

综 述

环境与生物样品中铝测定的吸光光度和 和荧光光度分析方法进展

雷建平 陈 瑜 干 宁 邹公伟 毕树平*

(南京大学化学系, 南京 210093)

本文评述了九十年代以来环境与生物样品分析中测铝的吸光光度和荧光光度分析方法的进展。对不同的方法进行了详尽的比较和讨论。

关键词: 铝 吸光光度法 荧光光度法 环境与生物样品

分类号: O 612.3 O 657.3

0 前 言

自然界中铝主要以铝硅酸盐和氧化物的形式存在于岩石和矿物之中, 它在地壳中的丰度仅次于氧、硅居第三位。铝的生物地球化学行为对许多科学领域的研究有较大的影响, 环境中铝的生态学效应是引人注目的课题。随着对环境酸化问题的深入研究, 人们发现铝浓度的增加是造成鱼类和大量水生物死亡的致毒因子^[1~2]。微量铝与人体健康的关系已引起普遍关注, 已发现铝化合物能引起皮炎、支气管哮喘及 Alzheimer's 病^[3], 铝还累积在人体组织中引起老年痴呆症^[4~5], 因此完善痕量铝的测定方法是非常重要的。光度分析具有快速简便、适用性广、选择性好等优点, 是目前痕量铝测定最普遍使用的方法。但常用的光度测铝法一直受重现性不好、稳定性差、检测浓度范围窄、显色反应受温度、pH 值、介质等条件影响较大的困扰, 对许多实际样品的分析无能为力。近年来, 为克服这些缺点, 人们合成了各类新型显色剂, 应用表面活性剂和建立各种新分析方法, 使光度法测铝日益完善。本文将分吸光光度法和荧光光度法两大部分对环境与生物样品中铝测定的分析方法进展作系统地归纳和比较。

1 吸光光度法

吸光光度分析是最常用的测铝方法之一, 国内对此方面的研究十分活跃。在这种方法中, 铝与一种有机显色剂反应生成在紫外或可见光区有吸收的配合物。光度分析常用的测铝显色剂有铬天青 S(CAS), 8-羟基喹啉(8-HQ)、铝试剂、邻苯二酚紫(PCV)、铬青 R(ECR)、水杨酸荧光酮(SAF)、邻硝基苯基荧光酮(O-NPF)等, 其中绝大部分为三苯甲烷类酸性染料。文献^[6]系统地比较了几种主要显色剂的特点。通常吸光光度法测铝选择性较差, 体系内其它组分特别

收稿日期: 1999-07-09。修改稿日期: 1999-09-08。

国家自然科学基金(Key Project No. 49831005, No. 29777013)资助项目。

* 通信联系人。

第一作者: 雷建平, 男, 25 岁, 硕士生; 研究方向: 环境分析化学。

是阳离子的干扰比较严重。为此,近年来人们从以下几方面进行了改进。

1.1 开发新的测铝显色体系

测铝的显色剂主要有:酸性三苯甲烷类、荧光酮类、偶氮类等。偶氮类试剂由于发色体系简便、操作方便等优点,近年来在铝的光度测定中使用日渐增多,其中属于变色酸单偶氮类有变色酸 2R、偶氮胂、偶氮羧 I 等。如以 H 酸和变色酸为母体的单偶氮类新显色剂,在一定的 pH 范围内选择性、灵敏度和络合物稳定性方面性能均较好,有望成为新的有前途的测铝显色剂^[7]。以苯基荧光酮为母体,用不同官能团对苯基加以修饰生成各类取代苯基荧光酮是另一类新显色剂。如新近合成出高灵敏测铝显色剂 2,4-二甲氧基苯基荧光酮^[8]。另外文献^[9]用铍试剂(III)作为显色剂测粮食中铝,以 SnO 为隐色剂,建立了隐去过量显色剂颜色的新分光光度法。对氯磺酚 S 也被用作显色剂分析铝制炊具中煮沸过的水^[10]。在荧光酮等类试剂的显色体系中,常引入离子或非离子表面活性剂以形成多元配合物,利用胶束的增溶、增敏及增稳作用提高显色反应的灵敏度、稳定性和选择性^[11]。常用的表面活性剂有十六烷基盐或吡啶盐(CTMAB、CPC、CPB 等)、Triton X-100、Tween80、乳化剂 OP 等。另外在分析农业样品时, F⁻ 被发现对 Al-O-NPF-CPC 显色体系有协同增敏作用^[12]。

1.2 消除共存组分的影响

对共存组分的影响的经典解决办法是加掩蔽剂或者通过有机相萃取分离^[13]。另外,还可以采用双波长测定法^[14]和析相光度法^[15]。后者可将待测组分富集于胶束微相中析相分离后测定。新近发展的固相吸光光度法则把富集和显色结合在一起,简化了分析手续,而且灵敏度与选择性均高于溶液吸光光度法。如利用 Al-ECR 配合物在阴离子交换树脂上吸附的固相吸光光度法测铝时检测限(DL)低至 $20\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$,这种方法已成功应用于自来水、泉水和蒸馏水中痕量铝的测定^[16]。固相吸光光度法另一种主要的富集待测组分方式是预先将显色配位剂吸附于树脂表面(如 CAS 固定于 XAD-2)测定时再加入试样与之作用。这种方式特别适用于制作用于水样分析的光纤传感器^[17]。非有机溶剂萃取光度法则把分离、富集、显色测定结合起来,如使用聚乙二醇-硫酸铵-茜素 S 双水相体系,测定自来水中铝获得满意结果^[18]。Edmonds^[19]等用 PVP 薄层很好地消除了共存离子的影响,已成功应用于铝的测量。

1.3 多元素同时测定

多元素同时测定可采用的方法很多,有导数或二阶导数吸光光度法^[20]、双显色剂双波长法^[21]及卡尔曼滤波^[22]、主成分回归^[23]、PLS 数据评估多变量校正^[24]等化学计量学方法。例如 Be/Al-DHNQ-Triton X-100 显色体系测量导数光谱^[20],则可对含 $3.6 \times 10 \sim 3.6 \times 10^2 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 Be(II) 与 $1.08 \times 10^2 \sim 1.08 \times 10^3 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ Al(III) 的溶液实现两种离子的同时分辨。微乳液体系中导数分光光度法可不经分离直接测定试样中微量铝^[25],再如铝-铬天青 S-溴化十六烷基吡啶-Triton X-100 体系中,630nm 和 475nm 处具有正负两个吸收峰,可用双峰双波长吸光光度法测定铝锅开水中的痕量铝^[26]。

1.4 引进流动注射技术(FIA)

FIA 作为样品前处理及各种化学操作的手段,与上述各类光度法在线结合,用于铝的吸光光度测定具有快速、高效、易于实现自动化等突出优点,而且根据反应速率差异的动力学方法得以更便捷地实施^[27]。如 Rivira 等^[28]利用 Al(III) 与 4-(2-吡啶基偶氮)间苯二酚在微碱性介质中的不同配位速率,结合停流注射分析和主成分回归法实现了这两种难分辨离子的同时测定。Stuart 等^[29]考虑动力学和热力学因素,利用 PCV 测定了天然水中铝的各种形态总量,对于

沉积物中铝的含量, 流动注射(FIA) 双光束分光光度法则十分有利^[30]。表 1 总结了吸光光度法测环境与生物样品中铝的某些具体应用实例。

表 1 吸光光度法测铝应用实例

Table 1 Application of Spectrophotometric Determination of Al in Some Real Samples					
chromogenic agent	determination wavelength/nm	determination limit	linear range	sample	reference
morin	421	0.006 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	0.01 ~ 5.0 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	human blood, gall stone, urine, soil	[31]
alizarin red S	510	0.08ppm	2.0 ~ 25.0ppm	kaolin	[32]
4-(2'-thiazolylazo) resorcinol	535		0 ~ 30 $\mu\text{g} \cdot 100\text{mL}^{-1}$	steel sample	[33]
bromo-N, N-dimethylanilinechlorone	557		0 ~ 0.18 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	dolomite, limestone, quartz	[34]
hydroxynaphtol blue	569		11.8 ~ 320 $\text{ng} \cdot \text{mL}^{-1}$	limestone, feldspar	[6]
3, 5-dibromosalicylfluorone	560			human hair	[35]
pyrocatechol violet	580	45 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	0 ~ 1000 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	drinking water, treated water	[36]
spadus	580	0.08 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	0.4 ~ 2.4 $\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	canned food, tap water	[37]
aluminum	590		0 ~ 40 $\text{ng} \cdot \text{L}^{-1}$	sediment of river	[30]
chromazurol S and emulsifier OP	600/640	3 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$		environmental water	[38]
chrome azurol S	615/800		0.6 ~ 4.0 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$	micaschist, natural water	[39]
chrome azurol S and cetylpyridinium chloride	625	18ppb	0 ~ 1080ppb	river water	[40]
eriochrome cyanine R	643	10 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	13 ~ 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$	environmental water	[41]

2 荧光光度法

铝的荧光分析法主要是根据铝离子会和许多有机试剂形成荧光络合物的原理而建立起来的。荧光光度法一般灵敏度比吸光光度法高一到两个数量级, 广泛应用于痕量铝的测定, 常用测铝荧光试剂有 8-羟基喹啉类、偶氮类、席夫碱及胂类、黄酮醇类、羟基蒽醌类^[42]等。表 2 列举了近年来一些荧光体系测铝的应用实例。虽然荧光方法灵敏度高, 但由于共存组分对荧光的淬灭及增强效应, 选择性不够好。目前, 荧光光度法测铝的进展主要表现在以下几个方面。

2.1 新型测铝荧光试剂的开发

测铝的荧光试剂主要是不同取代基的 O, O'-二羟基偶氮苯、芳香席夫碱、羟基黄酮类试剂以及 8-羟基喹啉-5-磺酸(HQS)^[55]等。根据它们在介质中行为的不同可分为两类: (1) 中性试剂: 即分子中不含易解离基团的试剂, 如 8-羟基喹啉(8HQ) 及其卤代衍生物(ClHQ, BrHQ)、桑色素(Morin) 等, 它们一般与金属离子生成非水溶性络合物。(2) 荷电试剂: 如: HQS、7-碘-8-羟基喹啉-5-磺酸(Ferron)、偶氮类染料(如荧光镓 LMG) 等, 它们与金属离子形成水溶性的络合物^[56]。已用于实际样品测定的有 7-(2, 4-二羟基-5-羧基苯偶氮)-8-羟基喹啉-5-磺酸(DHB-8Q5S)^[57]、邻羟基萘醛水杨酰胂^[58]、HQS^[59]等。这些新试剂一般同时具有很高的灵敏度和较好的选择性。值得指出的是 Manuel Vez 等^[60]根据测铝荧光试剂分子中大都含有一个处在给电子原子或原子团邻位的羟基这一特点。首次使用芳胂类试剂 SAPH 测定了土壤萃取物中 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 级的铝, 该方法不但灵敏度高, 而且受其它离子干扰很少。

2.2 胶束荧光和固相荧光分析方法的使用

近年来的研究表明, 由于胶束对处于激发单重态的荧光物质分子起了溶解和保护性绝缘

表 2 荧光光度法测铝应用实例

Table 2 Application of Spectrofluorimetric Determination of Al in Some Real Samples

fluorescent reagent	excitation and emission	determination	linear range	sample	reference
	wavelengths/nm	limit			
7-[1(2-arsono-4-methylphenyl)azo]-8-hydroxy-5-quinolinesulfonic	280/506	1.6μg · L ⁻¹	0 ~ 200μg · L ⁻¹	tea, water	[43]
salicylfluorone	345/538	135μg · L ⁻¹	20 ~ 150μg · L ⁻¹	water, glucose injection	[44]
chromotropic acid	360/390	1ng · mL ⁻¹	1 ~ 300ng · mL ⁻¹	Al-bronze, bass stainless steel	[45]
4, 5-dibromophenylfluorone	362/560	0.05μg/25mL	0.05 ~ 3.5μg/25mL	tap water	[46]
5-bromosalicylaldehyde salicyloylhydrazone	370/460	1.1ppb	0 ~ 120ppb	glucose injection, common beverages	[47]
3, 5-dibromosalicylaldehyde	375/510	0.20ng · mL ⁻¹	2.4 ~ 24ng · mL ⁻¹	steel-base alloy, waster water	[48]
2, 4-dihydroxybenzaldehydeisonic-otinydrazone	394/484	0.96μg · L ⁻¹	0 ~ 240μg · L ⁻¹	carbonated water, drinking water	[49]
salicylaldehyde-1-phthala zinohydrazone	414/475	10ng · mL ⁻¹	10 ~ 100ng · mL ⁻¹	water sample	[50]
2, 6-bis[(o-hydroxy) phenyl -iminomethyl]-1-hydroxybenzene	420/525	0.1ng · mL ⁻¹	1.0 ~ 10ng · mL ⁻¹	natural water	[51]
eriochrome red B	470/595	0.1ng · mL ⁻¹	0 ~ 20ng · mL ⁻¹	tap water	[52]
acid chrome blue K	520/593	4.8nmol · L ⁻¹	10 ~ 8000nmol · L ⁻¹	human hair	[53]
1, 2, 4-trihydroxyanthraquinone	542/592	0.27ng · mL ⁻¹	20 ~ 65ng · mL ⁻¹	blood serum	[54]

壳的作用, 非辐射弛豫过程的速率明显降低, 有利于荧光去活化过程与非辐射去活化过程及猝灭过程的竞争, 使体系荧光量子效率提高^[61]。胶束荧光法通过合成表面活性剂在测定体系中形成胶束泡囊(vesicles), 有稳定化和荧光增强作用。如使用 8-羟基喹啉-5-磺酸(8-HQS)测自来水、透析液中的铝时, DDAB 胶束泡囊能对荧光起到十倍的增强作用^[62]; 固相荧光则是通过某种基质将荧光试剂或铝同它的配合物固定, 这种方法能起到富集作用, 干扰比溶液方法少, 故灵敏度极高, 而且易制成光纤传感器。固相荧光固定基质可以是滤纸^[63]、聚乙烯醇凝胶^[64]、离子交换树脂^[65]等, 荧光试剂最常用的是桑色素^[63~64]、Vilchez^[65]等利用亚水杨基-邻氨基苯酚荧光试剂与铝的配合物在阳离子交换树脂上的吸附, 测铝检测限(DL)达 0.012μg · L⁻¹, 线性范围 0.10~ 10.00μg · L⁻¹, 这种方法已用于天然水分析。另外还研制出一种抗干扰离子能力很强的生物膜固定桑色素—光导纤维传感器^[66], 用于铝的测定具有简便、快速、稳定的特点。

2.3 各种新技术的应用

卡尔曼滤波(KF)、P 矩阵法多组分分析、激光—时间分辨、导数同步荧光等新方法新技术的应用, 大大提高了荧光分析的分辨率, 降低了检测限, 它们特别适合于铝与其它一些金属的难分辨离子对。如用 KF 方法可分辨 Ga-Al^[67~68]、Zr-Al^[69]离子; 用 P 矩阵多组分分析法可同时测定人发中的 Zr-Al^[70]; 而采用 8HQS-CTMAB 荧光体系结合激光—时间分辨技术分析水中 Mg-Al^[71]时, 铝的 DL 和线性范围分别为 1μg · L⁻¹ 和 1~ 100μg · L⁻¹; 此外, Pavon 等^[72]采用二阶导数同步荧光技术同时测定了动物组织和人血清中的镓和铝, 荧光试剂采用水杨酰基脲。导数同步荧光等技术还可结合固相荧光的富集作用, 如天然水中的铍和铝就可以通过一阶导数同步固相荧光得到同时测定^[73], DL 均为 0.5μg · L⁻¹, 在这种方法中, 铝与铍同桑色素的配合物被葡聚糖型树脂所固定。

2.4 引进流动注射技术(FIA)及应用

同在吸光光度分析中一样, FIA 的整个操作过程可自动进行, 也可结合柱分离技术克服基质干扰, 采用一定的条件实现快速测定。Resing 采用螯合了 HQ 的柱子分离预富集 Al(III)。再用一定的淋洗液将其洗下, 于淋洗液中加入 LMG 和 Brij-35 进行测定, 取得了较好的结果^[74]。再如三个水样分析, 以 Eiochrome Red B(ERB)^[75]、ERB-HMTS^[76]、lumogallion^[77] 为荧光试剂的 FIA 方法, 测铝时校正曲线上限达到 $1000\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, DL 分别为 0.1、0.3 和 $0.1\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 其中后者可进样 60 次/小时。FIA 还可与预柱富集^[78]、固相荧光^[79]、胶束荧光^[80]等在线结合, 如一种 FIA 铝传感器^[81] 预富集分离采用改性整合树脂, 高浓度的钠、钾、镁、钙离子不影响铝的测定。Porter 等^[82] 以 8HQs 为荧光试剂, 采用 pH 梯度 FIA 并运用偏最小二乘算法(PLS) 解析了自来水中 Zn(II)、Al(III)、Mg(II) 的荧光峰, 发现对于复杂体系, PLS 优于经典最小二乘法。

除了上述分子荧光光度分析外, 还有些其它用得较少的发光方法也可用于铝的测定, 如激光诱导原子荧光(大气溶胶样品^[83])、化学发光法^[84]和磷光法等。一般磷光观察需要在固体表面, 为避免冷冻样品或使用固体表面吸附剂, 可用胶束增稳(MS-RTP)^[85]或泡囊(vesicles)增稳^[86]室温磷光法, 这种方法还便于与 FIA 结合^[85]。另外有文献首次报道了 FIA 条件下固体基质室温磷光法(ss-RTP), 它以一种强碱型阴离子交换树脂作为固体表面吸附剂, Ferron 为磷光试剂, 测铝 DL 为 $2\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, 已用于临床样品分析^[87]。

3 结束语

综上所述, 铝的光度分析法具有快速、简便、适用性广、灵敏度高等优点。随着各类新型显色剂的合成、表面活性剂的应用、流动注射技术(FIA)、卡尔曼滤波(KF)、P 矩阵法多组分分析、激光时间分辨和导数等新方法技术的引入, 吸光光度和荧光光度分析法在铝的测试中日益更新, 必将更臻完美。

致谢: 作者感谢陈洪渊、金洪钧、杨达源、季国亮和于天仁教授对本工作的支持和帮助。

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] Lew is T. E. *Environmental Chemistry and Toxicology of Aluminum*, Michigan, LEWIS Publishers Inc : Chelsea, **1989**.
- [5] WANG Hui Qin (王慧琴), YANG Zhi Bin (杨志斌) *Feixi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1996**, **24**(5), 587.
- [6] Ferreira S. L. C., Leite N. O., Dantas A. F., Andrade J. B. D., Costa A. C. S. *Talanta*, **1994**, **41**, 1631.
- [7] TANG Wei Biao (唐文彪), XU Jia Ming (徐继明), WU Bi Cai (吴斌才) *Lihua Jiancex Huaxue Fence (Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis)*, **1998**, **34**(4), 149.
- [8] ZHAO Jiu Rui (赵锦瑞), WANG Fu Peng (王弗鹏), ZHANG Hou Jie (张厚杰), ZHAO Zhong Yi (赵中一), HE Ying Lu (何应律) *Feixi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1992**, **20**(7), 864.
- [9] YAO Zhi Feng (姚祖凤), CHEN Li Yi (陈立义), LIU Jia Xin (刘家欣) *Shiping Kexue (Food Science)*, **1991**(8), 47.
- [10] QI Wei Bin (戚文彬), WANG Nai Dong (王耐冬), WU Ying Lin (吴寅林) *Hangzhou Daxue Xuebao (J. Hangzhou University)*, **1990**, **17**(2), 189.
- [11] CHENG Ye Pu (陈烨璞), CAI Ru Xiu (蔡汝秀), ZENG Yun E (曾云鹄), GAO Deng Yun (高登云) *Feixi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1993**, **21**(3), 319.

- [12] LI Shi He(李士和), ZHANG Yue Jun(张阅军), LI Sheng Quan(李生泉) *Fenxi Shiyanishi (Analytical Laboratory)*, **1993**, **12**(6), 23.
- [13] Chundak S. Y., Sukharev S. N. *J. Anal. Chem.*, **1997**, **52**, 542.
- [14] JIN Yong(晋勇) *Fenxi Ceshi Tongbao(Bulletin of Analysis & Testing)*, **1990**, **9**(1), 39.
- [15] ZENG Feng(曾锋), CUI Kun Yan(崔昆燕) *Fenxi Huaxue(Analytical Chemistry)*, **1996**, **24**(3), 372.
- [16] Bosque Sendra J. M., Valencia M. C., Boudra S. *Anal. Lett.*, **1994**, **27**, 1579.
- [17] Ahmad M., Narayanaswamy R. *Talanta*, **1995**, **42**, 1337.
- [18] DENG Fan Zhen(邓凡政), SHI Ying(石影), QIAN Xiu Hua(钱秀华), JIA Feng Qin(贾凤琴) *Fenxi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1997**, **24**(5), 620.
- [19] Edmonds T. E., Lee J. D., Lee John M. *Anal. Commun.*, **1998**, **35**, 93.
- [20] Agnihotri N. K., Singh H. B., Sharma R. L., Singh V. K. *Talanta*, **1993**, **40**, 415.
- [21] GE Xuan Ning(葛宣宁), XU Ai Ping(徐爱萍), GU Jian Hua(顾建华) *Lihua Jiance Huaxue Fence (Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis)*, **1993**, **29**(6), 332.
- [22] PENG Pin(彭平), LI Jin He(李金和), LI Zhi Liang(李志良) *Fenxi Huaxue(Analytical Chemistry)*, **1990**, **18**(1), 42.
- [23] ZHANG Yue(张越) *Changsha Dianli Xueyuan Xuebao(J. Electrical Institute of Changsha)*, **1997**, **12**(3), 260.
- [24] Jancar L., Preisler J., Sommer L. *Collect. Czech. Chem. Commun.*, **1993**, **58**, 1509.
- [25] ZHU Xia Shi(朱霞石), GUO Rong(郭荣) *Fenxi Huaxue(Analytical Chemistry)*, **1996**, **24**(2), 1469.
- [26] NING Ming Yuan(宁明远) *Lihua Jiance Huaxue Fence(Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis)*, **1998**, **24**(5), 203.
- [27] Zolotor Y. A., Morosanova E. I., Zhalovannaya S. V., Drukarev S. S. *Anal. Chim. Acta*, **1995**, **308**, 386.
- [28] Blanco M., Coello J., Turriaga H., MasPOCH S., Riba J., Rovira E. *Talanta*, **1993**, **40**, 261.
- [29] Stuart L., Simpson K. J., Powell N. H. S., Nilsson S. S. *Anal. Chim. Acta*, **1998**, **359**, 329.
- [30] ZHAO Zhen Yi(赵珍义) *Fenxi Huaxue(Analytical Chemistry)*, **1996**, **24**(4), 456.
- [31] Ahmed M. J., Hossain J. *Talanta*, **1995**, **42**, 1135.
- [32] Prownpuntu A., Titapiwatanakur U. *Analyst.*, **1991**, **116**, 191.
- [33] MA Shi Ying(马淑英) *Lihua Jiance Huaxue Fence (Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis)*, **1998**, **34**(2), 68.
- [34] YANG Ling(杨岭), CAI Ru Xiu(蔡汝秀), HUANG Hou Ping(黄厚评), CENG Yur E(曾云鹄), GAO Deng Yun(高登云) *Gaodeng Xuexiao Huaxue Xuebao(Chem. J. Chinese Univ.)*, **1992**, **13**(3), 30.
- [35] WANG Lin(王林), LU Zheng Hua(吕振华) *Lihua Jiance Huaxue Fence(Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis)*, **1992**, **28**(3), 139.
- [36] Benson R. L., Worsfold P. J., Sweeting F. W. *Anal. Chim. Acta*, **1990**, **238**, 177.
- [37] Rizk M., Zakhari N. A., Toubar Toubar S. S., El Shabrawy Y. *Microchim. Acta*, **1995**, **118**, 239.
- [38] Zhang Peng Fei(章鹏飞), Zheng Hong Wen(郑洪文) *Guangpu Shiyanishi(Spectroscopy)*, **1993**, **10**(6), 16.
- [39] Molinar Diaz A., Herrador Mariscal J. M., Pascual Reguera M. I. *Talanta*, **1993**, **40**, 1059.
- [40] Malcolm Lawes D. J., Wong K. H. *J. Autom. Chem.*, **1991**, **13**, 147.
- [41] Ahmad M., Narayanaswamy R. *Anal. Chim. Acta*, **1994**, **291**, 255.
- [42] Maties R., Arias J. J., Jimenez F., Roman M. *Anal. Lett.*, **1992**, **25**, 851.
- [43] JI Zhi Qin(嵇志琴), LAI Chun Qiu(赖春球), LI Ying Hong(李迎红), HUANG Jian Feng(黄坚峰) *Fenxi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1996**, **24**(3), 254.
- [44] LU Jian Zhong(卢建忠), ZHANG Zhi Jun(章竹君), SHENG Ai Bao(沈爱宝) *Fenxi Huaxue(Analytical Chemistry)*

- trys), **1996**, **24**(10), 1129.
- [45] Baks K., Pal B. K. *Talanta*, **1994**, **41**, 81.
- [46] ZHEN HuaLi(郑怀礼), WU ShouKun(吴守坤) *Lihua JianceHuaxue Fence (Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis)*, **1990**, **26**(6), 343.
- [47] Jiang Chongqiu, Tang Bo, Wang Rongying, Yen Jianchong *Talanta*, **1997**, **44**, 197.
- [48] YOU JirMao(尤进茂), ZHU QingChun(朱庆存), ZOU LiarJun(周连君) *Lihua JianceHuaxue Fence (Physical Testing and Chemical Analysis Part B: Chemical Analysis)*, **1998**, **34**(3), 121.
- [49] Wang Huiqin, Yan Zhibin *Microchem., J.*, **1997**, **55**, 340.
- [50] Gallego M. C., Mochon M. C., Rodrigueiz M. T., Perez A. G. *Microchim. Acta*, **1992**, **109**, 301.
- [51] Capitan F., Avidad R., Navalon A., CapitanValvey L. F. *Micrchim. Acta*, **1992**, **107**, 65.
- [52] Carrillo F., Perez C., Camara C. *Anal. Chim. Acta*, **1991**, **243**, 121.
- [53] YANG WeiPin(杨维平), ZHANG ZhurJun(章竹君), LI JiarZhong(李建中) *Fenxi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1992**, **20**(1), 11.
- [54] Maties R., Arias J. J., Jimenez F., Roman M. *Anal. Lett.*, **1992**, **25**, 851.
- [55] CHEN GuoZhen(陈国珍), HUANG XiarZhi(黄贤智), XU JirGou(许金钩) *Fluorescence Analysis, Vol. 2* (荧光分析, 第二册), Beijing: Science Press, **1990**.
- [56] SanzMedal A., Fernandez de la., Campa R., Garcia Alosa J. I. *Analyst*, **1987**, **112**, 493.
- [57] YU Yin(俞英), HUANG JiarFeng(黄坚锋), CHENG WeiDong(陈卫东), LIU Hong(刘虹) *Fenxi Ceshi Tongbao (Bulletin of Analysis & Testing)*, **1994**, **13**(5), 86.
- [58] WANG XiaoLei(王晓蕾), WANG JingZhen(王敬政), LI LaiZhong(李来仲), JIANG ChongQiu(江崇球) *Fenxi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1999**(6), 687.
- [59] Gonzalez Alvarez M. J. D., Garcia M. E., SanzMedal A. *Anal. Chim. Acta*, **1990**, **234**, 181.
- [60] Manyetvez M. P., GraciarVargas M. *Talanta*, **1994**, **41**, 1553.
- [61] Carrion Dominguez J. L., De la Guardia Grugeda M. *Anal. Chim. Acta*, **1987**, **198**, 53.
- [62] Alvarez M. J. G., Garcia M. E. D., SanzMedel A. *Anal. Chim. Acta*, **1990**, **234**, 181.
- [63] LIN QingZhan(林清赞), GU JingWei(郭竞威), XU JirGou(许金钩) *Fenxi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1992**, **20**(7), 813.
- [64] MA WangBai(马望百), ZHANG ZhurJun(章竹君) *Gaodeng Xuexiao Huaxue Xuebao (Chem. J. Chinese Univ.)*, **1991**, **12**(10), 1034.
- [65] Vilchez J. L., Navalon A., Avidad R., GarciaLopez T., Capitanvallvey L. F. *Analyst.*, **1993**, **118**, 303.
- [66] Yao S., Chen X., Nie Li. *Microchim. Acta*, **1990**, **1**, 299.
- [67] LI ZhiLiang(李志良), SHI LeMing(石乐明), LI MengLong(李梦龙), YU RuQing(俞汝勤) *Fenxi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1990**, **18**(8), 780.
- [68] LI ZhiLiang(李志良), YU RuQing(俞汝勤) *Gaodeng Xuexiao Huaxue Xuebao (Chem. J. Chinese Univ.)*, **1991**, **12**(1), 16.
- [69] ZHANG JirYu(张晶玉), YANG JirFu(杨金夫), REN Ying(任英), FU LiarShe(符连社), LEI ZhongLi(雷中利) *Fenxi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1993**, **21**(10), 1152.
- [70] SONG GongWu(宋功武), ZOU JiarGang(周建刚) *Fenxi Yiqi (Analytical Instrumentation)*, **1994**(1), 34.
- [71] YU Shui(于水), LIU ZhiHui(刘智慧), WANG GongPeng(王功鹏), DU Jie(杜杰), YANG YarrAn(杨延安) *Fenxi Huaxue (Analytical Chemistry)*, **1996**, **24**(4), 433.
- [72] Pavon J. M. C., Torres A. G., Pozo M. E. U. *Talanta*, **1990**, **37**, 385.
- [73] Capitan F., Manzano E., Navalon A., Vilchez J. L., CapitanValvey L. F. *Talanta*, **1992**, **39**, 21.
- [74] Resing J. A., Measures C. I. *Anal. Chem.*, **1994**, **66**, 4105.

- [75] Carrillo F., PerezConde C., Camara C., Frexenius J. *Anal. Chim.*, **1996**, **354**, 204.
[76] Carrillo F., Perez C., Camara C. *Anal. Chim. Acta*, **1992**, **262**, 91.
[77] Stutheimer S. H., Cabaniss S. E. *Anal. Chim. Acta*, **1995**, **303**, 211.
[78] Fernandez P., PerezConde C., Gutierrez A., Camara C. *Talanta*, **1991**, **38**, 1387.
[79] Canizares P., Castro M. D. L., Valcarcel M. *Anal. Lett.*, **1994**, **27**, 247.
[80] Rojas F. S., Alcaraz E. C., Pavon J. M. C. *Analyst*, **1994**, **119**, 1221.
[81] Garcia M. R. P., Garcia M. E. D., SanzMedel A. *Analyst*, **1990**, **115**, 575.
[82] Porter N., Hart B. T., Morrison R., Hamilton I. C. *Anal. Chim. Acta*, **1995**, **306**, 313.
[83] Enger J., Malmsten Y., Liungberg P., Axner O. *Analyst*, **1995**, **120**, 635.
[84] Jones P., Williams T., Ebdon L., *Anal. Chim. Acta*, **1990**, **237**, 291.
[85] Liu Y. M., Campa M. R. F., Garcia M. E. D., SanzMedel A. *Anal. Chim. Acta*, **1990**, **234**, 233.
[86] Campa M. R. F., Liu Y. M., Garcia M. E. D., SanzMedel A. *Anal. Chim. Acta*, **1990**, **238**, 297.
[87] Garcia R. P., Liu Y. M., Garcia M. E. D., SanzMedel A. *Anal. Chem.*, **1991**, **63**, 1759

Advancement of Spectrophotometry and Spectrophotofluorimetry for Aluminum Determination in Environmental and Biological Samples

LEI Jian-Ping CHEN Yu GAN Ning ZOU Gong-Wei BI Shu-Ping^{*}

(*Department of Chemistry, Nanjing University, Nanjing 210093*)

A review is presented on the novel advancement of spectrophotometry and spectrophotofluorimetry for aluminum determination in environmental and biological samples. The merits and limitations for both methods are evaluated. Total of 87 references is involved.

Keywords: aluminum spectrophotometry spectrophotofluorimetry
environmental and biological samples