换色谱柱(Hamilton PRP×100-250/4.0 mm)、通用保护柱(Metrosep RP2 Guard/3.5)(瑞士万通公司); BP310S-OCE型千分之一电子天平(德国赛多利斯公司); A11 basic型小型研磨机(德国IKA公司); Vortex Mixer V2漩涡振荡器(美国安胜仪器公司); AS3120B型超声波清洗器(天津奥特赛恩斯仪器有限公司); ALLEGRA X-12R型大容量台式低温高速离心机(美国贝克曼公司); 孔径0.22 μm水式针头式过滤器(天津津腾实验设备有限公司)。

1.1.2 试剂

硅酸根离子标准溶液(质量浓度为100 μg/mL)、无水钼酸钠(分析纯)(上海麦克林生化科技有限公司); 氢氧化钠(分析纯, 广州化学试剂厂); 碳酸钠(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); 浓硝酸(体积分数为65%~68%, 上海阿拉丁生化科技股份有限公司); 实验用水均为超纯水(电阻率≥18.2 Ω/cm, Millipore纯水机制备), 临用现制。

面制品样品如碱水面干、湿面条、饺子皮等购自深圳市龙岗区各大农贸市场和超市。

1.2 实验方法

1.2.1 溶液配制

硅酸钠标准溶液: 移取质量浓度为100 μg/mL硅酸根离子标准溶液10 mL至100 mL容量瓶中, 加水定容至刻度, 摇匀, 得到质量浓度为10 mg/L的中间标准使用液。以

水为溶剂,通过逐级稀释中间标准使用液配制质量浓度分别为0.01、0.02、0.05、0.10、0.25、0.50和0.80 mg/L的硅酸根离子标准溶液系列。

淋洗液:准确称取20.0 g氢氧化钠和1.06 g碳酸钠置于小烧杯中,用200 mL水溶解并转移至500 mL容量瓶中,加水至刻度,摇匀,得1.0 mol/L NaOH+0.02 mol/L Na₂CO₃淋洗液储备液,置于冰箱4 °C冷藏保存,临用前用水稀释40倍得浓度为25 mmol/L NaOH+0.5 mmol/L Na₂CO₃的淋洗液。

衍生试剂:准确称量4.2 g无水钼酸钠于小烧杯中,用200 mL水溶解,再加入13.5 mL浓硝酸,摇匀,转移至1000 mL容量瓶中,加入500 mL水,用水定容至刻度,再一次摇匀,所得溶液转移至1 L流动相瓶中作为衍生试剂。

所配制标准溶液和试剂溶液均储存于聚乙烯瓶中,不可接触含硅材料。

1.2.2 样品前处理

将购买的面制品样品约200 g,置于烘箱105 °C烘烤2 h至水分挥发,冷却至室温后取出,用研磨机粉碎成面粉状。准确称取1.0 g(精确至0.001 g)粉碎后的均匀样品,置于50 mL塑料离心管中。对于含少量油脂的样品,则在粉碎前加入石油醚除油脂。随后精确加入40 mL水,振摇混匀,在超声波清洗机中超声提取30 min。随后在10000 r/min转速下离心10 min,取离心后上清液过0.22 μm水系滤膜至塑料进样品中,滤液直接上机分析。

1.2.3 色谱条件

分析柱:Hamilton PRP×100-250/4.0 mm,保护柱:Metrosep RP 2 Guard/3.5;淋洗液:25 mmol/L NaOH+0.5 mmol/L Na₂CO₃,等度洗脱,流速0.7 mL/min,柱温:45 °C,进样量250 μL;衍生试剂:200 mmol/L HNO₃+20 mmol/L 钼酸钠,柱后衍生温度:45 °C,柱后反应液流速:0.3 mL/min;紫外检测设定波长:360 nm。

2 结果与分析

2.1 样品前处理优化

本研究考察了不同pH的纯水、3%三氯乙酸溶液及10%乙腈溶液作为提取溶剂对硅酸根离子测定结果的影响。对于不同pH的纯水,加入纯水后分别以1.0 mol/L HCl溶液、1.0 mol/L NaOH溶液调节溶液pH至3.0、11.0以及不调节pH,对比所得硅酸根离子测定结果。发现溶液pH对硅酸根离子的提取影响较大,pH 11.0条件下提取到的硅酸根离子最高,达到158.5 mg/kg,纯水提取到的硅酸根离子含量最低,为23.9 mg/kg,pH 3.0条件下则为56.8 mg/kg。推测弱酸性和碱性溶液条件下可能将样品中部分共存的硅酸和硅酸根离子提取出来,中性条件下则只提取以硅酸根离子形式存在的硅,因此提取到的硅酸根较少。此外,3%三氯乙酸提取到的硅酸根含量为52.0 mg/kg,与pH 3.0纯

水所得结果差别不大,而10%乙腈溶液提取到的硅酸根含量最低,为18.2 mg/kg。考虑非法添加的水玻璃为水溶性硅酸盐,最终直接以纯水为提取溶剂以测定面制品中硅酸根离子本底值。

2.2 分析条件优化

2.2.1 色谱条件

本研究选择PRP-X100离子色谱柱用于硅酸根离子分离分析,该色谱柱填料为聚苯乙烯/二乙烯基苯聚合物,在pH 1~13的范围内性质稳定,对于硅酸盐保留行为良好,并能直接用于紫外检测。使用的25 mmol/L NaOH-0.5 mmol/L Na₂CO₃混合溶液淋洗液pH接近pH 12,此时提取液中的水溶性硅可完全电离呈硅酸根离子形态。固定衍生试剂流速不变,考察淋洗液流速在0.5~1.0 mL/min之间时对硅酸根离子测定影响,结果显示淋洗液流速0.7 mL/min时保留时间适中,峰形良好。故选择流速为0.7 mL/min。

2.2.2 衍生条件

硅钼黄反应较硅钼蓝反应所需时间短,在稍加热情况下反应速率更快,且反应体系更简单,可简化离子色谱柱后衍生反应管路设计,因此本研究选择硅钼黄原理用于硅酸根离子的柱后衍生反应。考虑到硫酸和盐酸为易制毒化学品,日常申购和使用管控较严格,因此本研究采用硝酸提供酸性环境。研究显示硝酸浓度高于200 mmol/L时,硅酸根离子峰响应会下降,而钼酸钠浓度在高于20 mmol/L时硅酸根离子峰响应增幅变小,超过25 mmol/L时几乎无变化,故选择200 mmol/L HNO₃+20 mmol/L 钼酸钠作为柱后衍生试剂。此外衍生试剂流速也影响硅酸根离子检测的灵敏度,随着流速增加硅酸根离子色谱峰响应也在增加,当流速超过0.3 mL/min时,硅酸根离子色谱峰响应几乎无变化,故选择衍生液流速为0.3 mL/min。霍世欣等^[24]考察了360、390和410 nm波长时硅钼黄法衍生产物的色谱峰响应,发现硅钼黄衍生产物在360 nm波长时响应值最高且信噪比最佳,本研究衍生体系与之相同,故直接采用360 nm作为紫外检测器波长。

2.3 线性范围、检出限

在优化的分析条件下,对硅酸根离子标准溶液系列进样分析,以标准溶液浓度(mg/L)为横坐标(X)、紫外检测器响应为纵坐标(Y)绘制标准曲线,线性回归方程为 $Y=8.96569X+0.00779$,线性相关系数为0.9999,线性相关性良好,检出限为0.005 mg/L(以SiO₃²⁻计)(S/N=3)。按称样量1.0 g定容至40 mL计算,方法检出限为0.20 mg/kg(以SiO₃²⁻计),方法灵敏度较高。

2.4 加标回收率和精密度

称量1.0 g(精确至0.001 g)粉碎后样品,定容至40 mL,按本方法实验条件对面制品进行了三水平加标回收实验,每个浓度水平平行测定3次,加标含量分别为2.0、4.0、8.0 mg/kg。

测得样品中硅酸根离子本底水平值为 14.58 mg/kg, 3 个浓度加标水平的硅酸根离子加标回收率介于 98.4%~106.0%, 相对标准偏差(relative standard deviations, RSDs)介于 4.5%~6.3% 之间, 方法准确度高。结果如表 1 所示。

表 1 硅酸根离子加标回收率及精密度($n=3$)
Table 1 Recoveries and precision for silicate ions ($n=3$)

SiO ₃ ²⁻ 本底水平值/(mg/kg)	SiO ₃ ²⁻ 标准加入量/(mg/kg)	SiO ₃ ²⁻ 测定量/(mg/kg)	加标回收率/%	RSD/%
	2.0	16.70	106.0	6.3
14.58	4.0	18.65	101.8	5.2
	8.0	22.45	98.4	4.5

2.5 干扰实验

因水中含有硅酸盐, 对实验室的一级纯水、三级纯水及自来水均进行了水溶性硅酸盐分析, 一级纯水和三级纯水直接进样, 自来水采用一级纯水稀释 5 倍并经微孔滤膜过滤后进样。所得硅酸根离子含量如下: 一级纯水 0.013 mg/L, 三级纯水 0.773 mg/L, 自来水 2.416 mg/L。一级纯水硅酸根离子空白含量低, 对样品测定的影响忽略不计, 而三级纯水和自来水中可溶性硅酸根离子含量较高, 实验中均使用一级纯水。向 0.8 mg/L 的硅酸根离子标准溶液及样品溶液中加入常见阴离子混合标准溶液 F⁻、Cl⁻、Br⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻和 SO₄²⁻, 结果显示离子色谱图仅出现硅酸根离子的色谱峰, 无干扰峰出现, 且硅酸根离子色谱峰面积响应无明显变化, 表明食品基质中常见的无机阴离子不干扰硅酸根离子的测定。

2.6 实际样品测定

对市场上购买的 46 份面制品, 包括碱水面挂面、湿面条以及饺子皮等进行了硅酸根离子本底水平测定, 测定结果在 4.64~51.15 mg/kg 之间, 且不同面制品中硅酸根离子含量差别较大, 碱水面挂面样品离子色谱谱图如图 1 所示。食物中硅含量与地域环境有关^[25], 面制品制备过程中需用到自来水, 不同地区的自来水中硅含量不同, 此外不同来源的小麦粉在小麦种植过程中由土壤迁移至植物体中的硅也不同, 由此导致不同面制品中水溶性硅酸盐的含量差别较大。

3 结论

基于离子交换和硅钼黄法反应原理, 本研究建立了食品中水溶性硅酸盐(以硅酸根离子计)的离子色谱柱后衍生紫外检测方法并用于面制品中硅酸根离子的含量分析。本方法样品前处理简单, 检测灵敏度高、分析速度快、选择性好, 样品以纯水为溶剂经超声提取、高速离心净化及滤膜过滤即可用于分析。对农贸市场和超市采购的 46 份面

制品硅酸根离子含量测定结果显示, 硅酸根离子含量在 4.64~51.15 mg/kg 之间, 且不同的面制品样品含量差异较大。对于面制品非法加水玻璃行为判定而言, 尚需获得更多样品的硅酸根离子本底值数据支持。下一步将扩大面制品样品检测量, 并对比不同地区来源的面制品硅酸根含量差异, 以准确确定面制品硅酸根离子本底水平值。

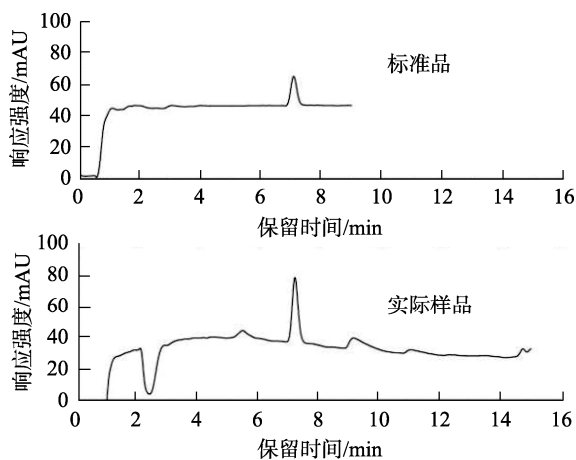


图 1 标准和实际样品测定的离子色谱图

Fig.1 Ion chromatograms for silicate ion standard solution and real sample

参考文献

- [1] 舒燕, 王升平, 龚平, 等. 动物硅营养研究进展[J]. 动物营养学报, 2021, 33(12): 1-8.
SHU Y, WANG SP, GONG P, *et al.* Research progress of silicon nutrition in animals [J]. *Chin J Anim Nutr*, 2021, 33(12): 1-8.
- [2] 梁颖, 石玉, 赵鑫, 等. 低磷条件下硅对番茄幼苗生长及生理特性的影响[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2020, 46(2): 151-160.
LIANG Y, SHI Y, ZHAO X, *et al.* Effect of silicon on the growth and physiological properties of tomato seedlings under low phosphorus condition [J]. *J Zhejiang Univ (Agric Life Sci Ed)*, 2020, 46(2): 151-160.
- [3] 曾仁杰. 硅肥对水稻产量、品质及抗倒伏特性的影响[J]. 中国农学通报, 2021, 37(22): 1-4.
ZENG RJ. Effect of silicon fertilizer on rice yield, grain quality and lodging resistance [J]. *Chin Agric Sci Bull*, 2021, 37(22): 1-4.
- [4] 陈均洪, 容斌权. 电感耦合等离子体质谱法检测保健食品中的硅[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(14): 4761-4764.
CHEN JH, RONG BQ. Determination of silicon in health food by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(14): 4761-4764.
- [5] 李莎, 汪辉, 胡丽俐, 等. 抑制型离子色谱法测定矿泉水中的偏硅酸[J]. 食品科技, 2014, 39(9): 295-299.
LI S, WANG H, HU LL, *et al.* Determination of silicate in mineral waters by suppressed ion chromatography method [J]. *Food Sci Technol*, 2014, 39(9): 295-299.
- [6] 舒为群, 罗教华, 张建江. 饮水和食物中可溶性硅酸与人体健康的关系[J]. 中华预防医学杂志, 2020, 54(6): 702-707.

- SHU WQ, LUO JH, ZHANG JJ. The relationship between soluble silicate acid in drinking water and food and human health [J]. *Chin J Prev Med*, 2020, 54(6): 702–707.
- [7] PRESCHA A, ZABLOCKA-SLOWIŃSKA K, GRAJETA H. Dietary silicon and its impact on plasma silicon levels in the Polish population [J]. *Nutrients*, 2019, 11: 1–12.
- [8] URIBE P, JOHANSSON A, JUGDAOHSINGH R, *et al.* Soluble silica stimulates osteogenic differentiation and gap junction communication in human dental follicle cells [J]. *Sci Rep*, 2020, 10(1): 9923–9933.
- [9] 曹春霞, 郭雄. 食物中硅的摄入和吸收[J]. *国外医学医学地理分册*, 2003, 24(3): 135–138.
CAO CX, GUO X. Dietary silicon intake and absorption [J]. *Foreign Med Sci (Section Medgeogr)*, 2003, 24(3): 135–138.
- [10] 高喜凤, 刘艳明, 陈晓媛, 等. 食品及食品添加剂中不可溶性硅检测方法的研究[J]. *食品研究与开发*, 2019, 40(10): 158–162.
GAO XF, LIU YM, CHEN XY, *et al.* Detection method of insoluble silicon in food and food additives [J]. *Food Res Dev*, 2019, 40(10): 158–162.
- [11] 李国庆, 叶世柏, 张淑香, 等. 两起硅酸钠中毒报告[J]. *环境与健康杂志*, 1993, 4: 264.
LI GQ, YE SB, ZHANG SX, *et al.* Two cases report on sodium silicate poisoning [J]. *J Environ Health*, 1993, 4: 264.
- [12] 张皓月, 闫学彬, 李昱陶, 等. 口服黏着剂中毒死亡1例[J]. *法医学杂志*, 2014, 30(5): 393–394.
ZHANG HY, YAN XB, LI YT, *et al.* One case report on poisoning death caused from oral administration of adhesive [J]. *J Forensic Med*, 2014, 30(5): 393–394.
- [13] 宋连君. 硅钼黄和硅钼蓝测定水中偏硅酸方法比较[J]. *现代食品*, 2019, 4: 163–165.
SONG LJ. Comparison of methods for determination of metasilicate in water between molybdenum yellow and molybdenum blue [J]. *Mod Food*, 2019, 4: 163–165.
- [14] 韩忠然. 硅钼蓝比色法测定本地产木贼、玉米须中的可溶性硅[J]. *中国医药导报*, 2008, 5(24): 55–56.
HAN ZR. The study of determining the dose of solubility silicon of local *Equisetum hicalc* and *Zem ays* with colorimetric analysis [J]. *China Med Herald*, 2008, 5(24): 55–56.
- [15] SASKA M, RUIZ M, ZOSSI S, *et al.* Some comments on the colorimetric determination of silicate in cane sugar [J]. *Int Sugar J*, 2013, 115(1380): 852–857.
- [16] GÓMEZ-NIETO B, JESÚS GM, TERESA SM, *et al.* Straightforward silicon determination in water-in-oil-in-water emulsions used for silicon supplementations in food by high-resolution continuum source flame atomic absorption spectrometry [J]. *Spectrochim Acta Part B*, 2018, 148: 44–50.
- [17] 符靓, 施树云. 电感耦合等离子体质谱法测定食用植物油中的磷和硅[J]. *分析化学*, 2017, 45(8): 1222–1226.
FU L, SHI SY. determination of phosphorus and silicon in edible vegetable oil by inductively coupled plasma-tandem mass spectrometry [J]. *Chin J Anal Chem*, 2017, 45(8): 1222–1226.
- [18] 宋卫得, 苏征, 惠希东, 等. 离子色谱在食品安全控制中的应用进展[J]. *食品研究与开发*, 2016, 37(15): 217–221.
SONG WD, SU Z, HUI XD, *et al.* Application progress in the control of food safety by ion chromatography [J]. *Food Res Dev*, 2016, 37(15): 217–221.
- [19] 乐胜峰, 王尉, 高峡, 等. 离子色谱技术特点及其在环境与食品领域的应用[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(11): 4333–4340.
LE SF, WANG W, GAO X, *et al.* Characteristics of ion chromatography technology and its application in environmental and food fields [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(11): 4333–4340.
- [20] 孙振, 张鑫, 赵岭乐. 离子色谱法检测食品中硼酸及硼酸盐[J]. *中国食物与营养*, 2015, 21(12): 32–34.
SUN Z, ZHANG X, ZHAO LL. Determination on boric acid and borate in food [J]. *Food Nutr China*, 2015, 21(12): 32–34.
- [21] 霍宗利, 潘广文, 何世伟, 等. 离子色谱分离柱后衍生生化测定面粉制品中的硼酸[J]. *中国无机分析化学*, 2012, 2(S1): 61–62.
HUO ZL, PAN GW, HE SW, *et al.* Determination of boric acid in flour products by post-column derivatization with ion chromatography [J]. *Chin J Inorg Anal Chem*, 2012, 2(S1): 61–62.
- [22] 封丽娟, 张昊, 刘晓华, 等. 离子色谱-质谱法测定面粉制品中溴酸盐、氯酸盐和高氯酸盐[J]. *理化检验-化学分册*, 2021, 57(2): 160–162.
FENG LJ, ZHANG H, LIU XH, *et al.* Determination of bromate, chlorate and perchlorate in flour products by ion chromatography-mass spectrometry [J]. *Phys Test Chem Anal Part B*, 2021, 57(2): 160–162.
- [23] 陈梅兰, 叶明立, 朱岩. 离子色谱-梯度淋洗柱后衍生法测定面粉制品中溴酸盐[J]. *中国食品学报*, 2010, 10(2): 221–225.
CHEN ML, YE ML, ZHU Y. Determination of bromate in flour products by gradient ion chromatography with postcolumn deriviation and UV detection [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2010, 10(2): 221–225.
- [24] 霍世欣, 罗全迁, 曹琳. 离子色谱法测定蚀刻槽液氢氟酸中的六氟硅酸[J]. *色谱*, 2016, 34(10): 982–985.
HUO SX, LUO QQ, CAO L. Determination of hexafluorosilicic acid in the wasted hydrofluoric acid in the etching bath solution with ion chromatography [J]. *Chin J Chromatogr*, 2016, 34(10): 982–985.
- [25] 史鹤, 胡敏予. 食物中硅含量及相关健康效应研究进展[J]. *中国老年学杂志*, 2016, 36(18): 4669–4671.
SHI H, HU MY. Research progress on silicon content in food and its related health effects [J]. *Chin J Gerontol*, 2016, 36(18): 4669–4671.

(责任编辑: 李磅礴 张晓寒)

作者简介



孙金影, 主管技师, 主要研究方向为食品安全。
E-mail: 873082495@qq.com



张浩玲, 主管技师, 主要研究方向为食品安全。
E-mail: 775417643@qq.com