DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20260324008
引用格式: 翟丽娜, 徐丽, 王金花, 等. 离子色谱法测定食用盐中酒石酸铁含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(17): 248–254.
Zhai Lina, Xu Li, Wang Jinhua, et al. Determination of iron tartrate in edible salt by ion chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(17): 248–254. (in Chinese with English abstract).

离子色谱法测定食用盐中酒石酸铁含量

翟丽娜[1], 徐　丽[1], 王金花[1], 徐　琴[1*], 吕　宁[1], 刘宇欣[2], 唐柏彬[3], 任佳琦[4]

(1. 青岛海关技术中心, 青岛　266109; 2. 合肥海关技术中心, 合肥　230022; 3. 重庆海关技术中心, 重庆　400020; 4. 西安海关技术中心, 西安　710068)

摘　要: 目的　建立离子色谱法测定食用盐中酒石酸铁含量的检测方法。**方法**　样品经水溶解后, 加入过量氢氧化钠使酒石酸铁解离释放酒石酸根, 经 Ag 柱净化去除氯离子干扰, 采用离子色谱法测定, 以 *L*-酒石酸为标准物质进行定量, 通过分子量折算计算酒石酸铁含量。**结果**　*L*-酒石酸在 0.1~1.5 mg/L 质量浓度范围内线性良好, 相关系数 r=0.9986; 检测结果以酒石酸铁计, 检出限为 17 mg/kg, 定量限为 50 mg/kg; 在精制盐(加碘)、精制盐(不加碘)和低钠盐 3 种基质中, 加标回收率为 86.1%~107.9%, 相对标准偏差为 0.45%~2.71%。**结论**　该方法操作简便、灵敏度高、准确性好, 适用于食用盐及其代盐制品中酒石酸铁的测定。

关键词: 离子色谱法; 食用盐; 酒石酸铁; 食品添加剂; 检测方法
中图分类号: TS207.3　　**文献识别码:** A　　**文章编号:** 2095–0381(2026)17–0248–07

Determination of iron tartrate in edible salt by ion chromatography

ZHAI Li-Na[1], XU Li[1], WANG Jin-Hua[1], XU Qin[1*], LV Ning[1], LIU Yu-Xin[2], TANG Bo-Bin[3], REN Jia-Qi[4]

(1. *Technology Center of Qingdao Customs District*, *Qingdao* 266109, *China*; 2. *Technology Center of Hefei Customs District*, *Hefei* 230022, *China*; 3. *Technology Center of Chongqing Customs District*, *Chongqing* 400020, *China*; 4. *Technology Center of Xi'an Customs District*, *Xi'an* 710068, *China*)

ABSTRACT: Objective　To establish a method for the determination of iron tartrate in edible salt by ion chromatography. **Methods**　The sample was dissolved in water, and excess sodium hydroxide was added to dissociate iron tartrate and release tartrate ions. After purification with Ag column to remove chloride ion interference, the tartrate was determined by ion chromatography using *L*-tartaric acid as standard substance, and the content of iron tartrate was calculated by molecular weight conversion. **Results**　*L*-tartaric acid showed good linearity in the mass concentration range of 0.1–1.5 mg/L with correlation coefficient r=0.9986. The detection results were measured in terms of iron tartrate. The limit of detection was 17 mg/kg and the limit of quantitation was 50 mg/kg. In 3 kinds of matrices including refined salt (iodized), refined salt (non-iodized) and low-sodium salt, the spiked recoveries ranged from 86.1% to 107.9% with relative standard deviations of 0.45%–2.71%. **Conclusion**　This method is simple, sensitive and accurate, suitable for the determination of iron tartrate in edible salt and salt substitutes.

收稿日期: 2026-03-24
基金项目: 青岛海关科研项目(QK202412); 海关技术要求制订项目(JY20250098)
第一作者: 翟丽娜(1981—), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: hailizi333@sina.com
***通信作者:** 徐琴(1978—), 女, 硕士, 正高级工程师, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: aqh_xuq@126.com

KEY WORDS: ion chromatography; edible salt; iron tartrate; food additive; detection method

0　引　言

食用盐既是人类生活的必需品也是食品安全的基础, 直接关系到广大人民群众的身体健康和生命安全。食用盐由于在储存过程中极易吸收环境中的水分或发生晶粒之间相互吸引而产生固结, 由原来松散的颗粒状变成坚硬的块状, 这一结块特性非常影响食盐的包装、运输、销售与使用, 一直是困扰生产厂家和消费者的一大难题[1−2], 目前世界各国通用做法之一便是在食用盐中使用抗结剂。食用盐中的抗结剂一直被消费者广泛关注, 例如亚铁氰化钾曾多次引发舆论关注。

抗结剂是食品添加剂的一种, 是用于防止颗粒或粉状食品聚集结块, 保持其松散或自由流动的物质。在食品工业中, 抗结剂被广泛应用于食盐、奶粉、可可粉、固体饮料、调味品等产品。国内外食用盐中允许使用的抗结剂种类不尽相同, 从种类数量上看, 食品法典委员会和欧盟规定的种类最多而日本最少[2]。在我国, GB 2760—2024《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》允许在食用盐中使用的抗结剂有二氧化硅、硅酸钙、聚甘油脂肪酸酯、亚铁氰化钾和酒石酸铁等。其中酒石酸铁是一种新型的食盐抗结剂, 在食用盐的抗结块中能发挥物理抗结剂和化学抗结剂的双重效果[3]。2015 年 9 月 28 日欧盟发布第 2015/1739 号委员会条例首次允许其在盐及代盐制品中使用酒石酸铁作为抗结剂使用, 我国于 2016 年 6 月 15 日发布食品添加剂新品种公告首次允许其作为食品添加剂新品种用于食用盐的抗结剂[4−5]。酒石酸铁作为食品添加剂的配套产品标准 GB 1886.381—2024《食品安全国家标准 食品添加剂 酒石酸铁》于 2024 年 8 月 8 日实施。

合理使用抗结剂不仅能提升食品加工的效率, 还能防止因结块而导致的营养流失和口感变差。但是任何食品添加剂的过量使用都会引发一定健康安全风险, 因此抗结剂作为食品添加剂的使用受到严格控制。酒石酸铁是通过将 *L*-酒石酸盐异构化为 *D*-、*L*-和内消旋酒石酸盐的平衡混合物, 然后加入三氯化铁来制备的。过量使用会因高浓度游离铁刺激黏膜导致恶心、腹胀, 长期摄入还会造成铁蓄积从而干扰锌、铜吸收, 引起肝肾代谢压力上升。因此欧盟修订后的第 1333/2008 号委员会条例和我国 GB 2760—2024 均规定了酒石酸铁用于盐及代盐制品的最大使用量为 0.106 g/kg(以酒石酸铁含量计)。为了防止食用盐中超限量添加酒石酸铁, 保障消费者健康安全, 急需配套建立食用盐中酒石酸铁的检测方法。然而目前国内外尚无测定食用盐中酒石酸铁的检测标准, 且目前国内外文献中鲜少见到关于食用盐中酒石酸铁的检测方法的相关报道, 这在一定程度上制约了食用盐食品安全监管工作的开展。本研究拟依据酒石酸铁在食用盐水溶液中以稳定的$[Fe(OH)_2(C_4H_4O_6)]^-$络离子和游离的 Na^+存在的特点, 利用强碱条件打破配位平衡使络离子解离释放出酒石酸根, 从而通过测定酒石酸根来实现对酒石酸铁的定性定量测定。旨在建立一种操作简便、灵敏度高的离子色谱法用于测定食用盐中酒石酸铁的含量, 为国内食用盐的食品安全监管提供酒石酸铁的检测技术手段, 也为制定相关检测标准提供依据。

1　材料与方法

1.1　材料与试剂

食用盐样品: 精制盐(加碘)、精制盐(不加碘)、低钠盐均购自当地超市。

L-酒石酸标准品(纯度≥99.0%, 德国 Dr. Ehrenstorfer 公司); 氢氧化钠(分析纯, 国药集团化学试剂有限公司); 超纯水(电阻率 18.2 MΩ·cm, 美国密理博公司); Ag 柱(OnGuard II Ag, 1.0 mL, 美国赛默飞世尔科技公司)。

1.2　仪器与设备

ICS-5000+离子色谱仪配电导检测器、KOH 淋洗液自动发生装置、AS-AP 自动进样器、IonPac AS19 阴离子分析柱(4 mm×250 mm)、IonPac AG19 阴离子保护柱(4 mm ×50 mm)(美国赛默飞世尔科技公司); XS205 精密分析天平(感量 0.1 mg, 瑞士 Mettler Toledo 公司); GM 200 食物粉碎机(德国 Retsch 公司)。

1.3　标准溶液配制

准确称取 *L*-酒石酸标准品 0.1000 g(精确至 0.0001 g), 用水溶解并定容至 100 mL, 配制成质量浓度为 1000 mg/L 的标准储备液, 于 4 ℃避光保存。临用前用水稀释成 0.1、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.5 mg/L 的标准工作溶液系列。

1.4　样品前处理

样品制备方式参考 GB 5009.42—2025《食品安全国家标准 食用盐指标的测定》, 用食物粉碎机粉碎至 2 mm 以下的均匀试样, 装入洁净容器, 密封并做好标识, 室温保存。准确称取 2.5 g(精确至 0.001 g)样品于 50 mL 离心管中, 加入 30 mL 水, 超声溶解 10 min, 加入 2 mL 1 mol/L 氢氧化钠溶液, 涡旋混匀, 静置 5 min 使酒石酸铁充分解离, 用水定容至 50 mL, 摇匀。取适量溶液经 0.22 μm 滤膜过滤, 滤液依次通过两根串联的 Ag 柱净化, 弃去前 10 mL 流出液, 收集后续流出液, 供离子色谱测定。

1.5　色谱条件

淋洗液: KOH 溶液, 由淋洗液自动发生装置在线产生, 浓度 20 mmol/L, 流速 1.0 mL/min; 抑制器: ASRS 300 型阴离子抑制器, 电流 50 mA; 进样量: 25 μL; 柱温: 30 ℃。

1.6 结果计算

样品中酒石酸铁含量按公式(1)计算:

$$X=\frac{(\rho-\rho_0)\times V\times 1000}{m\times 1000}\times 1.74 \quad (1)$$

式中: X 为试样中酒石酸铁的含量, mg/kg; ρ 为由标准曲线得到的试样溶液中酒石酸的质量浓度, mg/L; ρ_0 为由标准曲线得到的空白试样溶液中酒石酸的质量浓度, mg/L; V 为定容体积, mL; m 为试样的质量, g; 1000 为单位换算系数; 1.74 为由酒石酸换算为酒石酸铁的换算系数。计算结果保留 3 位有效数字。

1.7 数据处理

用 ICS-5000+离子色谱仪自带的化学工作站系统自动采集实验数据谱图, 用 WPS Office 2023 软件对实验结果进行统计和分析。

2 结果与分析

2.1 前处理条件优化

2.1.1 解离条件的选择

食用盐中的酒石酸铁在水溶液中以稳定的 $[Fe(OH)_2(C_4H_4O_6)]^-$络离子和游离的 Na^+存在。理论上在强碱条件下可打破配位平衡迫使络离子解离, 释放出酒石酸根。本研究参考 GB 1886.381—2024 附录 A 中的解离条件, 通过在食用盐溶液中加入过量的氢氧化钠溶液, 静置至少 1 h 使得 $Fe(OH)_3$ 充分沉淀, 使酒石酸铁反应分解释放出酒石酸根。实验结果表明, 该解离条件满足检测要求。

2.1.2 净化方式的选择

因食用盐中含有大量的氯离子, 存在污染离子色谱系统的风险[6–10], 需通过有效的净化方式以降低风险。本研究选取 Ag 柱进行净化试验(图 1), 结果表明, 当使用 1 根 Ag 柱时, 样液中仍存在大量氯离子; 将两根 Ag 柱串联使用时, 样液中的氯离子可以得到有效去除。洗脱试验结果表明, 两根 Ag 柱串联使用, 洗脱 20 mL 样液, 后 10 mL 样液回收率均满足要求(98.7%~102.0%)(表 1)。

2.2 色谱分离条件优化

2.2.1 色谱柱的选择

结合酒石酸的化学性质, 参考 GB 5009.157—2016《食品安全国家标准 食品有机酸的测定》以及离子色谱法检测有机酸的相关文献[11–16], 本研究比较了常规使用的 3 种阴离子分析柱 DIONEX IonPac AS19 (4 mm×250 mm)(保护柱 IonPac AG19 4 mm×50 mm)、DIONEX lonPac AS11 (4 mm×250 mm)(保护柱 lonPac AG11 4mm×50 mm)和盛翰 DZ-A-1 (4 mm×250 mm)(保护柱 DZ-G-1 4 mm×50 mm)对酒石酸的分离效果(图 2)。结果表明, 在同一淋洗条件下, 3 种阴离子分析柱对酒石酸均有较好的保留且峰形对称、灵敏度高、特异性好, 因此常规阴离子分析柱均可满足检测要求。本研究选用离子色谱分析中最常用的 IonPac AS19 色谱柱[17–19]。

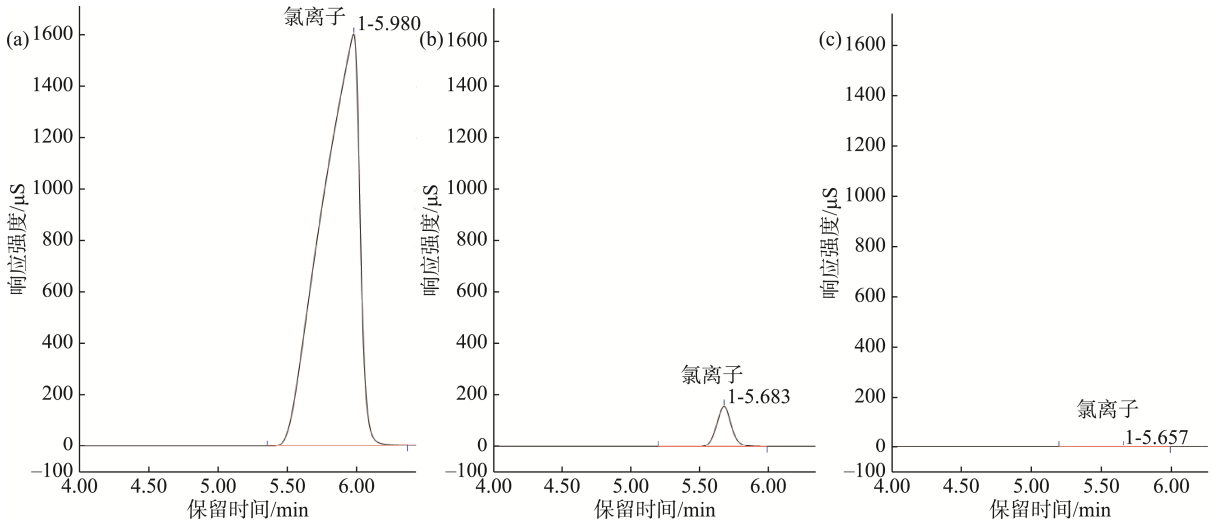


图 1 未使用 Ag 柱(a)、使用 1 根 Ag 柱(b)和串联 2 根 Ag 柱净化效果对比

Fig.1 Comparison of purification effects without using an Ag column (a), using 1 Ag column (b) and connecting 2 Ag columns in series

2.2.2 淋洗液条件的选择与抑制器电流的选择

淋洗液的选择和淋洗条件的优化是离子色谱分析中确保分离效果及提高分析效率的关键[20–25]。目前, 氢氧化钠溶液和碳酸钠-碳酸氢钠缓冲液均可通过抑制器的抑制反应生成低电导的化合物是常用的淋洗液体系。本研究比较了在线发生氢氧化钠溶液的等度洗脱和梯度洗脱对目标离子的洗脱效果, 结果显示, 当等度洗脱氢氧化钠浓度为 20 mmol/L, 流速 1.0 mL/min 时, 目标化合物可以与食用盐基质中的氯离子实现有效分离。离子色谱洗脱的抑制器电流通常对应淋洗液浓度所推荐的电流值, 本研究选择 50 mA

为抑制器电流值。

表 1　两根 Ag 柱串联洗脱曲线
Table 1　Elution curve of 2 serially connected Ag columns

添加水平/(mg/kg)	酒石酸浓度/(mg/kg)	洗脱曲线/mL	测得酒石酸浓度/(mg/kg)	回收率/%
50	30	11~12	29.6	98.7
		13~14	29.3	97.7
		15~16	30.3	100.1
		17~18	30.6	102.0
		19~20	30.0	100.0

2.3　线性范围与检出限

L-酒石酸在0.1~1.5 mg/L质量浓度范围内, 线性良好, 线性方程为 Y=0.309X–0.08, 相关系数为 0.9986。GB 2760—2024中规定酒石酸铁在盐及代盐制品中的最大使用量(以酒石酸铁含量计)为 0.106 g/kg; GB 5009.295—2023《食品安全国家标准 化学分析方法验证通则》中规定对于有限量值的目标分析物, 定量限应为限量值的 0.5 倍或以下; 检出限水平下待测物的信噪比不小于 3, 在定量限水平下待测物的信噪比不小于 10。因食用盐中有大量的氯离子, 存在污染离子色谱系统的风险, 同时考虑到方法在实际运用中仪器差别、色谱柱损耗等因素, 为增强方法的适用性, 从而确定当称样量为 2.5 g 时, 本研究的结果以酒石酸铁计, 检出限为 17 mg/kg, 定量限为 50 mg/kg(分别对应酒石酸浓度约为 10 mg/kg、30 mg/kg)。以精制盐(加碘)、精制盐(不加碘)、低钠盐为基质分别进行加标试验(添加 *L*-酒石酸), 平行测定 6 次, 获得目标物的信噪比, 测定结果见表 2。从表 2 可以看出, 3 种基质在检出限水平 17 mg/kg 的平均信噪比分别为 35.2、35.3 和 35.2, 在定量限水平 50 mg/kg 的平均信噪比分别为 162.9、134.3 和 152.5, 符合 GB 5009.295—2023, 可满足检测需求。

2.4　准确度和精密度

以精制盐(加碘)、精制盐(不加碘)、低钠盐为基质分别进行 LOQ、2LOQ 和 5LOQ 3 个水平的加标试验(对应酒石酸浓度约为 30、60、150 mg/kg), 每一添加水平平行测定 6 次, 计算得到加标回收率及精密度, 结果见表 3。结果表明, 3 种基质添加水平在定量限、LOQ、2LOQ 和 5LOQ 时, 回收率介于 86.1%~107.9%之间, 相对标准偏差介于 0.45%~2.71%之间; 符合 GB 5009.295—2023 技术要求。

2.5　方法特异性

食用盐中除主要成分氯化钠外, 还会加入碘强化剂(如碘化钾、碘酸钾)和抗结剂(如亚铁氰化钾)[26–30]。实验室选取 3 种市售样品——精制盐(添加亚铁氰化钾)、低钠盐(添加亚铁氰化钾)和精制盐(添加碘酸钾和亚铁氰化钾)进行检测, 其谱图分别与 0.4 mg/L 的 *L*-酒石酸标准物质(约相当于食用盐样品中酒石酸铁含量为 70 mg/kg)谱图进行叠加(图 3), 均未发现对目标物的干扰, 表明该方法具有良好的特异性。

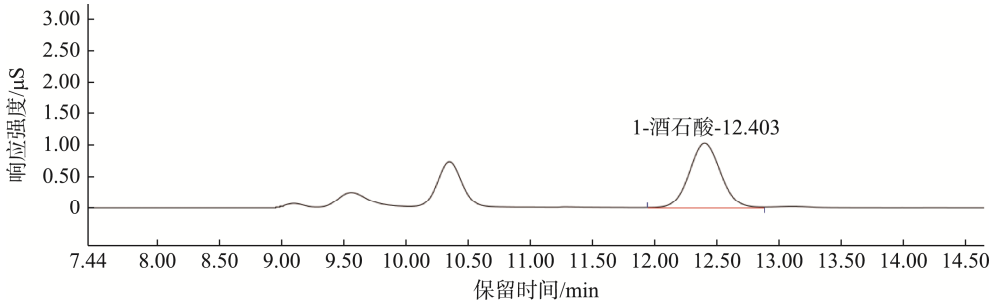


图 2　*L*-酒石酸标准溶液离子色谱图(1.0 mg/L)
Fig.2　Ion chromatogram of *L*-tartaric acid standard solution (1.0 mg/L)

表 2　方法检出限和定量限对应的信噪比(n=6)
Table 2　Determination of limit of detection and limit of quantitation of the method (n=6)

基　质	添加水平/(mg/kg)	信噪比						
		1	2	3	4	5	6	平均值
精制盐(加碘)	17	37.5	43.8	35.9	32.5	33.0	28.3	35.2
	50	162.8	161.5	161.7	183.3	153.5	154.8	162.9
精制盐(不加碘)	17	33.1	35.9	32.6	45.8	31.3	33.0	35.3
	50	169.2	123.5	113.9	102.9	146.3	150.0	134.3
低钠盐	17	29.8	40.0	38.2	31.6	30.8	40.6	35.2
	50	153.3	86.0	160.5	117.5	198.2	199.4	152.5

表 3 不同基质回收率及精密度(*n*=6)
Table 3 Recoveries and precisions in different matrices (*n*=6)

基质	添加水平/mg/kg	平均回收率/%	相对标准偏差/%
精制盐(加碘)	50	86.1	0.45
	100	90.2	1.65
	250	107.9	0.52
精制盐(不加碘)	50	95.9	2.71
	100	98.0	0.95
	250	103.0	0.68
低钠盐	50	97.9	2.52
	100	99.8	1.28
	250	106.8	0.75

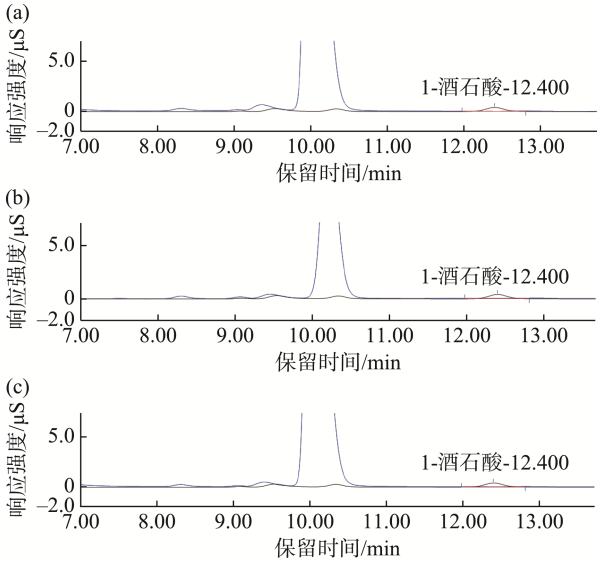


图 3 精制盐(添加亚铁氰化钾)(a)、低钠盐(不加碘)(b)和精制盐(添加碘酸钾和亚铁氰化钾)(c)分别与 0.4 mg/L *L*-酒石酸标准物质叠加色谱图

Fig.3 Overlaid chromatograms of refined salt (with potassium ferrocyanide) (a), low-sodium salt (iodine-free) (b), refined salt (added with potassium iodate and potassium ferrocyanide) (c) and 0.4 mg/L *L*-tartaric acid standard

2.6 协同验证

本研究按照方法验证要求，选择了 3 家技术确认机构(重庆海关技术中心、西安海关技术中心和合肥海关技术中心)开展协同验证。验证结果表明(表 4)，3 家实验室的线性决定系数分别为 r^2=0.9986、r^2=0.999 和 r^2=0.9998，平均回收率范围为 94.6%~105.8%，相对标准偏差为 0.540%~4.400%，经验证，该方法操作简便、结果准确可靠，标准曲线性相关系数、方法精密度、回收率满足 GB 5009.295—2023 标准要求。

表 4 代表性样品基质中协同实验室验证数据(*n*=6)
Table 4 Collaborative laboratory validation data in representative sample matrices (*n*=6)

基质	本底值/(mg/kg)	加标浓度/(mg/kg)	平均实测值/(mg/kg)	平均回收率/%	相对标准偏差/%
日晒盐	未检出	50	52.9	105.8	0.540
		106	104.0	98.1	1.200
粉碎洗涤盐(加碘)	未检出	50	47.3	94.6	3.400
		106	101.0	95.3	4.400
精制盐(不加碘)	未检出	50	48.5	96.9	0.674
		106	103.0	97.5	2.900

2.7 实际样品检测

采用本研究建立的方法对市售食用盐样品进行了检测，未发现阳性样品，部分样品检测结果见表 5。

表 5 实际样品检测结果
Table 5 Results of actual sample test results

序号	市售食用盐样品	检测结果
1	精制盐	未检出(<50 mg/kg)
2	天然食用盐	未检出(<50 mg/kg)
3	深井盐	未检出(<50 mg/kg)
4	天然湖盐	未检出(<50 mg/kg)
5	精制盐(加碘盐)	未检出(<50 mg/kg)
6	精制加碘食用盐	未检出(<50 mg/kg)
7	深井碘盐	未检出(<50 mg/kg)
8	绿色食用盐(加碘)	未检出(<50 mg/kg)
9	精制碘盐	未检出(<50 mg/kg)
10	加碘精制岩盐	未检出(<50 mg/kg)
11	加碘深井盐	未检出(<50 mg/kg)
12	未加碘食用盐	未检出(<50 mg/kg)
13	加碘精制食用盐	未检出(<50 mg/kg)
14	低钠盐(加碘)	未检出(<50 mg/kg)
15	低钠盐(未加碘)	未检出(<50 mg/kg)
16	海盐(未加碘)	未检出(<50 mg/kg)
17	自然晶盐(日晒海盐)	未检出(<50 mg/kg)

3 结论与讨论

本研究建立了离子色谱法测定食用盐中酒石酸铁含量的检测方法。该方法具有以下特点：(1)前处理简便，通过加入过量氢氧化钠使酒石酸铁解离，Ag 柱净化去除氯离子干扰；(2)检测灵敏度高，测定结果以酒石酸铁计，检出限为 17 mg/kg，定量限为 50 mg/kg，满足 GB 2760—2024 限量要求；(3)准确性好，加标回收率为 86.1%~107.9%，相对标准偏差小于 3%；(4)特异性强，食用盐中常见添加物对测

定无干扰。该方法适用于精制盐、低钠盐等多种食用盐及其代盐制品中酒石酸铁的测定, 可为国内食用盐食品安全监管提供有效的技术支撑, 为相关检测标准的制定提供重要依据。

参考文献

[1] 徐欢欢, 汪姣玲, 樊振南, 等. 我国食用盐的开发与研究现状[J]. 食品工业, 2022, 43(4): 243–246.
Xu Huanhuan, Wang Jiaoling, Fan Zhennan, et al. Development and research status of edible salt in China [J]. The Food Industry, 2022, 43(4): 243–246.

[2] 李三凤, 齐凯. 国内外食用盐中抗结剂使用限量的对比分析[J]. 中国井矿盐, 2021, 52(1): 6–8.
Li Sanfeng, Qi Kai. Comparative analysis of the limit of use of anticoagulants in edible salt domestic and overseas [J]. China Well and Rock Salt, 2021, 52(1): 6–8.

[3] 赵沁乐, 田宏伟, 万兵, 等. 食用盐结块原因研究及改善措施[J]. 纯碱工业, 2023(6): 6–10.
Zhao Qinyue, Tian Hongwei, Wan Bing, et al. Research on the causes of edible salt agglomeration and improvement measures [J]. Soda Industry, 2023(6): 6–10.

[4] EFSA. Scientific opinion on the safety of sodium tartrate-iron(III) chloride complex as food additive [J]. EFSA Journal, 2015, 13(9): 3980

[5] European Commission. Commission Regulation (EU) 2015/1739 of 28 September 2015 amending Annex II to Regulation (EC) No 1333/2008 of the European Parliament and of the Council and the Annex to Commission Regulation (EU) No 231/2012 as regards the use of iron tartrate as an anti-caking agent in salt and its substitutes (Text with EEA relevance) [EB/OL]. (2015-09-28) [2026-03-16]. https: //www. legislation. gov. uk/eur/2015/1739/contents.

[6] 苏家杰, 孙家豪, 杜磊. 离子色谱法对腌制食品中亚硝酸盐的定量及优化[J]. 广州化学, 2022, 47(4): 76–79.
Su Jiajie, Sun Jiahao, Du Lei. Quantification and optimization of nitrite in pickled foods by ion chromatography [J]. Guangzhou Chemistry, 2022, 47(4): 76–79.

[7] 王娜妮, 寿旦, 张嘉捷, 等. 样品前处理-离子色谱法应用于食品分析的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(5): 1287–1296.
Wang Nani, Shou Dan, Zhang Jiajie, et al. Recent applications of sample pretreatment techniques in food analysis by ion chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2014, 5(5): 1287–1296.

[8] 冷桃花, 万丽佳, 施依文, 等. 乙腈沉淀-离子色谱法测定婴幼儿米粉中硝酸盐和亚硝酸盐[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(10): 4095–4099.
Leng Taohua, Wan Lijia, Shi Yiwen, et al. Determination of nitrate and nitrite in infant rice flour by acetonitrile precipitation-ion chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(10): 4095–4099.

[9] 黄伟乾, 覃天福, 吴俊发, 等. 酶水解-阴离子色谱法联用测定婴幼儿配方奶粉中果聚糖的总含量及平均聚合度[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(23): 9117–9123.
Huang Weiqian, Qin Tianfu, Wu Junfa, et al. Determination of total content and average degree of polymerization of fructan in infant formula milk powder by enzyme hydrolysis-anion chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(23): 9117–9123.

[10] 赵文君, 史晓梅, 吴子毅, 等. 离子色谱法测定糖蜜样品中氯离子、硫酸根和硝酸根含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(24): 9239–9243.
Zhao Wenjun, Shi Xiaomei, Wu Ziyi, et al. Determination of *Chloridion*, sulfate and nitrate in molasses samples by ion chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(24): 9239–9243. [J]. 检验检疫学刊, 2014, 24(1): 41–43.

[11] 陈建华, 陈魏, 胡德聪. 离子色谱法测定低钠盐中有机酸的含量[J]. 检验检疫学刊, 2014, 24(1): 41–43.
Chen Jianhua, Chen Wei, Hu Decong. Determination of organic acid content in low sodium edible salt with ion chromatography [J]. Journal of Inspection and Quarantine, 2014, 24(1): 41–43.

[12] 龙四红, 陈谢花, 李红洲, 等. 离子色谱法测定酸汤中 13 种有机酸的分析方法[J]. 食品科技, 2022, 47(8): 256–263.
Long Sihong, Chen Xiehua, Li Hongzhou, et al. Determination of 13 organic acids in sour soup by ion chromatography [J]. Food Science and Technology, 2022, 47(8): 256–263.

[13] 罗莉, 林培, 雷雨婷. 离子色谱法测定特香型白酒九种有机酸[J]. 酿酒, 2022, 49(4): 97–100.
Luo Li, Lin Pei, Lei Yuting. Determination of nine organic acids in special flavor liquor by ion chromatography [J]. Liquor Making, 2022, 49(4): 97–100.

[14] 穆瑛琦, 吴奕萱, 王逍, 等. 离子色谱-串联质谱法检测酒类产品中 10 种有机酸[J]. 色谱, 2022, 40(12): 1128–1135.
Mu Yingqi, Wu Yixuan, Wang Xiao, et al. Determination of 10 organic acids in alcoholic products by ion chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Chinese Journal of Chromatography, 2022, 40(12): 1128–1135.

[15] 庞敏, 蔡松铃, 刘茜. 葡萄酒中有机酸及其分析方法的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(6): 1588–1593.
Pang Min, Cai Songling, Liu Qian. Research progress on the analysis methods of organic acids in wine [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2019, 10(6): 1588–1593.

[16] 云环, 高峰, 卢晓宇, 等. 一种基于离子色谱-高分辨质谱串接装置的乳品中有机酸筛查方法研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(11): 4348–4354.
Yun Huan, Gao Feng, Lu Xiaoyu, et al. A screening method for dairy organic acids based on a novel ion chromatogram-high resolution mass spectrometry system [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2015, 6(11): 4348–4354.

[17] 陈剑锋, 黄艳桃, 蒙德军. 离子色谱技术在食品检测中的应用[J]. 食品工业, 2026, 47(1): 291–296.
Chen Jianfeng, Huang Yantao, Meng Dejun. The application of ion chromatography technology in food testing [J]. The Food Industry, 2026, 47(1): 291–296.

[18] 邵光印, 郑秀瑾. 离子色谱法同时测定凉白开饮品中痕量溴酸盐、亚硝酸盐和溴化物[J]. 理化检验-化学分册, 2022, 58(10): 1178–1181.
Shao Guangyin, Zheng Xiujin. Simultaneous determination of trace bromate, nitrite and bromide in cool boiled water by ion chromatography [J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part B (Chemical Analysis), 2022, 58(10): 1178–1181.

[19] 王海蓝, 陈引生, 石晶盈. 离子色谱法在食品检测中的研究进展[J].

食品安全质量检测学报, 2013, 4(5): 1437–1444.
Wang Hailan, Chen Yinsheng, Shi Jingying. Progress in ion chromatography in food analysis [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2013, 4(5): 1437–1444.

[20] 杜黎, 皮伟, 陈定, 等. 离子色谱技术在食品安全检测中的应用进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(8): 2543–2549.
Du Li, Pi Wei, Chen Ding, et al. Application progress of ion chromatography in food safety detection [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(8): 2543–2549.

[21] 颉东妹, 王宁丽, 刘笑笑, 等. 微波消解-离子色谱法测定枸杞多糖的含量及组成[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(4): 1065–1072.
Xie Dongmei, Wang Ningli, Liu Xiaoxiao, et al. Determination of the content and composition of *Lycium barbarum* polysaccharides by microwave digestion-ion chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(4): 1065–1072.

[22] 蔡小钦, 侯美玲, 赵博, 等. 离子色谱法测定蜂蜜中松二糖含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(9): 2901–2906.
Cai Xiaoqin, Hou Meiling, Zhao Bo, et al. Determination of turanose in honey by ion chromatography [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2022, 13(9): 2901–2906.

[23] 吴梅, 陈祝军, 陈蓉, 等. 活性炭净化-离子色谱法测定茶水及茶饮料中氟含量及其健康风险评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(1): 44–52.
Wu Mei, Chen Zhujun, Chen Rong, et al. Determination of fluoride content in tea and tea beverage by activated carbon purification-ion chromatography and its health risk assessment [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(1): 44–52.

[24] 陈洁, 邱佩丽, 吴国权, 等. 紫外检测器串联离子色谱法同时测定水产品中9种生物胺含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2026, 17(4): 323–330.
Chen Jie, Qiu Peili, Wu Guoquan, et al. Determination of 9 kinds of biogenic amines content in aquatic products by tandem ion chromatography-ultraviolet detection [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2026, 17(4): 323–330.

[25] 乐胜锋, 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 Shengfeng, Wang Wei, Gao Xia, et al. Characteristics of ion chromatography technology and its application in environmental and food fields [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2016, 7(11): 4333–4340.

[26] 宋悦, 同瑞婷, 任怡, 等. 食盐中亚铁氰化钾含量的测定[J]. 现代食品, 2023, 29(23): 137–139.
Song Yue, Tong Ruiting, Ren Yi, et al. Determination of potassium ferrocyanide content in edible salt [J]. Modern Food, 2023, 29(23): 137–139.

[27] 汤家华, 程乐华. 光度法快速测定食盐中的碘含量[J]. 安徽化工, 2022, 48(5): 107–109.
Tang Jiahua, Cheng Lehua. Photometric method quick determination of iodine in table salts [J]. Anhui Chemical Industry, 2022, 48(5): 107–109.

[28] 刘洪, 张斯益, 吴志华, 等. 富硒低钠盐中碘含量的测定[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(2): 602–606.
Liu Hong, Zhang Siyi, Wu Zhihua, et al. Determination of iodine content in rich-selenium and low-sodium salt [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(2): 602–606.

[29] 孙洋, 李占清, 魏海英. 酸性红褪色分光光度法测定食盐中碘的含量[J]. 中国无机分析化学, 2016, 6(1): 65–68.
Sun Yang, Li Zhanqing, Wei Haiying. Determination of iodine in salts by fading spectrophotometic method with acid red 97 [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2016, 6(1): 65–68.

[30] 蔡丽沙, 冯庆文. 市售食盐中亚铁氰化钾含量的测定[J]. 食品安全导刊, 2020(13): 64–65.
Cai Lisha, Feng Qingwen. Determination of the content of potassium ferrocyanide in commercial salt [J]. Journal of Food Safety Guide, 2020(13): 64–65.

(责任编辑: 蔡世佳 曹岱琳)