

高压离子色谱法快速测定水中 7 种无机阴离子

Rapid determination of seven inorganic anions in water by high pressure ion chromatography

李倩盈^{1,2}黄少漫^{1,2}陈景周^{1,2}梁志森^{1,2}LI Qian-ying^{1,2} HUANG Shao-man^{1,2} CHEN Jing-zhou^{1,2} LIANG Zhi-sen^{1,2}

(1. 广州检验检测认证集团有限公司, 广东 广州 510000; 2. 国家加工食品质量检测中心, 广东 广州 510000)

(1. Guangzhou Inspection and Certification Group Co., Ltd., Guangzhou, Guangdong 510000, China;

2. National Centre for Quality Inspection of Processed Food, Guangzhou, Guangdong 510000, China)

摘要:目的:建立高压离子色谱法快速测定水中氟离子、亚氯酸根离子、氯离子、硝酸根离子、氯酸根离子、溴离子、硫酸根离子 7 种无机阴离子含量的方法。方法:选用 Dionex Integrion 高压离子色谱仪和 Ionpac AS19 色谱分析柱, KOH 淋洗液浓度为 20 mmol/L、流速为 2.00 mL/min 条件下,通过抑制型电导检测器测定水中 7 种无机阴离子含量。结果:7 种无机阴离子在 7 min 内实现分离,该方法的线性相关系数 ≥ 0.999 , 相对标准偏差 $< 2\%$, 7 种阴离子的样品加标回收率为 $95.3\% \sim 105.8\%$ 。结论:该方法具有简便快速、准确灵敏、环保高效等优点,适用于水质分析中 7 种无机阴离子的同时快速测定。

关键词:高压离子色谱;水质;阴离子;快速测定

Abstract: **Objective:** To establish a method for the rapid determination of seven kinds of inorganic anions in water by high pressure ion chromatography (HPIC), including fluoride ion, chlorite ion, chloride ion, bromide ion, nitrate ion, sulfate ion, chlorate ion and chlorate ion. **Methods:** Dionex Integrion high pressure ion chromatography and Ionpac AS19 analytical column were used. Under the conditions of KOH eluent concentration of 20 mmol/L and flow rate of 2.00 mL/min, the content of seven inorganic anions in water was determined by inhibition conductivity detector. **Results:** The results showed that seven kinds of inorganic anions could be separated within 7 min. The linear correlation coefficient of this method was ≥ 0.999 , the relative standard deviation was less than 2%, and the recovery of seven kinds of inorganic anions were $95.3\% \sim 105.8\%$. **Conclusion:** This method has the advantages of simplicity, rapidity, accuracy, sensitivity,

environmentally friendly and high efficiency, which was suitable for the rapid determination of seven inorganic anions in water quality analysis.

Keywords: high pressure ion chromatography (HPIC); water quality; anions; rapid determination

水中含有较多无机阴离子,如氟化物、氯化物、溴化物、硝酸盐、硫酸盐等,此外还可能含有残留的氯酸盐、亚氯酸盐等消毒副产物,当水体中这些离子的含量超过一定浓度时,会对人体健康产生一定的毒害作用或存在潜在影响。例如饮用水含氟量在 0.5 mg/L 左右对人体有益,但长期饮用氟含量 > 1.5 mg/L 的高氟水,却会对人体健康产生不利影响,甚至还会导致氟斑牙和氟骨病^[1-2]。二氧化氯和次氯酸钠是目前市面上消毒效果较好的消毒剂,但在消毒过程中会产生一定含量的消毒副产物,如亚氯酸盐、氯酸盐^[3]。亚氯酸盐可导致人体大脑和行为能力发育迟缓,还会引发溶血性贫血^[4],且亚氯酸盐能将血液中的红细胞氧化变成危害人体健康的正铁血红蛋白^[5];氯酸盐是一种具有一定毒性的无机化合物,不仅会诱发人体肾功能衰竭,还会影响肝功能和免疫反应,被列入致癌物一类^[6]。食品安全国家标准中将亚氯酸盐、氯酸盐列为常规检测项目且限值规定较低,这对痕量亚氯酸盐、氯酸盐的检测技术提出了更高的要求。

目前,水质中无机阴离子的测定方法有分光光度法、化学滴定法和离子色谱法。分光光度法和化学滴定法存在操作繁琐耗时、工作量大、干扰多、灵敏度低等缺点^[7];而离子色谱法具有高灵敏度、高分离度、高选择性等特点,被广泛应用于水质分析中。但在食品安全国家标准中缺乏氟离子、亚氯酸根离子、氯离子、硝酸根离子、氯酸根离子、溴离子、硫酸根离子 7 种阴离子同时检测的方法,难以满足行业对高通量检测的实际需求。

作者简介:李倩盈,女,广州检验检测认证集团有限公司助理工程师。

通信作者:梁志森(1989—),男,广州检验检测认证集团有限公司工程师,博士。E-mail:1061656375@qq.com

收稿日期:2021-05-08

离子色谱法的原理是将带电溶质的离子和分子于固定相上交换,从而实现分离的目的,其主要取决于电荷之间的交互吸引或排斥作用,适用于亲水性的阴离子和阳离子^[8-10],被广泛应用于水质中离子的分析,但其耗时较长^[11-12]。宋小卫等^[13]采用高压离子色谱仪快速测定饮用水中 7 种无机阴离子,但只检测了 7 种饮用水中较常规的无机阴离子,缺乏利用高压离子色谱仪同时检测水中常规无机阴离子与氯酸根离子、亚氯酸根离子两个消毒副产物的方法,难以满足行业对高通量检测的需求。文章拟建立一种利用高压离子色谱仪快速测定水中氟离子、亚氯酸根离子、氯离子、硝酸根离子、氯酸根离子、溴离子、硫酸根离子 7 种无机阴离子含量的测定方法。通过优化分离条件,采用在线发生氢氧化钾淋洗液等度淋洗方式,在高压状态下,实现快速测定,以期在一定程度上弥补常规化学分析法和仪器分析手段的缺陷,满足行业对高通量检测的需求。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

1.1.1 材料与试剂

氟(F^-)、氯(Cl^-)、溴(Br^-)、硝酸根(NO_3^-)、硫酸根(SO_4^{2-})标准溶液:1 000 mg/L(标定值),国家有色金属及电子材料分析测试中心;

次氯酸根(ClO_2^-)标准溶液:1 000 mg/L(标定值),美国 O2si 公司;

氯酸根(ClO_3^-)标准溶液:1 000 mg/L(标定值),美国 O2si 公司;

超纯水:电阻率 $\geq 18.2\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$,美国 Aquapro 公司;

聚醚砜针筒式微孔滤膜过滤器:0.22 μm ,天津市津腾实验设备有限公司;

可调移液器:德国 Brand 公司。

1.1.2 仪器与设备

离子色谱仪:Dionex Integrion HPIC 型,附配 Ionpac AS19 色谱分析柱(4 mm $\times$ 250 mm,7.5 μm)和 Ionpac AG19 保护柱(4 mm $\times$ 50 mm)、KOH 在线电解淋洗液自动发生器、阴离子电导检测器、ASRS-300 自动再生抑制器(4 mm),美国 Thermo 公司;

自动进样器:AS-DV 型,美国 Thermo 公司;

超纯水机:A25-05C 型,美国 Aquapro 公司。

1.2 方法

1.2.1 离子色谱条件 采用 Ionpac AS19 色谱分析柱(4 mm $\times$ 250 mm,7.5 μm);Ionpac AG19 保护柱(4 mm $\times$ 50 mm);KOH 淋洗液浓度 20 mmol/L;柱温 30 $^{\circ}\text{C}$;电导池温度 35 $^{\circ}\text{C}$;流速 2.0 mL/min;抑制器电流 200 mA;定量环进样体积 25 μL 。

1.2.2 标准曲线配制 分别用可调移液器吸取 0,10,20,50,100,200 μL F^- 标准溶液,0,10,20,30,40,100 μL ClO_2^- 、 ClO_3^- 、 Br^- 标准溶液,0,50,100,200,500,1 000 μL Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 标准溶液于 100 mL 容量瓶中定容,得标准系列工作液。

1.2.3 样品试验 样品经 0.22 μm 聚醚砜针筒式微孔滤膜过滤于 5 mL 进样瓶中,通过 AS-DV 型自动进样器进样测定。为了使试验方法具有适用性和真实性,在超纯水中添加特定浓度的 7 种阴离子作为模拟水样,模拟水样中 7 种阴离子及质量浓度分别为 F^- 0.10 mg/L、 ClO_2^- 0.10 mg/L、 Cl^- 4.00 mg/L、 ClO_3^- 0.10 mg/L、 Br^- 0.10 mg/L、 NO_3^- 3.00 mg/L、 SO_4^{2-} 4.00 mg/L,并进行精密度、加标回收率等方法学验证,同时监测生活中 24 批次饮用纯净水、矿泉水、井水以及自来水中 7 种阴离子含量。

1.2.4 回收率计算 在模拟水样中分别添加质量浓度为 0.10,0.10,4.00,0.10,0.10,3.00,4.00 mg/L 的 F^- 、 ClO_2^- 、 Cl^- 、 ClO_3^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 标准溶液,进行加标回收试验,重复测定 8 次取平均值。

1.2.5 精密度计算 按 1.2.4 的方法进行加标回收试验后,进行精密度试验。

1.2.6 数据处理 以离子色谱峰峰面积为纵坐标,质量浓度为横坐标,通过 Chromeleon 7.0 软件获得样品质量浓度。

2 结果与分析

2.1 色谱条件的选择

2.1.1 色谱柱 水中常含有较高浓度的 F^- 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等阴离子,也可能含有较低浓度的 Br^- 以及经消毒后产生较低浓度的 ClO_2^- 和 ClO_3^- ,因此,检测生活饮用水中的阴离子时需要分组检测,而要实现多种不同含量离子的同时测定,则需选择检测范围宽、灵敏度高的分析柱,IonPac AS11 分析柱是常规阴离子分析柱,但柱容量低,弱保留组分分离效果不佳,而由新型超多接枝阴离子交换缩聚物组成的 IonPac AS19 分析柱,柱容量高,亲水性好,对氢氧根淋洗液具有高适用性,可以使用较低浓度的淋洗液,而且对阴离子选择性强^[14]。因此,选用 IonPac AS19 作为快速测定水中 7 种无机阴离子含量的分析柱。

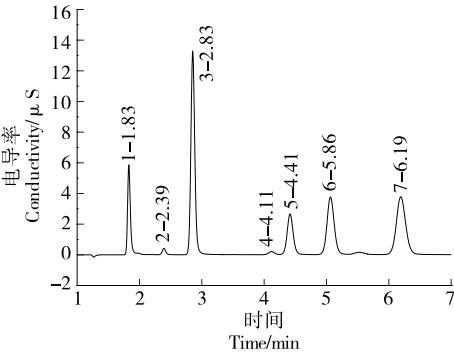
2.1.2 洗脱方式 等度洗脱操作简易,背景电导响应值在程序运行过程中较稳定,开机待仪器稳定后,采用合适的淋洗液浓度即可分离 7 种阴离子,有利于进行批量测定,具有较好的重复性^[14]。因此,采用等度洗脱方式。

2.1.3 淋洗液 氢氧根淋洗液和碳酸盐淋洗液均适用于阴离子的检测。由于碳酸盐淋洗液需要自行配制,且碳酸盐淋洗液经过抑制器后会转变成碳酸,产生较高的背景电导响应值,一般在 18 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 以上,容易影响试验结

果的可重复性,不利于灵敏度要求高的痕量物质检测。氢氧根淋洗液由淋洗液发生器在线自动生成,避免了碳酸盐淋洗液体系电离成 H^+ 和 CO_3^{2-} 带来的污染,从而降低了背景电导响应值,一般在 $0.7\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 以下,噪音小,且淋洗液会转变成水,基线稳定,方法的重现性好,适用于痕量物质的检测。因此,选择 Dionex EGC 500 氢氧化钾淋洗液自动发生器在线产生的氢氧化钾作为淋洗液。

2.1.4 淋洗液浓度 由于水中的阴离子种类繁多,且所含组分的保留性质强弱不一,其容量因子 k 值有较宽的分布范围,若以低强度的淋洗液进行等度洗脱, k 值小的离子会在短时间内流出柱外,且分离度较大;而 k 值大的离子保留时间长,色谱峰变宽,甚至不易被检测^[15];若用高强度的淋洗液进行等度洗脱,弱保留的离子 k 值过小,不能进行有效分离。因此要实现各无机阴离子之间的有效分离,需选择合适的淋洗液洗脱程序才能同时、准确、快速测定7种阴离子^[15]。试验发现,水样在 KOH 淋洗液浓度为 $20\ \text{mmol}/\text{L}$ 的条件下进行等度洗脱,7种阴离子分离效果良好,色谱峰形对称且尖锐。

2.1.5 流速 在相同 KOH 淋洗液浓度下,增加流速,泵压力会升高,目标离子的保留时间会相应缩短,然而提高流速往往会伴随产生较高的柱压,由于仪器均存在一定的耐压限,常规离子色谱仪最大运行压力仅可达 $21\ \text{MPa}$,而采用高压离子色谱仪的最大运行压力可达 $35\ \text{MPa}$ ^[13]。在 KOH 淋洗液浓度为 $20\ \text{mmol}/\text{L}$,抑制器电流为 $200\ \text{mA}$,流速为 $1.00\sim 2.00\ \text{mL}/\text{min}$ 下,对模拟水样进行测定优化最佳流速。试验发现,当流速为 $1.00\ \text{mL}/\text{min}$ 时,色谱柱柱压为 $15\ \text{MPa}$,而随着流速的增加,程序运行时间逐渐缩短,但色谱柱柱压会增高。当流速为 $2.00\ \text{mL}/\text{min}$ 时,色谱柱柱压已高达 $28\ \text{MPa}$,为常规离子色谱仪无法通过此方法实现的快速分析。综合考虑,当流速为 $2.00\ \text{mL}/\text{min}$ 时,7种阴离子分离效果良好,灵敏度、分离度均能满足检测要求,程序运行时间 $< 7\ \text{min}$ (图1)。



1. F^- 2. ClO_2^- 3. Cl^- 4. ClO_3^- 5. Br^- 6. NO_3^- 7. SO_4^{2-}

图1 水中7种阴离子混合标准溶液谱图
Figure 1 Ion chromatogram of mixed standard solution of seven kinds of anions in water

2.2 方法的线性方程、相关系数、检出限及定量限

由表1可知,7种阴离子在配制的浓度范围内线性关系良好,相关系数均 ≥ 0.999 。通过基线测定,在 $1\ \text{min}$ 内响应值变化为 $0.0017\ \mu\text{S}/\text{min}$,检出限、定量限均满足痕量分析需求,7种阴离子的检出限为 $0.0005\sim 0.0063\ \text{mg}/\text{L}$,定量限为 $0.0017\sim 0.0209\ \text{mg}/\text{L}$ 。超纯水中7种阴离子含量分别为 F^- $0.0001\ \text{mg}/\text{L}$ 、 ClO_2^- $0.0015\ \text{mg}/\text{L}$ 、 Cl^- $0.0007\ \text{mg}/\text{L}$ 、 ClO_3^- $0.0035\ \text{mg}/\text{L}$ 、 Br^- $0.0007\ \text{mg}/\text{L}$ 、 NO_3^- $0.0011\ \text{mg}/\text{L}$ 、 SO_4^{2-} $0.0009\ \text{mg}/\text{L}$,均小于试验测得的7种阴离子的检出限。

2.3 方法的回收率及精密度

由表2可知,7种阴离子的回收率为 $94.8\%\sim 105.9\%$,精密密度为 $0.00\%\sim 1.62\%$,表明该方法的回收率和精密度较好,具有较好的准确性和良好的重现性。

2.4 方法应用

运用试验确定的条件对某市本地自来水、井水及从各大超市购买的饮用纯净水、矿泉水进行检测分析,结果如表3所示。由表3可知,饮用纯净水中7种阴离子含量

表1 7种阴离子的线性范围、线性方程、相关系数、检出限、定量限

Table 1 The linear range,linear equation,correlation coefficient,detection limit and quantification limit of seven kinds of anions ($n=8$)

阴离子	线性范围/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	线性方程	相关系数	检出限/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	定量限/($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
F^-	$0.00\sim 2.00$	$y=0.285x-0.005$	0.999 7	0.000 5	0.001 7
ClO_2^-	$0.00\sim 1.00$	$y=0.064x-0.001$	0.999 1	0.002 8	0.009 5
Cl^-	$0.00\sim 10.0$	$y=0.183x-0.019$	0.999 6	0.001 1	0.003 7
ClO_3^-	$0.00\sim 1.00$	$y=0.047x-0.002$	0.999 9	0.006 3	0.020 9
Br^-	$0.00\sim 1.00$	$y=0.054x-0.001$	0.999 6	0.005 5	0.018 5
NO_3^-	$0.00\sim 10.0$	$y=0.096x-0.016$	0.999 0	0.003 8	0.012 8
SO_4^{2-}	$0.00\sim 10.0$	$y=0.124x-0.018$	0.999 3	0.003 8	0.012 6

表 2 7 种阴离子的加标回收率、精密度

Table 2 Recovery and precision of seven kinds of anions (n=8)

阴离子	本底值/ (mg·L ⁻¹)	加标量/ (mg·L ⁻¹)	加标测量值/ (mg·L ⁻¹)	回收率/ %	精密度 RSD/%	阴离子	本底值/ (mg·L ⁻¹)	加标量/ (mg·L ⁻¹)	加标测量值/ (mg·L ⁻¹)	回收率/ %	精密度 RSD/%
F ⁻	0.099 5	0.05	0.147 9	94.8	0.72	Br ⁻	0.100 0	0.05	0.149 1	98.2	0.88
		0.10	0.194 8	95.3	0.54			0.10	0.198 8	98.8	0.00
		0.15	0.247 8	98.9	0.44			0.15	0.249 1	99.4	0.07
ClO ₂ ⁻	0.100 0	0.05	0.148 7	97.4	0.30	NO ₃ ⁻	2.905 8	1.50	4.400 8	99.7	1.62
		0.10	0.198 1	98.1	0.00			3.00	6.006 5	103.4	0.74
		0.15	0.248 8	99.2	0.05			4.50	7.411 0	105.9	0.80
Cl ⁻	3.928 4	2.00	5.929 6	100.1	1.15	SO ₄ ²⁻	3.951 8	2.00	5.929 6	98.9	0.96
		4.00	7.984 1	101.4	0.64			4.00	8.185 3	105.8	0.78
		6.00	9.960 3	100.5	0.66			6.00	9.979 5	100.5	0.82
ClO ₃ ⁻	0.098 6	0.05	0.147 2	97.2	1.50						
		0.10	0.199 5	100.9	1.32						
		0.15	0.249 7	100.7	1.08						

表 3 实际样品 7 种阴离子含量测定结果[†]

Table 3 Determination results of actual sample (n=2) mg/L

样品	F ⁻	ClO ₂ ⁻	Cl ⁻	ClO ₃ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
饮用纯净水 1	0.017	—	0.063	—	—	0.180	0.060
饮用纯净水 2	0.014	—	0.132	—	—	0.170	0.071
饮用纯净水 3	0.013	—	0.067	—	—	0.186	0.103
饮用纯净水 4	—	—	0.033	—	—	0.071	0.029
饮用纯净水 5	0.019	—	0.106	—	—	0.106	0.187
饮用纯净水 6	—	—	0.164	—	—	0.131	0.109
矿泉水 1	0.151	—	3.866	0.043	—	4.931	4.039
矿泉水 2	0.087	0.010	2.955	0.037	0.064	3.869	2.291
矿泉水 3	0.780	0.020	3.760	0.031	—	1.447	4.965
矿泉水 4	0.750	0.047	3.706	0.031	—	1.655	4.984
矿泉水 5	0.092	—	2.601	0.051	0.051	1.725	5.084
矿泉水 6	0.162	—	3.705	—	0.076	5.762	3.056
自来水 1	0.341	0.039	22.658	0.066	0.020	10.663	32.493
自来水 2	0.154	0.019	27.354	—	0.029	8.230	29.291
自来水 3	0.274	0.022	42.483	0.074	0.099	9.532	31.524
自来水 4	0.224	—	17.210	0.072	—	6.897	12.002
自来水 5	0.291	0.027	26.155	0.077	—	10.123	22.594
自来水 6	0.364	—	18.219	—	—	8.817	15.032
井水 1	0.069	—	0.845	—	—	0.053	20.696
井水 2	0.109	—	0.435	—	—	0.827	6.823
井水 3	1.760	—	1.345	—	0.019	—	9.413
井水 4	0.123	—	11.104	—	0.023	14.956	3.155
井水 5	0.067	—	0.958	—	—	0.753	26.615
井水 6	0.729	—	7.301	—	—	11.736	10.013

[†] —表示未检出。

均较低,特别是 ClO_2^- 、 ClO_3^- 和 Br^- 均未达到定量限;而矿泉水中 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 含量相对其他离子含量而言较高;自来水中以 Cl^- 、 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 为主,离子含量均相对较高;井水中均未检出 ClO_2^- 和 ClO_3^- 。综上,某市本地自来水、井水、饮用纯净水、矿泉水均符合现行国家标准。

3 结论

试验表明,采用高压离子色谱法快速测定水中7种阴离子的方法检出限低、回收率高,7 min 内即可完成水中7种阴离子的测定,简便快速,灵敏度高,绿色无污染。在仪器高压条件下进行同时测定,弥补了常压离子色谱法耗时长缺点,避免了多种阴离子分开单一测定的繁琐,满足大批量同时检测水中7种阴离子含量,符合检测行业高通量的实际需求,具有较高的实用价值和较广的发展潜质。而试验中仅对水中7种常规阴离子进行快速测定,并未覆盖试验以外水中其他阴离子,日后将继续完善覆盖水中多离子测定的快速检测方法。

参考文献

- [1] 杨三妹, 邹娟, 谢超, 等. 一种废水去氟工艺中间产物氟离子含量的分析方法[J]. 盐科学与化工, 2021, 50(2): 31-33.
YANG San-mei, ZOU Juan, XIE Chao, et al. An analysis method of fluorine ion content in intermediate product of defluorination process of wastewater[J]. Journal of Salt and Chemical Industry, 2021, 50(2): 31-33.
- [2] 周密, 韩智, 朱正伟, 等. 核磁共振波谱法结合氧弹燃烧测定茶叶中的总氟[J]. 食品与机械, 2021, 37(4): 58-62.
ZHOU Mi, HAN Zhi, ZHU Zheng-wei, et al. Determination of total fluorine in tea by nuclear magnetic resonance spectroscopy combined with oxygen bomb combustion[J]. Food & Machinery, 2021, 37(4): 58-62.
- [3] 雷昊, 谢晶, 乔永祥, 等. 清洗杀菌方式对鲜切杭白菜保鲜效果的影响[J]. 食品与机械, 2016, 32(12): 105-107, 217.
LEI Hao, XIE Jing, QIAO Yong-xiang, et al. Effects of different cleaning sterilization methods on preservation of fresh-cut Hang cabbage[J]. Food & Machinery, 2016, 32(12): 105-107, 217.
- [4] 田立平, 张璐, 王晓波, 等. 测定饮用水中亚氯酸盐和氯酸盐影响因素的研究[J]. 福建分析测试, 2019, 28(4): 44-48.
TIAN Li-ping, ZHANG Lu, WANG Xiao-bo, et al. Study on influence factors of chlorite and chlorate in drinking water[J]. Fujian Analysis & Testing, 2019, 28(4): 44-48.
- [5] 张锋, 甄诚, 王若男, 等. 游泳池水中氯化消毒副产物的离子色谱测定法[J]. 职业与健康, 2017, 33(12): 1 613-1 615, 1 622.
ZHANG Feng, ZHEN Cheng, WANG Ruo-nan, et al. Determination of chlorinated disinfection by-products in swimming pool water by ion chromatography [J]. Occupation and Health, 2017, 33 (12): 1 613-1 615, 1 622.
- [6] 桑绍纯, 张佳颖, 王震, 等. 氢氧根淋洗离子色谱法测定水中亚氯酸盐和氯酸盐[J]. 中国城乡企业卫生, 2021, 36(1): 80-82.

- SANG Shao-chun, ZHANG Jia-ying, WANG Zhen, et al. Determination of chlorite and chlorate in water by hydroxide elution ion chromatography[J]. Chinese Journal of Urban and Rural Enterprise Hygiene, 2021, 36(1): 80-82.
- [7] 胡克生. 离子色谱法测定饮用水中9种阴离子的含量[J]. 食品安全导刊, 2016(36): 146-147.
HU Ke-sheng. Determination of nine anions in drinking water by Ion Chromatography[J]. China Food Safety Magazine, 2016(36): 146-147.
- [8] 郑少娜. 离子色谱法在饮用水水质检测中的应用[J]. 广东化工, 2012, 39(7): 167-168.
ZHENG Shao-na. Application of ion-chromatography technique in drinking water quality detection[J]. Guangdong Chemical Industry, 2012, 39(7): 167-168.
- [9] 林莉. 离子色谱法应用于饮用水水质检测意义分析[J]. 中国卫生产业, 2018, 15(8): 141-142.
LIN Li. Analysis of significance of chromatography of ions in the Test of drinking water quality[J]. China Health Industry, 2018, 15 (8): 141-142.
- [10] 程云辉, 毛田米, 黄璐, 等. 大米肽中压离子交换色谱分离及其免疫活性评价[J]. 食品与机械, 2018, 34(3): 151-155.
CHENG Yun-hui, MAO Tian-mi, HUANG Lu, et al. Isolation and identification of immunoactive peptides from rice protein hydrolysates with medium-pressure ion exchange chromatography[J]. Food & Machinery, 2018, 34(3): 151-155.
- [11] 陈景周, 李樑, 黄少漫, 等. 高压离子色谱法快速测定饮用水中溴酸盐和亚硝酸盐[J]. 食品与机械, 2020, 36(7): 63-66.
CHEN Jing-zhou, LI Liang, HUANG Shao-man, et al. Quickly determination of bromate and nitrite in drinking water by high pressure ion chromatography[J]. Food & Machinery, 2020, 36(7): 63-66.
- [12] ZHU Bing-hui, ZHONG Zhi-xiong, YAO Jing. Ion chromatographic determination of trace iodate, chlorite, chlorate, bromide, bromate and nitrite in drinking water using suppressed conductivity detection and visible detection[J]. Journal of Chromatography A, 2006, 1 118(1): 106-110.
- [13] 宋小卫, 高立红, 史亚利, 等. 高压离子色谱法快速测定饮用水中7种无机阴离子[J]. 色谱, 2016, 34(10): 968-971.
SONG Xiao-wei, GAO Li-hong, SHI Ya-li, et al. Rapid determination of seven inorganic anions by high pressure ion chromatography in drinking water[J]. Chinese Journal of Chromatography, 2016, 34(10): 968-971.
- [14] 许东海. 离子色谱法同时测定包装饮用水中痕量溴酸盐和亚硝酸盐[J]. 职业卫生与病伤, 2017, 32(1): 47-50.
XU Dong-hai. Simultaneous determination of trace bromate and nitrite in packaged drinking water by ion chromatography[J]. Journal of Occupational Health and Damage, 2017, 32(1): 47-50.
- [15] 郭爱华, 王玮, 袁佗, 等. 离子色谱法同时测定饮用水中11种无机阴离子[J]. 化学分析计量, 2015, 24(4): 32-35.
GUO Ai-hua, WANG Wei, YUAN Tuo, et al. Simultaneous determination of eleven inorganic anions in drinking water by ion chromatography[J]. Chemical Analysis and Meterage, 2015, 24(4): 32-35.