

电感耦合等离子体质谱法同时测定口含烟中 7种重金属元素

张东豫¹, 李鹏^{2*}, 朱琦¹, 孙世豪², 屈展^{1,2}, 袁岐山¹, 宗永立²

(1. 河南中烟工业有限责任公司, 郑州 450000; 2. 中国烟草总公司郑州烟草研究院, 郑州 450001)

摘要: **目的** 建立电感耦合等离子体质谱法同时测定口含烟中铬、镍、砷、硒、镉、汞、铅7种重金属元素的含量。**方法** 对口含烟中7种元素的测定前处理条件如消解体系、赶酸条件进行优化, 并利用该方法测定58种国外市售口含烟中7种重金属的含量。**结果** 最佳消解体系为硝酸5 mL和过氧化氢2 mL, 赶酸温度为130 °C。7种重金属元素在各自的线性范围内线性关系良好, 相关系数均为0.9999, 检出限为0.013~0.026 μg/g, 加标回收率为98.0%~101.8%, 日内精密度RSD<2%, 日间精密度RSD<8%。58个样品中7个样品超出砷的限量标准1 mg/kg, 2个样品超出铅的限量标准5 mg/kg, 铬、镍、硒、镉、汞的含量均低于其限量标准。**结论** 该方法检测限低、准确度高, 可适用于口含烟中重金属元素的同时测定。

关键词: 多电感耦合等离子体质谱法; 重金属; 口含烟

Determination of 7 kinds of heavy metal elements in oral tobacco products by inductively coupled plasma mass spectrometry

ZHANG Dong-Yu¹, LI Peng^{2*}, ZHU Qi¹, SUN Shi-Hao², QU Zhan^{1,2},
YUAN Qi-Shan¹, ZONG Yong-Li²

(1. *China Tobacco Henan Industrial Co., Ltd., Zhengzhou 450000, China*; 2. *Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China*)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the simultaneous determination of chromium, nickel, arsenic, selenium, cadmium, mercury and lead in oral tobacco products by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). **Methods** The pretreatment conditions such as digestion condition and acid removing condition were optimized, and then the content of heavy metals in 58 kinds of foreign commercial oral tobacco products was detected. **Results** The optimal digestion condition and acid removing condition were as follows: 5 mL nitric acid and 2 mL hydrogen peroxide, acid removing temperature at 130 °C. Seven kinds of heavy metal elements had good linear relationship in respective linear ranges, the linear correlative coefficients for all elements were 0.9999. The limits of detection was in the range of 0.013~0.026 μg/g and the recoveries were 98.0%~101.8%. The overall intra-day and inter-day RSD were less than 2% and 8%, respectively. Among 58 kinds of oral tobacco products, 7 samples exceeded the limit of arsenic standard 1 mg/kg, 2 samples exceeded the limit of lead standard of 5 mg/kg, and chromium, nickel, selenium, cadmium, mercury levels were lower than the limits. **Conclusion** This proposed method shows higher sensitivity and accuracy, which can meet the demand for simultaneous determination of heavy

*通讯作者: 李鹏, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为烟草及烟草制品分析化学研究. E-mail: lipeng@ztri.com.cn

*Corresponding author: LI Peng, Master, Senior Engineer, Zhengzhou Tobacco Research Institute of CNTC, Zhengzhou 450001, China. E-mail: lipeng@ztri.com.cn

metal elements in oral tobacco products.

KEY WORDS: inductively coupled plasma mass spectrometry, heavy metal elements, oral tobacco products

1 引言

近年来,随着反吸烟运动的不断推进,口含烟作为烟草消费的重要补充形式已日益受到关注^[1,2]。口含烟的主要成分为经加工烟叶,而烟草是一种典型的重金属富集植物,经加工烟叶中同样含有多种重金属,如铬、镍、砷、硒、镉、汞、铅等,因此,准确测定口含烟中重金属的含量具有重要意义^[3,4]。

目前关于烟草及烟草制品中重金属的检测方法主要有分光光度法^[5-7]、原子吸收光谱法^[8]、电感耦合等离子体原子发射光谱^[9,10]等。分光光度法不适合多元素同时测定,原子吸收光谱法线性范围窄且每次只能测定一种元素,电感耦合等离子体原子发射光谱法光谱干扰严重。电感耦合

等离子体质谱(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)是20世纪80年代发展起来的一种分析测试技术,具有灵敏度高、检出限低、线性检测范围宽、可进行多元素分析等特点^[11,12]。近年来烟草和烟气重金属的研究主要集中在烟丝、烟气等方面^[13,14],而采用ICP-MS法测定口含烟中重金属含量在国内尚未见报道。

本研究建立了ICP-MS同时检测口含烟中7种重金属的方法,并利用该方法测定了58种国外市售口含烟中重金属的含量,旨在为口含烟中重金属的有效管控提供参考。

2 材料与方法

2.1 材料与仪器

58种口含烟样品采购自国外市场,详见表1。

表1 58种口含烟样品
Table 1 58 kinds of oral tobacco products

编号	国家	厂家	品牌	类型	口味		
1			Copenhagen® 1822	袋装	原味		
2				散装细丝	冬青		
3				散装粗丝	坚果		
4			Skoal® 1934		冬青		
5					冬青混合		
6					常规		
7					薄荷		
8					薄荷混合		
9					苹果混合		
10	美国	USSTC ^①			莓子混合		
11					黑莓		
12					肉桂混合		
13						薄荷	
14					散装细丝	樱桃	
15					散装粗丝 1984	薄荷	
16						香草	
17					Rooster®	散装粗丝	冬青
18					Redseal®	散装粗丝	冬青
19							冬青
20			Husky®	散装粗丝	薄荷		

续表 1

编号	国家	厂家	品牌	类型	口味
21					椒样薄荷
22					丰满
23		菲莫烟草	Marlboro®	袋装	原味
24					荷兰薄荷
25					琥珀
26					留兰香薄荷
27			Kodiak®	袋装	冬青
28				散装细丝	冬青
29				袋装	冬青
30		American Snuff Company ^②	Grizzly®	散装细丝	冬青
31				散装粗丝	薄荷
32					原味
33			Discreet® Emerald Ice	袋装	冬青
34					冰霜
35		雷诺烟草	Camel®	袋装	清凉
36					原味
37			Kayak®	散装粗丝	苹果
38		Swisher Int., Inc.			葡萄
39			Silverado®	袋装	冬青
40			Longhorn	袋装	
41		Pinkerton Tobacco Co.	Renegades	袋装	冬青
42			General	袋装	
43	瑞典		Gotland Fläder (green)	袋装	
44	美国	Swedish Match ^③	Ettan	袋装	
45			Göteborgs Rapé White	袋装	
46	瑞典		Montecristo	袋装	苹果
47	挪威	Taboca A/S	Romeoy Julieta	袋装	
48		Gotlands Snus AB	Jakobssons	袋装	冬青
49				散装细丝	原味
50	瑞典	Skruf Snus	Skruf	袋装	原味
51				袋装	超强劲
52	美国	Louisville	Durango	片烟	柔和
53	古巴	havana			blossom
54			ozona		原味
55	德国	Pöschl Tabak ^④	Lowen-prise		原味
56			Gletscher Prise	/	薄荷
57			Johnny		杏仁
58	英国	Samuel Gawith & Co.	Gawith		杏仁

注: ①美国第一大口含烟制造商; ②美国第二大口含烟制造商; ③欧洲第一大制造商; ④世界第一大鼻烟制造商。

65%浓硝酸、30%过氧化氢(质量分数,优级纯,德国 Merck 公司);高纯氩(纯度 99.999%,河南科益气体公司);超纯水;10 μg/mL 内标溶液(Sc、Ge、In、Bi)、环境标准溶液(美国安捷伦公司);1000 μg/mL 汞标准溶液(德国 Merck 公司)。

Mars5 型密闭微波消解仪,配 TFM 微波消解罐(美国 CEM 公司);DKQ-4 型智能控温电加热器(上海屹尧分析仪器有限公司);7500A 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Agilent 公司);超纯水仪(美国 Millipore 公司);CP225D 电子天平(感量 0.0001 g, Sartorius AG 公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 标准溶液的制备

(1) 铬、镍、砷、硒、镉、铅混合标准工作溶液

准确移取一定体积的铬、镍、砷、硒、镉、铅混合标准储备液至不同的塑料容量瓶中,用 1%的硝酸稀释定容,得到不同浓度的铬、镍、砷、硒、镉、铅标准工作溶液,适当调整浓度范围使其覆盖试样中各重金属含量。

(2) 汞标准工作溶液

准确移取一定体积的汞标准储备液至不同的塑料容量瓶中,用 1%的硝酸稀释定容,得到不同浓度的汞标准工作溶液,其浓度范围应覆盖预计在试样中检测到的汞含量。

2.2.2 样品的处理与分析

准确称取 0.2 g 样品,置于微波消解罐中,向微波消解罐中依次加入浓硝酸 5 mL,过氧化氢 2 mL,密封后装入微波消解仪,按表 2 消解程序进行消解。

表 2 微波消解程序
Table 2 Microwave digestion procedure

起始温度/℃	升温时间/min	终点温度/℃	保持时间/min
室温	5	100	5
100	5	130	5
130	5	160	5
160	10	190	20

消解完毕,待微波消解仪温度降至 40 ℃以下后取出消解罐,放入控温电加热器,在 130 ℃条件下赶酸 2~3 h 至近干。赶酸完毕,将试样溶液转移至 50 mL 塑料容量瓶中,用 1%硝酸冲洗消解罐 3~4 次,清洗液转移至 50 mL 容量瓶中,然后用 1%硝酸定容,摇匀后待测。

2.2.3 电感耦合等离子体质谱仪测定条件

电感耦合等离子体质谱仪测定条件如表 3。定容后的样品和 1 mg/L 内标溶液(Sc、Ge、In、Bi)经自动进样器吸入,经雾化器后形成气溶胶,在高温氩气等离子体环境下电离,电离后的离子经采样锥和透镜提取后进入质量分析器进行分析。在选定的仪器参数下,待测砷、铅、镉、铬、镍、汞含量与离子质量计数成正比,与标准系列比较定量。

表 3 电感耦合等离子体质谱仪测定条件
Table 3 Operating parameters of ICP-MS

仪器参数	参数值
射频功率	1300 W
等离子体气流速	15.0 L/min
辅助气流速	1.00 L/min
载气流速	1.20 L/min
S/C 温度	1 ℃
蠕动泵	0.08 r/min
雾化器	Barbington
采样锥类型和直径	镍锥 0.8 mm
截取类型和直径	镍锥 0.4 mm
采集模式	Spectrum, 全定量
重复次数	3
样品提升速度	0.50 r/min

3 结果与讨论

3.1 样品处理条件确定

3.1.1 消解体系的优化

过氧化氢与硝酸共用,可以大大提高混合液的氧化能力,完全破坏有机物。为降低消解液空白,减小酸对测试稳定性的影响,在样品完全消解的前提下,尽量减小酸用量。当过氧化氢用量为 1 mL 时,样品反应速率较慢,用量为 2 mL 时反应速率大大提高,因此将过氧化氢的用量确定为 2 mL。当硝酸体积 < 4 mL 时,样品不能完全消解,消解液浑浊、有颜色、沉淀,不能用于测定。当硝酸用量 ≥ 5 mL 时,消解液澄清、透明、无沉淀,测定结果稳定。综合考虑,对于 0.2 g 口含烟样品,最终确定的消解体系为硝酸 5 mL、过氧化氢 2 mL。

3.1.2 赶酸条件的优化

消解之后的样品,在赶酸之后才能进入 ICP-MS 测定。原因是:(1)过高浓度的酸会腐蚀 ICP-MS 的部件;(2)过高浓度的酸会对待测目标产生干扰。选择某一口含烟样品,分别于 100、130 和 150 ℃进行赶酸,结果显示,3 种条件下所得回收率结果相近,但 100 ℃所需赶酸时间较长(> 12 h),150 ℃虽赶酸时间较短(1~2 h),但成本较高,因此赶酸温度选 130 ℃(赶酸时间 2~3 h)。

3.2 线性范围及检出限

在选定的仪器参数下,同时消解 11 个空白样品,然后用 ICP-MS 测定这 11 个空白样品值,计算其标准偏差,以标准偏差值的 3 倍作为该重金属的检出限。7 种重金属元素的线性范围及检出限如表 4 所示。

表 4 方法的线性范围及检出限
Table 4 Linearity ranges and limits of detection of method

重金属/质量数	内标/质量数	线性范围/($\mu\text{g/L}$)	相关系数	检出限/($\mu\text{g/g}$)
铬/53	Sc/45	0~100	0.9999	0.015
镍/60	Sc/45	0~40	0.9999	0.015
砷/75	Ge/72	0~10	0.9999	0.013
硒/79	Ge/72	0~10	0.9999	0.026
镉/111	In/115	0~8	0.9999	0.013
汞/202	Bi/209	0~4	0.9999	0.014
铅/208	Bi/209	0~400	0.9999	0.016

3.3 精密度

选定某一口含烟样品, 按照上述方法同时消解 6 个平行样品, 进 ICP-MS 测定, 计算方法的日内精密度。在 5 个不同的工作日, 按照上述方法消解样品经 ICP-MS 测定, 计算方法的日间精密度, 结果见表 5。由表 5 可知, 铬、镍、砷、硒、镉、汞、铅的日内和日间精密度结果较好, 日内精密度在 2% 以下, 日间精密度在 8% 以下。

表 5 方法的日内、日间精密度($n=6$)
Table 5 Intra-day and inter-day RSD of method ($n=6$)

重金属	日内		日间	
	平均值($\mu\text{g/g}$)	RSD(%)	平均值($\mu\text{g/g}$)	RSD(%)
铬	3.27	0.51	3.27	2.06
镍	1.43	1.04	1.55	4.01
砷	0.68	1.96	0.68	7.02
硒	0.69	1.71	0.76	4.43
镉	0.59	1.73	0.59	4.84
汞	0.12	0.15	0.12	1.24
铅	0.27	0.54	0.28	2.14

3.4 回收率

准确称取 0.2 g 已知重金属含量的口含烟样品, 分别添加高、中、低 3 个不同浓度的标准溶液, 按照 2.2.2 所示前处理方法消解样品并赶酸, 在选定的仪器参数下测定, 考察方法的加标回收率, 结果见表 6。由表 6 可知, 铬、镍、砷、硒、镉、汞、铅的平均回收率均在 98.0%~101.8% 之间。

3.5 国外口含烟中的铬、镍、砷、硒、镉、汞、铅含量

采用上述方法测定了 58 种国外市售口含烟中的铬、镍、砷、硒、镉、汞、铅含量, 结果见表 7。口含烟中 7 种重金属含量范围分别为: 铬 0.41~3.8 $\mu\text{g/g}$ 、镍 0.74~2.2

$\mu\text{g/g}$ 、砷 0.07~0.37 $\mu\text{g/g}$ 、硒 0.09~1.69 $\mu\text{g/g}$ 、镉 0.16~1.81 $\mu\text{g/g}$ 、汞 0~5.96 $\mu\text{g/g}$ 、铅 0~0.91 $\mu\text{g/g}$ 。

表 6 加标回收率结果
Table 6 Results of recoveries

重金属	原含量 ($\mu\text{g/g}$)	加标量 ($\mu\text{g/g}$)	回收率(%)	平均回收率 (%)
铬	1.30	0.50	98.6	98.8 \pm 0.8
		1.30	99.6	
		2.00	98.1	
镍	1.27	0.50	94.3	98.0 \pm 3.2
		1.30	100.2	
		2.00	99.4	
砷	0.15	0.05	99.3	98.4 \pm 1.0
		0.15	97.4	
		0.30	98.4	
硒	0.36	0.20	100.4	100.2 \pm 0.2
		0.40	100.0	
		1.0	100.2	
镉	0.43	0.20	104.2	101.8 \pm 2.1
		0.50	100.5	
		1.00	100.8	
汞	1.01	0.50	100.6	99.5 \pm 1.1
		1.00	99.4	
		2.00	98.4	
铅	0.37	0.15	100.4	100.0 \pm 0.8
		0.40	100.5	
		0.80	99.1	

表7 58个样品中铬、镍、砷、硒、镉、汞、铅的含量($n=2$)
 Table 7 Content of Cr, Ni, As, Se, Cd, Hg and Pb in 58 samples ($n=2$)

样品 编号	重金属/($\mu\text{g/g}$)						
	铬 Cr	镍 Ni	砷 As	硒 Se	镉 Cd	汞 Hg	铅 Pb
1	3.15	1.55	0.68	0.69	0.59	0.12	0.27
2	0.71	0.94	0.33	0.56	0.49	0.08	BDL
3	1.37	1.42	0.37	0.66	0.68	0.1	0.17
4	1.18	1.82	0.25	0.40	1.17	0.35	0.50
5	1.08	1.07	0.09	BDL	0.60	0.61	0.17
6	2.50	1.83	0.12	0.21	0.70	0.10	0.48
7	1.32	1.62	0.18	0.11	0.93	1.02	0.30
8	1.53	1.42	0.09	0.22	0.55	0.70	0.47
9	1.23	2.12	0.40	0.31	1.16	0.24	0.61
10	1.72	1.95	0.27	0.09	1.09	0.75	0.53
11	1.10	2.20	0.37	0.21	1.22	0.21	0.60
12	1.85	1.59	0.13	BDL	0.67	0.11	0.49
13	0.87	0.98	0.10	BDL	0.45	0.41	0.06
14	0.99	0.91	0.33	0.51	0.54	0.05	0.03
15	1.49	1.96	0.30	0.40	1.05	0.34	0.55
16	0.92	1.12	0.24	0.24	0.62	0.23	0.29
17	1.10	1.19	0.19	BDL	0.60	0.36	0.15
18	0.91	1.07	0.34	0.54	0.54	0.05	0.03
19	0.85	0.96	0.37	0.59	0.64	BDL	0.13
20	0.83	0.95	0.36	0.62	0.52	BDL	0.15
21	1.69	1.31	BDL	0.12	0.80	5.96	0.46
22	2.90	1.86	0.14	0.13	0.66	2.05	0.34
23	3.15	2.02	0.08	0.13	0.63	3.92	0.42
24	2.72	1.78	0.08	0.13	0.58	2.82	0.43
25	2.51	1.63	BDL	BDL	0.62	3.22	0.33
26	1.90	1.36	0.07	0.10	0.63	3.30	0.42
27	0.87	1.11	0.38	0.66	0.77	BDL	0.2
28	0.99	1.12	0.43	0.9	0.81	BDL	0.28
29	0.74	0.84	0.36	0.78	0.66	0.02	0.08
30	0.77	1.17	0.34	0.63	0.56	BDL	0.05
31	1.16	1.02	0.14	BDL	0.55	0.51	0.07
32	1.33	1.02	0.15	NQ	0.79	0.76	0.26
33	0.6	0.84	0.37	0.75	1.81	0.03	0.5
34	1.30	1.27	0.15	0.36	0.43	1.01	0.37
35	1.17	1.07	0.26	0.42	0.37	0.93	0.27

续表 7

样品 编号	重金属/($\mu\text{g/g}$)						
	铬 Cr	镍 Ni	砷 As	硒 Se	镉 Cd	汞 Hg	铅 Pb
36	1.05	1.39	0.27	1.38	0.45	0.11	0.03
37	1.17	1.21	0.49	0.78	0.75	0.05	0.28
38	1.34	1.67	0.22	0.27	0.84	0.69	0.48
39	1.1	1.59	0.59	0.78	0.90	0.07	0.70
40	1.01	1.09	0.45	0.95	0.71	0.06	0.05
41	0.9	1	0.37	0.86	0.67	0.06	BDL
42	0.77	0.8	0.37	1.23	0.28	0.01	0.05
43	0.7	0.89	0.4	1.6	0.44	0.02	0.08
44	0.99	1.04	0.31	1.19	0.34	0	0.13
45	0.57	0.76	0.26	1.19	0.31	0	BDL
46	0.86	1.43	0.15	0.55	0.67	0.51	0.32
47	0.79	1.56	0.34	1.44	0.78	0.05	0.15
48	0.99	1	0.36	1.5	0.31	0.01	0.3
49	1.81	1.84	0.21	0.41	0.24	0.65	0.43
50	1.34	1.43	0.28	1.69	0.16	BDL	0.14
51	1.84	1.89	0.34	1.46	0.32	BDL	0.23
52	0.41	0.74	0.22	0.69	0.76	0.01	0.04
53	0.54	1.23	0.3	0.65	1.51	BDL	0.37
54	1.78	1.85	0.35	0.72	0.72	BDL	0.81
55	2.72	2.16	0.4	0.83	0.65	0.07	0.88
56	3.09	1.26	0.34	0.19	0.64	1.83	0.81
57	3.80	2.01	0.25	0.14	0.70	1.44	0.86
58	3.35	1.65	0.25	0.16	0.77	1.14	0.91

注: BDL 表示低于检出限, below detection limit

4 结 论

ICP-MS 能够同时测定口含烟中 7 种重金属的含量, 实验方法的精密度、检出限和加标回收率均较好, 能够较好地满足痕量分析的要求。采用本方法对 58 种国外市售口含烟样品中重金属含量进行了检验, 其中 7 个样品的砷元素含量超过砷限量标准 1 mg/kg, 2 个样品超过铅的限量标准 5 mg/kg, 铬、镍、硒、镉、汞的含量全部低于其限量标准^[15]。

参考文献

- [1] CORESTA Smokeless Tobacco Sub-Group. Smokeless tobacco glossary [EB/OL], (2010-01-09). http://www.coresta.org/Reports/STS_Smokeless-

Tobacco-Glossary.pdf. [2015-08-21].

- [2] 张杰, 李鹏, 宗永立, 等. 国外口含型无烟气烟草制品总烟碱、游离烟碱和烟草特有亚硝胺含量分析[J]. 烟草科技, 2011, (10): 44-48.
Zhang J, Li P, Zong YL, *et al.* Analysis of total nicotine, free nicotine and tobacco-specific *N*-nitrosamines in foreign oral smokeless tobacco products [J]. Tobacco Sci Technol, 2011, (10): 44-48.
- [3] 孙学辉, 赵乐, 王宜鹏, 等. 无烟气烟草制品的发展现状和趋势[J]. 烟草科技, 2015, 48(11): 83-90.
Sun XH, Zhao L, Wang YP, *et al.* Status quo and development trend of smokeless tobacco products [J]. Tobacco Sci Technol, 2015, 48(11): 83-90.
- [4] WHO. WHO framework convention on tobacco control: Control and prevention of smokeless tobacco products and electronic cigarettes [EB/OL], (2010-09-15). <http://apps.who.int/iris/handle/10665/75749>. [2015-03-28]

- [5] 丁静, 孙舒婷, 张诺, 等. 卟啉类显色剂在重金属离子分析中的研究及应用[J]. 分析测试技术与仪器, 2008, 14(1): 3-9.
Ding J, Sun ST, Zhang N, *et al.* Studies and application of porphyrin in the analysis of heavy metal ions [J]. Anal Test Technol Instrum, 2008, 14(1): 3-9.
- [6] 胡群, 邱晔, 马静, 等. 微柱高效液相色谱法测定烟草样品中铁钴镍铜锌锰[J]. 理化检验:化学分册, 2005, 41(4): 235-237.
Hu Q, Qiu Y, Ma J, *et al.* Determination of Fe Co Ni Cu Zn and Mn in tobacco by micro column high performance liquid chromatography [J]. Phys Test Chem Anal Part B: Chem Anal, 2005, 41(4): 235-237.
- [7] 施红林, 李忠, 杨光宇, 等. 用分光光度法测定烟草中的汞[J]. 烟草科技, 2002, (12): 20-22.
Shi HL, Li Z, Yang GY, *et al.* Determination of mercury in tobacco by spectrophotometry [J]. Tobacco Sci Technol, 2002, (12): 20-22.
- [8] 谭宏祥, 刘艳芳, 赵桂铭, 等. 原子吸收光谱法测定烟叶中铅、铬和镉的研究[J]. 农产品加工学刊, 2008, (5): 86-88.
Tian HX, Liu YF, Zhao GM, *et al.* Study on the determination of plumbum, chromium, cadmium in tobacco by atomic absorption spectrophotometry [J]. Acad Period Farm Prod Proc, 2008, (5): 86-88.
- [9] 李傲, 倪永年, 郭岚, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法同时测定槲寄生中的微量元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2008, 28(5): 1157-1159.
Li T, Nie Y, Guo L, *et al.* Simultaneous determination of trace elements in mistletoe by ICP-AES [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2008, 28(5): 1157-1159.
- [10] 万益群, 潘凤琴, 柳英霞, 等. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定白酒中的23种微量元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2009, 29(2): 499-503.
Wan Y, Pan F, Liu Y, *et al.* Determination of 23 trace elements in wines by ICP-AES [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2009, 29(2): 499-503.
- [11] 黄旭, 徐子刚. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定烟草中的重金属元素[J]. 浙江大学学报: 理学版, 2007, 34(11): 510-511.
Huang X, Xu Z. Determination of the heavy metal elements in tobacco by ICP-MS with microwave digestion [J]. J Zhejiang Univ (Sci Ed), 2007, 34(11): 510-511.
- [12] 胡清源, 李力, 石杰, 等. 微波消解电感耦合等离子体质谱法同时测定烟草中27种元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, (6): 1210-1213.
Hu QY, Li L, Shi J, *et al.* Determination of 27 elements in tobacco by ICP-MS with microwave digestion [J]. Spectrosc Spectral Anal, 2007, (6): 1210-1213.
- [13] 索卫国, 胡清源, 陈再根, 等. 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[J]. 分析实验室, 2013, 40(19): 81-84.
Suo WG, Hu QY, Chen ZG, *et al.* Simultaneous determination of 7 trace elements in tobacco by ICP-MS [J]. Chin J Anal Lab, 2013, 40(19): 81-84.
- [14] 李雪, 庞永强, 朱风鹏, 等. 卷烟侧流烟气中6种重金属元素的ICP-MS测定[J]. 烟草科技, 2015, 48(3): 28-32.
Li X, Pang YQ, Zhu FP, *et al.* Determination of six heavy metal elements in side stream cigarette smoke by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Tobacco Sci Technol, 2015, 48(3): 28-32.
- [15] GB/T 2762-2012 食品安全国家标准 食品中的污染物限量[S].
GB/T 2762-2012 National food safety standards-Limits of contaminants in food [S].

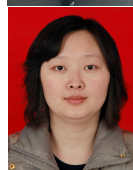
(责任编辑: 姚菲)

作者简介



张东豫, 工程师, 主要研究方向为新型烟草制品。

E-mail: zhangdy@hatic.com



李鹏, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为烟草及烟草制品分析化学研究。

E-mail: lipeng@ztri.com.cn