

食品中钠离子含量检测方法综述

叶青¹, 李勤^{1*}, 吕庆¹, 李柚², 龚雁²

(1. 上海市质量监督检验技术研究院, 上海 200233; 2. 瑞士万通中国有限公司, 北京 100101)

摘要: 钠是食品中重要的矿物质, 可维持机体正常的渗透压和新陈代谢, 可以维持体内酸碱的平衡, 对人体有着非常重要的作用。但是如果钠摄入过多, 又是高血压等慢性病的危险因素。钠离子还是中华人民共和国卫生部在2011年发布的GB 28050-2011《食品安全国家标准预包装食品营养标签通则》中规定的4种核心营养素之一, 因此食品中钠的含量受到人们的广泛关注。食品中钠离子含量的测定对于保证人体健康有重要意义, 也是目前国内研究的热点问题, 目前有多种方法实现了对钠离子的准确定量检测, 包括色谱法、原子吸收光谱法、滴定法等, 各有优缺点。本文针对各种检验技术进行了详细的对比, 对近年来食品中钠离子检测方法的研究进行了综述。

关键词: 钠离子; 温度滴定法; 原子吸收光谱法; 色谱法; 电感耦合等离子体质谱法

Determination methods of sodium ion in food

YE Qing¹, LI Qin^{1*}, LV Qing¹, LI You², GONG Yan²

(1. Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 200233, China;
2. Metrohm China Co., Ltd., Beijing 100101, China)

ABSTRACT: Sodium is an important mineral in food, which can maintain the body's normal osmotic pressure and metabolism as well as can maintain acid-base balance in the body, so it is very important for human health. If the intake of sodium is excessive, it will cause hypertension and other chronic diseases. Sodium is one of the 4 kinds of core nutrients in GB 28050-2011 *National food safety standard-General nutrition labels standard for pre-packaged food* published by the Ministry of Health of the PRC. Therefore, the content of sodium in foods gains widespread concerns. Determination of sodium ion is important for human health, also becomes the research focus. There are lots of methods for detection of sodium ion, and each method has advantages and disadvantages. This paper compared the different analytical methods and reviewed the recent researches of analytical methods of sodium ion in food.

KEY WORDS: sodium ion; thermometric titration; atomic absorption spectroscopy; chromatography; inductively coupled plasma mass spectrometry

1 引言

钠是人体必需的营养元素, 来源于人每日摄入的食

物, 但如果钠摄入过多, 则成为高血压等慢性病的危险因素^[1-3]。因此食品中钠离子的含量受到人们的广泛关注, 食品中钠离子含量的测定对于保证人体健康有重要意义^[4,5]。

基金项目: 上海市科委研发平台专项(上海市食品质量安全检测与评价专业技术服务平台)(15DZ2292500)

Fund: Supported by Shanghai Science and Technology Exchange Center Foundation (Shanghai Professional and Technical Services Platform for Food Quality and Safety Testing and Evaluation)(15DZ2292500)

*通讯作者: 李勤, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测与质量安全。E-mail: liqin@sqi.org.cn

*Corresponding author: LI Qin, Senior Engineer, Shanghai Institute of Quality Inspection and Technical Research, Shanghai 200233, China. E-mail: liqin@sqi.org.cn

钠离子是体内细胞外流质中主要的阳离子, 氯离子是整个机体流质中主要的阴离子。Na⁺、Cl⁻和其他溶质一起共同维持着细胞外流质的体积、渗透压、酸碱平衡以及肌肉和神经的电生理活性。此外, Na⁺和 K⁺对于通过细胞膜的能量传输也是必不可少的^[6,7]。

关于钠盐最主要的问题是过量摄入所带来的危险, 研究发现盐的摄入与肾脏、心血管系统疾病、中风以及周期性水肿等病症有关, 特别是盐与高血压的关系一直都是人们关注的焦点, 高盐摄入已被认为是导致髌骨骨密度下降的因素之一^[8]。

中华人民共和国卫生部在 2011 年发布的 GB 28050-2011《食品安全国家标准预包装食品营养标签通则》中规定^[9], 预包装食品应当在标签上强制标示能量和 4 种核心营养素(蛋白质、脂肪、碳水化合物、钠)^[10,11]。因此, 食品中钠离子含量的测定属于目前国内研究的热点问题, 随着科技的发展和技术水平的提高, 有越来越多的方法能够检测食品中的钠离子含量。本文结合检测技术发展的现状, 对食品中钠离子含量的检测进行了综述。

2 食品中钠离子含量的检测方法

2.1 原子吸收光谱法

原子吸收光谱法(atomic absorption spectrometry, AAS)是利用气态原子可以吸收一定波长的光辐射, 使原子中外层的电子从基态跃迁到激发态的现象而建立的^[11], 现已成为元素定量分析应用最广泛的一种分析方法^[12-15], 也是 GB5009.91-2003^[16]、GB 5749-2006^[17]、GB 5413.21-2010 中规定的方法^[18], 在国际上得到广泛应用^[19,20]。原子吸收光谱法具有检出限低、准确度高、选择性好、分析速度快、应用范围广等优点^[21-23]。向兆^[24]通过原子吸收光谱成功测定湖泊水中的钠离子; 覃毅磊等^[25]和刘剑等^[26]均通过原子吸收光谱法成功测定食品中和小麦粉中的钠离子; Alexandre de Jesus^[27]报道了通过原子吸收光谱测定生物柴油中钠离子的方法; 张晓^[28]也将原子吸收光谱测定钠离子的技术应用到了水泥的测定当中。

由于原子能级是量子化的, 因此, 在所有的情况下, 原子对辐射的吸收都是有选择性的。由于各元素的原子结构和外层电子的排布不同, 元素从基态跃迁至第一激发态时吸收的能量不同, 因而各元素的共振吸收线具有不同的特征, 原子吸收光谱位于光谱的紫外区和可见区^[23]。

原子吸收光谱法在测定食品中的钠离子时也具有一定的局限性, 例如样品的前处理复杂, 耗时长且标准工作曲线的线性范围较窄等, 并且对于高浓度样品的检测会有比较大的偏差。近年来研究人员在样品的前处理方面取得了一些进展, 武原霞^[29]采用微波消解法代替传统的消解方法对食品前处理后检测; 苑国兵等^[30]研究了常压湿法消解和微波消解方法处理样品对火焰光度法测定乳饮

料中钠含量的影响; 刘波^[31]将食用油脂样品经正己烷溶解, 硝酸(质量浓度 1%)溶液萃取, 离心后取水相用火焰原子吸收光谱法测定其中钠离子的含量, 有效缩短了钠离子的检验周期。

2.2 容量滴定法

容量滴定法是用硝酸银标准溶液滴定试样中的氯化钠^[32], 生成氯化银沉淀, 待全部氯化银沉淀后, 多滴加的硝酸银与铬酸钾指示剂生成铬酸银, 使溶液呈桔红色即为终点。由硝酸银标准滴定溶液消耗量计算氯化钠的含量^[33-35]。

容量滴定法技术成熟, 前处理较为简单, 成本低廉。但是由于该方法不是直接测定 Na⁺的含量, 而是通过测定 Cl⁻的含量间接换算成 Na⁺的含量, 如果样品中存在氯化钠以外的氯化物, 比如食品中使用低钠盐或者钾盐作为原料, 就会对检验结果产生较大的干扰, 适用对象有较大的局限性。

2.3 温度滴定法

温度滴定法属于容量分析法的范畴, 温度滴定依赖于化学反应中自由能的变化, 在任何反应中, 焓变量越大其温度变化的滴定曲线的偏转就越大^[36]。在滴定过程中, 滴定剂以已知的固定速率加入滴定杯中与待测物质发生反应, 反应放出(或吸收)的热量将导致整个反应体系发生温度变化, 这种温度变化通过置入滴定杯中的高灵敏温度探头进行测定。仪器将对温度—体积(滴定剂)曲线进行二阶求导, 并通过最终得到的二阶导数—体积(滴定剂)曲线上的出峰位置来进行滴定终点的识别^[37,38]。温度滴定法检测食品中的钠离子前处理简便, 样品均质化后可直接测试, 准确度高且分析速度快。

在检测食品中钠离子的滴定过程中, 滴定剂是含有过量钾离子的硝酸铝和氟化氢铵标准溶液, 氟化氢铵提供过量的氟离子, 在酸性条件下与样品中的钠离子发生化学反应, 反应生成沉淀, 为放热反应。

温度滴定所需要的温度信息其传送和处理都存在一定的时间延迟, 由于滴定过程为恒速滴定, 因此这样的时间延迟, 可以表示为一定体积的滴定剂, 即温度滴定方法的空白值。方法空白的测量是用不同体积(或质量)的被测物在先前优化好的条件下进行滴定, 将被测物体积(或质量)与滴定剂消耗的体积作图, 方法的空白值即为用所测的滴定数据作线性回归的 Y 轴截距。改变方法的参数就要重新作方法的空白值。因此标定滴定剂和用滴定剂滴定钠离子含量均需做校准曲线。

Smith 等^[37]针对使用温度滴定的方法对食品中钠离子检测进行了深入的研究。对多种食品例如调料、奶制品和罐头鱼类等中的钠离子进行检测试验并将温度滴定的结果与传统方法得到结果进行比较, 结果表明温度滴定在本类

检测中具有稳定性和准确性。

不过由于该方法属于容量分析法,所以还是存在着容量分析法的一些缺陷,只能适用于常量分析,微量或者痕量分析的难度较大。

2.4 电感耦合等离子体质谱法

电感耦合等离子体(inductively coupled plasma, ICP)作为质谱(mass spectrometry, MS)的离子化源是进入21世纪以来发展最快的无机痕量分析技术,具有检出限低、动态线性范围宽、精密度高、检测模式灵活,并可同时测定多种微量元素等优点,已逐步在食品安全、生命科学、环境监测等领域广泛运用^[38-40]。

电感耦合等离子体质谱仪的工作原理是根据被测元素通过一定形式进入高频等离子体中,在高温下电离成离子,产生的离子经过离子光学透镜聚焦后进入四极杆质谱分析器按照荷质比分离,既可以按照荷质比进行半定量分析,也可以按照特定荷质比的离子数目进行定量分析。该类型质谱仪主要由离子源、质量分析器和检测器3部分组成,还配有数据处理系统、真空系统、供电控制系统等。

ICP-MS 仪器所使用的等离子体除了方位和线圈接地方式外,与发射光谱中使用的基本相同。质量分析器多采用四极杆质谱计,也有采用具有高分辨的双聚焦扇形磁场质谱计、飞行时间质谱计等。该技术的特点是灵敏度高、速度快,可在几分钟内完成几十个元素的定量测定;谱线简单,干扰相对于光谱技术要少;线性范围可达7~9个数量级;样品的制备和引入相对于其他质谱技术简单;既可用于元素分析,还可进行同位素组成的快速测定;测定精密度(RSD)可到0.1%^[41,42]。

ICP-MS 的灵敏度很高,适合于多种重金属的同时分析,尤其是从衡量到微量的元素分析,特别是痕量重金属元素的测定。陈计峦等^[43]建立了测定梨中钠等多种矿物元素含量的方法,采用硝酸为消解体系,再通过电感耦合等离子体质谱法测定钠元素含量;曾海英等^[44]采用电感耦合等离子体质谱法建立测定食品、水产品及动物组织中的多种金属元素的方法,其中也包括钠离子。GB/T 18932.11-2002 和 GB/T 5750.6-2006 也使用 ICP-MS 方法分别检测蜂蜜和生活饮用水中的钠离子^[45,46]。不过由于运用到大型检测仪器,成本较高。在食品检测中,电感耦合等离子体质谱法多用于检测食品中的微量的重金属,较少用于单独进行钠离子的检测。

2.5 离子色谱法

离子色谱法是将改进后的电导检测器安装在离子交换树脂柱的后面,以连续检测色谱分离的离子的方法。现代离子色谱使用小粒度和低交换容量的树脂及小柱径的分离柱,以及进样阀进样,泵输送洗脱液,连续检测^[45-51]。

离子色谱法具有灵敏、准确、线性范围广、可同时测定多种组分等优点,在水样、化妆品、中草药等样品中的

检测应用均有报道。钟志雄等^[46]使用离子色谱法同时测定食品中 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 和 Ca^{2+} , 通过离子色谱法与国家食品卫生标准检验方法、ICP-MS 法的对比研究表明,本方法测量的线性范围广、相关性好、精密度和准确度优、抗干扰、操作简便、适用性强,可以同时完成多种离子的含量检测。不过和 ICP-MS 方法类似,成本依旧比较高。

3 总结与展望

目前,在食品中钠离子检测领域主要有原子吸收光谱法、容量滴定法、温度滴定法、电感耦合等离子体质谱法和离子色谱法。原子吸收光谱法广泛应用于食品中钠离子含量的检测,具有检出限低、准确度高、选择性好、分析速度快、应用范围广等优点。容量滴定法技术成熟,前处理方便,操作简单,在样品组成成分简单时候也有广泛的应用。温度滴定法是一种比较新的滴定方法,方法具有较高的准确性、分辨率及稳定性,同时操作便捷,可实现全自动操作,且前处理简便,样品均质化后可直接测试。电感耦合等离子体质谱法的灵敏度很高,稳定性、重复性、精密度良好,多用于检测食品中的微量的重金属,也有部分实验室用作食品中钠离子的检测。离子色谱法具有灵敏、准确、线性范围广、可同时测定多种组分等优点,可用于食品中多种离子的同时检测。

对食品中钠离子检测方面有如下展望:第一,探索新的检测技术,使钠离子的检测向更快、更便捷的方向发展;第二,优化样品的前处理方法,针对食品类样品基体较复杂的特点,将新的前处理技术应用于食品中钠离子的分析;第三,优化现有的检测方法,提高钠离子检测的效率和精密度。综上所述,原子吸收光谱法由于技术成熟、检出限低、准确度高,现在已经被广泛应用;温度滴定法由于本身简单的前处理,快速的分析速度而且适用于高浓度样品的测定,可以和原子发射光谱形成互补,将来会有进一步发展的前景。

参考文献

- [1] Lopez AD, Mathers CD, Ezzati M, *et al.* Global and regional burden of disease and risk factors, 2001: systematic analysis of population health data[J]. *Lancet*, 2006, 367(9524):1747-1757.
- [2] 王文. 高血压(1)我国高血压流行趋势与防治状况(续前)[J]. *中国循环杂志*, 2011, 26(6):407-409.
Wang W. Hypertension (1) trends and prevention of hypertension status (Continued)[J]. *Chin Circul J*, 2011, 26(6):407-409.
- [3] 张继国, 张兵, 王志宏, 等. 1991 年和 2006 年中国九省(区)居民膳食钠的摄入状况[J]. *中华预防医学杂志*, 2011, 45(4):310-312.
Zhang JG, Zhang B, Wang ZH, *et al.* The status of dietary sodium intake of Chinese population in nine provinces(autonomous region) from 1991 to 2006[J]. *Chin J Prev Med*, 2011, 45(4):310-312.
- [4] 何梅, 谢建斌, 唐华澄, 等. 中国包装食品中钠含量分析和变化的研究[J]. *卫生研究*, 2007, 36(6):703-705.

- He M, Zhang JB, Tang HC, *et al.* Laboratory analysis and its variety sodium in prepackaged food in China[J]. *J Hyg Res*, 2007, 6(11):703-705.
- [5] 张雪松, 王竹, 何梅, 等. 中国预包装食品钠含量现状及其变化趋势分析[J]. *卫生研究*, 2014, 43(2):250-253.
Zhang XS, Wang Z, He M, *et al.* Status and trend for sodium content of Chinese per-packaged foods[J]. *J Hyg Res*, 2014, 43(2):250-253.
- [6] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
Chinese Nutrition Society. Chinese dietary reference intakes[M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.
- [7] 杨月欣. 中国食物成分表[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2002.
Yang YX, He M, Pan XC. China food composition [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2002.
- [8] 郑建仙主编. 低能量食品[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
Zheng JX. Low-calorie foods [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.
- [9] GB 28050-2011 食品安全国家标准预包装食品营养标签通则[S].
GB 28050-2011 National Food Safety Standard pre-packaged food nutrition labels General Principles [S].
- [10] 冯悦红, 杨月欣, 石磊, 等. 北京市场常见包装食品营养成分标识的调查[J]. *中国卫生监督杂志*, 2002, 9(6): 332-335.
Feng YH, Yang YX, Shi L, *et al.* Investigation of Beijing common market packaged food nutrition identifying [J]. *Chin J Health Inspect*, 2002, 9(6): 332-335.
- [11] 武汉大学. 分析化学下册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
Wuhan University. Analytical Chemistry: Volume 2 [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [12] Food Standards Agency.-Salt reduction targets: March 2010-12 [EB/OL]. (2009-06-18). <http://collections.Europarchive.org/tna/20100927130941/http://food.gov.uk/healthierating/salt/saltreduction>. 2012-09-24.
- [13] Nara T, Oguma K, Kuroda R. Determination of sodium and potassium in silicates by FIA/AAS [J]. *Bunseki Kagaku*, 1987, 36(12): 851-855.
- [14] Mclean R, Hedderley JHD. Effects of alternative label formats on choice of high- and low-sodium products in a New Zealand population sample [J]. *Public Health Nutr*, 2012, 15(5): 783-791.
- [15] 朱静. 变性燃料乙醇中钠元素的测定方法[J]. *石油库与加油站*, 2015, 24(5):23-24.
Zhu J. Determination sodium denatured fuel ethanol [J]. *Oil Depot Gas Station*, 2015, 24(5): 23-24.
- [16] GB/T 5009.91-2003 食品中钾钠的测定[S].
GB/T 5009.91-2003 Determination of potassium and sodium in foods [S].
- [17] GB 5749-2006 生活饮用水卫生标准[S].
GB 5749-2006 Standards for drinking water quality [S].
- [18] GB 5413.21-2010 食品安全国家标准婴幼儿食品和乳品中钙、铁、锌、钠、钾、镁、铜和锰的测定[S].
GB 5413.21-2010 National food safety standard-Determination of calcium, iron, zinc, sodium, potassium, magnesium, copper and manganese in foods for infants and young children, milk and milk products [S].
- [19] Sussman IP, Macgregor LC, Masters BR, *et al.* Quantitative histochemical determination of Na⁺ and K⁺ in microscopic samples using carbon furnace atomic absorption spectrometry [J]. *J Histochem Cytochem*, 1988, 36(3): 237-244.
- [20] CNS 12869-N6231 婴儿配方食品中矿物质之检验方法-铜、铁、镁、锰、钾、钠、锌之检验[S].
CNS 12869 Methods of test for minerals in infant formula -Test of copper, iron magnesium, manganese, potassium, sodium and zinc [S].
- [21] 梁瑞玲, 杨瑞春, 王玲, 等. 火焰原子发射光谱法测定钾和钠的对比分析[J]. *科技创新导报*, 2010, (33):127-128.
Liang RL, Yang RC, Wang L, *et al.* Different between atomic emission spectrometry determination of potassium and sodium [J]. *Sci Technol Innov Her*, 2010, (33):127-128.
- [22] 张小军. 原子吸收分光光度计火焰发射法测定钠的含量[J]. *河南预防医学杂志*, 2011, 22(2):99-100.
Zhang XJ. Determination of sodium content by atomic absorption spectrophotometer flame emission method [J]. *Henan J Prev Med*, 2010, (33):127-128.
- [23] 赵文甲, 司晶星, 丁莉, 等. 原子发射光谱、原子吸收光谱与原子荧光光谱之仪器特点及应用比较[J]. *才智*, 2009, (23): 67-68.
Zhao WJ, Si JX, Ding L. *et al.* Comparison between atomic emission spectrometry, atomic absorption instrument features and applied spectroscopy and atomic fluorescence spectrometry [J]. *Intelligence*, 2009, (23): 67-68.
- [24] 向兆, 杨蕾. 火焰原子吸收/发射光谱法测定湖泊水中的钾钠[J]. *资源环境与工程*, 2009, 23(6):863-866.
Xiang Z, Yang L. Determination of potassium and sodium in lake water by atomic absorption / emission spectroscopy [J]. *Res Environ Eng*, 2009, 23(6):863-866.
- [25] 覃毅磊. 火焰原子吸收光谱法测定食品中钠、钾的含量[J]. *东莞理工学院学报: 自然科学版*, 2005, 12(1):96-98.
Qin YL. Determination of sodium, potassium in food by atomic absorption spectrometry [J]. *J Dongguan Univ Technol: NatSciEd*, 2005, 12(1): 96-98.
- [26] 刘剑, 刘芳竹, 叶润, 等. 火焰原子吸收/发射光谱法对小麦粉中钠的检测[J]. *中国粮油学报*, 2013, 28(12):94-96.
Liu J, Liu FZ, Ye R, *et al.* Atomic absorption / emissionspectroscopy detecting sodium in wheat flour [J]. *J Chin Cereal Oil Assoc*, 2013, 28(12): 94-96.
- [27] Jesus AD, Silva MM, Vale MGR. The use of microemulsion for determination of sodium and potassium in biodiesel by flame atomic absorption spectrometry [J]. *Talanta*, 2008, 74(5): 1378-1384.
- [28] 张晓, 李睿仑, 张安琪. 原子吸收光谱法测定水泥中的钠、钾、镁和铁[J]. *光谱实验室*, 2012, 29(2): 741-744.
Zhang X, Li RL, Zhang AQ. Determination of sodium, potassium, magnesium and iron in cement by AAS [J]. *Chin J Spectrosc Lab*, 2012, 29(2): 741-744.
- [29] 武原鑫. 采用微波消解法检测食品中钠的含量[J]. *河南科技*, 2013, (7): 184-184.
Wu YX. Detection of sodium in food by microwave digestion [J]. *HenanSciTechnol*, 2013, (7): 184-184.
- [30] 苑国兵, 蒋宇, 张冬, 等. 微波消解法在乳饮料中钾、钠测定的应用[J]. *轻工科技*, 2013, (5): 29-30.
Yuan GB, Jiang Y, Zhang D, *et al.* Detecting potassium and sodium in the milk beverage utilizing microwave digestion [J]. *Ind Sci Technol*, 2013, (5): 29-30.
- [31] 刘波. 火焰原子吸收光谱法测定食用油脂中钠含量[J]. *理化检验-化学分册*, 2012, (12): 1444-1445.
Liu B. Determination of sodium in edible fat by atomic absorption

- spectrometry [J]. PTCA (Part B:Chem Anal), 2012, (12): 1444-1445, 1449.
- [32] GB/T 5009.39-2003 酱油卫生标准的分析方法[S].
GB/T 5009.39-2003 Method for analysis of hygienic standard of soybean sauce [S].
- [33] GB/T 13025.5-2012 制盐工业通用试验方法氯离子的测定[S].
GB/T 13025.5-2012 General test method in salt industry-Determination of chloride ion [S].
- [34] CNS 423-N5006 酱油[S].
CNS 423-N5006 Soy sauce [S].
- [35] 武汉大学. 分析化学上册[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.
Wuhan University. Analytical Chemistry: Volume 1 [M]. Beijing: Higher education press, 2010.
- [36] 陶玲, 孙焱, 龚雁. 等. 温度滴定法测定铝材表面处理废水中总酸度和铝离子浓度[J]. 冶金分析, 2012, 32(2): 46-50.
Tao L, Sun H, Gong Y, *et al.* Determination of total acidity and aluminum ion concentration in aluminum surface treatment wastewater by thermometric endpoint titrimetry [J]. Metall Anal, 2012, 32(2): 46-50.
- [37] Smith T, Haider C. Novel method for determination of sodium in foods by thermometric endpoint titrimetry (TET) [J]. J Agr Food Chem, 2014, 03(1): 20-25.
- [38] Jarvis KE, Gray AL, Houk RS. Handbook of inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Chromatographia, 1992, 34(9-10): 546-546.
- [39] 杨朝勇, 黄志勇, 赵丽, 等. 同位素稀释电感耦合等离子体质谱(ID-ICP-MS)测定植物与人发标准物质中的铅[J]. 高等学校化学学报, 2002, 23(09): 1688-1691.
Yong YC, Yong HZ, Li Z, *et al.* Isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry for the determination of lead in plants and human hair [J]. Chem J Chin Univ, 2002, 23(9): 1688-1691.
- [40] 康建珍, 段大成, 郭鹏然, 等. 微量进样/ICP-MS 体系中的基体效应研究[J]. 高等学校化学学报, 2004, 25(02): 252-255.
Kang JZ, Duan TC, Guo PR, *et al.* Matrix effects of micro-sampling system for inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Chem J Chin Univ, 2004, 25(2): 252-255.
- [41] 何蔓, 胡斌, 江祖成. 用于研究 ICP-MS 中基体效应的逐级稀释法[J]. 高等学校化学学报, 2004, 25(12): 2232-2237.
He M, Hu B, Jiang ZC. Stepwise dilution method for the study of matrix effects in ICP-MS [J]. Chem J Chin U, 2004, 25(12): 2232-2237.
- [42] 王淑霞, 余健霞, 王祎娟, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定咸香香肠调料中钠元素含量[J]. 肉类工业, 2014, (5): 28-31.
Wang SX, Yu JX, Wang YJ, *et al.* Determination of sodium in seasoning of salted by ICP-MS [J]. Meat Ind, 2014, (5): 28-31.
- [43] 陈计恋, 吴继红, 江英, 等. 微波消解/ICP-MS 法检测八种梨果实中主要矿质元素含量[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(2): 496-498.
Chen JL, Wu JH, Jiang Y, *et al.* Detecting mineral elements in 8 kinds of pear by microwave digestion and ICP-MS method [J]. Spectrosc Spect Anal, 2009, 29(2): 496-498.
- [44] 曾海英, 王家磊, 沈萍萍, 等. 微波消解-ICP-MS 法测定食品、水产品及动物组织中 33 种金属元素[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, (3): 953-961.
Zeng HY, Wang JL, Shen PP, *et al.* Determination of 33 kinds of metallic elements in food aquatic products and animal tissues by microwave digestion and ICP-MS method [J]. J Food Saf Qual, 2015, (3): 953-961.
- [45] GB/T 18932.11-2002 蜂蜜中钾、磷、铁、钙、锌、铝、钠、镁、硼、锰、铜、钡、钛、钒、镍、钴、铬含量的测定方法电感耦合等离子体原子发射光谱(ICP-AES)法[S].
GB/T 18932.11-2002 Method for the determination of potassium, phosphorus, iron, calcium, zinc, aluminium, sodium, magnesium, boron, manganese, copper, barium, titanium, vanadium, nickel, cobalt, chromium contents in honey-Inductively coupled plasma atomic emission spectrometric method [S].
- [46] 张忠, 王力春, 鲁蕴甜. 离子色谱法测定"地沟油"中钠离子和氯离子的含量及其比例关系[J]. 色谱, 2012, 30(11): 1113-1116.
Zhang Z, Wang LC, Lu YT. Determination of sodium and chloride in hogwash oil and their molar ratio by ion chromatography [J]. Chin J Chromatogr, 2012, 30(11): 1113-1116.
- [47] 钟志雄, 杜达安, 梁春穗, 等. 离子色谱法同时测定食品中 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} [J]. 中国卫生检验杂志, 2003, 13(2): 174-180.
Zhong ZX, Du DA, Liang CH, *et al.* Detection of Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , and Ca^{2+} in food by ion chromatography [J]. Chin J Health Lab Technol, 2003, 13(2): 174-180.
- [48] Fogh Andersen N, Wimberley PD, Thode J, *et al.* Determination of sodium and potassium with ion-selective electrodes [J]. Clin Chem, 1984, 30(3): 433-436.
- [49] Zhu Y, Guo Y, Ye M, *et al.* Separation and simultaneous determination of four artificial sweeteners in food and beverages by ion chromatography [J]. J Chromatogr A, 2005, 1085(1): 143-146.
- [50] 王宇昕, 于泓. 离子色谱法测定水果和饮料中 Na^+ 、 NH_4^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Zn^{2+} 的含量[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 347-349.
Wang YX, Yu H. Determination of Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Zn^{2+} in fruits and juice by ion chromatography [J]. Food Sci, 2008, 29(2): 347-349.
- [51] Caland LBD, Silveira ELC, Tubino M. Determination of sodium, potassium, calcium and magnesium cations in biodiesel by ion chromatography [J]. Anal Chim ACTA, 2012, 718(5): 116-120.
- [52] 李国政, 张峻松, 邱建华, 等. 离子色谱法测定再造烟叶中的钠、氨、钾、镁、钙[J]. 安徽农业科学, 2014, (2): 575-576.
Li GZ, Zhang JS, Qiu JH, *et al.* Determination of Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Mg^{2+} and Ca^{2+} in reconstituted tobacco sheet by ion chromatography [J]. J Anhui Agric Sci, 2014, (2): 575-576.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



叶青, 助理工程师, 主要研究方向为食品检测和方法开发。
E-mail: yeqing@sqi.org.cn



李勤, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测与质量与安全。
E-mail: liqin@sqi.org.cn