

光吸收比差-连续流动分析组合技术测定痕量铝

王红艳^{1,2}, 郇洪文²

1. 自旋电子与纳米材料安徽省重点实验室培育基地, 宿州学院化学与生命科学系, 安徽 宿州 234000
2. 同济大学污染控制与资源化研究国家重点实验室, 上海 200092

摘 要 在 pH 5.66 醋酸-醋酸盐缓冲溶液中, Al(III) 和间磺酸基偶氮氯膦(MSCPA) 发生灵敏配位反应。为使 Al(III) 完全反应而过量加入的 MSCPA 会影响 Al-MSCPA 配合物吸光值的准确测定。传统光度法无法解决这个问题。在本工作中, 光谱修正技术的应用消除了上述干扰, 在此 537 和 618 nm 被选定为工作波长。结果表明, 络合物组成比为 Al: MSCPA = 1: 1。新近建立的光吸收比差法(LARVA) 被用于测定痕量 Al(III), 灵敏度可比传统光度法提高 10 倍以上。Al 在 $0 \sim 0.150 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围内光吸收比差值 ΔA_r 与 Al(III) 浓度成正比, Al(III) 的检测限仅 $2 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。多种金属离子对测定无干扰, Fe(III) 和 Cr(III) 的干扰可加入硫脲溶液进行掩蔽。由于配位反应在 2 min 内即可完成且配合物溶液的吸光度至少能稳定 1 h, 因此连续流动分析(CFA) 被应用, 与 LARVA 组合大大提高了分析效率。结果表明 Al(III) 的检测限为 $6.5 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 每小时大约能分析 30 个样品。本工作已测定了两种化学试剂中痕量铝, 回收率在 97.6%~103.5% 之间, 测定结果满意。

关键词 光吸收比差法; 连续流动分析; 痕量铝测定; 间磺酸基偶氮氯膦

中图分类号: O657.3 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2008)12-2961-05

引 言

Al 是人体必需的微量元素之一。但近年来的研究表明, 过量摄入 Al 会引起很多疾病, 如老年痴呆症、唐氏综合症等^[1-3]。常用铝的测定方法有滴定法^[4]、原子吸收法^[5]、原子发射光谱法^[6]、等离子体发射光谱法^[7]、分光光度法^[8]、荧光光谱法^[9]、色谱法^[10] 及电位法^[11] 等。其中分光光度分析具有快速简便、适用性广等优点, 是目前痕量 Al 测定最普遍使用的方法^[12-14]。但常用的光度测 Al 法具有稳定性差、重现性不好、介质酸度、温度影响较大等缺点^[15]。因此研究新的实用测定 Al 的光度法具有重要意义。间磺酸基偶氮氯膦(MSCPA) 曾作为稀土显色剂用于 Th^{4+} 和 Ce^{4+} 的测定^[16]。研究发现在 pH 5.66 时它能与 Al(III) 发生灵敏显色反应, 应用光谱修正技术^[17] 表征了络合物组成比。该反应在硫脲存在下, 方法的选择性得到提高。由于反应体系中会有过量的显色剂, 影响了络合物吸光度测量。本研究采用光吸收比差法^[18-19] 研究了痕量 Al 的定量分析法, 灵敏度高, 准确性好。此外还尝试了该法与连续流动分析装置组合, 实现了在

线显色、测量, 大大提高了分析效率及测定精度。方法已用于 NaCl, NaNO_3 试剂中痕量 Al 的测定。

1 实验部分

1.1 仪器与试剂

S-4100 双光束紫外可见分光光度计 (Scinco Instruments, South Korea); LK2001 FIA 流动注射分析系统 (天津兰力科化学电子技术有限公司); Optima 2100 DV ICP-OES (PerkinElmer Instruments, USA); pH S-25 型酸度计 (上海精密科学仪器有限公司); BS110S 型电子天平 (北京 Sartorius 仪器厂)。

间磺酸基偶氮氯膦(MSCPA) 溶液: $0.070 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$; $1.000 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Al(III) 标准溶液; 一系列醋酸-醋酸盐缓冲溶液: pH 2.86~6.88; 硫脲溶液: $0.50 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; 20% MSPCF-5% 硫脲-50% 缓冲溶液; NaCl 溶液: $2.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$; NaNO_3 溶液: $1.0 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。所用试剂均为分析纯, 实验用水为去离子水。

1.2 实验方法

收稿日期: 2007-05-09, 修订日期: 2007-08-26

基金项目: 国家自然科学基金项目(20477030), 同济大学污染控制与资源化国家重点实验室开放课题(PCRRF07001)和安徽省教育厅自然科学基金项目(KJ2008A062C, KJ2007B013)和安徽省高校青年教师科研资助计划项目(2008jq1138)资助

作者简介: 王红艳, 女, 1973 年生, 宿州学院化学与生命科学系副教授 e-mail: suzhouwh@163.com

在 10 mL 的刻度比色管中依次加入 5.0 mL 试剂溶液, 0.010 mmol 硫脲溶液, 1.0 mL pH 5.66 的醋酸盐缓冲溶液, 0.028 μmol 的 MSCPA 溶液, 用去离子水稀释到刻度, 混合均匀。在室温下以去离子水为参比, 分别测定 537 和 618 nm 下各溶液的吸光度值(即 $A_{537\text{ nm}}$ 和 $A_{618\text{ nm}}$)。与此同时, 配制不含试剂溶液的空白参比溶液, 也以去离子水为参比, 分别测定 537 和 618 nm 下各溶液的吸光度值(即 $A_{537\text{ nm}}^0$ 和 $A_{618\text{ nm}}^0$)。试剂溶液的光吸收比差值(ΔA_r)可以通过下式计算得出:

$$\Delta A_r = \frac{A_{618\text{ nm}}}{A_{537\text{ nm}}} - \frac{A_{618\text{ nm}}^0}{A_{537\text{ nm}}^0} \quad (1)$$

依据光吸收比差法(LARVA)^[20], ΔA_r 和样品溶液中 Al(III) 的浓度(c_{Al} , $\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$)成正比。因此 Al(III) 的浓度可以通过 Al(III) 系列的标准曲线计算得到。

用连续流动分析(CFA)测定 Al(III) 的装置见图 1, 泵 (1) 以 $2\,000\text{ r} \cdot \text{h}^{-1}$ 的速度推动 Al(III) 标准溶液或样品溶液和 MSPCF-硫脲-缓冲溶液进入混合器(2), 充分混合均匀后进入反应器(3), 在这里形成 Al+MSCPA 配合物。然后溶液进入样品池(4), 每 2 min 进行一次吸光度的自动测定。 ΔA_r 可以通过公式(1)计算得到。因此在 1 h 内能够分析 30 个样品。

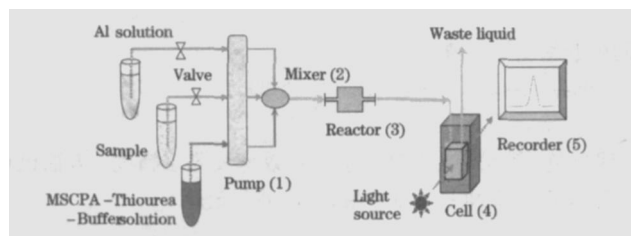


Fig 1 CFA device sketch for continuous determination of Al(III) trace with MSCPA

2 结果与讨论

2.1 pH 对 MSCPA 显色体系的影响

在不同的 pH 条件下, Al(III) 和 MSCPA 反应的灵敏度有所差异。在 7 支 10 mL 具塞比色管中分别加入不同 pH 的醋酸盐缓冲溶液, 一定量的 Al(III) 和 MSCPA 溶液, 以不含 Al(III) 的溶液为参比扫描 Al(III)-MSCPA 配合物的光谱, 结果如图 2 曲线 1 至 7 所示。可以看出配位反应在 pH 4.87 ~ 6.89 之间较灵敏, 但 pH 5.66 时光谱曲线的波峰和波谷处的吸光度值之差最大。这表明在 pH 5.66 时 Al(III) 和 MSCPA 的反应最灵敏。因此选定 pH 5.66 的醋酸-醋酸盐缓冲溶液作为后续实验的最佳 pH 值。在这个 pH 值条件下, 曲线的峰和谷分别为 618 和 537 nm。这 2 个波长被选定用于随后的 Al(III)-MSCPA 配合物的表征。从图中的曲线 8 和 9 可以看出 MSCPA 和 Al+MSCPA 配合物的吸收峰分别位于 552 和 598 nm, 可见配位使光谱红移了 46 nm。

同时研究了反应时间对于 Al+MSCPA 配合物吸收光谱的影响。波峰波谷间吸光度的差值表明反应能在 2 min 内完成。另外配合物溶液的吸光度至少能稳定 60 min。因此, 用

CFA 连续测定 Al(III) 是可行的。

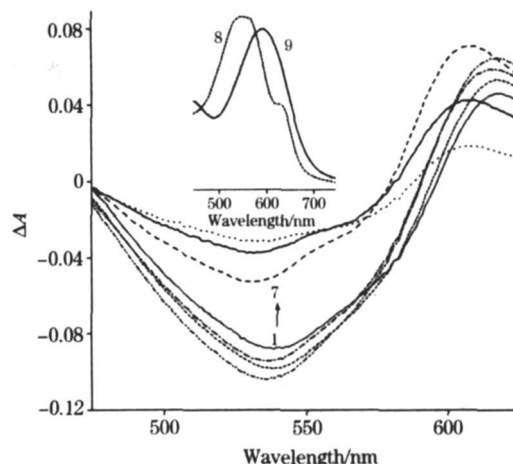


Fig 2 Effect of pH on the absorption spectra of the Al-MSCPA complex solutions

From curve 1 to 7: pH 5.66, 6.35, 4.87, 6.89, 3.61, 2.86 and 4.30; Absorption spectra of MSCPA (curve 8) and Al(III)-MSCPA complex (curve 9)

2.2 Al-MSCPA 配合物组成的表征

在 14 支 10 mL 比色管中分别加入 0~50.0 μg 的 Al(III), 1.0 mL pH 5.66 的醋酸盐缓冲溶液和 0.070 0 μmol 的 MSCPA 溶液, 用去离子水稀释到刻度, 混合均匀。在室温下以去离子水为参比, 分别测定 537 和 618 nm 下各溶液的吸光度值, 光谱修正常数 α 值可由 $\alpha = A_{537\text{ nm}} / A_{618\text{ nm}}$ 计算。

在 9 支 10 mL 比色管中分别加入 0.003 50~0.210 μmol 的 MSCPA 溶液, 1.0 mL pH 5.66 的醋酸盐缓冲溶液, 用去离子水稀释到刻度, 混合均匀。以去离子水为参比, 分别测定 537 和 618 nm 下各溶液的吸光度值(即 $A_{537\text{ nm}}^0$ 和 $A_{618\text{ nm}}^0$), 光谱修正常数 β 值可以通过公式 $\beta = A_{618\text{ nm}}^0 / A_{537\text{ nm}}^0$ 计算得到。

与此同时, 在另外 9 支 10 mL 比色管中也分别加入 1.00 μg 的 Al(III), 1.0 mL pH 5.66 的醋酸盐缓冲溶液, 0.003 50~0.210 μmol 的 MSCPA 溶液, 用去离子水稀释到刻度, 混合均匀。在室温下以上述未加 Al(III) 的溶液为参比, 分别测定 537 和 618 nm 下各溶液的吸光度值(即 $A_{537\text{ nm}}$ 和 $A_{618\text{ nm}}$)。Al+MSCPA 配合物的真实吸光度值(A_c), Al(III) 和 MSCPA 的有效结合分率(η)以及 MSCPA 和 Al(III) 之间的结合比(γ)可以通过以下公式计算得到^[18]:

$$A_c = \frac{A_{618\text{ nm}} - \beta A_{537\text{ nm}}}{1 - \alpha\beta} \quad (2)$$

$$\gamma = \eta \times \frac{c_{\text{L0}}}{c_{\text{M0}}} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{A_c - A_{618\text{ nm}}^0}{A_{618\text{ nm}}^0} + 1 \quad (4)$$

这里 c_{L0} 和 c_{M0} 分别代表 MSCPA 和 Al(III) 的起始摩尔浓度。至此, Al(III)-MSCPA 配合物的组成就能通过 γ 的变化来确定。

Al(III)-MSCPA 配合物在 537 和 618 nm 下吸光度值的比率 $A_{537\text{ nm}} / A_{618\text{ nm}}$ 在 Al(III) 与 MSCPA 的浓度比低于 1:1 $\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ 时随 Al(III) 浓度的增加迅速下降, 这个比值

在 Al(III) 与 MSCPA 的浓度比为 $1.6 \mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ 时达到最低值 0.628 (即 α 值)。这说明此时溶液中的 MSCPA 已经全部与 Al(III) 形成配合物了。

图 3 中曲线 1 显示 MSCPA 与 Al(III) 配合的有效率 η 在初始时从 11% 增加到 82%, 但在 MSCPA 浓度继续增加后它迅速下降。当 MSCPA 的浓度高于 $0.0070 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时, η 降低到约 50%, 这表明溶液中的一半的 MSCPA 没有与 Al(III) 发生反应。毫无疑问, 过多的 MSCPA 不可避免地会影响到配合物真实吸光度的测定和配合物组成的表征。曲线 2 给出了配合物 γ 值的变化, γ 值随着 MSCPA 浓度的增加而增加, 然后逐渐趋近于一个最大值 1。这表明 MSCPA 与 Al(III) 的最大结合比为 1:1。

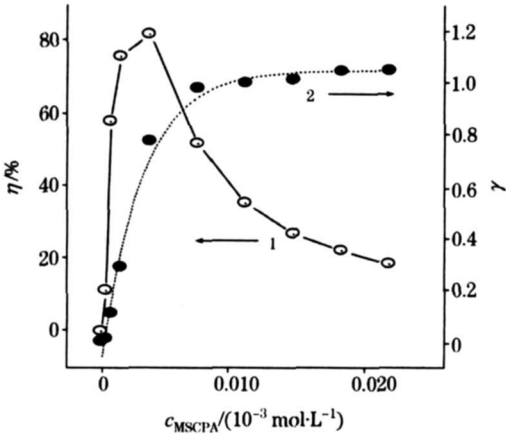


Fig 3 Variations of η (1) and γ (2) of the solutions at pH 5.66 containing $0.100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ Al(III) and an MSCPA concentration from 0.00035 to $0.0210 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

2.3 MSCPA 加入量对光吸收比差值的影响

从图 4 的曲线 1 可以看出, 当 Al(III) 与 MSCPA 的浓度比例维持在 $100:7 \mu\text{g} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$ 时, 配合物溶液的 ΔA_r 在 MSCPA 的浓度超过 $0.00175 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 之后达到稳定状态。从曲线 2 可以看出, 随着 MSCPA 浓度的增加灵敏度因子 $\Delta A_r / c_{\text{Al(III)}}$ 值却逐渐减小, 说明 MSCPA 的加入量越少时

测定 Al(III) 的灵敏度越高。但当 MSCPA 的浓度太低时, 光谱仪机器的噪声干扰非常严重, 因此应该与空白试验联合选择合适的 MSCPA 浓度。

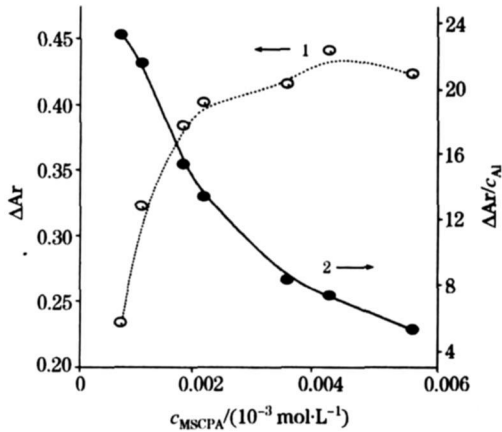


Fig 4 Variation of ΔA_r and $\Delta A_r / c_{\text{Al}}$ of the solutions with the same molar ratio of Al(III) to MSCPA at $100:7 \mu\text{g} \cdot \mu\text{mol}^{-1}$

2.4 标准曲线和检测限的测定

在分别含有 $0.00140, 0.00280, 0.00420, 0.00560 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 MSCPA 溶液中, 依次加入 $0 \sim 0.120, 0 \sim 0.120, 0 \sim 0.200$ 和 $0 \sim 0.200 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的 Al(III)。将这 4 个系列的溶液按标准过程进行反应后, 以去离子水为参比测定相应的比值, 并按式 (1) 计算出 ΔA_r 值。4 组数据的回归方程及相应的检测限见表 1。通过比较, 系列 2 的标准曲线具有最低的检测限, 而且线性也符合要求。因此它被选定用作样品的分析。按照图 1 所示对系列 2 进行连续流动分析, Al(III) 的浓度在 0 到 $0.150 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围得到标准曲线为 $\Delta A_r = 0.784c_{\text{Al}} + 0.005$, 相关系数 r 为 0.9959 。用连续流动分析进行 10 次空白实验, σ 为 0.0017 。可以计算出用连续流动分析测定 Al(III) 的检测限为 $6.5 \text{ ng} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。但是连续流动分析具有连续、快速的特点, 1 h 内大约能分析 30 个样品。

Table 1 Calibration graphs for determination of Al(III) and LOD

系列	c_{MSCPA} $/ (10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1})$	$c_{\text{Al(III)}}$ $/ (\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1})$	标准曲线	相关系数	标准偏差 /%	检测限 $/ (\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1})$
1	0.00140	$0 \sim 0.120$	$\Delta A_r = 17.26c_{\text{Al}} + 0.0090$	0.9964	1.15	2.0
2	0.00280	$0 \sim 0.120$	$\Delta A_r = 9.281c_{\text{Al}} - 0.0064$	0.9983	0.58	1.9
3	0.00420	$0 \sim 0.200$	$\Delta A_r = 5.419c_{\text{Al}} + 0.0048$	0.9956	0.42	2.3
4	0.00560	$0 \sim 0.200$	$\Delta A_r = 5.067c_{\text{Al}} - 0.0064$	0.9944	0.55	3.3

2.5 干扰离子的影响

在选定的实验条件下, 对于 $0.050 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的 Al(III), 当测定的误差不超过 $\pm 5\%$ 时, 12 种常见的金属离子允许量为: 200 倍的 Mg(II), Mn(II), 50 倍的 Zn(II), 20 倍的 Ca(II), Co(II), Pb(II), 5 倍的 Cd(II), Fe(II), 2 倍的 Cu(II), 1 倍的 Ni(II), 0.5 倍的 Fe(III), 0.1 倍的 Cr(III)。Fe

(III), Cr(III) 对测定有干扰, 为消除其干扰, 可加入硫脲溶液掩蔽。

2.6 样品分析

按照本文 1.2 中方法对试剂溶液进行平行测定和标准加入回收实验, 分析结果见表 2。加标回收率在 $97.6\% \sim 103.5\%$, 分析结果和 ICP-OES 测定值也相吻合。

Table 2 Determination results of aluminum(III) in samples

样品 ^a	Al(III) 加入/ μg	Al(III) 测定值/ μg	回收率 ^{b,c} / %	样品含量 Al(III) / ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
NaCl	0	0.047 6 $\pm$ 0.001 7 ^b		0.009 5 $\pm$ 0.000 3 ^b 0.008 9 $\pm$ 0.000 5 ^d 0.010 ^e
	0.200	0.254 6 $\pm$ 0.025 0	103.5 102.2	
NaNO ₃	0	0.060 6 $\pm$ 0.001 0 ^b		0.012 1 $\pm$ 0.000 2 ^b 0.013 5 $\pm$ 0.000 7 ^d 0.013 ^e
	0.200	0.255 9 $\pm$ 0.025 8	97.6 99.5	

^a 5.00 mL of a sample was added for complexation; ^b Three replicated determinations by the direct procedure;

^c e. g. 103.5 = (0.254 6 - 0.047 6) / 0.200 $\times$ 100; ^d Three replicated determinations by CFA; ^e One determination by ICP-OES

3 结 论

目前有多种光谱分析法可用于痕量铝的测定,但它们大多具有高的检测限。近年来越来越多高灵敏度的新型显色剂被合成并予以应用,尽管它们在重金属的测定中灵敏度有所

提高,但过量的反应物会对产物吸光度的测定造成严重的干扰。光吸收比差法能成功消除溶液中过量显色剂的干扰,为痕量金属超高灵敏度分析开辟了一条崭新的途径。连续流动分析具有连续、快速的特点,2种方法结合能够直接在线连续分析痕量的 Al(III),方法的灵敏度和效率都有很大改进。相信不久的将来这种方法将会有更广泛的应用。

参 考 文 献

- [1] Sadler K, Lynam S. J. Fish Biol., 1987, 31: 209.
- [2] Sposito G. The Environmental Chemistry of Aluminum, 2 Boca Raton, Florida: CRC Press Inc., 1995.
- [3] Debray M E, Kreiner A. J. AIP Conf. Proc., 1997, 392: 567.
- [4] ZHANG Yun, SUN Jian, YU Xue-tao, et al(张云,孙健,于雪涛,等). Chinese Journal of Analytical Chemistry(分析化学), 2005, 33(12): 1764.
- [5] NIU Feng-lan, XIE Wen-bing, LI Chen-xu, et al(牛凤兰,谢文兵,李晨旭,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2005, 25(4): 573.
- [6] HE Hai-cheng, HUANG Zhi-rong, HE Xi-wen, et al(何海成,黄志荣,何锡文,等). Journal of Analytical Science(分析科学学报), 2004, 20(2): 142.
- [7] WEI Hai-jun, GUAN De-lin, SUN Pei-ting, et al(魏海军,关德林,孙培廷,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(2): 340.
- [8] WANG Chen-yi, ZHANG Cai-hua, BI Shu-ping, et al(王趁义,张彩华,毕树平,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2005, 25(2): 252.
- [9] Jiang Chongqiu, Tang Bo, Wang Rongying, et al. Talanta, 1997, 44: 197.
- [10] KANG Yu-fen, LIAN Hong-zhen, ARKIN Yasen, et al(康玉芬,练鸿振,艾尔肯·牙森,等). Chinese Journal of Chromatography(色谱), 2003, 21(1): 38.
- [11] LIAN Hong-zhen, KANG Yu-fen, ARKIN Yasen, et al(练鸿振,康玉芬,艾尔肯·牙森,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2004, 24(11): 1391.
- [12] Stuart L, Simpson K J, Powell N H S, et al. Anal. Chim. Acta, 1998, 359: 329.
- [13] ZHANG Lin-lin, ZHENG Wen-zhi, LIN Jin-wei, et al(张霖霖,郑文芝,林锦威,等). Spectroscopy and Spectral Analysis(光谱学与光谱分析), 2006, 26(3): 529.
- [14] He Ronghuan, Wang Jianhua. Anal. Chim. Acta, 2000, 412(2): 241.
- [15] LEI Jian-ping, CHEN Yu, GAN Ning, et al(雷建平,陈瑜,干宁,等). Chinese Journal of Inorganic Chemistry(无机化学学报), 2000, 16(1): 13.
- [16] PAN Jiao-mai, LI Zai-jun, ZHANG Qi-ying, et al(潘教麦,李在均,张其颖,等). New Chromogenic Reagents and Their Application in Spectrophotometry(新显色剂及其在光度分析中的应用). Beijing: Chemical Industry Press(北京:化学工业出版社), 2003. 37.
- [17] Gao H W, Zhao J F, Yang Q Z, et al. Proteomics, 2006, 6: 5140.
- [18] Gao H W, Zeng T, Pan L T, et al. Mikrochim. Acta, 2007, 158: 335.
- [19] Chen F F, Wang S L, Liu X H, et al. Anal. Chim. Acta, 2007, 596: 55.
- [20] Ren J R, Zeng T, Li J R, Yang J X, et al. Can. J. Anal. Sci. Spectrosc., 2006, 51: 24.

Determination of Trace Amounts of Aluminum by Light Absorption Ratio Variation Combined with Continuous Flow Analysis

WANG Hong-yan, GAO Hong-wen²

1. Anhui Key Laboratory of Spin Electron and Nanomaterials (Cultivating Base), Department of Chemistry & Biology, Suzhou University, Suzhou 234000, China
2. State Key Laboratory of Pollution and Resource Reuse College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China

Abstract In a pH 5.66 acetate-acetic acid medium, the complex reaction of Al(III) with chlorophosphonazo-mS (MSCPA) is very sensitive. In order to react with Al(III) completely, MSCPA must be added excessively enough. Without doubt, the excess MSCPA in the reaction solution affected the measurement of light-absorption of the Al-MSCPA complex. Thus, ordinary spectrophotometry is unfit for the measurement of such a complex. To eliminate such an interference, both $A_{537\text{ nm}}$ and $A_{618\text{ nm}}$ were selected as the work wavelengths and the spectral correction technique was applied to the characterization of the above complex. The result showed that the composition ratio of Al(III) to MSCPA is 1:1. Using the complexation, a new dual-wavelength approach named the light-absorption ratio variation approach (LARVA) was applied to the determination of trace amounts of Al(III), which often increases the sensitivity up to 10 times better than ordinary spectrophotometry. From the LARVA, the less the MSCPA added, the higher the sensitivity obtained. However, a too low amount of MSCPA caused an obvious error in the measurement because of the noise of instrument background. In the present work, $2.80 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ MSCPA was added into the Al(III) solution. The absorbance ratio difference (ΔA_r) of the Al-MSCPA solution is proportional to the Al(III) concentration in the range of 0 and $0.150 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$. The LOD of Al(III) is only $2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. The result indicated that many kinds of metal ions did not affect the direct determination of Al(III). Besides, the addition of thiourea solution may mask Fe(III) and Cr(III) effectively. The complexation between Al(III) and MSCPA was completed in 2 min, and the color absorption of solution remained almost constant for more than 1 h. Therefore, a set of continuous flow analysis (CFA) device was designed for the online rapid analysis of Al(III) and coupled with LARVA to increase greatly the analytical efficiency. The results showed that the LOD of Al(III) is $6.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and the analytical rate is about 30 samples per hour. This method has been applied satisfactorily to the determination of trace amounts of aluminum in two chemical reagents, giving recoveries in the range of 97.6%–103.5%.

Keywords Light-absorption ratio variation approach; Continuous flow analysis; Determination of aluminum; Chlorophosphonazo-mS

(Received May 9, 2007; accepted Aug. 26, 2007)