

离子色谱 - 电导检测法测定饮用水中 13 种阴离子的研究

王永根¹, 陈淑莎¹, 王剑波¹, 沈飙², 赵家平², 费栋³

(1. 浙江省平湖市疾病预防控制中心, 浙江平湖 314200; 2. 浙江省平湖市水务投资有限公司, 浙江平湖 314200; 3. 瑞士万通中国有限公司上海公司, 上海 200335)

[摘要] 目的: 建立一种离子色谱 - 电导检测方法, 用于同时测定饮用水中 13 种阴离子含量。方法: 选用 Metrosep A Supp 5 - 250 阴离子分析色谱柱, 结合 Metrosep A Supp 1 Guard 保护柱, 淋洗液为 3.2 mmol/L Na₂CO₃ - 1.0 mmol/L NaHCO₃, 流速 0.7 ml/min, 进样 100 μl。结果: 在一定的浓度范围内, 各待测物线性关系良好 ($r > 0.999$)。检出限低 (0.0003 mg/L ~ 0.0134 mg/L), 采用高、中、低三个浓度加标回收, 回收率在 93% ~ 104% 间。结论: 该方法简便、灵敏、准确, 一次进样能同时分离测定饮用水中 13 种阴离子, 能满足我国现行的《生活饮用水卫生标准》水质检测的要求。

[关键词] 离子色谱; 电导检测; 饮用水; 13 种阴离子

[中图分类号] O657.11

[文献标识码] A

[文章编号] 1004 - 8685(2012)07 - 1495 - 05

Ion chromatography - conductivity detection for the determination of 13 kinds of anions in drinking water

WANG Yong - gen¹, CHEN Shu - sha¹, WANG Jian - bo¹, SHEN Biao², ZHAO Jia - ping², FEI Dong³

(1. Pinghu Center for Disease Control and Prevention, Pinghu 314200, China; 2. Pinghu Water Group Inc., Pinghu 314200, China; 3. Shanghai Branch of Metrohm Co., Ltd., Shanghai 200335, China)

[Abstract] **Objective:** To establish an ion chromatography - conductivity detection method for the simultaneous determination of 13 kinds of anion content in the drinking water. **Methods:** Metrosep A Supp 5 - 250 Anion analysis column and Metrosep A Supp 1 Guard column were employed with 3.2 mmol/L Na₂CO₃ - 1.0 mmol/L NaHCO₃ as eluent, flow rate was 0.7 ml/min, injection was 100 μl. **Results:** Within a certain concentration range, all the analytes had a good linear relationship ($r > 0.999$), low detection limit (0.0003 mg/L ~ 0.0134 mg/L), with high, medium and low concentrations of spiked recovery, recoveries were between 93% ~ 104%. **Conclusion:** The method is simple, sensitive and accurate, it can separate 13 anions in drinking water simultaneously in one injection and meet the test requirements of current "Hygienic standard for drinking water".

[Key words] Ion Chromatography; Conductivity detection; Drinking water; 13 anions

生活饮用水中的阴离子种类繁多。对阴离子的分析过去一直是沿用经典的容量法、重量法和光度法等, 这些方法大多操作步骤冗长费时, 需要用多种化学试剂, 灵敏度低而且有干扰。离子色谱具有快速、灵敏、选择性好和同时测定多组分的优点, 是测定水中无机阴离子的首选方法^[1]。GB/T 5750 - 2006《生活饮用水标准检验方法》中用离子色谱检测的有 4 个无机非金属指标: F⁻、Cl⁻、NO₃⁻、SO₄²⁻ 和 3 个消毒副产物指标: ClO₂⁻、BrO₃⁻、ClO₃⁻。文献^[2]在上述 7 种指标的基础上, 增加了 NO₂⁻、PO₄³⁻ 和 Br⁻ 测定; 文献^[3]又增加了 S²⁻ 和 SO₃²⁻ 测

定。由于经济发展所带来的环境污染加剧, 生活饮用水在制水过程往往经过深度处理, 在此过程中极易反应生成对人体健康不利的消毒副产物。近年来, 用离子色谱法测定饮用水中消毒副产物日益受到重视^[4-7]。本项目根据生活饮用水卫生标准的要求, 结合深度处理自来水消毒副产物的特点, 采用离子色谱 - 电导检测法, 建立了一次进样完成对 F⁻、Cl⁻、NO₂⁻、Br⁻、NO₃⁻、PO₄³⁻、SO₄²⁻、I⁻ 八种常见离子和 ClO₂⁻、ClO₃⁻、BrO₃⁻、二氯乙酸 (DCAA)、三氯乙酸 (TCAA) 五种主要消毒副产物, 共计 13 种阴离子的同时测定。应用于生活饮用水检测, 结果满意。

[基金项目] 平湖市科技计划项目 (2010 - 53)

[作者简介] 王永根 (1965 -), 男, 大学, 副主任技师, 主要从事卫生理化检验工作。

1 材料与方法

1.1 仪器和试剂

离子色谱仪(瑞士万通 861 Compact IC);自动进样器(瑞士万通 863 Compact IC Auto sampler);电导检测器;IC Net 2.3 工作站;在线渗析/超滤系统。

超纯水:电阻率为 18.2 MΩ · cm; Na₂CO₃、NaHCO₃、H₂SO₄ 均为国产 GR 级试剂。标准溶液中溴酸盐、氯酸盐、亚氯酸盐、二氯乙酸和三氯乙酸购自天津市光复精细化工研究所,其余标准购自上海计量测试研究院,为国家有证标准物质。

1.2 色谱试验条件

色谱柱: Metrosep A Supp 5 - 250 阴离子色谱柱、结

合 Metrosep A Supp 1 Guard 保护柱;淋洗液浓度: 3.2 mmol/L Na₂CO₃ - 1.0 mmol/L NaHCO₃; 抑制器: MSM II 化学抑制器 + MCS 二氧化碳抑制器;淋洗液流速: 0.7 ml/min;再生液浓度: 50 mmol/L 硫酸溶液;进样体积: 100 μl。

1.3 标准曲线的制作

分别取 13 种标准溶液的贮备液,按表 1 用超纯水稀释成不同浓度的混合标准系列,自动进样器进样,进行标准曲线的测定。以色谱峰面积 A 对离子的质量浓度 C mg/L 进行线性回归,结果见表 1。13 种阴离子的色谱分离情况见图 1。

表 1 13 种阴离子标准曲线

离子	标准 1(mg/L)	标准 2(mg/L)	标准 3(mg/L)	标准 4(mg/L)	标准 5(mg/L)	回归方程	相关系数
F	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00	C = 206.4930A + 2.9254	r = 0.9999
峰面积(μs/cm* min)	20.69	44.65	107.34	212.38	414.24		
ClO ₂	0.50	1.00	2.00	4.00	6.00	C = 46.7914A - 7.4589	r = 0.9999
峰面积(μs/cm* min)	17.59	37.86	84.47	179.65	273.82		
BrO ₃	0.005	0.010	0.020	0.040	0.060	C = 196.4605A - 0.2502	r = 0.9997
峰面积(μs/cm* min)	0.851	1.69	3.61	7.48	11.64		
Cl	5.00	10.0	25.0	50.0	100	C = 98.6490A + 22.1784	r = 1.000
峰面积(μs/cm* min)	506.4	1010.6	2482.2	4977.6	9877.4		
NO ₂	0.05	0.10	0.20	0.50	1.00	C = 39.5825A + 0.8845	r = 0.9999
峰面积(μs/cm* min)	1.99	4.19	10.67	20.52	40.28		
DCAA	0.05	0.10	0.25	0.50	1.00	C = 39.2964A - 0.8606	r = 0.9993
峰面积(μs/cm* min)	1.60	3.25	8.67	17.96	38.88		
ClO ₃	0.25	0.50	1.25	2.50	5.00	C = 35.9090A - 0.3211	r = 1.000
峰面积(μs/cm* min)	8.33	17.68	44.55	90.01	178.96		
Br	0.25	0.50	1.25	2.50	5.00	C = 28.8180A + 2.4835	r = 0.9995
峰面积(μs/cm* min)	8.94	17.54	37.14	77.60	145.27		
NO ₃	0.50	1.00	2.50	5.00	10.0	C = 241.6549A - 16.6948	r = 0.9993
峰面积(μs/cm* min)	120.737	244.07	584.51	1130.7	2428.3		
PO ₄	0.50	1.00	2.50	5.00	10.0	C = 31.9072A - 2.8555	r = 0.9999
峰面积(μs/cm* min)	13.97	29.82	76.82	153.78	317.57		
SO ₄	5.00	10.0	25.0	50.0	100	C = 72.2968A + 5.6827	r = 1.000
峰面积(μs/cm* min)	360.44	736.41	1812.8	3619.8	7174.8		
TCAA	0.10	0.20	0.50	1.00	2.00	C = 28.3295A - 0.05643	r = 0.9999
峰面积(μs/cm* min)	2.98	5.67	14.16	27.70	56.86		
I	0.25	0.50	1.25	2.50	5.00	C = 20.9437A - 1.8449	r = 0.9999
峰面积(μs/cm* min)	5.11	10.964	24.59	49.98	103.1		

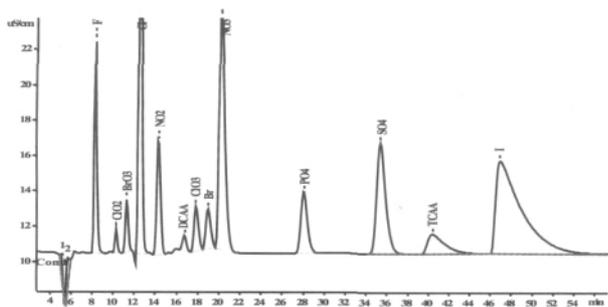


图 1 13 种阴离子标准溶液测定色谱图

1.4 水样测定

水样经在线超滤后直接用于测定。将样品色谱图与标样色谱图进行比较,根据保留时间进行定性分析,根据峰面积用标准曲线法计算水样中各组分的含量。水样测定见图 2。

2 结果与讨论

2.1 测定指标的确立

由于生活饮用水标准中一些指标的标准值很低,如二氯乙酸只有 5 μg/L、溴酸盐为 10 μg/L,需要大体积进

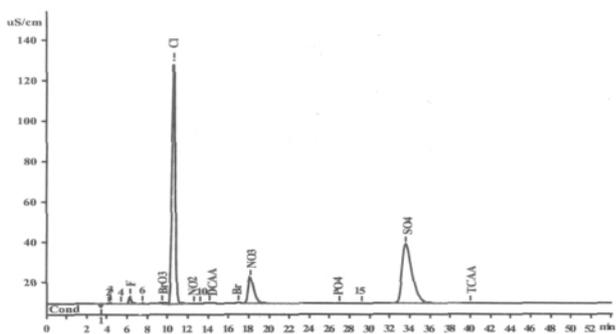


图 2 饮用水中 13 种阴离子测定

样。但饮用水中一些阴离子含量又较高(像氯化物、硝酸盐、硫酸盐等)在上述柱子固定和不具备梯度淋洗的条件下,项目采用了 100 μ l 的较大体积进样,以满足不同的检测对象。同时,采用 3.2 mmol/L Na_2CO_3 - 1.0 mmol/L NaHCO_3 的淋洗液、0.7 ml/min 的流速的测定条件,在查阅相关文献后,对生活饮用水中 18 种阴离子进行一次进样测定试验,包括: 11 种常见的无机阴离子 (F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 S^{2-} 、 SO_3^{2-} 、 NO_3^- 、 CN^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 I^-), 二种二氧化氯消毒主要副产物 (ClO_2^- 、 ClO_3^-), 一种臭氧消毒的主要副产物 (BrO_3^-), 三种氯化消毒的主要副产物 - 卤乙酸 [一氯乙酸 (MCAA)、二氯乙酸 (DCAA)、三氯乙酸 (TCAA)] 和草甘膦。实验结果表明,在上述色谱条件下,一氯乙酸 (MCAA) 对 BrO_3^- 、 S^{2-} 对三氯乙酸 (TCAA)、 SO_3^{2-} 对 SO_4^{2-} 在测定时出峰相近,难以分离,而 CN^- 、草甘膦在上述条件下 70 min 内不出峰。由于生活饮用水 106 项指标中一氯乙酸、 SO_3^{2-} 尚未列入,而 S^{2-} 是非常规指标,相对应的溴酸盐、三氯乙酸、硫酸盐都是常规指标,故本项目最后确定对饮用水中 F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 I^- 八种常见离子和 ClO_2^- 、 ClO_3^- 、 BrO_3^- 、二氯乙酸 (DCAA)、三氯乙酸 (TCAA) 五种主要消毒副产物,共计 13 种阴离子的同时测定。

2.2 淋洗液的确

淋洗液的种类、浓度和有机溶剂的选择加入,可有效改善分离度。在固定流速 0.7 ml/min 时,分别配制 2 mmol/L、4 mmol/L、8 mmol/L Na_2CO_3 以及 3.2 mmol/L: 1.0 mmol/L、6.4 mmol/L: 2.0 mmol/L 的 $\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{NaHCO}_3$ 淋洗液进行试验,从实验结果可知,淋洗液浓度小,各离子的分离效果相对较好,但出峰时间变长。淋洗液浓度增加,出峰时间变短,但分离度变差。淋洗液浓度的改变对二价和三价离子的保留时间的影响大于一价离子。本项目中最后出峰的是一价碘离子,考虑到分离效果最终选择了 3.2 mmol/L Na_2CO_3 - 1.0 mmol/L NaHCO_3 作淋洗液。淋洗液的流速对离子的出峰时间、离子分离度和灵敏度也都有一定的影响。通过对 0.5 ml/min、0.7 ml/min 和 1.0 ml/min 流速进行试验,结果采用 0.7 ml/min 流速的淋洗液能使各组分分离较好,出峰时间也较合适。在被检测指标中的碘离

子的离子半径较大、疏水性强,出峰时间滞在最后,峰形宽且拖尾,本项目中试验了在 3.2 mmol/L Na_2CO_3 - 1.0 mmol/L NaHCO_3 的淋洗液中分别加入不同量的甲醇、丙酮、乙腈来缩短保留时间、改善峰形,结果在上述淋洗液中含 2.5% 甲醇分离 13 种被测组分效果较为理想(见图 1)。

2.3 方法的线性范围、检出限和测定下限

2.3.1 方法的线性范围 分别配制 13 种不同浓度阴离子混合标准液。在上述色谱条件下,根据标准值的要求、方法的检出限和正常水样中的可能浓度,寻找合适的标准曲线线性范围,并制作标准曲线。结果见表 1。

2.3.2 方法的检出限和测定下限 方法检出限 = $(3 \times N/H) \times C^{[8]}$

式中: N - 噪声; H - 峰高; C - 峰高 H 所对应的浓度。基线噪声测定见图 3。基线测定在 0.5 min 内变化为 0.0006 $\mu\text{s}/\text{min}$,以方法检出限 4 倍计算各离子的测定下限。方法的检出限和测定下限见表 2。

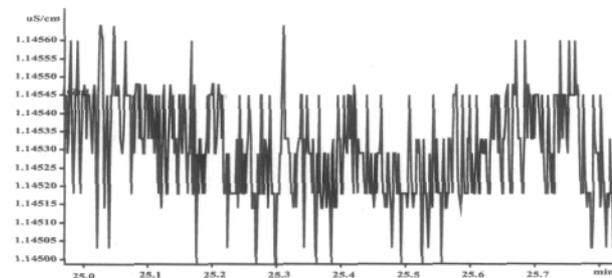


图 3 阴离子测定基线噪声

表 2 13 种阴离子检出限和测定下限测定数据表

离子	浓度 (mg/L)	峰高 ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	检出限 (mg/L)	测定下限 (mg/L)
F	2.00	19.62	0.0002	0.0008
ClO_2	6.00	4.77	0.0022	0.0091
BrO_3	0.06	2.85	0.0004	0.0002
Cl	100	306.9	0.0006	0.0023
NO_2	0.20	11.15	0.00003	0.0001
DCAA	2.00	1.33	0.0027	0.0108
ClO_3	5.00	6.80	0.0013	0.0053
Br	5.00	3.75	0.0024	0.0096
NO_3	10.0	59.3	0.0003	0.0012
PO_4	10.0	7.09	0.0025	0.0101
SO_4	100	87.0	0.0021	0.0083
TCAA	2.00	0.50	0.0072	0.0288
I	5.00	0.67	0.0134	0.0537

2.4 样品测定和方法的精密度、准确度

用本实验条件对生活饮用水(我市古横桥水厂的管网自来水)进行测定,同时用高、中、低不同浓度(标准曲线上限值的 0.9C、0.5C、0.1C)进行加标测定(见图 4)。各连续测定 6 次,计算精密度和回收率,结果见表 3。

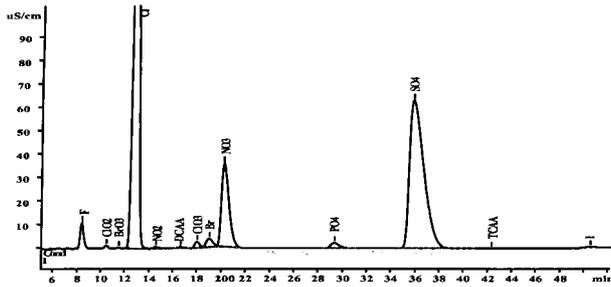


图 4 水样中 13 种阴离子加标(0.5C)测定

3 小结

本项目采用瑞士万通 861 离子色谱仪,配 Metrosup A Supp 5-250 阴离子色谱柱,经过对测定条件、线性范围、检出限、精密度和准确度等试验,建立了一次进样同时测定饮用水中 13 种主要阴离子的测定方法,包括 8 种常见无机阴离子: F^- 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 Br^- 、 NO_3^- 、 PO_4^{3-} 、 SO_4^{2-} 、 I^- 五种主要消毒副产物: ClO_2^- 、 ClO_3^- 、 BrO_3^- 、二氯乙酸(DCAA)、三氯乙酸(TCAA)。其结果应用于实际水样测定,能满足生活饮用水卫生标准的检测要求,结果满意。

表 3 精密度、准确度测试数据表(n=6)

样品	离子	本底值(mg/L)	加入量(mg/L)	测定值(mg/L)	RSD(%)	回收率范围(%)	平均回收率(%)
自来水加标高浓度(0.9C)	F	0.536	1.80	2.326	1.27	97.5-101.2	99.4
	ClO ₂	<0.002	4.50	4.435	1.98	94.8-104.6	98.4
	BrO ₃	0.008	0.054	0.060	2.84	94.7-101.9	96.7
	Cl	56.66	90.00	146.73	0.40	98.7-102.1	100.1
	NO ₂	0.010	0.18	0.185	1.02	98.4-101.6	98.9
	DCAA	0.045	0.90	0.928	4.15	96.3-103.9	98.1
	ClO ₃	<0.003	4.50	4.262	1.93	94.4-101.2	96.3
	Br	0.078	4.50	4.598	1.83	97.9-103.2	100.6
	NO ₃	4.33	9.00	13.28	0.62	98.7-100.9	99.3
	PO ₄	0.41	9.00	9.352	1.85	97.6-102.1	99.6
	SO ₄	54.69	90.00	146.3	0.72	98.7-103.6	101.8
	TCAA	<0.007	1.80	1.727	3.41	91.6-99.7	95.9
	I	<0.013	4.50	4.456	1.23	96.7-100.5	98.9
自来水加标中浓度(0.5C)	F	0.536	1.00	1.543	1.13	98.8-101.4	100.7
	ClO ₂	<0.002	2.50	2.441	2.55	95.7-104.2	97.6
	BrO ₃	0.008	0.03	0.036	3.36	92.7-102.9	96.7
	Cl	56.66	50.00	106.66	0.93	97.7-100.5	98.9
	NO ₂	0.010	0.10	0.111	1.59	98.8-101.3	100.4
	DCAA	0.045	0.50	0.529	3.96	93.3-101.9	96.8
	ClO ₃	<0.003	2.50	2.384	2.06	94.2-99.3	95.4
	Br	0.078	2.50	2.546	1.92	97.9-103.2	98.7
	NO ₃	4.33	5.00	9.414	0.47	97.9-100.1	98.4
	PO ₄	0.41	5.00	5.312	2.16	98.6-104.1	102.0
	SO ₄	54.69	50.00	104.2	0.36	98.7-103.6	98.9
	TCAA	<0.007	1.00	0.961	3.22	91.6-101.7	96.1
	I	<0.013	2.50	2.462	1.99	96.7-100.5	98.5
自来水加标低浓度(0.1C)	F	0.536	0.20	0.741	3.06	97.2-106.3	101.5
	ClO ₂	<0.002	0.50	0.479	3.89	91.5-101.2	95.8
	BrO ₃	0.008	0.006	0.014	5.89	90.1-107.5	96.7
	Cl	56.66	10.00	66.88	0.83	98.3-103.4	102.0
	NO ₂	0.010	0.02	0.026	3.43	93.4-103.1	95.7
	DCAA	0.045	0.10	0.137	4.58	90.8-97.9	92.5
	ClO ₃	<0.003	0.50	0.467	4.45	91.2-101.5	93.5
	Br	0.078	0.50	0.591	3.65	95.7-107.4	102.6
	NO ₃	4.33	1.00	5.307	0.69	93.5-102.4	97.7
	PO ₄	0.41	1.00	1.169	2.88	94.8-103.2	96.9
	SO ₄	54.69	10.0	64.73	0.86	98.1-103.2	100.4
	TCAA	<0.007	0.20	0.190	4.62	91.6-99.7	94.8
	I	<0.013	0.50	0.521	4.69	93.5-109.3	104.2

注:本底值中小于方法检出限的均以“0”计算回收率

(下转第 1501 页)

~4.0 μg/L 范围内,丙烯酰胺的线性方程为 $Y = 21968X + 10219$ $r = 0.9998$ 。若化妆品取样量为 1.000 g,以信噪比为 10 估算,化妆品中丙烯酰胺的定量限(LOQ)为 0.01 mg/kg。

2.6 回收率和精密度

为了验证方法的准确性和可靠性,以经测定不含有丙烯酰胺的霜、水剂、面膜(胶)、粉、唇膏等不同类型的化妆品样品为基质,添加不同浓度的标准溶液,按照上述方法用气相色谱进样测定,分别进行加标回收率和精密度的测定。在 0.05 mg/kg ~ 0.20 mg/kg 范围内 3 个添加水平的平均回收率为 78% ~ 94.5%,每个添加浓度平行测定 6 次,相对标准偏差为 4.3% ~ 10.4% (见表 1)。

表 1 不同加标水平下丙烯酰胺的加标回收率和相对标准偏差 (n = 6)

样品	加标量 (mg/kg)	测定值 (mg/kg) $\bar{x} \pm s$	RSD (%)	回收率 (%)
霜	0.05	0.041 ± 0.0031	7.6	82
	0.10	0.092 ± 0.0063	6.8	92
	0.20	0.185 ± 0.0096	5.2	92.5
水剂	0.05	0.047 ± 0.0029	6.2	94
	0.10	0.096 ± 0.0051	5.3	96
	0.20	0.187 ± 0.0089	4.8	93.5
面膜(胶)	0.05	0.04 ± 0.0041	10.3	80
	0.10	0.089 ± 0.0093	10.4	89
	0.20	0.176 ± 0.0123	7.0	88
粉	0.05	0.046 ± 0.0031	6.7	92
	0.10	0.093 ± 0.0050	5.4	93
	0.20	0.189 ± 0.0082	4.3	94.5
唇膏	0.05	0.039 ± 0.0038	9.7	78
	0.10	0.084 ± 0.0059	7.0	84
	0.20	0.164 ± 0.0111	6.8	82

3 结语

本文建立了固相萃取-衍生化-气相色谱法测定化妆品中丙烯酰胺,并对霜、水剂、面膜(胶)、粉、唇膏等不同类型的多种化妆品样品进行了测定,对影响方法测量的多种因素进行了全面的研究,获得了满意的结果。研究表明,该方法简单、准确、灵敏,可满足国内外法规对相关产品的限量要求,与现有的标准方法相比,其所用仪器较为简单,技术不复杂,易于推广普及,可用于化妆品中丙烯酰胺残留状况的监测工作和产品质量控制。

[参考文献]

[1] Matthias Baum, Evelyne Fauth, Silke Fritzen *et al.* Acrylamide and glycidamide: genotoxic effects in V792 cells and human blood [J]. Mutation research, 2005, 580(1-2): 61-69.

[2] Adler ID, Schmid TE, Baumgartner A. Induction of aneuploidy in male mouse germ cells detected by the sperm-FISH assay: a review of the present data base [J]. Mutation research, 2002, 504(1-2): 173-182.

[3] Ruden C. Acrylamide and cancer risk - expert risk assessments and the public debate [J]. Food and chemical toxicology, 2004, 42(3): 335-349.

[4] Ahmad B, Gerd P. Genotoxicity of Acrylamide and Glycidamide [J]. J Natl Cancer Inst, 2004, 96(13): 1023-1029.

[5] International Agency for Research on Cancer. Acrylamide [J]. IARC Monogr Eval Carcinogen Humans, 1994, 60: 389-433.

[6] Pepe RC, Wenninger JA, McEwen GN Jr. International cosmetic ingredient dictionary and handbook [M]. 9th ed. Vol 2. Washington, DC: CTFA, 2002.

[7] 卫生部. 化妆品卫生规范 [S]. 北京: 中华人民共和国卫生部, 2007.

[8] Q&A minute amount residual acrylamide found in cosmetics [EB/OL]. http://www.cosmetic.org.hk/index.php?option=com_content&task=view&id=90&Itemid=78.

[9] Cosmetic Ingredient Review: Quick Reference Table. [2009-02-15] [EB/OL]. http://www.cir-safety.org/staff_files/Reference-Table.pdf.

[10] 关于印发化妆品中丙烯酰胺等禁用物质或限用物质检测方法的 通知 [EB/OL]. <http://www.sda.gov.cn/WS01/CL0846/58801.html>.

(收稿日期: 2012-02-15)

(上接第 1498 页)

[参考文献]

[1] 牟世芬, 刘克纳, 丁晓静. 离子色谱方法及应用 [M]. 第 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2005: 5.

[2] 李文杰, 张国棋. 离子色谱同时测定水中 10 种阴离子含量 [J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(11): 2285-2287.

[3] 林华影, 盛丽娜, 李一丹, 等. 离子色谱法同时测定生活饮用水中 12 种无机阴离子 [J]. 中国卫生检验杂志, 2009, 19(10): 2289-2290.

[4] 颜金良, 王立. 离子色谱法快速测定饮用水中 3 种卤乙酸含量研

究 [J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(4): 643-644.

[5] 王红伟, 闫惠珍, 林少彬. 离子色谱法同时测定水中 5 种消毒副产物 [J]. 中国卫生检验杂志, 2009, 19(3): 558-559.

[6] 杨春英, 杭义萍, 钟新林. 离子色谱法同时测定饮用水中 5 种消毒副产物 [J]. 分析化学, 2007, 35(11): 1647-1650.

[7] 王心宇, 魏建荣, 陈斌生, 等. 饮用水中 6 种卤乙酸的离子色谱-电导检测法 [J]. 环境与健康杂志, 2010, 27(8): 706-708.

[8] 张萍. 英蓝渗析-离子色谱法分析奶粉中的硝酸盐-亚硝酸盐 [J]. 中国卫生检验杂志, 2008, 18(12): 2582-2584.

(收稿日期: 2012-03-15)