

离子色谱法在食品检测中的研究进展

王海蓝¹, 陈引生², 石晶盈^{3*}

(1. 江苏农牧科技职业学院食品科技学院, 泰州 225300; 2. 江苏农牧科技职业学院机电工程系, 泰州 225300;
3. 山东农业大学食品科学与工程学院, 泰安 271018)

摘要: 本文综述了离子色谱法在食品分析领域中的应用, 重点介绍了包括食品中无机阴离子、阳离子、常见食品添加剂、糖类和其他有机化合物等离子色谱检测技术的各类应用现状, 并对其应用前景进行了展望。

关键词: 离子色谱; 食品检测; 应用

Progress in ion chromatography in food analysis

WANG Hai-Lan¹, CHEN Yin-Sheng², SHI Jing-Ying^{3*}

(1. College of Food Science and Engineering, Jiangsu Agri-Animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, China;
2. Department of Electromechanical Engineering, Jiangsu Agri-animal Husbandry Vocational College, Taizhou 225300, China;
3. College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, China)

ABSTRACT: The application of ion chromatography technologies in analysis and governance of food was reviewed in this paper. In all of them, the detection of inorganic anion, organic acid, common food additives, glucide and other organic compounds in food were described respectively and the possible development of ion chromatography technologies in food analysis in the future was predicated.

KEY WORDS: ion chromatography; food analysis; application

离子色谱法(ion chromatography, IC)是美国 Small 等^[1]于 20 世纪 70 年代中期发展起来的一项新的液相色谱技术, 具有灵敏度高、选择性好, 前处理简单、试样用量少, 可在高浓度基体浓度下检测低浓度成分, 减少或免除样品的提纯, 可同时测定多组分和分析不同化合价态, 易实现自动化等优点, 弥补了经典化学方法和其他仪器分析手段的不足^[2]。目前已成为分析化学领域中发展最快的分析方法之一, 已被广泛地用于无机阴、阳离子和有机离子的测定。

评价食品各种安全指标的技术有很多, 常用的

是高压液相色谱法, 而离子色谱法作为高压液相色谱法的一种常用技术, 越来越多地被应用在食品分析中^[3-5]。

1 无机离子

1.1 无机阴离子

食品中无机阴离子的测定对于营养指标的满足、生产工艺的实现以及产品质量的控制都是十分重要的。离子色谱是目前检测阴离子的首选方法。以甲醇

基金项目: 国家自然科学基金项目(31101371)、山东省自然科学基金项目(ZR2010CQ039)、教育部博士点专项科研基金联合项目(20113702120001)

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (31101371), Natural Science Foundation of Shandong Province of China(ZR2010CQ039) and Specialized Research Foundation for the Doctoral Program of Ministry (20113702120001)

*通讯作者: 石晶盈, 副教授, 主要研究方向为果实采后病理及分子生物学。E-mail: jyshi2003@gmail.com

*Corresponding author: SHI Jing-Ying, Associate Professor, College of Food Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian 271018, Shandong Province, China. E-mail: jingdaping@gmail.com

作为有机改性剂, 30 mmol/L NaOH+φ(甲醇)15%为淋洗液, 建立菜豆有机酸和无机阴离子同时分析的离子色谱法, 能同时分析菜豆根部和叶部乙酸、琥珀酸、柠檬酸、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 PO_4^{3-} 等物质, 其检测限为 0.02~0.04 mg/L, 线性工作范围为 2~120 mg/L, 相对标准偏差低于 10%^[6]。

氟是人体必需的微量元素之一, 人体摄入的氟量不足, 易发生龋齿病, 但摄入过多可引起中毒如牙斑釉和氟骨症。茶叶富集氟的能力是其他植物的几十甚至上百倍, 而其中 80%以上的氟可溶解在茶汤中。在 Ionpac AS9-HC 分离柱上用 9 mmol/L Na_2CO_3 淋洗液做流动相进行洗脱, 对安溪铁观音、云南普洱茶、四川花茶、祁门红茶和宜兴绿茶的氟化物含量进行测定, 与国标氟离子选择电极法测量结果比较, 差异无统计学意义^[7]。王静等^[8]建立扩散-离子色谱法测定鱼肉中氟含量的新方法, 用自制电化学中和器降低了试液中的 pH 值, 使试液适用于离子色谱法测定。

硝酸盐是一种常见可致癌性物质, 很容易因细菌作用被还原成亚硝酸盐。采用离子色谱法测定乳粉中氯、硝酸盐与亚硝酸盐含量, 采用 3%乙酸沉淀乳粉样品中的蛋白质和脂肪等有机物, 再通过 OnGuard IIRP 柱预处理后, 利用阴离子分析柱分离、检测^[9]。而在电导模式下采用离子色谱法测定乳制品中亚硝酸盐和硝酸盐的含量, 该法更简便、快速、准确^[10]。还可通过在咸鱼样品中加入适量 AgNO_3 除去大部分的 Cl^- 后, 再通过 Ag^+ 处理柱从而排除 Cl^- 的干扰, 解决了咸鱼等腌制品中亚硝酸盐检测的问题^[11]。楼颖伟等^[12]建立无需对样品进行除氯的处理, 同时测定高含盐量的熟肉制品和腌菜制品中微量亚硝酸盐和硝酸盐的离子色谱检测方法。研究表明, 离子色谱法在测定野菜^[13]、燕窝^[14]、豆腐乳^[15]、鱼粉^[16]、蔬菜^[17,18]、果汁^[19]、火腿肠^[20]等的硝酸盐、亚硝酸盐方面也有应用。

亚硫酸盐作为添加剂, 在食品中应用十分广泛, 用于食品中解离成亚硫酸, 亚硫酸具有还原性, 起到漂白、脱色、抗氧化和防腐作用, 在食品中的残留量有严格控制。黄惠玲等^[21]建立了食品中亚硫酸盐的离子色谱检测方法, 蔡刚等^[22]选用瑞士万通 861 双抑制型离子色谱仪, Metrosep A Supp4-250 分析柱, 3.1 mmol/L Na_2CO_3 ~1.0 mmol/L NaHCO_3 淋洗液, 电导检测器检测, 建立了一种简便快速测定食品中二氧化硫残留量的离子色谱检测方法。王伟等^[23]建立

了基于离子色谱的香菇中 SO_3^{2-} 检测方法。冯伟科等^[24]建立了离子色谱同时测定牛奶及其制品中亚硝酸盐、硝酸盐、硫酸盐和硫氰酸盐的方法, 黄凯等^[25]建立了离子色谱测定地瓜果脯中的亚硫酸盐含量的分析方法, 确定样品的前处理方法和超声波萃取条件, 样品经处理后用离子色谱测定。邹月利采用 Dionexdx ICS-90 离子色谱仪, 测定了腌制大蒜中亚硫酸盐的含量^[26]。罗金辉^[27]确立了离子色谱法同时检测蔬菜水果中氯离子、亚硫酸盐、硫酸盐含量的样品处理方法和检测条件。李小蕾等^[28]采用离子色谱法测定虾蟹肉中亚硫酸盐的残留量。郭丽萍等^[29]建立了离子交换-电导检测离子色谱法测定食品中亚硫酸盐的检测方法, 测定黄花菜中的亚硫酸盐。

溴酸钾是面粉的品质改良剂, 用于面包、饼干的生产, 能改善面团的加工性能、内部结构以及增大制作的面包体积, 其分解产物作为溴酸盐而被残留。宁啸骏等^[30]提出了离子色谱法测定面粉及面粉制品中溴酸盐的测定方法, 颜金良^[31]、张利明^[32]分别建立梯度淋洗离子色谱法以快速测定面制品中溴酸盐含量。

硼酸盐作为一种面粉改良剂, 是一种致癌物质, 过多食用会损害人的血液、中枢神经和肾脏。邵宏宏^[33]采用离子排斥-抑制电导检测器离子色谱测定食品中硼酸盐, 检测灵敏度达到 0.01 $\mu\text{g/mL}$ 。

多聚磷酸盐是一种重要的品质改良剂, 它们在食品工业中主要用于保持食品的水分、调节 pH 值、乳化、缓冲、螯合金属离子等。在海产品的保存和运输过程中, 加入一定量的多聚磷酸盐, 可以保证水分不会缺失, 但过多摄入多聚磷酸盐对人体有一定危害。吴轶等^[34]建立了测定冷冻调制食品中复合磷酸盐各组分含量的离子色谱检测方法, 商荣宁等^[35]建立了一种同时测定磷酸二氢钙中的 F^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^- 4 种阴离子的分析方法, 王雪等^[36]采用 CHCl_3 为沉淀剂来沉淀冷冻水产品中的蛋白质, 离子色谱测定多聚磷酸盐, 得到了较好的分离效果。肖志雯等^[37]采用超声提取、固相萃取柱净化的方法对试样进行前处理, 高容量阴离子交换色谱柱分离, 离子色谱抑制性电导检测器检测, 测定水产品中 F^- 、 NO_2^- 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 和 SO_4^{2-} 6 种无机阴离子含量。

1.2 金属离子

近日市场上出现了皮革奶风波, 皮革奶是用皮革水解蛋白生产出来的乳制品, 这是一种类似于三

聚氰胺的物质,加入乳制品中的目的是提高产品蛋白质含量。杨兰玲等^[38]采用离子色谱-紫外检测联用柱后衍生的方法测定牛奶中 6 价铬含量,可以有效地排除干扰,提高 6 价铬检测的灵敏度,方法简便快速,于 5 min 内即可完成一次的进样分析。

酒中检测出铅的成分,主要是由不锈钢储存罐制作原材料中和玻璃制作原材料中带来的。白酒样品在分析中含量非常低,以前酒中铅的分析主要是利用原子吸收仪进行测定,分析时比较麻烦。李明^[39]采用 ICS3000 型离子色谱测定酒中含铅量,采用 CG50A+CS50A 色谱柱、80 mmol/L $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ +50 mmol/L KOH 流动相、Ultimate 3000 variable wavelength detector 紫外检测器,设置柱温为 35 °C,操作简单直观,可直接进样分析重现性好。

钙是人体不可或缺的营养素之一,对人体的生长与发育起重要作用,是人体最丰富的矿物质,参与整个生命过程。欧阳云等^[40]建立英蓝渗析离子色谱直接测定饮料中钙的方法。王艳春等^[41]建立营养强化食品中钙含量的离子色谱测定法,样品经硝酸、高氯酸混合酸消化后采用离子色谱法直接测定营养强化食品中钙含量。李良等^[42]探索出较为简便易行的奶粉中钠、钾、镁、钙同时测定的方法,使用透析袋将溶解后的奶粉透析后取出分别通过 C_{18} 柱分离后使用 20 mol/L 甲烷磺酸作为淋洗液,用离子色谱法同时分离和测定奶粉中钠、钾、镁、钙 4 种物质。房宁等^[43]也建立了离子色谱法测定奶粉中蛋白质氮、钠、钾、钙及镁的方法。

2 食品添加剂

2.1 酸味剂

食品中有机酸的数量和性质可以提供相关原材料的来源、微生物生长状况及加工技术的信息。离子色谱在分析低分子有机酸时,无须复杂的预处理过程,能够很好地分离和同时检测多种有机酸。离子色谱分析食品中的有机酸远不及分析阴、阳离子的应用广泛。用离子色谱/电导检测法测定酒类中有机酸和无机阴离子,该方法线性范围广,准确性和精密度良好,操作简便、结果满意,能满足日常检验要求^[44]。使用离子色谱法对葡萄酒中柠檬酸含量进行分析,利用梯度洗脱实现分离,该方法的线性好、精密度高、回收率满意^[45]。采用抑制电导的离子色谱法,对葡萄中的丙酸、丁酸、乳酸、柠檬酸、酒石酸 6 种

有机酸成分进行分离测定,具有很好的线性和较低的检出限^[46]。龙军标等^[47]选用 IonPac AS14A 分离柱,采用 5%乙腈和 5 mmol/L Na_2CO_3 -5 mol/L NaOH 淋洗液,饮料经活性炭脱色后,过滤进样,建立了简便连续测定饮料中乙酸、酒石酸、山梨酸和苯甲酸的离子色谱分析方法。胡平等^[48]研究了固相萃取-离子色谱法测定饮料中柠檬酸盐含量。熊建飞^[49]报道了抑制电导检测-离子排斥色谱法同时测定 6 种有机酸(草酸、柠檬酸、苹果酸、琥珀酸、乙酸、丙酸)的方法,并用于检测山楂和乌梅中的有机酸含量。

2.2 甜味剂

近年来,随着食品工业技术不断发展,食品中往往添加多种甜味剂和防腐剂以发挥协同效应,这给监督检验工作带来一定难度。为了使食品质量监督工作能够及时有效开展,迫切需要准确灵敏的方法同时测定多种添加剂。李静等^[50]使用 IonPac AS17-C 低疏水性阴离子交换色谱柱分离,两阶等浓度淋洗液洗脱,电导方法检测,研究食品中 3 种甜味剂(甜蜜素、安赛蜜和糖精钠)和两种防腐剂(山梨酸钾和苯甲酸钠)的同时分析方法,该方法分析速度快、灵敏度高,结果准确可靠。王爱月^[51]分别建立离子交换-电导检测离子色谱法同时测定饮料中的甜蜜素、山梨酸、苯甲酸、安赛蜜和糖精钠的含量。曾爱民^[52]报道了淋洗液发生器电导抑制离子色谱法同时测定饮料中的阿斯巴甜、山梨酸、苯甲酸、安赛蜜和糖精钠 6 种添加剂。卜宇宏^[53]研究了离子交换-电导检测离子色谱法同时测定白酒中的甜蜜素、安赛蜜和糖精钠的含量,检验快速、准确,灵敏度高。

2.3 防腐剂

苯甲酸和山梨酸是食品特别是饮料中最常见的食品防腐剂,它们的含量与防腐效能和人体的毒性关系很大。它们的 pH 均小于 7,可以用离子色谱法测定其含量。朱岩^[54]采用抑制性离子色谱法测定了汽水、可乐等饮料中的苯甲酸和山梨酸的含量,检出限分别为 0.5 $\mu\text{g/mL}$ 和 0.8 $\mu\text{g/mL}$,有良好的重现性和线性关系,且常见无机离子和有机酸均无干扰。

双乙酸钠是近年来推出的一种性质稳定、价格低廉的新型防腐剂、酸味剂和改良剂,在糕点、月饼、豆制品、酱油、食醋等很多食品中使用。由于双乙酸钠是化学物质,长期过量食用含双乙酸钠的食品可能会对人体造成不同程度的危害。赵娅鸿^[55]利用双

乙酸钠能溶于水后成有机酸的性质,用离子色谱法测定食品中的双乙酸钠,且不需复杂的前处理,只需直接纯水浸提、过滤进样,具有操作简单、稳定性好、准确度、灵敏度高等特点。

丙酸盐作为重要的食品防腐剂,对黄曲霉、好气性芽孢杆菌、沙门氏菌及酵母菌均有较好的抑制作用,但是长期过量使用丙酸盐也会给消费者生命安全带来威胁。王勇等^[56]建立了离子色谱法测定食品中添加剂丙酸盐含量的方法,检测灵敏度为 $1\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。戴小辉等^[57]采用抑制型电导检测器建立了离子色谱法测定糕点中丙酸钙含量的方法,该方法检出限达 0.02 mg/L 。

2.4 人工合成食用色素

近年来,随着离子色谱研究的发展,其应用范围不断扩大,目前也有许多报道利用离子色谱和选择相应的检测器对其他有机化合物进行检测。Chen等^[58]用高浓度的酸性淋洗液,通过离子抑制作用使强极性高价有机离子的有效电荷数降低,减少了分析物与固定相之间的离子交换作用,并加入适当的有机溶剂以减少分析物与固定相之间的吸附作用。这样,在疏水性弱的离子交换色谱柱上,对八种着色剂(苋菜红、亮蓝、靛蓝、新红、胭脂红、日落黄、柠檬黄、诱惑红)进行分离测定。在某些疏水性有机大分子的检测上,离子色谱将会成为高压液相色谱的一个重要补充。

3 糖 类

由于糖类化合物的紫外吸收很弱,示差折光检测器的灵敏度又较低,容量法测定专属性不强,因此糖类的分析始终是分析化学的一个难点。目前,糖类分析的一个突破性进展是应用阴离子交换色谱-脉冲安培检测法测定糖类化合物。用离子色谱法检测糖的最大优点是不需要预先衍生就能分析几乎所有的单糖和大部分的寡糖及低聚糖,不仅节约时间,而且避免了一些有毒的衍生试剂的使用。阴离子交换色谱柱的分离能力强,脉冲安培检测器具有非常高的灵敏度,低至 pmol 级的糖类也可得到很好的检测。目前,离子色谱法在糖的检测中得到越来越多的应用。

张磊等^[59,60]采用阴离子交换分离柱和脉冲安培检测器,分别建立了水果、饮品、果酱中葡萄糖、果

糖和蔗糖的分析方法。余娜等^[61]建立了离子色谱法同时分离测定苦瓜茶中的半乳糖、葡萄糖、甘露糖和果糖的分析方法,用Metrosep carb1阴离子交换分离柱和脉冲安培检测器,对淋洗分离条件进行优化,选择了 8 mmol/L NaOH 为淋洗液,淋洗液流速为 1.0 mL/min ,总分析时间为 25 min 。王勇等^[62]采用CarboPac PA10离子色谱柱分离, NaOH/NaAc 为流动相,流速为 1.0 mL/min ,积分安培检测器进行检测,外标法定量,建立了离子色谱/积分脉冲安培检测器测定淀粉糖中糖组分,检测效果非常好。李静等^[63]采用ICS-5000毛细管离子色谱仪对枸杞多糖中的10种单糖进行了分离测定,采用新型淋洗液自动发生装置电解产生淋洗液,Capillary CaborPac PA20色谱柱分离,毛细管安培池检测,10种单糖成分标准曲线线性关系良好,检出限在 $2.5\sim 75\text{ }\mu\text{g/L}$ 之间,为枸杞多糖中单糖组分测定提供了新的可行方法。

4 其他化合物的分析

在食品分析中还常涉及有毒物、吊白块等有机化合物的检测。离子色谱对有毒物质的测定也有广泛的应用。Jaime等^[64]采用离子交换色谱柱-电化学氧化荧光检测-MS对海产品中常见的麻痹性贝类毒素(paralytic shellfish poisoning toxins, PSP)进行测定,分析结果准确可靠,该方法可用于测定浮游植物和监控海产品中PSP的含量。对于一些常见有毒物苯酚等一些酚类物质的分离,采用离子色谱法也能获得良好的分离效果。程春梅等^[65]在碱性条件下用过氧化氢将甲醛次硫酸氢钠(吊白块)氧化成甲酸根和硫酸根后,利用离子色谱法进样分析,得到了理想的分离和检测效果。

5 展 望

离子色谱作为经典液相色谱的一个分支,已成为一种比较成熟的分析技术,在食品分析领域得到了广泛应用,地位日渐突出。在今后一个时期内,离子色谱在食品分析领域中的发展趋势可能由以下几个方面:①具有明显营养学和卫生学意义的天然食品成分及食品添加剂将成为分析重点;②对碱性化合物的分析,离子色谱将有可能成为高压液相色谱的一个有益补充方法;③离子色谱与光谱、质谱联用技术的发展,将对多种元素的形态分析发挥越来越

重要的作用。相信不久的将来,离子色谱必将在食品检测方面发挥越来越重要的作用。

参考文献

- [1] Small H, Stevens T, Bauman W. Novel ion exchange chromatographic method using conductimetric detection [J]. *Anal Chem*, 1975, 47(11): 1801–1809.
- [2] Licata P, Naccari F, Bella Di G, *et al.* Inorganic anions in goat and ovine milk from Calabria by suppressed ion chromatography [J]. *Food Addit Contam: Part A*, 2013, 30(3): 458–465.
- [3] 关翠林. 离子色谱法在食品分析中的应用[J]. 雁北师范学院学报, 2001, 17(3): 50–51.
- Guan CL. Application of ion chromatography to food analysis [J]. *J YanBei Teachers' Coll*, 2001, 17(3): 50–51.
- [4] Dudwadkar A, Shenoy N, Joshi JM, *et al.* Application of ion chromatography for the determination of nitrate in process streams of thermal denitration plant [J]. *Separ Sci Technol*, 2013, 48(16): 2425–2430.
- [5] 宋江峰, 韩晨. 离子色谱法在食品添加剂检测中的应用[J]. 食品工程, 2007, (1): 30–32.
- Song JF, Han C. The application of ion chromatography on detection of food additives [J]. *Food Eng*, 2007, (1): 30–32.
- [6] 沈宏, 严小龙, 郑少玲, 等. 菜豆有机酸和无机阴离子同时分析的离子色谱法[J]. 华南农业大学学报, 2001, 22(2): 8–10.
- Shen H, Yan XL, Zheng SL, *et al.* Simultaneous analysis of organic acids and inorganic anions in common bean by ion chromatography [J]. *J South China Agric Univ*, 2001, 22(2): 8–10.
- [7] 曾可, 周旭, 申茂泉, 等. 超声提取离子色谱法测定茶叶浸出液中的氟化物[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(25): 12640–12641.
- Zeng K, Zhou X, Shen MQ, *et al.* Determination of fluoride in tea extract with ion chromatography method and ultrasonic extraction process [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2012, 40(25): 12640–12641.
- [8] 王静, 胡荣宗, 潘丹梅, 等. 扩散-离子色谱法测定鱼肉中氟的含量[J]. 食品科学, 2007, 28(4): 264–267.
- Wang J, Hu RZ, Pan DM, *et al.* Determination of Fluorine in Fish by Diffusion-ion Chromatography [J]. *Food Sci*, 2007, 28(4): 264–267.
- [9] 胡华英. ICS-1500 离子色谱测定乳粉中的氯、硝酸盐与亚硝酸盐[J]. 轻工科技, 2012, 9(166): 7–8.
- Hu HY. Determination of Chlorine, nitrate, nitrite in milk powder by ion chromatography [J]. *Light Ind Sci Technol*, 2012, 9(166): 7–8.
- [10] 钟莺莺, 陈平, 俞雪钧, 等. 改进的离子色谱法测定乳制品中亚硝酸盐和硝酸盐[J]. 色谱, 2012, 30(6): 635–640.
- Zhong YY, Chen P, Yu XJ, *et al.* Determination of nitrite and nitrate in dairy products by improved ion chromatography [J]. *Chin J Chromatogr*, 2012, 30(6): 635–640.
- [11] 刘法佳, 吴燕燕, 李来好, 等. 改良离子色谱法测定咸鱼中亚硝酸盐的研究[J]. 南方水产科学, 2011, 7(6): 1–6.
- Liu FJ, Wu YY, Li LH, *et al.* Determination of nitrite in salted fish by improved ion chromatography [J]. *South China Fisheries Sci*, 2011, 7(6): 1–6.
- [12] 楼颖伟, 季巧珍. 离子色谱法测定高含盐量食品中的亚硝酸盐与硝酸盐[J]. 中国卫生检验杂志, 2010, 20(12): 3227–3231.
- Lou YW, Ji QZ. Determination of nitrate and nitrite in foods containing high concentrations of chloride by ion chromatography [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2010, 20(12): 3227–3231.
- [13] 邱贺媛, 曾宪锋, 才红, 等. 离子色谱法测定野菜中硝酸盐、亚硝酸盐含量[J]. 韩山师范学院学报, 2008, 29(3): 65–68.
- Qiu HY, Zeng XF, Cai H, *et al.* Determination of the contents of nitrate and nitrite in wild vegetables by ion chromatography [J]. *J Hanshan Normal Univ*, 2008, 29(3): 65–68.
- [14] 闫仲丽, 杨志岩, 张晓清, 等. 离子色谱法测定燕窝中亚硝酸盐的含量[J]. 食品与机械, 2012, 28(3): 62–64.
- Yan ZL, Yang ZY, Zhang XQ, *et al.* Determination on nitrite content in edible bird's nest by ion chromatography [J]. *Food Mach*, 2012, 28(3): 62–64.
- [15] 王珊珊, 张锦梅. 紫外检测离子色谱法测定豆腐乳中亚硝酸盐、硝酸盐含量[J]. 中国调味品, 2013, 38(2): 89–91.
- Wang SS, Zhang JM. Determination of nitrite and nitrate in soy cheese by ion chromatography with uv detection [J]. *China Condiment*, 2013, 38(2): 89–91.
- [16] 任飞, 杨娟芬, 许迪明, 等. 离子色谱法测定鱼粉中亚硝酸盐[J]. 理化检验-化学分册, 2008, 44(12): 1148–1152.
- Ren F, Yang JF, Xu DM, *et al.* IC determination of nitrite in fishmeal [J]. *Ptca (part B: Chem Anal)*, 2008, 44(12): 1148–1152.
- [17] 董乐, 冯珍鸽, 王力. 离子色谱分离-恒电位法联用检测菠菜中硝酸盐含量[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2009, 24(3): 263–265.
- Dong L, Feng ZG, Wang L. Detection on the content of nitrate ion with ion chromatography separation-constant potential [J]. *J Inner Mongolia Univ Nationalities*, 2009, 24(3): 263–265.
- [18] 郭坚, 何光源, 崔海容, 等. 抑制型离子色谱法检测蔬菜中的亚硝酸盐与硝酸盐[J]. 检验检疫学刊, 2010, 20(6): 16–18.
- Guo J, He GY, Cui HR, *et al.* Determination of nitrite and nitrate in vegetables by ion chromatography with suppressed conductivity [J]. *J Inspect Quarantine*, 2010, 20(6): 16–18.
- [19] 张新智. 离子色谱法同时测定苹果汁中的亚硝酸盐、硝酸盐和硫酸盐[J]. 检验检疫科学, 2008, 18(1): 32–34.
- Zhang XZ. Simultaneous analysis of nitrate, nitrite and sulphate

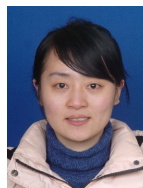
- in apple juice by ion chromatograph [J]. *Inspect Quarantine Sci*, 2008, 18(1): 32–34.
- [20] 王新芳. 离子色谱法测定火腿肠中的硝酸盐和亚硝酸盐[J]. *食品研究与开发*, 2008, 29(9): 104–106.
- Wang XF. Determination of nitrite and nitrate in hamsausage by ion chromatography [J]. *Food Res Dev*, 2008, 29(9): 104–106.
- [21] 黄惠玲, 王玉健, 卓海华, 等. 食品中亚硫酸盐的离子色谱法测定[J]. *分析试验室*, 2009, 28(8): 15–18.
- Hang HL, Wang YJ, Zhuo HH, *et al.* Determination of sulfite in food by ion chromatography [J]. *Chin J Anal Lab*, 2009, 28(8): 15–18.
- [22] 蔡刚, 邢海龙, 林永通. 离子色谱法测定食品中二氧化硫的应用研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2012, 24(4): 338–341.
- Cai G, Xing HL, Lin YT. Ion chromatography in the detection of sulfur dioxide in foods [J]. *Chin J Food Hyg*, 2012, 24(4): 338–341.
- [23] 王伟, 吴应森, 张玉, 等. 基于离子色谱法的香菇中总 SO_3^{2-} 的检测方法[J]. *浙江农业学报*, 2010, 22(6): 790–794.
- Wang W, Wu YM, Zhang Y, *et al.* Detection method of SO_3^{2-} in mushrooms based on ion chromatography [J]. *Acta Agric Zhejiangensis*, 2010, 22(6): 790–794.
- [24] 冯伟科, 熊珺, 罗佳玲, 等. 离子色谱法同时测定牛奶及其制品中的亚硝酸盐、硝酸盐、硫酸盐和硫氰酸盐[J]. *现代食品科技*, 2011, 27(9): 1157–1159.
- Feng WK, Xiong J, Luo JL, *et al.* Simutaneous determination of nitrite, nitrate, sulfate and thiocyanide in milk and ites products by ion chromatograpy [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2011, 27(9): 1157–1159.
- [25] 黄凯, 高俊永, 莫海涛, 等. 离子色谱法检测果脯中的亚硫酸盐[J]. *食品研究与开发*, 2009, 30(9): 134–137.
- Huang K, Gao JY, Mo HT, *et al.* Determination of sulfite in preserved by ion chromatography [J]. *Food Res Dev*, 2009, 30(9): 134–137.
- [26] 邹月利. 离子色谱法测定腌制大蒜中亚硫酸盐含量[J]. *食品工业科技*, 2006, 27(8): 172–175.
- Zou YL. Determination of sulfite in garlic by ion chromatography [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2006, 27(8): 172–175.
- [27] 罗金辉, 吕岱竹, 潘永波. 离子色谱法测定蔬菜水果中氯离子、亚硫酸盐、硫酸盐含量[J]. *热带作物学报*, 2011, 32(6): 1176–1180.
- Luo JH, Lv DZ, Pan YB. Determination of chlorine, sulfite, sulfate contents in vegetables and fruits by ion chromatography [J]. *Chin J Trop Crops*, 2011, 32(6): 1176–1180.
- [28] 李小蕾, 刘文琴, 黄冬梅, 等. 离子色谱法测定虾蟹肉中亚硫酸盐残留量[J]. *理化检验-化学分册*, 2013, 49(3): 310–315.
- Li XL, Liu WQ, Huang DM, *et al.* IC determination of residual amount of sulfite in shrimp and crab [J]. *Ptca (Partb: Chem. Anal.)*, 2013, 49(3): 310–315.
- [29] 郭丽萍, 莫海涛, 卢家炯, 等. 离子色谱法测定黄花菜中的亚硫酸盐[J]. *食品科技*, 2006, (5): 108–110.
- Guo LP, Mo HT, Lu JJ, *et al.* Measurement of sulfite in hemerocallis citrina baroni by ion chromatography [J]. *Food Sci Technol*, 2006, (5): 108–110.
- [30] 宁啸骏, 张燕琴. 离子色谱法测定面粉及面粉制品中溴酸盐[J]. *理化检验-化学分册*, 2008, 44(8): 751–753.
- Ning XJ, Zhang YQ. Determination of bromate in flour and flour products by ion chromatography [J]. *Ptca (Partb: Chem Anal)*, 2008, 44(8): 751–753.
- [31] 颜金良, 颜勇卿, 王立, 等. 离子色谱法测定面包中溴酸盐含量的研究[J]. *中国卫生检验杂志*, 2006, 16(4): 425–426.
- Yan JL, Yan YQ, Wang L, *et al.* Determination of bromate contents in bread by ion chromatography [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2006, 16(4): 425–426.
- [32] 张利明, 庞芬只, 黄奕. 抑制电导-离子色谱法测定面粉和面制品中的痕量溴酸盐[J]. *微量元素与健康研究*, 2012, 29(6): 52–53.
- Zhang LM, Pang FZ, Huang Y. Determination of bromate in flour and flour products by ion chromatography [J]. *Stud Trace Elements Health*, 2012, 29(6): 52–53.
- [33] 邵宏宏, 周向阳, 周秀锦, 等. 离子色谱法测定食品中的硼酸盐[J]. *现代科学仪器*, 2011, (4): 50–52.
- Shao HH, Zhou XY, Zhou XJ, *et al.* Determination of Borate in food by ion chromatography [J]. *Mod Scient Instrum*, 2011, (4): 50–52.
- [34] 吴轶, 徐红斌, 袁波. 冷冻调制食品中复合磷酸盐的测定[J]. *现代食品科技*, 2012, 28(3): 357–359.
- Wu Y, Xu HB, Yuan B. Determination of Phosphate Compound in Frozen Prepaped Food [J]. *Mod Food Sci Technol*, 2012, 28(3): 357–359.
- [35] 商荣宁, 张锦梅. 离子色谱法测定食品添加剂磷酸二氢钙中的阴离子[J]. *中国食品卫生杂志*, 2013, 25(1): 49–52.
- Shang RN, Zhang JM. Determination of anion in the calcium phosph of food additives by ion chromatography [J]. *Chin J Food Hyg*, 2013, 25(1): 49–52.
- [36] 王雪, 陈笑梅, 朱岩. 离子色谱法测定冷冻水产品中的多聚磷酸盐[J]. *分析试验室*, 2008, 27(7): 82–84.
- Wang X, Chen XM, Zhu Y. Determination of polyphosphates in freezing seafood by ion chromatography [J]. *Chin J Anal Lab*, 2008, 27(7): 82–84.
- [37] 肖志雯, 周睿, 劳宝法, 等. 固相萃取净化-离子色谱法测定水产品中的6种阴离子含量[J]. *中国食品卫生杂志*, 2012, 24(6): 550–553.

- Xiao ZW, Zhou R, Lao BF. Determination of six anions in aquatic products by SPE-Ion chromatography [J]. Chin J Food Hyg, 2012, 24(6): 550-553.
- [38] 杨兰玲, 徐爱华, 许美玲, 等. 离子色谱与紫外监测器联用技术测定牛奶中六价铬[J]. 中国计量, 2012, (10): 83-84.
- Yang LL, Xu AH, Xu ML, *et al.* Determination of six chromium in milk by ion chromatography and ultraviolet monitor spectrometry [J]. China Metrol, 2012, (10): 83-84.
- [39] 李明. 采用 ICS3000 离子色谱测定白酒的铅含量[J]. 华夏酒报, 2013, (4): 1-6.
- Li M. Determination of lead content in liquor by ICS3000 ion chromatography [J]. Chin Wine, 2013, (4): 1-6.
- [40] 欧阳云, 容晓文, 宁红卫. 英蓝渗析离子色谱法直接测定饮料中的钙[J]. 中国卫生检验杂志, 2013, 23(1): 68-72.
- Ou YY, Rong XW, Ning HW. Metrohm inline ion chromatography for determination of calcium in drinks [J]. Chin J Health Lab Technol, 2013, 23(1): 68-72.
- [41] 王艳春, 杨玉竹. 营养强化食品中钙的离子色谱测定法[J]. 环境与健康杂志, 2009, 26(8): 721-722.
- Wang YC, Yang YZ. Determination of Calcium in Nutritive Food by Ion Chromatography [J]. J Environ Health, 2009, 26(8): 721-722.
- [42] 李良, 王晴. 奶粉中钠、钾、镁、钙的“动态透析”离子色谱法测定研究[J]. 食品科学, 2008, 29(12): 541-543.
- Li L, Wang Q. Study on dynamic dialyzing ion chromatography determination of sodium, potassium, manganese and calcium in milk powder [J]. Food Sci, 2008, 29(12): 541-543.
- [43] 房宁, 巩俐彤, 李倩. 离子色谱法测定奶粉中蛋白质氮、钠、钾、钙及镁[J]. 理化检验-化学分册, 2010, 46(9): 1028-1030.
- Pang N, Gong LT, Li Q. IC determination of protein nitrogen and Na, K, Ca, Mg in milk powder [J]. Ptca (Partb: Chem. Anal.), 2010, 46(9): 1028-1030.
- [44] 潘丙珍, 刘青, 庞世琦, 等. 离子色谱法测定酒中的有机酸和无机阴离子[J]. 现代食品科技, 2013, 29(4): 876-880.
- Pan BZ, Liu Q, Pang SQ, *et al.* Determination of Organic Acids and Mineral Anion in Liquor by Ion Chromatography [J]. Mod Food Sci Technol, 2013, 29(4): 876-880.
- [45] 谢晓烽, 姚永青, 李培, 等. 离子色谱法测定葡萄酒柠檬酸含量[J]. 科技资讯, 2011, (2): 96-97.
- Xie XF, Yao YQ, Li P, *et al.* Determination of reducing sugar in rice wine by using antotitrator and high temperature redox electrode [J]. Sci Technol Inform, 2011, (2): 96-97.
- [46] 李芳, 王丽丽, 徐熠, 等. 离子色谱法测定葡萄中六种有机酸[J]. 吉林农业科学, 2011, 36(1): 48-49.
- Li F, Wang LL, Xu Y, *et al.* Determination of six kinds of organic acids in grapes by ion chromatography [J]. J Jilin Agric Sci, 2011, 36(1): 48-49.
- [47] 龙军标, 周金森, 张红英, 等. 有机改性剂离子色谱法测定饮料中乙酸、酒石酸、山梨酸和苯甲酸[J]. 中国卫生检验杂志, 2010, 20(5): 1025-1027.
- Long JB, Zhou JS, Zhang HY, *et al.* Determination of acetic acid, tartaric acid, sorbic acid and benzoic in beverages added organic modifier by ion chromatography [J]. Chin J Health Lab Technol, 2010, 20(5): 1025-1027.
- [48] 胡平, 刘贺彬, 任永红. 离子色谱法测定饮料中的柠檬酸盐[J]. 现代科学仪器, 2008, (10): 70-72.
- Hu P, Liu HB, Ren YH. Determination of citrate in beverage by SPE-ion chromatography [J]. Mod Scient Instrum, 2008, (10): 70-72.
- [49] 熊建飞, 周光明, 许丽, 等. 离子色谱法测定山楂和乌梅中的有机酸[J]. 食品科技, 2012, 37(9): 284-287.
- Xiong JF, Zhou GM, Xu L, *et al.* Determination of organic acids in hawthorn fruit and ebony by ion chromatography [J]. Food Sci Technol, 2012, 37(9): 284-287.
- [50] 李静, 王雨, 梁立娜. 离子色谱法同时测定食品中3种甜味剂和2种防腐剂[J]. 食品科学, 2011, 32(12): 239-242.
- Li J, Wang Y, Liang LN. Simultaneous determination of sweeteners and preservatives by ion chromatography method [J]. Food Sci, 2011, 32(12): 239-242.
- [51] 王爱月, 翟志雷, 卢素格. 离子色谱法同时测定碳酸饮料中5种添加剂的方法研究[J]. 现代预防医学, 2013, 40(11): 2106-2109.
- Wang AY, Zhai ZL, Lu SG. Study on the determination of five food additives in carbonated beverages by ion chromatography [J]. Mod Prev Med, 2013, 40(11): 2106-2109.
- [52] 曾爱民. 淋洗液发生器离子色谱电导抑制法测定饮料中的添加剂[J]. 现代科学仪器, 2005, (5): 64-65.
- Zeng AM. Determination of food additives in beverages by ion chromatography [J]. Mod Scient Instrum, 2005, (5): 64-65.
- [53] 卜宇宏, 李明, 李静. 离子色谱测定白酒中甜蜜素、糖精钠和安赛蜜[J]. 酿酒, 2011, 38(5): 7-73.
- Bo YH, Li M, Li J. Ion chromatography for determination of sodium cyclamate, saccharin sodium and acesulfame-k in liquor [J]. Liquor Making, 2011, 38(5): 71-73.
- [54] 朱岩. 饮料中防腐剂的离子色谱法测定[J]. 分析化学, 1991, 19(3): 313-316.
- Zhu Y. Determination of preservatives in beverage by Ion chromatography [J]. Chin J Anal Chem, 1991, 19(3): 313-316.
- [55] 赵娅鸿. 离子色谱法测定食品中防腐剂双乙酸钠的研究[J]. 分析测试, 2011, 17(1): 79-81.
- Zhao YH. The determination of preservative sodium diacetate in food by ion chromatography [J]. Anal Test, 2011, 17(1): 79-81.

- [56] 王勇, 郭敏杰, 高洁. 离子色谱法测定食品添加剂丙酸盐[J]. 理化检验—化学分册, 2013, 49: 183–189.
Wang Y, Guo MJ, Gao J. IC determination of additive propionate in food [J]. Ptca (Partb: Chem. Anal.), 2013, 49: 183–189.
- [57] 戴小辉, 杨乙辉, 卓黎阳, 等. 离子色谱法对糕点中丙酸钙的测定[J]. 福建分析测试, 2013, 22(1): 9–12.
Dai XH, Yang YH, Zhuo LY, *et al.* Detection of calcium propionate in cakes by ion chromatography [J]. Fujian Anal Test, 2013, 22(1): 9–12.
- [58] Chen QC, Mou SF, Hou XP, *et al.* Determination of eight synthetic food colorants in drinks by high-performance ion chromatography[J]. J Chromatogr A, 1998, 827(1): 72–81.
- [59] 张磊, 周光明, 熊建飞. 离子色谱法检测水果、饮品中的蔗糖、葡萄糖和果糖[J]. 食品科学, 2012, 33(8): 159–162.
Zhang L, Zhou GM, Xiong JF. Determination of sucrose, glucose and fructose in fruits and drinks by ion chromatography [J]. Food Sci, 2012, 33(8): 159–162.
- [60] 张磊, 周光明, 熊建飞. 离子色谱法测定水果和果酱中的3种糖[J]. 食品科技, 2013, 38(3): 259–263.
Zhang L, Zhou GM, Xiong JF. Determination of three kinds of sugar and jam by ion chromatography [J]. Food Sci Technol, 2013, 38(3): 259–263.
- [61] 余娜, 周光明. 离子色谱法测定苦瓜茶中的半乳糖、葡萄糖、甘露糖和果糖[J]. 食品科技, 2011, 36(8): 266–269.
Yu N, Zhou GM. Determination of galactose, glucose, mannose and fructose in momordica charantia by ion chromatography [J]. Food Sci Technol, 2011, 36(8): 266–269.
- [62] 王勇, 闫秋成, 朱莉萍, 等. 离子色谱/积分脉冲安培检测法测定淀粉糖中糖组分[J]. 分析测试学报, 2012, 31(12): 238–241.
Wang Y, Yan Q C, Zhu ML, *et al.* Determination of sugars in starch sugar by ion chromatography with integrated pulsed amperometric detection [J]. J Instrum Anal, 2012, 31(12): 238–241.
- [63] 李静, 李仁勇, 梁立娜. 毛细管型离子色谱—脉冲安培法检测枸杞多糖的单糖组成[J]. 分析化学研究报告, 2012, 40(9): 1415–1420.
Li J, Li RY, Liang LN. Determination of monosaccharide constituents in lycium barbarum polysaccharide using capillary ion chromatography with pulsed amperometric detection [J]. Chin J Anal Chem, 2012, 40(9): 1415–1420.
- [64] Jaime E, Hummert C, Hess P, *et al.* Determination of paralytic shellfish poisoning toxins by high-performance ion-exchange chromatography [J]. J Chromatogr A, 2001, 929: 43–49.
- [65] 程春海, 李歆, 陈玉波, 等. 离子色谱法测定皮肚中的吊白块[J]. 食品科技, 2013, 38(5): 335–338.
Cheng CH, Li X, Chen YB, *et al.* Determination of sodium formaldehyde sulfoxylate in pidu by ion chromatography [J]. Food Sci Technol, 2013, 38(5): 335–338.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



王海蓝, 硕士研究生, 讲师, 主要研究方向农产品加工及保鲜。
E-mail: whlathn@126.com



石晶盈, 博士, 副教授, 主要研究方向为果实采后病理及分子生物学。
E-mail: jyshi2003@gmail.com