

· 综述 · 评论 · 争鸣 ·

原子吸收光谱法在药物分析中的应用进展

杨 宇¹, 王贵全², 刘彦明³

(1. 信阳市实验中学, 河南 信阳 464000 2. 罗山金鼎化工有限公司, 河南 罗山 464200;

3. 信阳师范学院 化学化工学院, 河南 信阳 464000)

摘要: 近年来, 原子吸收光谱法广泛地应用于药物中微量元素和有机成分的分析测定. 随着样品溶解技术、悬浮液进样技术、原子捕集技术、氢化物发生技术等的应用和发展, 原子吸收光谱法的性能和效率得到了显著提高. 本文评述了原子吸收光谱法在药物分析中的最新进展, 讨论了未来的发展趋势. 引用文献 65 篇.

关键词: 原子吸收光谱法; 药物分析; 评述

中图分类号: O657.31 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0972(2004)01-0119-06

原子吸收光谱法又称原子吸收分光光度法 (atomic absorption spectroscopy, AAS). 自从 1955 年澳大利亚物理学家阿兰·沃尔什发表了第一篇应用原子吸收光谱法作为一种分析手段的文章以来, 该法已在分析化学领域获得了日益广泛的应用. 目前, 原子吸收光谱分析方法主要有直接法和间接法两种. 直接法是利用特定的波长直接测定目标元素的含量, 并已广泛应用于微量元素的分析. 微量元素与药效关系的研究等领域. 间接法是利用某些特定的金属离子可与药物的有机成分间有络合、沉淀、氧化还原等定量反应的发生, 经离心分离. 原子吸收光谱法测定体系中游离的金属离子而间接测定目标分子. 1968 年, Christian 等人^[1]首先将原子吸收法用于间接测定一些无机阴离子和有机化合物. 自那时起, 已有许多文章发表^[2-11], 使间接 AAS 法逐渐走向成熟.

经过分析工作者的多年努力, AAS 法在药物分析中的应用也有了较大进展. 直接法可测定含有金属离子的药物, 如 VB₂ 分子中含有一个钴离子, 将样品溶解后在 240.7 nm 波长下测定钴便可测定出 VB₂ 的含量^[12,13]. 约有 30 多种药物的分子结构中含有金属元素^[14], 能直接用 AAS 法测定. 然而, 对于绝大多数的药物, 需要采用间接 AAS 法. 这些药物虽不含金属元素, 但含有可供氧化还原或

配位的基团, 通过一定的化学反应使其与金属离子或含有金属离子的络离子形成配合物或离子缔合物. 经离心分离或溶剂萃取后, 用 AAS 法进行测定. 龙沛霞等人^[15]曾评述了原子吸收光谱法分析中药微量元素的研究进展, 王文海^[16]评述了原子吸收光谱法在食品金属元素分析中的应用. 有关原子吸收光谱法在药物分析中的应用也有评述^[17-19]. 本文对近两年来原子吸收光谱法在药物分析中应用的最新进展进行评述, 并讨论了未来的发展趋势.

1 原子吸收光谱法分析药物中的微量元素

1.1 微量元素的含量分析

微量元素的含量与药物的药效有直接的关系, 是原子吸收光谱技术在药物分析应用最早也是最广泛的领域. 近年来, 与人体健康有关的微量元素的分析研究越来越受到人们的重视. 现代研究表明, 在中药材药效发挥过程中, 微量元素的协同作用不可忽视. 研究和测定中药材中的常见元素, 不仅可为中药药理作用的研究提供基础数据, 也能为中药材的鉴定提供依据.

张瑾^[20]利用原子吸收光谱法对 16 种活血化瘀中草药中 10 种微量元素进行了测定. 方法的回

收稿日期: 2003-09-10

基金项目: 河南省高校青年骨干教师资助计划项目

作者简介: 刘彦明 (1964-), 男, 河南汝南人, 博士, 教授, 主要从事原子光谱分析和毛细管电泳方面的研究.

收率为 95.0%~105.0%, 相对标准偏差小于 0.03%。梁淑轩等人^[21]采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ (4:1) 混酸消化、石墨炉原子吸收法同时测定了银杏、杜仲及绞股蓝成熟青叶中的 Se、Ge、Cu、Zn、Fe、Mn 等 6 种微量元素, 方法简便快速。通过对桃叶标准物中的 Cu、Zn、Fe、Mn 等 4 种微量元素的测定, 证明了方法准确可靠。实验结果表明这 3 种药用植物叶中 Cu、Zn、Fe、Mn 含量都较为丰富, 特别是银杏叶中的 Se、绞股蓝中的 Ge 含量较高。韩丽琴等人^[22,23]利用火焰原子吸收法 (FAAS) 分别测定了 10 种中成药和中药脉通中金属元素的含量。测定结果为探讨中药微量元素与治疗脑血管疾病的关系提供了有用的数据。董宏博等人^[24]测定了复方银杏胶丸中 Na、Mg、Cu、Zn、Mn、Cd 等 6 种微量、宏量元素的含量。韩金土等人^[25,26]分别测定了芦荟和枸杞子中的铁、铜、钴等 10 种微量元素。许春萱等人^[27]测定了人工栽培铁皮石斛中的微量元素。

中药制剂黄平诸痹灵及英平诸痹灵药酒是治疗类风湿疾病的有效药物。为探讨该类物质中微量元素及其含量与疗效的关系, 用 FAAS 对 4 种英平顽痹消、1 种英平顽痹通及 5 种英平诸痹灵药酒中铜、锰、镍、钴、铈、锂等微量元素含量进行了分析^[28,29]。结果表明, 两种药物中钾、钠、钙、镁的含量均较丰富, 而药酒中锰含量较丰富, 锂含量较低。董顺福等人^[30]测定了速效救心丸中 Ca、Mg、Fe、Cu、Zn 等 5 种金属元素的含量, 并对速效救心丸中 Ca/Mg、Cu/Zn 含量比值进行了分析研究, 为探讨速效救心丸中 Ca、Mg、Fe、Cu、Zn 与治疗冠心病之间的关系提供了有用的数据。孙瑞霞等人^[31]采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ (4:1) 混酸消化治疗糖尿病的消渴丸、玉泉丸、渴乐宁、降糖舒、降糖 I-V 号 9 种中成药, 用原子吸收光谱法对药物消化液中的 Cu、Zn、Ni、Co、Mn、Cr、Mo、Fe、Ca、Mg、Cd、Pb 等 12 种微量元素进行了分析测定。宋雅茹等人^[32]对中草药何首乌中的锰进行络合萃取、分离富集后, 用 FAAS 直接测定了锰, 并对实验条件进行了研究。魏巍等人^[33]通过巯基棉分离富集后, 采用 FAAS 成功测定了地黄 (怀生地、怀熟地) 中的痕量铅, 并对富集铅的条件及洗脱条件、干扰因素进行了探讨。后来, 他们^[34]又提出了 FAAS 测定怀药的消解方法, 并用于测定怀药中 Cu、Zn、Fe 等微量元素。该法简便、灵敏度高, 结果准确。此外, 用直接测定的方法完成了对灵芝孢子粉中的痕量硒与锗^[35]、

中药漏芦中微量铅^[36]、当归、鸡血藤等 7 种滋补类中药中的微量元素^[37]的测定。

最近, 我们小组^[38]利用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 混酸消化、原子吸收法测定了维 C 强力银翘片、黄连上清片、三黄片、感冒清、穿心莲、鼻炎康、板蓝根冲剂、牛黄解毒片、重感片、双黄连口服液及清热解毒口服液中的 Cu、Zn 等 10 种元素。结果表明, 这些清热解毒类药物中的 Ca、Mg、Fe、Zn 和 Mn 含量较为丰富。此外, 我们^[39]还开展了大豆及其制品中微量元素的测定, 详细研究了样品灰化时间、灰化温度和 HNO_3 浸取液的浓度对测定结果的影响及 SrCl_2 对测定 Ca、Mg 含量的影响。为食品、药物等复杂有机体系中的微量元素测定提供了适宜的方法。

样品处理是原子吸收光谱法测定药物成分的关键步骤之一, 寻找简便有效的样品处理技术, 一直是分析工作者的研究课题之一。通常有干法灰化、湿法消化和微波消解等方法。谷力^[40]研究了马弗炉干法灰化和微波消解两种技术对天然和栽培缙草根样品中金属含量的影响。结果表明, 两种样品各用两种消化法处理, 测得金属元素及含量有差异。干灰法操作简单, 但消化温度高、时间长、易挥发、元素容易损失, 使检测值偏低; 而微波消化法简便、省时、损失减少; 两种消化法的加标回收率分别为 95%~106% 和 96%~105%。最近, 易新萍等人^[41]采用微波溶样-AAS 法测定了麻黄素浸膏粉中的 12 种元素, 利用国家标准物质茶叶 GBW08501 验证了方法的准确度。朱加叶等人^[42]采用微波消化-石墨炉原子吸收分光光度法测定了进口西洋参中的铅。

悬浮液进样技术是 AAS 法中的一种固体直接进样技术: 将样品捣碎、磨细后悬浮在溶液中直接进入原子化装置。魏巍等人^[43]利用该技术完成了中药材——怀药 (怀山药、怀牛膝、怀菊花) 中的 Cu、Zn、Fe 的测定。将粉碎后的怀药悬浮于琼脂胶体中制成悬浮液, 将试液喷入空气乙炔火焰中, 用标准加入法测定。对悬浮剂的选择及化学干扰的消除进行了考察。t 检验结果表明, 该法与 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 处理法的结果之间无显著性差异, 可以采用悬浮液进样法取代混酸处理法。刘立行等^[44]利用乳液法和悬浮液进样测定了金施尔康中的微量元素。有关生地中铁和锌的流动注射悬浮液脉冲进样-火焰原子吸收光谱法测定也有报道^[45,46]。方法简便、快捷, 测定结果与灰化法一致。

原子捕集技术是在火焰中原位富集待测元素的技术.该法可使待测元素在火焰中停留较长的时间,从而提高了火焰原子吸收法的灵敏度.张德强等人^[47,48]将该法成功地运用到中药中锰和锌的分析中.作者对捕集装置、火焰状态、冷却水的用量、捕集时间等条件参数对灵敏度的影响进行了详细探讨.与常规火焰原子吸收光谱法相比,该法的灵敏度也大为提高.方法的精密度和加标回收率也比较理想.

杨莉丽等人采用原子捕集-火焰原子吸收光谱法分别测定了中草药中痕量镉^[49]和铜^[50].考察了火焰条件、捕集管与燃烧器和光束的距离、冷却水流量、捕集时间等对测定镉灵敏度的影响,优化了实验条件.在最佳实验条件下,镉的特征浓度为 $18\mu\text{g/L}$,检出限为 $0.42\mu\text{g/L}$,分别较常规火焰原子吸收光谱法改善了16倍和5倍.测定铜的灵敏度也有较大提高,并成功测定了甘草、柴胡等10味中药中的微量铜,平均回收率为94.2%~104%.

氢化物发生技术是一种气体挥发技术,目前主要是流动注射——氢化物发生技术,尤其适于对汞、砷、铅等的测定.氢化物发生原子光谱法测定汞^[51]和铅^[52]是应用较多的方法.随着流动注射技术(FIA)的引入,有效解决了制约间接AAS法的一个关键问题——较为繁琐的预处理过程.FIA-AAS的联用,使得在线预处理技术能为间接AAS法节省不少时间及试剂^[8,9,53].自从首次报道铅的氢化物发生原子吸收光谱法测定铅以来,氢化物发生法测定铅及其他微量元素的方法已有了很大进展.

宋雅茹等人^[54]采用流动注射-氢化物发生-原子吸收光谱法测定了果胶铋中铋的含量,方法简单、快速、准确,考察了实验参数对测定果胶铋中铋的影响.检出限为 $0.095\mu\text{g/L}$,回收率在97.3%~103.3%,用于实际样品的分析结果满意.刘汉东等人^[55]以APDC/MIBK为萃取系统,流动注射在线液-液萃取石墨炉原子吸收光谱法测定芦荟样品中痕量铅,对萃取条件、流路参数及共存组分的干扰等均进行了探讨.方法的精密度为3.74%,检出限(Φ)为 $3.2\times 10^{-12}\text{g}$,加标回收率为93%~99%.

1.2 微量元素的形态分析

中药中微量元素对人体的作用除与总浓度有关外,更取决于该元素所处的形态特性.在不同形态下即处于不同的价态、络合状态和作用靶位环

境,具有不同的亲脂性和生物活性,表现出不同的药效^[56].因此开展药物中元素形态研究具有积极的意义.形态分析也已成为目前分析化学中的前沿研究领域.

采取正辛醇-水分配体系模拟中药水煎液中锌在人体胃肠中的分配情况,用原子吸收光谱法测定了12味中药药材及其水煎液中锌、水煎液中水溶态锌、醇溶态锌的含量^[56].实验结果表明,中药中锌的水煮溶出率较低,中药中锌的形态与中药成分、配伍情况及作用靶位(胃肠)的酸度有关,酸度及配伍对中药中锌的溶出率及水煎液中锌的形态影响较大.此外,从亲脂性和生物活性、配伍影响、靶位酸度环境差异角度出发,探讨了中药中锰形态(水溶态锰、醇溶态锰)影响因素,锰实际摄入量、被吸收量、存在形态和生物活性、药效的关系^[57].

黄国清等人^[58]以菊花、芙蓉花、金银花为实验材料,采用原子吸收法测定了此3种花卉中微量元素Fe、Zn的水溶性蛋白质结合态含量及形态分布.结果表明,Zn元素蛋白质结合态分布较多,平均为20.26%,Fe元素蛋白质结合态分布平均为13.06%,金银花和菊花中的Fe、Zn蛋白质结合态形态分布更为接近,而且均比芙蓉花高.最近,同一小组^[59]又开展了菊花、金银花等药用花卉中Fe含量及其形态的分析工作.

2 原子吸收光谱法分析药物中的有机成分

原子吸收光谱法不仅可应用于药物中微量元素的测定和形态分析,还可用于药物中有机成分的测定.主要采用间接测定法.

张雨青等人^[60]利用四苯硼钠沉淀硫酸阿托品,在滤液中加入过量的氯化钾沉淀剩余的四苯硼钠,再测定过量的钾可以计算得到硫酸阿托品的含量.方法简单、快速,回收率在97%~101%之间,相对标准偏差为1.1%.该方法可进一步推广原子吸收光谱法在其他药物测定中的应用.宋雅茹等人^[61]根据盐酸环丙沙星与 $\text{Zn}(\text{SCN})_4^{2-}$ 反应生成离子缔合物沉淀的特点,通过用火焰原子吸收光谱法测定沉淀中的锌,可间接测定环丙沙星的浓度,检出限为 $2.9\times 10^{-5}\text{mol/L}$.

近年来,郎惠云研究组^[53,62-64]在原子吸收法用于药物中有机成分的测定方面连续做了许多工作.利用新生态 MnO_2 与维生素 B_6 发生反应,通过流动注射-原子吸收法测定反应产物 Mn^{2+} ,建立

了测定维生素 B₆ 含量的新方法^[53]. 新方法用于实际样品的测定, 结果与药典法一致. 基于利血生在碱性介质中的分解产物—半胱氨酸在适当的 pH 条件下可与铜离子生成沉淀, 通过 AAS 测定上清液中铜的含量来间接测定利血生的含量^[62]. 本法在 10~100 mg/L 范围内呈良好的线性关系 ($\gamma = 0.9992$), 回收率为 98.5%~101.6%. 他们^[63] 也报道了头孢菌素类药物(孢唑啉、头孢氨苄、头孢拉定)的间接原子吸收分析方法. 最近, 基于在适当酸度条件下卡托普利将 Cu^{2+} 还原为 Cu^+ 的反应, 该研究组^[64] 又提出了卡托普利的 FI-AAS 分析新方法. 新生的 Cu^+ 与 SCN^- 生成白色沉淀, 经流动注射在线过滤稀释, 以 AAS 法测定反应剩余 Cu^{2+} 的量来间接测定卡托普利的量. 在 2~100 mg/L 范围内呈良好的线性关系, 回收率为 97.15%~99.5%, 采样频率为 100 h^{-1} . 方法简单、快速、选择性好, 节省试剂, 用于卡托普利的测定, 获得满意结果. 该方法的一大优点是避免了其他测定方法中需要配制标准样品的麻烦.

最近, 王伟等人^[65] 采用间接法测定了药物氢溴酸山莨菪碱的含量.

参考文献:

- [1] CHRISTIAN G D, FELDMAN F J. *Determination of nonmetals by atomic absorption spectrophotometry* [J]. *Anal Chim Acta*, 1968, 40(2): 173-179.
- [2] BOND A M, WILLIS J B. *Enhancement of zirconium atomic absorption by nitrogen-containing compounds and its use in the determination of ammonia* [J]. *Anal Chem*, 1968, 40(14): 2087-2089.
- [3] ROSE S A, BOLTZ D F. *Indirect Determination of Sulfur Dioxide by Atomic Absorption Spectrometry after Precipitation of Lead Sulfate* [J]. *Anal Chim Acta*, 1969, 44(1): 239-241.
- [4] VARLEY J A, CHIN P Y. *Determination of water-soluble sulphate in acidic sulphate soils by atomic absorption spectroscopy* [J]. *Analyst*, 1970, 95: 592-595.
- [5] MANAHAN S E, KUNKEL R. *An Atomic absorption analysis method for cyanide* [J]. *Anal Lett*, 1973, 6(6): 547-553.
- [6] 余煜棉, 莫胜钧. 间接原子吸收光谱法对中药和食品中微量锆的测定 [J]. *光谱学与光谱分析*, 1996, 16(3): 93-98.
- [7] 王吉德, 田笠卿, 王连生. 原子吸收法在有机分析中的应用 (III)—茶叶中茶多酚的测定 [J]. *高等学校化学学报*, 1995, 16(4): 536-539.
- [8] YEBRA M C, GALLEGRO M. *Indirect Flow-injection Determination of tannin in wines and tea by atomic absorption spectrometry* [J]. *Anal Chim Acta*, 1995, 308: 357-363.
- [9] LAHUERTZ Z L, MARTINEZ C J. *Continuous flow-injection atomic absorption spectrometric method for the determination of ondansetron* [J]. *Anal Chim Acta*, 1995, 300: 143-148.
- [10] SARASWATI R, VETTER T W. *Determination of arsenic, selenium and mercury in an estuarine sediment standard reference material using flow injection and atomic absorption spectrometry* [J]. *Mikrochim Acta*, 1995, 118: 163-175.
- [11] SALEM H, KHEIR A. *Atomic absorption spectrometry of flufenamic acid* [J]. *Anal Lett*, 1995, 28(10): 1833-1843.
- [12] DIAZ F J. *Determination of cyanomine by atomic absorption spectrophotometry with a premix air-acetylene flame* [J]. *Anal Chim Acta*, 1972, 58: 455-458.

3 结论

经过许多研究组的不懈努力, 原子吸收光谱法在药物分析中的应用已取得了显著进展, 充分表明 AAS 在研究中药的医用价值和保健品开发方面有着广阔的应用前景. 人们对 AAS 在元素形态分析领域的应用也进行了有益探索. 然而, 该领域目前仍有许多限制和挑战, 也还有许多问题没有得到满意解决. 如在分析过程中, 如何保持形态不发生变化, 已成为一个极富挑战性的问题. 因此, 当选择实验条件时, 就要多方考虑, 全面兼顾.

基于对近期文献的调研和分析, 我们认为, AAS 在药物分析中的未来发展趋势应集中于以下几方面: (1) 药物和生物制剂的微量元素含量分析仍是 AAS 的主要应用领域; (2) 拓宽 AAS 法测定药物的应用范围. 该法既扩展了原子吸收法的应用范围, 也为药物分析提供了新的分析手段, 同时还可以金属离子为标准, 弥补药物纯品缺乏的困难; (3) 与高效分离技术(如毛细管电泳、高效液相色谱)结合, 有效开展形态分析工作, 为中药煎煮方法和配伍的选择提供依据, 进而推动中医药的现代化.

- [13] PECK E. *The application of flameless atomic absorption to the analysis of vitamin B₁₂* [J]. *Anal Lett*, 1978, 11(2): 103-117.
- [14] 安登魁. 药物分析 [M]. 济南: 济南出版社, 1992. 890.
- [15] 龙沛霞, 王东, 孟宪生, 等. 原子吸收光谱法分析中药微量元素的研究近况 [J]. *微量元素与健康研究*, 1997, 14: 59-60.
- [16] 王文海. 原子吸收光谱法在食品金属元素分析中的应用 [J]. *内蒙古石油化工*, 2002, 28: 34-36.
- [17] 陈秀娴, 杨松. 原子吸收光谱法在药物分析中的应用 [J]. *广东药学院学报*, 1999, 15: 111-113.
- [18] 焦更生. 原子吸收光谱法在药物分析中的应用和发展 [J]. *渭南师范学院学报*, 2002, 17: 36-38.
- [19] 杨光, 郎惠云. 原子吸收光谱法在药物分析中的应用及进展 [J]. *分析科学学报*, 2000, 16: 76-81.
- [20] 张瑾. 十六种活血化瘀中草药中微量元素的测定 [J]. *分析科学学报*, 2000, 16(1): 55-57.
- [21] 梁淑轩, 孙汉文. 石墨炉原子吸收光谱法分析药用植物中微量营养元素的含量 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(5): 847-849.
- [22] 韩丽琴, 朱志国, 华瑞年, 等. 火焰原子吸收法测定 10 种中成药中钠、铬、镍、锰和镁的含量 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(1): 152-153.
- [23] 韩丽琴, 朱志国, 董顺福, 等. 脉通中金属元素含量的测定 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2003, 23(4): 797-799.
- [24] 董宏博, 韩丽琴, 董顺福. 复方银杏胶丸中镁、锌、铜、锰、钠、镉六种元素含量分析 [J]. *仪器仪表与分析监测*, 2002, (3): 29-30.
- [25] 韩金士, 王辉, 梁菊, 等. 原子吸收光谱法测定芦荟中微量元素 [J]. *信阳师范学院学报*, 2002, 15(2): 190-191.
- [26] 韩金士, 余荣珍. 火焰原子吸收光谱法测定枸杞子中的金属元素 [J]. *信阳师范学院学报*, 2003, 16(2): 169-171.
- [27] 许春萱, 钟黎, 杜献洲, 等. 人工栽培铁皮石斛中微量元素的测定 [J]. *信阳师范学院学报*, 2002, 15(4): 411-412.
- [28] 朱志国, 刘伟明, 华瑞年. 用原子吸收法测定 4 种英平顽痹消和 1 种英平顽痹通中钾、钠、钙、镁的含量 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(1): 159-160.
- [29] 朱志国, 刘伟明, 华瑞年. 英平诸痹灵药酒中铜、锰、镍、钴、镉、锂的含量及分析 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(2): 323-324.
- [30] 董顺福, 朱志国. 速效救心丸中 Ca Mg Fe Cu Zn 的测定及 Ca/Mg, Cu/Zn 比值分析 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(3): 478-479.
- [31] 孙瑞霞, 周玲妹, 薛万刚, 等. 原子吸收光谱法测定中成药中微量元素 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(5): 853-855.
- [32] 宋雅茹, 王尚芝, 徐建平, 等. 火焰原子吸收光度法测定何首乌中锰的研究 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(3): 483-484.
- [33] 魏巍, 屈凌波, 李建军, 等. 用火焰原子吸收分光光度法测定地黄中的铅 [J]. *郑州大学学报*, 2002, 34(1): 65-68.
- [34] 平琳, 魏巍, 屈凌波, 等. FAAS 测定怀药中的铜、锌、铁 [J]. *光谱实验室*, 2002, 19(1): 127-130.
- [35] 周林爱, 曹民杰, 汤楠. 石墨炉原子吸收法测定灵芝孢子粉中的痕量硒与锗 [J]. *分析实验室*, 2001, 20(4): 87-89.
- [36] 陈世忠. 石墨炉原子吸收光谱法测定中药漏芦中微量铅 [J]. *化学研究与应用*, 2003, 15(4): 567-568.
- [37] 付川, 祁俊生. 原子吸收光谱法测定中药中微量元素 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2003, 23(3): 617-618.
- [38] 刘彦明. 原子吸收光谱法测定中成药中微量元素 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2000, 20(3): 373-375.
- [39] 刘彦明, 王辉, 刘彦富, 等. 原子吸收光谱法测定大豆及其制品中的微量元素 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2004, 24 正在出版中.
- [40] 谷力. 测定天然和栽培缬草根金属元素的微波和干灰化消解-FAAS 法 [J]. *分析测试学报*, 2002, 21(6): 56-58.
- [41] 易新萍, 陈冬芸, 刘建平, 等. 微波溶样-AAS 法测定麻黄素浸膏粉中的 12 种元素 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2003, 23(1): 81-83.
- [42] 朱加叶, 乙小娟, 丁晓峰. 微波消化-石墨炉原子吸收分光光度法测定进口西洋参中的铅 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2003, 23(2): 380-382.
- [43] 魏巍, 屈凌波, 李建军, 等. 悬浮液进样-原子吸收法测定中药材中铜、锌、铁 [J]. *光谱学与光谱分析*, 2002, 22(5): 856-858.
- [44] 刘立行, 闫峰, 马学良, 等. 乳浊液及悬浮液进样-火焰原子光谱法测定金施尔康中的微量元素 [J]. *分析实验室*, 2001, 20(4): 90-91.

- [45] 徐 强,唐清华,郑 辉. 流动注射悬浮液脉冲进样 - 火焰原子吸收光谱法测定中草药生地中的铁和锌 [J]. 现代分析仪器, 2002, (5): 50-52.
- [46] 刘立行,王明勇,雷金禄. 中草药中铁锌钙的悬浮进样 - 火焰原子吸收光谱测定 [J]. 分析测试学报, 1999, 18(6): 59-61.
- [47] 张德强,苑春刚,高 英,等. 原子捕集 - 导数火焰原子吸收光谱法测定中草药中的微量锌 [J]. 分析实验室, 2002, 21(1): 9-12.
- [48] 苑春刚,张艳欣,张德强,等. 原子捕集 火焰原子吸收光谱法测定中草药中的锰和锌 [J]. 河北大学学报, 2002, 22(1): 23-27.
- [49] 杨莉丽,苑春刚,张艳欣,等. 原子捕集 火焰原子吸收光谱法测定中草药中痕量镉 [J]. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(6): 1045-1047.
- [50] 杨莉丽,张艳欣,高 英,等. 导数 - 原子捕集 - 火焰原子吸收光谱法测定中草药中的微量铜 [J]. 分析化学, 2002, 30(9): 1143-1146.
- [51] JACKSON S C. *Atomic absorption, atomic emission, and flame emission spectrometry* [J]. Anal Chem, 1996, 68(12): 231R-256R.
- [52] 陈恒武,戚文彬. 氢化物发生法测定铅的进展 [J]. 光谱学与光谱分析, 1994, 14(2): 113-120.
- [53] 郎惠云,熊 强,谢志海,等. 流动注射 - 原子吸收法测定药物制剂中的维生素 B₆ [J]. 分析化学, 1997, 25(8): 984-984.
- [54] 宋雅茹,王尚芝,王德发,等. 流动注射 氢化物发生 原子吸收光谱法测定果胶铋 [J]. 光谱学与光谱分析, 2002, 22(6): 1043-1044.
- [55] 刘汉东,陈恒初,吴旺喜,等. 流动注射在线萃取石墨炉原子吸收法测定芦荟的铅 [J]. 环境科学与技术, 2002, 22(5): 22-24.
- [56] 李顺兴,邓南圣,刘肇谦. 火焰原子吸收光谱法分析中药中锌的形态 [J]. 分析科学学报, 2002, 18(2): 145-148.
- [57] 李顺兴,邓南圣. 火焰原子吸收光谱法分析中药中锰的形态 [J]. 分析化学, 2002, 30(7): 890-890.
- [58] 黄国清,彭珊珊,单 斌. 食用花卉中微量元素 Fe、Zn 的蛋白质结合态分布 [J]. 光谱实验室, 2002, 19(3): 332-334.
- [59] 彭珊珊,黄国清. 食用花卉中 Fe 含量及其形态分析 [J]. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(1): 75-77.
- [60] 张雨青,王 伟. 原子吸收光谱法间接测定硫酸阿托品 [J]. 光谱实验室, 2002, 19(5): 665-667.
- [61] 宋雅茹,王尚芝,周艳霞,等. 火焰原子吸收光谱法测定盐酸环丙沙星 [J]. 北京师范大学学报, 2002, 38(1): 80-83.
- [62] 焦更生,郎惠云,董发昕. 间接原子吸收法测定药物制剂中利血生的含量 [J]. 分析化学, 2002, 30(1): 72-74.
- [63] 谢志海,王亚亭,郎惠云. 间接原子吸收法测定头孢菌素的方法研究 [J]. 西北大学学报, 2002, 32(1): 23-25.
- [64] 李亚荣,郎惠云,谭 峰,等. 流动注射在线过滤稀释原子吸收法测定药物制剂中卡托普利 [J]. 分析化学, 2002, 30(2): 165-168.
- [65] 王 伟,孙俊德. 间接原子吸收光谱法测定氢溴酸山莨菪碱 [J]. 光谱学与光谱分析, 2003, 23(4): 825-826.

Progress of atomic absorption spectrometry in pharmaceutical analysis

YANG Yu¹, WANG Gui-quan², LIU Yan-ming³

(1. Xinyang Experimental Middle School, Xinyang 464000, China;

2. Luoshan Jinding Chemical Co. Ltd., Luoshan 464200, China;

3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China)

Abstract Atomic absorption spectrometry has been widely used for the determination of microelements and organic compounds in medicines and traditional Chinese medicines recently. The performances of atomic absorption spectrometry have been improved markedly with the development of sample digestion, suspension sampling, atom trapping technique and hydride generation technique. The recent progresses of atomic absorption spectrometry in pharmaceutical analysis are reviewed with 65 references. The future prospects for the development are also discussed.

Key words atomic absorption spectrometry; pharmaceutical analysis; review

责任编辑: 张建合