

Review on the Study of Heavy Metal Test in Tobacco and Tobacco Products

Gaojun Sun¹, Shenqiu Hong^{1*}, Youjin Zhang², Xiaoliang Yang¹, Yun Fan²

¹Tobacco Quality Supervision and Test Station of Anhui, Hefei Anhui

²University of Science and Technology of China, Hefei Anhui

Email: sun_gaojun@126.com, *325hong@163.com

Received: Mar. 27th, 2015; accepted: Apr. 13th, 2015; published: Apr. 17th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

To get insight of the current situation of the research and the test in tobacco heavy metals, five kinds of test methods and other useful applications were summarized in this paper. Additionally, the characteristics and the tendency of tobacco heavy metal test methods and researches were also presented.

Keywords

Tobacco, Heavy Metal, Test

烟草及烟草制品重金属检测方法研究进展

孙高军¹, 洪深求^{1*}, 张悠金², 杨晓亮¹, 范允²

¹安徽省烟草质量监督检测站, 安徽 合肥

²中国科学技术大学, 安徽 合肥

Email: sun_gaojun@126.com, *325hong@163.com

收稿日期: 2015年3月27日; 录用日期: 2015年4月13日; 发布日期: 2015年4月17日

摘要

为了有助于烟草及烟草制品重金属研究和检测工作的开展, 本文综述了近年来5大类常见以及其它应用*通讯作者。

在烟草及烟草制品重金属含量检测领域的方法，分析了各类方法的特点和研究现状。

关键词

烟草，重金属，检测

1. 引言

随着国内外消费者对烟草及烟草制品中危害成分关注度的不断增加，尤其对重金属含量的关切度更是一度成为社会热门话题[1] [2]。烟草中的重金属对于烟草生长[3] [4]以及烟草消费者的健康等具有一定的影响，准确检测烟草及烟草制品中某些重金属的含量，对于烟草种植和烟草质量监控等有着积极而重要的意义。烟草化学科研工作者对其中含有的众多重金属日益表现出浓厚的科研兴趣，并对重金属含量检测方面做了诸多研究工作。现对近年来在烟草及烟草制品重金属的检测方法和手段进行综述。

2. 分光光度法

分光光度法是通过测定被测物质在特定波长处或一定波长范围内光的吸光度或发光强度，对该物质进行定性和定量分析的方法。该方法具有仪器设备和操作都比较简单，费用少，分析速度快，灵敏度高，选择性好，精确度与准确度好等优点。吕辉雄等[5]利用汞对溴酸钾氧化天青的催化作用，建立了流动注射催化光度法测定香烟中汞的新方法，回收率在 97.8%~102.7%，符合要求。阮琼等[6]用对磺酸基苯基亚甲基若丹宁(SBDR)与 Pb 显色反应后的络合物进行分光光度法测定，Pb 含量在 0~6 $\mu\text{g}/50\text{mL}$ 内符合比尔定律，在卷烟和烟叶中的标准回收率为 97%和 98%，检测结果满意。施红林等[7]研究了 SBDR 与 Hg 的显色反应，并用分光光度计测定 Hg 的含量，在 0.01~1.50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 时溶液吸光度与 Hg^{2+} 浓度的关系符合比尔定律。络合显色反应测定烟草及烟草制品中微量重金属含量的关键在于显色剂(即络合反应物)的选择和其本身对于特定重金属元素的选择性反应，开发新的显色剂成为这种方法的重要方面。日本学者 Asano 等[8]合成了卟啉嵌入的高聚物并将其用于重金属的检测领域。此外，将来还可以将生物-分光光度法[9]应用于烟草及烟草制品重金属检测工作，提高检测的选择性和准确性。

对于分光光度法，如何排除干扰使得检测结果更为有针对性和准确性是一个比较重要的方面，有待于研究和开发出对于不同重金属元素具有特异选择性的检测显色试剂。

3. 原子光谱法

原子光谱法是基于气态的基态原子外层电子对紫外光和可见光范围的相对应原子共振辐射线的吸收强度来定量被测元素含量为基础的分析方法。主要包括原子发射光谱法(AES)、原子吸收光谱法(AAS)、原子荧光光谱法(AFS)以及 X 射线荧光光谱法(XFS)等。

1) 原子发射光谱分析(AES)，是利用原子对辐射的发射性质建立起来的分析方法，主要用于微量多元素的定量分析。张华等[10]采用微波消解-电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES)测定了不同产地、不同等级、不同品种烟叶中 Cr、Ni、As、Cd 和 Pb 等金属元素的含量，加标回收率为 91.0%~108.4%，结果满意。钟狂飙等[11]用上述方法同时测定 Hg, Se, Sn, Pb, Ni 和 Cr 等 7 种元素在大白兔体内蓄积的含量，加标回收率 95.0%~104.2%，相对标准偏差 1.3%~4.1%，具有良好的准确度和精密性。郭武学等[12]采用相同方法测定香烟接装纸中的 As、Cd、Cr、Hg、Pb 和 Se 的含量，加标回收率 96.7%~104.8%，检出限在 0.000075~0.1288000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内。

2) 原子吸收光谱分析(AAS)，是利用原子对辐射的吸收性质建立起来的分析方法，主要用于微量单元

素的定量分析。沈宏杰[13]利用微波消解-石墨炉原子吸收法测定卷烟中的镉含量,方法线性范围为0.060 ng/mL~1.600 ng/mL,检出限为0.012 ng/mL,其精密度及准确度良好。谭宏祥等[14]用相同方法测定烟叶中Pb, Cr和Cd的含量,回收率为96%~99%,RSD < 5.0%,测定结果满意。廖惠云等[15]运用湿法消解-石墨炉原子吸收光谱法检测烟用香精中重金属铅和砷,曲线的相关系数为0.9997和0.9999,检出限为1.068 μg/L和0.394 μg/L,相对标准偏差为3.83%和3.79%,回收率为85.27%~95.83%和89.93%~91.93%。庞永强等[16]考察了流动注射-冷原子吸收光谱法测定卷烟主流烟气中汞的方法,测定了12个卷烟烟气样品,线性范围为0.1~100 μg/L,检出限0.03 μg/L,RSD < 5%,回收率85.6%~105.7%;通过此方法作者还发现了卷烟主流烟气中的汞含量与焦油量具有一定的相关性。殷晓玲等[17]采用原子吸收光谱法测定卷烟烟气中重金属元素的含量,该方法的检出限为0.012~0.500 μg/L,RSD < 3.5%,回收率为88%~102%。刘秀彩等[18]建立了微波消解-石墨炉原子吸收法测定卷烟中重金属元素As、Pb、Cr、Cd和Ni的方法,检测了全国10种不同牌号卷烟中的上述重金属元素含量,平均回收率为97.3%、98.9%、101.2%、100.1%和102.6%;RSD分为4.6%、3.0%、3.6%、2.2%和3.3%;检出限为0.147、0.265、0.146、0.026和0.172 μg/L。廖惠云等[19]建立了测定烟用水基胶中铅和砷的微波消解-石墨炉原子吸收光谱方法,Pb和As分别在0~50和0~20 μg/L范围内,工作曲线的线性相关系数、方法的检出限、相对标准偏差及回收率依次分别为0.9992和0.9995,0.075和0.037 mg/kg,6.7%和9.86%,87.97%~92.35%和93.37%~108.92%,该方法适合于烟用水基胶中重金属Pb和As的定量分析。胡立中等[20]利用微波消解对烟草及烟草制品样品进行前处理,建立了检测烟草中硒含量的石墨炉原子吸收光谱法,RSD < 4.58%,回收率为97.90%~103.10%,检出限0.035 μg/L。该方法适用于检测烟草及烟草制品中的硒含量。

3) 原子荧光光谱分析(AFS),是利用原子对辐射激发的再发射性质建立起来的分析方法,主要用于微量单元素的定量分析。夏振远等[21]采用氢化物发生-原子荧光光谱法(HG-AFS)测定烟草中的砷、铋,烤烟和杀青烟叶样品的相对标准偏差为As: 1.62%~5.01%,Bi: 5.38%~10.13%;检出限为As: 0.079 μg/L, Bi: 0.381 μg/L;线性范围As: 0.0~60.0 μg/L, Bi: 0.0~8.0 μg/L;加标回收率为As: 86.7%, Bi: 108.0%,测定结果满意。孔维松等[22]研究了原子荧光法测定卷烟主流烟气中的汞、砷、铅,方法RSD为2.8%~3.2%,标准回收率为91%~95%。贺兵等[23]研究了原子荧光法测定烟草中砷和汞的方法,检出限为砷0.105 ng/mL、汞0.1008 ng/mL,RSD为砷2.16%、汞2.17%,加标回收率为砷96%~103%、汞94%~102%。蒋倩等[24]优化出氢化物发生-原子荧光光谱法测定样品中镉(Cd)的最佳试验条件,镉的检出限为0.0031 μg/L,线性范围为0.00~3.00 μg/L,测定变异系数小于3.0%,加标回收率为88.7%~99.5%,该方法测定烟叶中Cd结果准确可靠。

4) X射线荧光光谱法(XFS)是介于原子发射光谱(AES)和原子吸收光谱(AAS)之间的光谱分析技术。它的基本原理是基态原子(一般蒸汽状态)吸收合适的特定频率的辐射而被激发至高能态,而后激发过程中以光辐射的形式发射出特征波长的荧光,测量待测元素的原子蒸气在一定波长的辐射能激发下发射的荧光强度进行定量分析的方法。此方法已被广泛应用与各个领域的重金属元素含量检测[25]-[28]。目前,虽然该方法还鲜见应用于烟草及烟草制品重金属检测领域的文献报道,但是此方法在该领域的应用将会有发挥更好的作用和潜力。

原子光谱法对于检测单个重金属元素的含量是有效而准确的,不过对于单个样品多个元素同时检测在检测时效上有待于进一步的开发和研究。

4. 电感耦合等离子体质谱法

电感耦合等离子体质谱法是以电感耦合产生的等离子体为离子源的一种质谱型分析方法,可适用于多元素同时测定,该方法具有灵敏度高;速度快,干扰少等特点。索卫国等[29]采用电感耦合等离子体质

谱测定了成品烟烟丝中 Cr、Ni、As、Se、Cd 和 Pb 等 7 种重金属元素, 方法回收率 92.8%~120%, 检出限 25.2~245 ng/L, RSD < 10%。李银科等[30]用该法测定卷烟烟气中重金属元素 Pb、As、Cd、Cr、Ni 和 Hg 的含量, 检出限均低于 0.01 $\mu\text{g/L}$, 回收率为 89%~103%, RSD 为 2.4%~3.4%。侯宏卫等[31]建立了电感耦合等离子体质谱法测定烟用接装纸中砷、铅、镉、铬、镍、汞含量的方法, 检测了 25 个接装纸样品, 平均回收率在 97.9%~101.6%之间, 检出限分别为 0.001, 0.002, 0.008, 0.004, 0.007 和 0.016 mg/kg。王海利等[32]建立了微波消解、动态反应池—电感耦合等离子体/质谱(DRC-ICP/MS)法同时测定卷烟烟丝中的 Cr, Ni, As, Se, Cd, Hg 和 Pb 含量的方法, 方法回收率 85.06%~119.54%, RSD < 10%, 检出限 0.24~70.05 ng/L。倪朝敏等[33]采用上述方法同时测定彩色卷烟纸中的 Cr、Ni、As、Se、Hg 和 Pb 等 7 种重金属含量, RSD < 10%、回收率为 86.6%~120.9%、检出限为 2.94~70.05 ng/L, 该方法操作简单, 能快速准确测定彩色卷烟纸中重金属。熊文等[34]采用电感耦合等离子体质谱法测定烟用水基胶中的重金属, 在检测的 86 样品中, 均未检出重金属成分。何杰等[35]对某省 5 个产地 21 种烟叶样品用电感耦合等离子体直角加速时间飞行质谱(ICP-oaTOF-MS)测定砷、镉、汞和铅的含量, 标准曲线相关系数 > 0.9998, 回收率为 91.49%~106.25%, RSD < 2%, 检出限为 0.093~0.168 $\mu\text{g/L}$ 。王文元等[36]采用 Elan DRc 型 ICP-MS 对检测 Cr、Ni、As、Cd 和 Pb 等 5 种重金属元素, 所测元素线性相关系数均在 0.9998 以上, 检出限为 0.015~0.057 $\mu\text{g/L}$, 定量限为 0.050~0.191 $\mu\text{g/L}$, 除 As 外其他元素加标回收率为 80.0%~119.4%。ICP-MS 法本身具有准确度高、简单快速的优点, 与动态反应池串联后, 很大程度上提高了抗干扰能力, 对于微量元素检测具有重要的应用前景。

尽管该方法对于单个样品多个重金属元素的检测具有高效性, 但是仍然存在相互干扰的一些检测问题, 有待于解决。此外, 检测样品的前处理比较复杂, 如能研究出高效的前处理方法, 该方法将具有更广阔的应用前景。

5. 离子色谱法

离子色谱法是将改进后的电导检测器安装在离子交换树脂柱的后面, 以连续检测色谱分离的离子的方法, 具有迅速、连续、高效、灵敏等优点。于双军等[37]采用非抑制型离子色谱法、阳离子交换柱、电导检测器, 以柠檬酸-苹果酸-乙二胺为淋洗液, 同时测定 Ag^+ 、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Zn^{2+} 和 Pb^{2+} 五种离子, 工作曲线方程相关系数为 0.989~0.999, 检出限为 0.02~0.10 $\mu\text{g/mL}$, RSD 为 1.64%~4.03%, 加标回收率为 98%~104%。本方法用于烟叶样品的分析, 具有简便、快速、检出限低, 灵敏度高, 准确度高、选择性好的特点。目前, 该方法还未见用于其他烟草和烟草制品的重金属检测领域, 具有广阔的应用价值。

该方法的检测前仪器准备较为繁琐和复杂, 有待于改进和提高。

6. 高效液相色谱法

高效液相色谱法以液体为流动相, 采用高压输液系统, 将具有不同极性的单一溶剂或不同比例的混合溶剂、缓冲液等流动相泵入装有固定相的色谱柱, 在柱内各成分被分离后, 进入检测器进行检测, 从而实现对试样的分析。张承明等[38]研究了用四-(对甲基苯基)-吡啶柱前衍生, 固相萃取富集, 高效液相色谱测定烟草中痕量汞的方法, 在 1~120 $\mu\text{g/L}$ 范围内含量与峰面积成线性关系, 检测限为 0.3 $\mu\text{g/L}$, RSD 1.5%~2.4%, 回收率 94%~106%, 结果满意。刘巍等[39]用上述方法研究了高效液相色谱法测定烟草中痕量 Pb、Cd 和 Hg 的方法, 含量在 1~120 $\mu\text{g/L}$ 范围内与峰面积呈线性关系, 检测限为: Pd 0.3 $\mu\text{g/L}$ 、Cd 0.5 $\mu\text{g/L}$ 和 Hg 0.3 $\mu\text{g/L}$, RSD 2.6%~4.1%, 回收率为 91%~107%, 结果令人满意。黄海涛等[40]研究了用固相萃取富集, 高效液相色谱法测定烟草及烟草添加剂中镍、铜、锡、铅、镉和汞的方法, 检出限分别为 42, 38, 82, 60, 50 和 25 ng/L, RSD 为 2.1%~2.8%, 回收率为 95%~103%, 结果满意。胡群等

[41]研究了用 2-(2-喹啉偶氮)-5-二甲氨基酚(QADMAP)为柱前衍生试剂, 高效液相色谱法分离, 二极管矩阵检测器检测测定铁、钴、镍、铜、锌和锰的方法, 检出限分别为铁 3 $\mu\text{g/L}$ 、钴和铜 4 $\mu\text{g/L}$ 、镍 2 $\mu\text{g/L}$ 、锌 5 $\mu\text{g/L}$ 、锰 8 $\mu\text{g/L}$, 用于烟草中痕量铁、钴、镍、铜、锌和锰的测定, RSD 1.6%~3.8%, 回收率 93%~107%, 结果满意。

该方法中所使用的衍生化试剂的多样性有待于进一步开发, 以使得衍生化反应更为彻底和完全, 保证检测结果更为准确和可靠。

7. 其它方法

除了上述的 5 类检测方法外, 目前使用的方法还有化学传感器法[42]、光诱导顺磁共振法[43]、激光击穿光谱[44]、中子活化分析法[45]、电化学方法等方法。

8. 结语

随着人们对烟草及烟草制品重金属含量关注度的不断提高, 科学界对该领域的研究兴趣浓厚。在烟草及烟草制品重金属含量检测领域, 最常用的方法是 ICP-MS 法和原子吸收光谱法, ICP-MS 方法较为快速并可实现多元素同时检测, 必将在该领域的应用越来越广泛。

基金项目

国家烟草专卖局重点项目“烟叶中不同形态及烟气中不同价态重金属的分离及检测技术开发”合同号: 110201202006。

参考文献 (References)

- [1] 李妍 (2010) 国产香烟重金属含量: 不超标, 也超高. *中国经济周刊*, **11**, 49-51.
- [2] 李静文 (2010) 土壤污染防治立法刻不容缓——从烟草重金属超标说起. *环境保护*, **24**, 36-38.
- [3] 潘淑君, 李无双, 王荣琴 (2010) 烟草中重金属含量防控途径探讨. *科学观察*, **6**, 96-97.
- [4] 胡清源 (2007) 电感耦合等离子体质谱法测定烟草样品中多重元素. 博士论文, 中国科学院合肥物质科学研究院, 合肥.
- [5] 吕辉雄, 司学芝, 樊静, 冯素玲, 崔凤灵 (2004) 流动注射催化光度法测定中药和香烟中的汞. *分析测试学报*, **1**, 97-99.
- [6] 阮琼, 迟绍明, 王锐, 李毅 (2008) SBDR 显色剂固相萃取光度法测烟草中的铅. *云南大学学报*, **1**, 79-82.
- [7] 施红林, 李忠, 杨光宇, 黄海涛, 刘巍 (2002) 用分光光度法测定烟草中的汞. *烟草科技*, **12**, 20-22.
- [8] Asano, T., Wang, P.-C. and Iwasaki, A. (2010) Synthesis of porphyrin-incorporated polymers and their application for simultaneous detection of multimetal components by using spectrophotometry. *Spectrochimica Acta Part A*, **75**, 305-309.
- [9] Knecht, M.R. and Sethi, M. (2009) Bio-inspired colorimetric detection of Hg^{2+} and Pb^{2+} heavy metal ions using Au nanoparticles. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, **394**, 33-46.
- [10] 张华, 郭国宁, 王娟, 岳海波 (2009) 微波消解-电感耦合等离子体原子发射光谱法测定烟叶中多种元素. *中国烟草学报*, **15**, 12-15.
- [11] 钟狂飙, 桂明, 朱立勇, 李维, 管茶香, 郭方道 (2011) 采用 ICP-AES 法测定香烟烟气成分中金属离子在动物体内的蓄积. *中南大学学报*, **7**, 1878-1882.
- [12] 郭武学, 郁洁, 李瑞芬 (2012) 采用 ICP-AES 法测定香烟接装纸中的汞、砷、铅、铬、镉和硒. *光谱实验室*, **3**, 1804-1808.
- [13] 沈宏杰 (2008) 微波消解-石墨炉原子吸收法测定烟草中的镉含量. *广东化工*, **10**, 124-126.
- [14] 谭宏祥, 刘艳芳, 赵桂铭, 潘文亮, 刘波, 张峻松 (2008) 原子吸收光谱法测定烟叶中铅铬和镉的研究. *农产品加工*, **5**, 86-88.

- [15] 廖惠云, 张映, 庄亚东 (2008) 烟用香精中重金属铅和砷的分析研究. *中国烟草学报*, **4**, 8-12.
- [16] 庞永强, 陈再根, 陈欢, 姜兴益, 唐纲岭, 胡清源 (2010) 冷原子吸收光谱法测定卷烟主流烟气中的汞. *烟草科技*, **9**, 47-50.
- [17] 殷晓玲, 王亚明, 王岚, 李银科, 胡秋芬 (2010) 原子吸收光谱法测定卷烟烟气中重金属元素含量的研究. *安徽农业科学*, **7**, 3427-3428.
- [18] 刘秀彩, 陈昱, 郑捷琼, 黄惠贞, 梁晖 (2011) 卷烟中砷、铅、铬、镉、镍的石墨炉原子吸收测定. *中国烟草科学*, **1**, 71-79.
- [19] 廖惠云, 张映, 熊晓敏, 庄亚东 (2011) 微波消解 - 石墨炉原子吸收光谱法测定水基胶中的铅和砷. *烟草科技*, **12**, 34-38.
- [20] 胡立中, 胡永华, 葛少林, 刘玲, 蔡婧 (2013) 微波消解 - 石墨炉原子吸收光谱法检测烟草及烟草制品中的硒含量. *烟草科技*, **3**, 47-53.
- [21] 夏振远, 雷丽萍, 吴玉萍 (2006) 氢化物发生 - 原子荧光光谱法检测烟草中痕量砷和铋. *光学实验室*, **5**, 992-996.
- [22] 孔维松, 汤丹俞, 曾晓鹰, 者为, 施红林, 张峻松 (2009) 原子荧光法测定卷烟主流烟气中的汞、砷、铅. *安徽农业科学*, **21**, 9837-9838.
- [23] 贺兵, 陈章玉, 王璐, 苏钟璧, 张承明, 陈永宽 (2010) 原子荧光法测定烟草样品中砷和汞的方法研究. *河北农业科学*, **4**, 154-155.
- [24] 蒋倩, 王如海, 孙晓丽, 龚华, 孙玉芳, 倪俊 (2010) 氢化物发生 - 原子荧光光谱法测定烟叶中的镉. *中国农学通报*, **13**, 188-121.
- [25] 宋勇鹏, 王翔, 黄扬明 (2008) X 射线荧光光谱法检测废旧塑料中的有毒有害重金属. *广州化工*, **5**, 69-71.
- [26] 张思冲, 周晓聪, 张丽娟, 叶华香 (2009) X 射线荧光光谱法测定沉积物中重金属. *实验室研究与探索*, **9**, 39-42.
- [27] 张思冲, 周晓聪, 叶华香, 王春光 (2009) X 射线荧光光谱法测定哈尔滨城郊菜地土壤重金属. *中国农学通报*, **13**, 230-233.
- [28] 朱万燕, 刘心同, 薛秋红, 单宝田 (2009) X 射线荧光光谱法同时测定涂料中的铅、铬、硒和钴. *中国烟草学报*, **9**, 95-98.
- [29] 索卫国, 胡清源, 陈再根, 王芳 (2008) 电感耦合等离子体质谱法同时测定成品烟烟丝中 7 种微量元素. *分析实验室*, **6**, 81-84.
- [30] 李银科, 贺宾, 金永灿, 胡秋芬, 杨光宇 (2009) 电感耦合等离子体质谱法测定卷烟烟气中重金属元素. *理化检验: 化学分册*, **8**, 913-915.
- [31] 侯宏卫, 朱凤鹏, 唐纲岭, 李雪, 胡清源 (2009) 电感耦合等离子体质谱法快速测定烟用接装纸中砷、铅、镉、铬、镍、汞的研究. *中国烟草学报*, **4**, 8-12.
- [32] 王海利, 汤建国, 孟昭宇, 朱文辉, 陆舍铭, 戴云 (2010) DRC-ICP/MS 法同时测定卷烟烟丝中 8 种重金属. *烟草科技*, **12**, 46-48.
- [33] 倪朝敏, 汤建国, 王海丽, 孟昭宇 (2012) 动态反应池电感耦合等离子体质谱法同时测定彩色卷烟纸中 7 种重金属. *光谱实验室*, **2**, 472-476.
- [34] 熊文, 舒云波, 张峻松, 赵辉 (2011) 电感耦合等离子体质谱法测定烟用水基胶中的重金属. *安徽农学通报*, **8**, 87-88.
- [35] 何杰, 曾千春, 旦有明, 易建华, 宋春满, 丁元明 (2012) 微波消解 - 直角加速飞行时间电感耦合等离子体质谱法测定烟叶中砷铅镉汞. *岩矿测试*, **3**, 419-424.
- [36] 王文元, 夏建军, 段焰青, 蒋举兴, 夏向伟 (2013) 电感耦合等离子体质谱仪法测定三乙酸甘油酯中 5 种重金属元素的含量. *贵州农业科学*, **1**, 195-198.
- [37] 于双军, 姜春燕, 田月兰, 仇满德 (2007) 52919 离子色谱法测定烟叶中的过渡金属和重金属. *化学与黏合*, **3**, 226-228.
- [38] 张承明, 古昆, 王保兴, 杨光宇 (2002) 四 - (对甲基苯基) - 吡啶柱前衍生 - 固相萃取富集高效液相色谱法测定烟草中痕量汞. *云南化工*, **3**, 26-28.
- [39] 刘巍, 杨光宇, 王保兴, 李忠, 施红林, 王岚, 蒋次清 (2003) 四 - (对甲基苯基) - 吡啶柱前衍生固相萃取富集高效液相色谱法测定烟草中痕量铅、镉、汞. *分析化学*, **4**, 463-466.

- [40] 黄海涛, 李忠, 陈章玉, 王保兴, 施红林, 杨光宇 (2004) 固相萃取富集-高效液相色谱法测定烟草和烟草添加剂中的重金属元素. *理化检验 - 化学分册*, **5**, 251-254.
- [41] 胡群, 邱晔, 马静, 杨光宇, 刘吉开 (2005) 微柱高效液相色谱法测定烟草样品中铁钴镍铜锌锰. *理化检验—化学分册*, **4**, 235-237.
- [42] Rudnitskaya, A., Legin, A., Seleznev, B., Kirsanov, D. and Vlasov, Y. (2008) Detection of ultra-low activities of heavy metal ions by an array of potentiometric chemical sensors. *Microchimica Acta*, **163**, 71-80.
- [43] Lodeiro, C., Capelo, J.L., Mejuto, J.C., Oliveira, E., Santos, H.M., Pedras, B. and Nunez, C. (2010) Light and color as analytical detection tools: A journey into the periodictable using polyamines to bio-inspired systems as chemosensors. *Chemical Society Reviews*, **39**, 2948-2976.
- [44] 林兆祥, 李捷, 刘林美, 宋述燕, 吴金泉 (2008) 利用激光击穿光谱检测烟气中的重金属成分. *中国激光*, **35**, 338-340.
- [45] E1-Abbady, W.H. (2001) Determination of 12 elements in Egyptian cigarette tobacco by instrumental neutron activation analysis. *AMSE, Modeling, Measurement and Control*, **62**, 61-68.