

## 火焰原子吸收光谱法检测烟梗草木灰中的钾含量

史梦瑶, 苏康乐, 路庆明, 张斌, 徐晓文\*

山东大学化学与化工学院, 济南 250100

**摘要:** 使用火焰原子吸收光谱法测量废弃烟梗中钾离子的含量, 并与其他常见农作物钾素含量做对比, 为废弃烟梗的再利用提供一定的解决思路。通过自主设计并进行实验, 能够培养学生独立思考和解决实际问题的能力, 强化对理论与实践二者间联系的理解, 进一步了解并正视能源和环境问题, 充分发挥知识育人和实践育人的作用。

**关键词:** 烟梗; 钾含量; 原子吸收光谱; 自主设计实验

**中图分类号:** G64; O6

## Determination of Potassium Content in Tobacco Stem Ash by Flame Atomic Absorption Spectroscopy

Mengyao Shi, Kangle Su, Qingming Lu, Bin Zhang, Xiaowen Xu \*

School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China.

**Abstract:** This study employs flame atomic absorption spectroscopy to quantify the potassium ion content in discarded tobacco stem ash. The results are compared with the potassium levels in other common crops, offering potential solutions for the reutilization of tobacco waste. The independently designed experiments aim to cultivate students' abilities in critical thinking and practical problem-solving, reinforcing the connection between theoretical knowledge and practical application. This approach enhances students' understanding of energy and environmental issues, maximizing the educational value of both theoretical and practical learning.

**Key Words:** Tobacco stem; Potassium content; Atomic absorption spectroscopy; Independently-designed experiment

仪器分析实验课程是化学、环境科学、材料科学、生命科学、药学等专业中一门重要的实践性课程, 对于提高基本科研能力、助力创新发展具有重要的意义<sup>[1]</sup>。仪器分析实验课程教学使学生以更加直观清晰的方式在根本上了解到实验所用设备的基本结构, 并熟练掌握仪器设备的基本原理, 从而进一步巩固并夯实学生的理论知识基础。在此基础上, 仪器分析实验教学中学生通过亲自动手操作仪器设备, 将课程所学理论知识应用到实际操作中, 不仅能培养学生运用所学仪器分析知识理解、分析并解决问题的科研能力, 为培养学生创新能力和思维打下坚实的基础; 还能进一步锻炼学生“理论解决实际问题”和“实践反作用促进理论巩固”二者相统一的学习模式, 提升学生基础理论知识的学习效果, 将课堂上所学理论知识最大程度地实践应用化, 提升教学效果<sup>[2]</sup>, 更好地提高学生的综合素质和思考问题的能力。新时代背景下为响应国家教育方针与时代发展的要求, 基于仪器分析实验创新实验课程, 授课教师将思政元素融入仪器分析实验教学中, 实现思想价值引领与

收稿: 2024-04-16; 录用: 2024-06-11; 网络发表: 2024-07-04

\*通讯作者, Email: xuxw@sdu.edu.cn

基金资助: 山东大学教育教学改革研究项目(2023Y105)

实验教学的良好渗透, 促进学生综合素质全方面发展。

设计实验是仪器分析实验的重要组成部分, 学生对实验内容进行可行性方案的设计, 通过检索文献和相关资料, 自主讨论归纳并总结出具体实验步骤, 从“被动接受”转变为“主动探索”, 将抽象的科学知识转化为具体的实验操作, 具体问题具体分析, 在实践中进一步深化对基础理论知识的理解。学生获得更深入、全面和实践性的学习体验的同时, 还能实现学习内驱力、动手能力和实践能力的联合培养, 真正做到“知行合一, 学以致用”, 为学生今后从事科学研究和工程实践打下基础<sup>[3]</sup>。

作为世界上最大的烟草生产国之一, 我国在全国范围内有许多烟草种植培育基地, 每年相关行业在烟草生产制造过程中会废弃大量的工业烟梗资源<sup>[4]</sup>, 这些资源的保存和利用问题值得被关注和重视。因此, 如何变废为宝、实现废弃烟梗的资源再利用, 对构建可持续发展社会具有极其重要的意义<sup>[5]</sup>。钾盐是中国最为紧缺的矿产资源之一, 我国钾肥大多靠进口, 寻求其他类型的钾资源并加以开发利用对我国农业的持续、稳定发展是很有必要的<sup>[6]</sup>。本实验采用火焰原子吸收光谱法测定烟梗草木灰中钾离子含量, 选题贴近生活, 以日常生活问题为切入点, 通过引导学生将“保护环境”“资源再利用”等价值理念运用于仪器分析创新实验, 增强学生的社会责任感与使命感, 促使学生主动创新性思考, 感悟化学、环境、生活之间的紧密联系, 提高教学的深度和广度, 落实立德树人的根本任务, 更好地达到教学效果, 做到真正意义上的知识育人和实践育人<sup>[7]</sup>。

## 1 实验目的

- (1) 了解原子吸收分光光度计的基本结构和工作原理, 掌握火焰原子吸收光谱分析基本操作。
- (2) 掌握钾的标准曲线测定方法及原子吸收光谱法定量分析的基本依据。
- (3) 比较不同农作物中钾含量并思考废弃烟梗的可能用途, 培养学生自主实验与独立思考的能力。
- (4) 比较实验在是否加入氯化铯溶液下各溶液的吸光度, 深入理解并掌握氯化铯溶液的作用。
- (5) 了解火焰原子吸收光谱法在日常实际生产中的应用, 加深对理论与实践之间联系的理解, 体会化学、环境、生活的紧密联系, 拓展学生的科学视野, 培养学生理论结合实践的能力。

## 2 设计实验内容

### 2.1 实验原理

火焰原子吸收光谱分析通过物质的基态原子蒸气对所测元素的特定谱线的吸收作用而进行定量分析<sup>[8]</sup>, 具有选择性好、准确度高、分析成本低等优良特点。

火焰原子吸收光谱定量分析的基础是朗伯-比尔定律, 所测原子被元素灯发射出的共振线照射, 其基态蒸气能够对特征谱线产生吸收, 未被吸收的光则透过火焰经单色器被光电倍增管接收。原子吸收分光光度计所测出的吸光度在一定浓度范围内与溶液的浓度和吸收层液层厚度成正比, 这一定量关系为我们通过测量溶液的吸光度来检测未知溶液中某一元素的含量提供根据<sup>[9]</sup>。

### 2.2 实验仪器与试剂

试剂: 碳酸钾(分析纯); 硝酸溶液(分析纯的浓硝酸配成的 1 : 1 水溶液); 氯化铯溶液(0.0100 g·mL<sup>-1</sup>); 玉米秸秆草木灰; 棉花秸秆草木灰; 烟梗草木灰。

仪器: TAS-990型原子吸收分光光度计(配有钾空心阴极灯)(北京普析通用仪器)。

### 2.3 实验操作

#### 2.3.1 钾标准使用液的配制

钾标准贮备液: 称取1.767 g碳酸钾, 溶解于水中, 将碳酸钾溶液转移到100 mL容量瓶中, 加水稀释, 定容至刻度线, 混匀。此溶液每毫升含10.00 mg钾离子。

钾标准使用液: 用移液管移取5.00 mL钾标准贮备液于500 mL容量瓶中, 加水稀释, 定容至刻度

线, 混匀, 此溶液每毫升含100.00  $\mu\text{g}$ 钾离子。然后再从上述溶液中取5.00 mL于100 mL容量瓶中, 加水稀释, 定容至刻度线并混匀, 此溶液每升含5.00 mg钾离子。

### 2.3.2 待测样品溶液的配制

在分析天平上称取烟梗草木灰试样0.4917 g, 在50 mL小烧杯中加入去离子水至高于草木灰表面1–2 cm处, 加入8 mL硝酸, 用玻璃棒搅拌煮沸溶样2 min, 使草木灰中的钾盐溶解于水, 过滤获得澄清的滤液。将滤液稀释定容到500 mL容量瓶中, 移取该溶液20.00 mL, 转入500 mL容量瓶中, 用去离子水定容, 得烟梗样品的待测样品液。

分别称取0.998 g玉米秸秆草木灰、1.024 g棉花秸秆草木灰试样, 操作与上述相同, 煮沸后使草木灰中的钾盐溶解于水, 过滤获得澄清滤液。将滤液稀释定容到500 mL容量瓶中, 移取该溶液10.00 mL, 转入500 mL容量瓶中, 用去离子水定容至刻度线, 得到玉米秸秆的待测样品液及棉花秸秆的待测样品液。

### 2.3.3 标准溶液的配制

分别向25 mL比色管中移取0.50、1.00、1.50、2.00、2.50 mL钾标准使用液, 再分别向每只比色管中转移2.00 mL硝酸溶液以及5.00 mL氯化铯溶液, 定容至刻度线, 混匀待测。在三只25 mL比色管中分别将三种待测试样溶液各取1.00 mL, 然后依次加入硝酸溶液2.00 mL、氯化铯溶液5.00 mL, 定容至刻度线, 摇匀备用。

为了验证氯化铯溶液对钾离子吸光度测量的影响, 我们设计了下述实验方案: 在不加氯化铯溶液条件下, 配制与上述条件相同的5支钾离子标准系列溶液的比色管与三只待测样品溶液比色管, 详细数据见表1。值得注意的是, 因为三种样品在溶液处理过程中的步骤相同, 因此为方便书写可以统一表示, 即在表1中将有无氯化铯溶液加入的两种情况分别表示为比色管6与12。

表1 标准系列溶液的配制

序号	$V(\text{钾标准使用液})/\text{mL}$	$c(\text{K}^+)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$V(\text{样品溶液})/\text{mL}$	$V(\text{硝酸})/\text{mL}$	$V(\text{氯化铯溶液})/\text{mL}$
1	0.50	0.10	0	2.00	5.00
2	1.00	0.20	0	2.00	5.00
3	1.50	0.30	0	2.00	5.00
4	2.00	0.40	0	2.00	5.00
5	2.50	0.50	0	2.00	5.00
6	0	0	1.00	2.00	5.00
7	0.50	0.10	0	2.00	0
8	1.00	0.20	0	2.00	0
9	1.50	0.30	0	2.00	0
10	2.00	0.40	0	2.00	0
11	2.50	0.50	0	2.00	0
12	0	0	1.00	2.00	0

## 3 实验结果及讨论分析

### 3.1 氯化铯溶液对实验的影响

实验开始时选用自检正常的实验设备, 确保实验仪器条件调节至最佳状态, 用配有钾空心阴极灯的火焰原子吸收分光光度计对表1中的钾离子标准系列溶液进行检测, 在是否加入氯化铯溶液两种条件下测得的对应吸光度值 $A$ , 见表2。

通过阅读文献我们了解到当使用火焰原子吸收光谱法测定钾离子浓度含量时, 相比于其他元素,

钾元素较易电离，从而导致基态钾原子数目的减少，测得的吸光度相应地也会随之下降，这无疑会对实验结果的测定产生影响。一般来说，我们通常选择在溶液中加入一定量的更易电离物质作为电离抑制剂来避免上述现象的发生，例如碱金属元素铯、铷等。因为上述元素的电离电位要比钾的电离电位低，在溶液中会比钾离子更易电离<sup>[10,11]</sup>，即当钾离子与铯离子共存时，铯会优先发生电离，进而抑制了钾元素的电离。

通过比较表2的实验数据可以看出，在其他条件相同的条件下，加入氯化铯溶液所测出的吸光度均大于无氯化铯溶液加入的吸光度，铯作为钾离子的电离抑制剂，会抑制钾的电离消除电离干扰，所以氯化铯溶液的加入使得实验数据测定过程更加准确可靠。

表2 钾离子溶液的吸光度值

$c(\text{K}^+)/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$A(\text{CsCl})$	$A(\text{无CsCl})$
0.100	0.143	0.114
0.200	0.215	0.177
0.300	0.309	0.223
0.400	0.403	0.271
0.500	0.485	0.317

$A(\text{CsCl})$ 表示加入氯化铯溶液所对应的吸光度； $A(\text{无CsCl})$ 表示不加氯化铯溶液所对应的吸光度

### 3.2 钾离子工作曲线的绘制

由上述结论可知，加入氯化铯溶液会使实验结果更加精确，在不加氯化铯溶液条件下计算出来的样品钾含量存在误差，其数据参考价值的可靠性降低。因此在接下来对待测样品中钾含量进行测定的实验中，我们将以加入氯化铯溶液为基础对实验结果进行讨论分析。

将表2中在加入氯化铯溶液条件下的吸光度值和溶液浓度进行线性拟合，以钾离子工作曲线溶液浓度 $c$  ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )为横坐标，以吸光度值 $A$ 为纵坐标，作出 $A$ - $c$ 的标准工作曲线，见图1，得到标准曲线线性回归方程与线性相关系数 $R^2$ 。

因为在设计实验方案时我们已进行了相关计算确保本次实验的待测样品溶液浓度在浓度梯度线性范围 $0.100$ – $0.500$   $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 内，因此浓度梯度范围的筛选工作并未在文章中展开叙述。

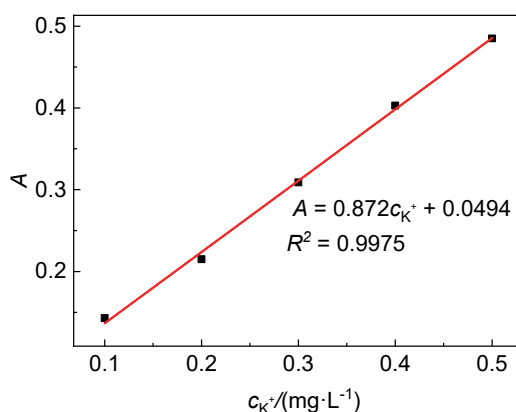


图1 加入氯化铯溶液条件下钾离子的工作曲线

标准曲线的线性相关系数 $R^2$ 在0.99以上，溶液吸光度 $A$ 与离子浓度 $c$  ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )线性关系良好，图1中钾离子标准曲线的回归方程较为接近真实情况，因此此线性回归方程可用于计算待测样品中的钾

含量，即将实验测得的待测样品溶液稀释液吸光度代入此钾离子工作曲线，进而通过计算求出样品中的钾含量。

### 3.3 样品钾含量的检测及结果讨论

在加入氯化铯溶液条件下，根据三种待测样品溶液稀释液吸光度，代入线性表达式推算出相应待测样品溶液的钾离子浓度，根据样品液配制过程中溶液的稀释倍数，通过计算求出已知质量的玉米秸秆、棉花秸秆和烟梗中的钾含量，进而对实验结果进行比较并分析讨论，详细数据见表3。

表3 稀释液吸光度、稀释液钾离子浓度、稀释倍数及样品中钾含量

样品	$A(\text{稀释液})$	$c_{\text{K}^+}(\text{稀释液})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$c_{\text{K}^+}(\text{待测样品液})/(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	稀释倍数	$m(\text{K}^+)/(\text{mg}\cdot\text{g}^{-1})$
玉米秸秆草木灰	0.186	0.157	3.925	50	98.322
棉花秸秆草木灰	0.207	0.181	4.525	50	110.474
烟梗草木灰	0.201	0.174	4.350	25	110.586

$c_{\text{K}^+}(\text{稀释液})$ 表示稀释液中钾离子的浓度； $c_{\text{K}^+}(\text{待测样品液})$ 表示待测样品液中钾离子的浓度； $m(\text{K}^+)$ 表示样品中钾离子含量

由上述实验数据可得，烟梗草木灰中的钾含量相较于玉米秸秆和棉花秸秆草木灰中的钾含量更高或相当。我们知道在农业生产中，玉米、棉花等常见农作物的秸秆可被用于燃烧为草木灰做钾肥，改善土壤结构。这也为废弃烟梗的再利用提供了一种思路，烟梗作为烟草业的副产物，其利用价值低，由于其含有较高钾素若应用在农业生产中不仅可以实现资源的循环利用，还有助于减少环境污染提高资源的可持续性。在考虑经济效益和环保效益的前提，可对烟梗进行再利用并将其应用到农业生产领域中，达到节约资源保护环境的目的。

## 4 实验注意事项

- (1) 注意燃气与助燃气气瓶阀门的开关顺序。
- (2) 选择正确的吸收波长，应选被测元素最灵敏线进行分析。
- (3) 不同植物草木灰浓度稀释到工作曲线法线性范围内进行测试，草木灰浓度较高时吸光度并不随稀释倍数等比例降低。
- (4) 草木灰溶液配制的过程中要进行严格的研磨和过滤处理，以保证离子的充分提取以及草木灰溶液中不溶性杂质的去除，避免固体颗粒堵塞原子分光光度计的毛细管，从而提高实验精度和准确性，避免损坏仪器影响实验进程<sup>[12]</sup>。

## 5 教学组织

### 5.1 教学安排

实验开始前两周由老师向学生引入“课程思政”价值理念并发布自主设计的实验任务，引导学生主动了解并思考我国能源与环境问题，学生通过自己动手查阅相关文献资料并结合所学仪器分析实验课程知识，选择并制定出合适的实验方案，深化对所学知识的理解。实验开始前老师以问题为导向引导学生将实验方案设计得更加具体化、全面化，可依据下列问题思考：

- (1) 碳酸钾的主要用途有哪些，如何配制钾标准使用液？
- (2) 火焰原子吸收光谱法的原理及特点是什么，有哪些应用？
- (3) 本实验中如何获得草木灰中钾离子的溶液？
- (4) 氯化铯的加入对实验数据有何影响，本实验是通过何种方式抑制钾离子电离的？

### 5.2 教学思政教育

本次教学在探究实验的同时融入了思政元素，能够在化学知识中体现思政的重要性。在该实验

设计过程中, 学生了解到我国钾资源短缺、烟梗废弃物资源未得到充分利用、钾肥依赖进口的现状, 通过学生自主设计实验检测烟梗草木灰中钾离子的含量, 以此为思路寻找资源利用最大化的方法, 厚植家国情怀, 培养学生的社会责任感。

### 5.3 实验拓展与思考

本实验采用火焰原子吸收光谱法测定烟梗草木灰中钾离子含量并与其他农作物中钾离子含量进行比较, 同时在实验设计中引入思政元素, 提高学生环保意识并加深学生对仪器分析创新实验教学的理解, 实验课程结束后学生可对以下问题进行思考以拓展对本实验的认识: 1) 如何理解本实验中“保护环境”“资源再利用”等价值理念, 怎样在实验设计与操作中进行体现? 2) 在实验的最后, 能否根据得到的实验结果去进一步深化烟梗再利用的实验步骤? 除了对废弃烟梗中钾素含量进行检测, 烟梗中还有哪些成分值得研究并加以利用? 3) 通过自主设计实验方案并操作, 思考一个完整的实验应包含哪些内容, 本实验是否还可以进一步完善?

## 6 结语

本实验采用火焰原子吸收光谱法测定烟梗草木灰中钾素含量, 为废弃烟梗的再利用提供一种思路, 在本次设计项目中, 学生自主设计并开展实验, 实验前学生进行文献查阅调研, 分组讨论并建立分析方法, 全程实验亲手操作, 实验后以提交课程论文的方式总结并汇报实验研究结果, 提高学生撰写科研论文的能力。在实验教学中引入“思政元素”以提升育人效果, 学生能够更好地感悟生活树立绿色环保意识, 实现情感与价值观的培养, 使实验过程更深入、更紧密、更高效, 从而全面提高学生综合素质水平。在保证学生掌握实验基本原理及操作的同时引导学生学会用发展的眼光看待事物, 培养学生的创新意识和绿色发展理念, 拓展设计实验的开放思维模式, 引导学生将所学知识应用于实践, 使学生了解到各类分析仪器与实际生产生活中各类现象的结合与应用, 强化了学生的仪器操作技能, 激发学生的求知欲, 调动学生学习的能动性<sup>[13]</sup>。

### 参 考 文 献

- [1] 李琰, 丁飞, 王京, 南晶, 李一峻, 邱晓航. 大学化学, **2024**, 39 (2), 208.
- [2] 刘后静, 董美玉. 广东化工, **2024**, 51 (1), 170.
- [3] 李琰, 丁飞, 王京, 南晶, 李一峻, 邱晓航. 大学化学, **2024**, 39 (2), 208.
- [4] 姚浩东, 冯书强, 郭金梁, 阚相成, 张春朝, 刘欢. 食品工业, **2023**, 44 (10), 263.
- [5] 王金棒, 邱纪青, 汪志波, 李凌, 卢志菁, 邹珺, 陈彦. 生物技术进展, **2022**, 12 (5), 711.
- [6] 王莹. 矿产勘查, **2023**, 14 (10), 1805.
- [7] 付尽国, 李淑红, 曾慧婷, 罗伟龙, 袁祥, 彭丽莎, 谢婷婷. 广东化工, **2023**, 50 (23), 160.
- [8] 李国琛. 现代食品, **2020**, No. 16, 119.
- [9] 王中慧, 周慧, 任列香, 刘红云, 晋卫军. 化学教育, **2023**, 44 (24), 116.
- [10] 刘巧华. 福建分析测试, **2023**, 32 (6), 51.
- [11] 孔庆宇, 陈杵序. 职业卫生与应急救援, **2015**, 33 (4), 257.
- [12] 鹿成龙, 赵子菡, 王国安, 路庆明, 张斌, 徐晓文. 大学化学, **2023**, 38 (12), 186.
- [13] 陈文娟. 安徽农学通报, **2018**, 24 (9), 157.