第 5 卷第 2 期 中国无机分析化学 Vol. 5, No. 2
2015 年 6 月 Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry 12～18

doi:10.3969/j.issn.2095-1035.2015.02.003

浅析锡对电感耦合等离子体质谱法测定镉的干扰

王 妃 王德淑 汤德能

(铜陵市环境监测中心站,安徽 铜陵 244000)

摘 要 在不同的工作条件下,分析了不同 Sn(锡)/Cd(镉)比值下 Sn 对电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定 Cd 的干扰程度,并将经过在线干扰校正和离线干扰校正后的 Cd 浓度与标准值比较,实验结果表明:当样品中 Sn 浓度与 Cd 浓度比值在 2 以下时,Sn 对 Cd 的干扰很小,Cd 的测定值不用经过任何方式校正也比较接近标准值;当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值在 2～30 时,采用离线校正和在线校正后的 Cd 测定值与标准值均比较接近;当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值大于 30 时,采用离线校正才能获得更满意的结果。

关键词 电感耦合等离子体质谱法;锡;镉;干扰

中图分类号:O657.63;TH843 **文献标志码**:A **文章编号**:2095-1035(2015)02-0012-07

Study on Interference of Tin in the Determination of Cadmium by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry

WANG Fei, WANG Deshu, TANG Deneng

(*Tongling Environmental Monitoring Central Station, Tongling, Anhui* 244000, *China*)

Abstract The spectral interference level of tin(Sn) in the determination of cadmium(Cd) by inductively coupled plasma mass spectrometry(ICP-MS) was investigated with different concentration ratio of Sn/Cd under different work conditions. The content of Cd was obtained by on-line and off-line interference corrections, respectively, which was consistent with the certified value. The results showed that: the contents of Cd maintained good agreement with the certified value without any interference corrections when the concentration ratio of Sn/Cd was below 2 and the effect of Sn on Cd determination was negligible; the contents of Cd corrected by on-line and off-line interference were in accordance with the certified value when the concentration ratio of Sn/Cd was in the range 2～30; satisfactory results were obtained only by off-line interference when the concentration ratio of Sn/Cd exceeded 30.

Keywords inductively coupled plasma mass spectrometry; tin; cadmium; interference

0 引言

电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)由于样品需求量少、动态范围宽、可以多元素同时分析、检出限低等优点,已被广泛应用于医药、食品、地质、环境分析以及半导体等行业[1]。符靓[2]利用 ICP-MS 法测定了果脯中的 Cr, Mn, Co, Ni, Cu, As, Cd, Sb, Hg, Pb 等十种重金属元素,李欣荣等[3]用 ICP-MS 法测定了 2010 年版中国药典中收载的 10 种海洋天然药物中 5 种重金属的含量,贾双琳等[4]用 ICP-MS 法测定了岩石样品中的稀土元素,如 Y, La, Ce, Pr, Nd 等,岳晓云等[5]测定了半导体材料高纯镓中

收稿日期:2015-01-27 修回日期:2015-03-11

作者简介:王妃,女,助理工程师,主要从事环境监测分析研究。E-mail:feiwang0509264@163.com

的痕量杂质。随着经济的发展和社会进步,环境问题日益突出,已受到社会各界的广泛关注,而 ICP-MS 法所具有的优越性能,使其在环境分析领域得到了越来越多的应用[6]。贺文萍[7]、姚亮等[8]用 ICP-MS 法分别测定了土壤中的 Ge,I 和 Cr,Co,Ni,Mn,Cu,Pb,Zn,Mo,Cd 等金属元素,样品的测定值在标准值要求范围内。刘畅[9]用 ICP-MS 法测定了环境空气颗粒物中的金属元素。念娟妮等[10]测定了饮用水中的 Pb,Cd。

Cd 是毒性最强和农田受污染最普遍的重金属之一,进入土壤的 Cd 极易被植物吸收累积[11],因此,提高环境中 Cd 含量检测的准确性极为重要。Cd 有多个同位素:^{106}Cd (1.25%),^{108}Cd (0.89%),^{110}Cd (12.49%),^{111}Cd (12.80%),^{112}Cd (24.13%),^{113}Cd (12.22%),^{114}Cd (28.73%),^{116}Cd (7.49%),从 Cd 各个同位素丰度和其受干扰程度考虑,EPA6020 推荐 ICP-MS 法测 Cd 时选择 ^{111}Cd,^{114}Cd 两个同位素。李冠虹等[12]、荀颖怡等[13]、李刚等[14]均选择^{114}Cd 来测定样品中的 Cd,并采用^{118}Sn 和^{114}Sn 来校正干扰。在总结前人工作的基础上,加之^{114}Cd 的丰度大于^{111}Cd,有利于低含量 Cd 的测定,故实验选择^{114}Cd 做干扰实验。虽然前人对 ICP-MS 法测 Cd(^{114}Cd)时 Sn(^{114}Sn)的干扰[15]已有了解,但是对于干扰程度的分析还缺乏足够的认识,实验的目的就是通过大量的数据来分析不同 Sn/Cd 比值下 Sn 对 Cd 的干扰程度,并将 Cd 的离线校正结果和在线校正结果与标准值进行比较,以期找到更好的校正干扰方式,更准确地测定 Cd 含量。

1　实验部分

1.1　仪器和试剂

7700x ICP-MS(安捷伦科技有限公司)。

Cd 单元素标准储备溶液(1 000 mg/L,中国计量科学研究院),Sn 单元素标准储备溶液(100 mg/L,中国计量科学研究院)。

Cu,Pb,Zn,Cr,Ni,Cd 混合质控样(200927,200928,环境保护部标准样品研究所);Li,Co,Ce,Y,Tl 调谐液(1 μg/L,安捷伦科技有限公司);^{6}Li,Ge,Sc,Rh,In,Tb,Lu,Bi 混合内标溶液(1 mg/L,安捷伦科技有限公司)

硝酸(优级纯,南京化学试剂有限公司),实验用水为超纯水。

1.2　实验条件和方法

实验分为两组(实验组 1、实验组 2),实验样品的浓度采用称重法配制,酸度均为硝酸(1%),具体配制浓度见表 1、表 2。在不同的仪器条件下(仪器条件见表 3 和表 4)分别测定实验组 1、实验组 2 中 Cd 的浓度,并将 Cd 的测定浓度、Cd 的在线校正浓度、Cd 的离线校正浓度与配制浓度(即标准值)进行比较,计算相对误差。Cd,Sn 分别采集^{114}Cd,^{118}Sn 的数据,两者均采用^{115}In 作内标,采用三通在线加入内标。

表 1　实验组 1 配制的混合液中 Cd,Sn 的浓度

Table 1　Concentrations of Cd and Sn in mixed solution (group 1)　/(μg·L^{-1})

样品名称 Sample	Cd	Sn	$\frac{Sn/(\mu g\cdot L^{-1})}{Cd/(\mu g\cdot L^{-1})}$
1-1	1.030	1.065	1
1-2	1.001	2.090	2
1-3	0.992	4.034	4
1-4	1.010	6.148	6
1-5	0.994	8.037	8
1-6	1.002	10.497	10
1-7	1.001	20.485	20
1-8	1.006	30.220	30
1-9	0.996	40.366	41
1-10	1.020	50.832	50
1-11	1.015	101.345	100
1-12	0.959	506.988	529
1-13	0.961	1 000.277	1 041

表 2　实验组 2 配制的混合液中 Cd,Sn 的浓度

Table 2　Concentrations of Cd and Sn in mixed solution (group 2)　/(μg·L^{-1})

样品名称 Sample	Cd	Sn	$\frac{Sn/(\mu g\cdot L^{-1})}{Cd/(\mu g\cdot L^{-1})}$
2-1	1.993	2.036	1
2-2	1.996	4.039	2
2-3	1.992	7.999	4
2-4	1.998	12.039	6
2-5	2.044	16.331	8
2-6	2.016	20.536	10
2-7	2.005	40.865	20
2-8	1.988	59.770	30
2-9	2.010	80.246	40
2-10	2.065	100.147	49
2-11	2.060	203.092	99
2-12	1.840	991.083	539

表 3 ICP-MS 工作参数(条件 1)

Table 3 Operating parameters of ICP-MS(condition 1)

工作参数 Operating parameters		工作参数 Operating parameters	
发射功率 RF power	1 550 W	扫描次数 Scan times	100
等离子体气流量 Plasma gas	15.0 L/min	采集的元素 Detected elements	^{114}Cd,^{118}Sn
辅助气流量 Auxiliary gas	1.0 L/min	补偿气流量 Makeup gas	0.5 mL/min
采样深度 Sampling depth	10.0 mm	载气流量 Carrier gas	0.5 mL/min
重复次数 Repeated times	3	氦气流量 He flow	4.5 mL/min

表 4 ICP-MS 工作参数(条件 2)

Table 4 Operating parameters of ICP-MS (condition 2)

工作参数 Operating parameters		工作参数 Operating parameters	
发射功率 RF power	1 550 W	扫描次数 Scan times	100
等离子体气流量 Plasma gas	15.0 L/min	采集的元素 Detected elements	^{114}Cd,^{118}Sn
辅助气流量 Auxiliary gas	1.0 L/min	补偿气流量 Makeup gas	0.0 mL/min
采样深度 Sampling depth	10.0 mm	载气流量 Carrier gas	1.0 mL/min
重复次数 Repeated times	3	氦气流量 He flow	4.5 mL/min

2 结果与讨论

2.1 不同浓度的 Sn 对 Cd 的干扰

分别在条件 1、条件 2 时采用标准曲线法测定了 Cd 的质控稀释样(200927,200928),浓度分别为 200927:1.50,1.55 μg/L;200928:1.03,1.05 μg/L,在质控稀释样标准值范围内(200927 稀释后标准值:(1.48±0.09) μg/L;200928 稀释后标准值:(1.02±0.06)μg/L),标准曲线线性很好,表明仪器条件正常。同时在线加入内标,通过内标的回收率来监控仪器的漂移。条件 1 下的测定结果见表 5、表 6,标准曲线见图 1;条件 2 下的测定结果见表 7、表 8,标准曲线见图 2。

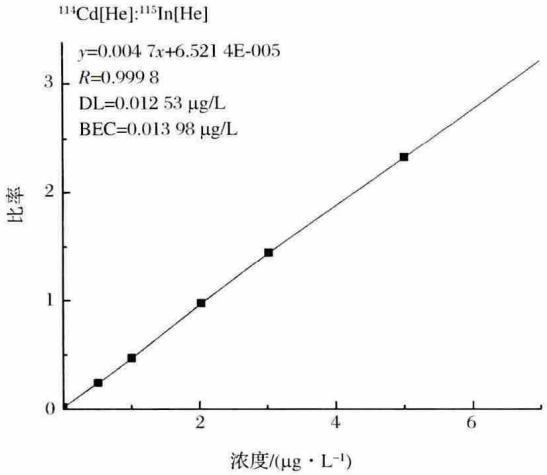

图 1 条件 1 下^{114}Cd 的标准曲线

Figure 1 Calibration curve of ^{114}Cd (condition 1).

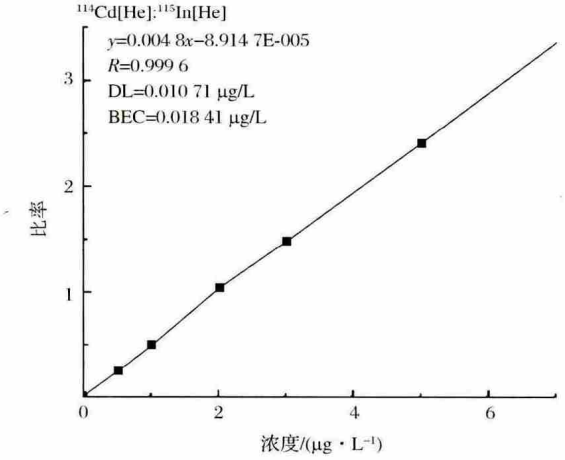

图 2 条件 2 下^{114}Cd 的标准曲线

Figure 2 Calibration curve of ^{114}Cd (condition 2).

表 5 条件 1 下实验组 1 中 Cd(^{114}Cd)的测定值与标准值

Table 5 Detected value of Cd(^{114}Cd) and standard value (group 1,condition 1) /(μg·L^{-1})

样品名称 Sample	Sn/(μg·L^{-1}) / Cd/(μg·L^{-1})	标准值 Standard value	测定值(相对误差/%) Detected value(E_r/%)	在线校正(相对误差/%) On-line corrected value(E_r/%)	干扰系数 r Interference factor
1-1	1	1.030	1.011(−1.81)	0.991(−3.75)	—
1-2	2	1.001	1.014(1.32)	0.974(−2.68)	—
1-3	4	0.992	1.026(3.42)	0.948(−4.45)	—
1-4	6	1.010	1.082(7.13)	0.967(−4.26)	—
1-5	8	0.994	1.123(12.93)	0.972(−2.25)	—
1-6	10	1.002	1.195(19.31)	0.998(−0.36)	—
1-7	20	1.001	1.331(32.94)	0.947(−5.41)	—
1-8	30	1.006	1.488(47.91)	0.919(−8.65)	—

续表 5　　/(μg·L^{-1})

样品名称 Sample	Sn/(μg·L^{-1}) / Cd/(μg·L^{-1})	标准值 Standard value	测定值(相对误差/%) Detected value(E_r/%)	在线校正(相对误差/%) On-line corrected value(E_r/%)	干扰系数 r Interference factor
1-9	41	0.996	1.621(62.80)	0.860(−13.63)	—
1-10	50	1.020	1.819(78.33)	0.859(−15.78)	0.015 7
1-11	100	1.015	2.686(164.66)	0.793(−21.86)	0.016 5
1-12	529	0.959	9.258(865.38)	<0	0.016 4
1-13	1 041	0.961	17.046(1673.22)	<0	0.016 1

表 6　条件 1 下实验组 2 中 Cd(^{114}Cd)的测定值与标准值

Table 6　Detected and standard value of Cd(^{114}Cd) (group 2, condition 1)　　/(μg·L^{-1})

样品名称 Sample	Sn/(μg·L^{-1}) / Cd/(μg·L^{-1})	标准值 Standard value	测定值(相对误差/%) Detected value(E_r/%)	在线校正(相对误差/%) On-line corrected value(E_r/%)
2-1	1	1.993	1.967(−1.28)	1.928(−3.24)
2-2	2	1.996	2.027(1.57)	1.951(−2.24)
2-3	4	1.992	2.146(7.75)	1.993(0.07)
2-4	6	1.998	2.177(8.95)	1.952(−2.31)
2-5	8	2.044	2.223(8.78)	1.918(−6.15)
2-6	10	2.016	2.343(16.23)	1.960(−2.77)
2-7	20	2.005	2.662(32.76)	1.886(−5.94)
2-8	30	1.988	2.928(47.25)	1.801(−9.42)
2-9	40	2.010	3.252(61.77)	1.747(−13.10)
2-10	49	2.065	3.701(79.24)	1.797(−12.97)
2-11	99	2.060	5.411(162.63)	1.658(−19.53)
2-12	539	1.840	17.774(865.98)	<0

表 7　条件 2 下实验组 1 中 Cd(^{114}Cd)的测定值与标准值

Table 7　Detected and standard value of Cd(^{114}Cd) (group 1, condition 2)　　/(μg·L^{-1})

样品名称 Sample	Sn/(μg·L^{-1}) / Cd/(μg·L^{-1})	标准值 Standard value	测定值(相对误差/%) Detected value(E_r/%)	在线校正(相对误差/%) On-line corrected value(E_r/%)	干扰系数 r Interference factor
1-1	1	1.030	1.009(−2.00)	0.989(−3.94)	—
1-2	2	1.001	1.017(1.62)	0.979(−2.18)	—
1-3	4	0.992	1.064(7.25)	0.987(−0.51)	—
1-4	6	1.010	1.125(11.39)	1.009(−0.10)	—
1-5	8	0.994	1.135(14.14)	0.985(−0.95)	—
1-6	10	1.002	1.201(19.91)	1.003(0.14)	—
1-7	20	1.001	1.347(34.54)	0.956(−4.51)	—
1-8	30	1.006	1.502(49.30)	0.934(−7.16)	—
1-9	41	0.996	1.645(65.21)	0.879(−11.72)	—
1-10	50	1.020	1.824(78.82)	0.854(−16.27)	0.015 8
1-11	100	1.015	2.698(165.84)	0.739(−27.18)	—
1-12	529	0.959	9.049(843.59)	<0	0.016 0
1-13	1041	0.961	16.778(1 645.34)	<0	0.015 8

表 8　条件 2 下实验组 2 中 Cd(^{114}Cd)的测定值与标准值

Table 8　Detected and standard value of Cd(^{114}Cd) (group 2, condition 2)　　/(μg·L^{-1})

样品名称 Sample	Sn/(μg·L^{-1}) / Cd/(μg·L^{-1})	标准值 Standard value	测定值(相对误差/%) Detected value(E_r/%)	在线校正(相对误差/%) On-line corrected value(E_r/%)
2-1	1	1.993	1.993(0.02)	1.954(−1.94)
2-2	2	1.996	2.061(3.27)	1.983(−0.64)
2-3	4	1.992	2.105(5.69)	1.953(−1.94)
2-4	6	1.998	2.194(9.80)	1.964(−1.71)
2-5	8	2.044	2.265(10.83)	1.954(−4.38)
2-6	10	2.016	2.342(16.18)	1.957(−2.92)

续表 8 /(μg·L⁻¹)

样品名称 Sample	Sn/(μg·L⁻¹) / Cd/(μg·L⁻¹)	标准值 Standard value	测定值(相对误差/%) Detected value(E_r/%)	在线校正(相对误差/%) On-line corrected value(E_r/%)
2-7	20	2.005	2.656(32.46)	1.886(−5.94)
2-8	30	1.988	2.971(49.42)	1.823(−8.32)
2-9	40	2.010	3.292(63.76)	1.776(−11.65)
2-10	49	2.065	3.675(77.98)	1.787(−13.45)
2-11	99	2.060	5.413(162.73)	1.528(−25.84)
2-12	539	1.840	17.366(843.80)	<0

从表 5 中 Cd 的测定值(即未经任何方式校正的 Cd 的浓度)与标准值的比较可以看出,当样品中的 Sn 浓度是 Cd 浓度的 2 倍以下时,Cd 测定值与标准值的相对误差在 5%以下,Sn 的存在基本不干扰 Cd(^{114}Cd)的测定,Sn 的干扰可以忽略不计;当样品中的 Sn 浓度是 Cd 浓度的 2～8 倍时,Cd 的测定值相对误差小于 15%,Sn 的存在干扰了 Cd 的测定,但干扰程度较轻;当样品中的 Sn 浓度是 Cd 浓度的 10 倍时,Cd 的测定值相对误差达到 15%以上;随着 Sn 浓度与 Cd 浓度比值的增大,Sn 对 Cd 的干扰越来越严重;改变 Cd 的浓度(见表 6),Sn 对 Cd 的干扰程度与上述基本一致。此外,从表 7、表 8 中可以看出,即使改变实验条件(增加载气流量,降低补偿气流量),也不能改善 Sn 对 Cd 的干扰,Sn 对 Cd 的干扰程度与条件 1 下干扰程度基本一致:Sn 浓度与 Cd 浓度比值在 2 以下时,干扰可以忽略;随着 Sn 浓度与 Cd 浓度比值的增大,干扰程度越来越严重。

2.2 扣除 Sn 干扰的两种方式的比较

测 Cd 时校正 Sn 干扰主要有两种方式:在线干扰校正和离线校正。

2.2.1 在线干扰校正

在线干扰校正是通过干扰校正公式来实现去干扰的目的,干扰校正公式是根据分析同位素和干扰同位素的丰度比来推导获得。本实验干扰校正采用 EPA6020 推荐的校正公式,即 ^{114}Cd = ^{114}Cd 总强度 − 0.027 × ^{118}Sn,在线干扰校正结果见表 5～8。从表中可以看出,无论在条件 1 还是条件 2 下,当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值为小于 2 时,在线干扰校正结果与测定值接近,Sn 干扰可以忽略;当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值为 2～30 时,经过在线干扰校正后的 Cd 值与标准值的相对误差在 10%以下,在线校正值比未经校正的测定值更接近标准值;当 Sn 浓度与 Cd 浓度的比值为 40,50,100 时,在线校正值与标准值相对误差超过 10%,甚至达到 20%以上;当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值为 500,1 000 时,通过在线校正后的 Cd 浓度为负值。上述结果表明,当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值在 2 以下时,无须校正;当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值为 2～30 时,经 EPA6020 干扰方程校正后的 Cd 浓度更接近标准值;但是当 Sn 浓度与 Cd 浓度的比值为超过 30,甚至更高时,校正结果与 Cd 标准值相对误差较大,此时不适合用在线干扰方程校正。

2.2.2 离线校正

通过测定较高浓度干扰元素溶液,求出干扰系数 r 加以扣除[15]。干扰系数 r = 干扰扣除量/干扰元素浓度。条件 1 时测定了四个不同 Sn 浓度下的干扰系数 r,见表 5,r 平均值为 0.161 75,利用 r 值离线校正的结果见表 9。条件 2 时测定了三个不同 Sn 浓度下的干扰系数,见表 7,r 平均值为 0.158 7,利用 r 值离线校正的结果见表 10。从离线校正结果可以看出,无论在条件 1、条件 2 下,Sn 浓度与 Cd 浓度比值在 1,2,4,6,8,10,20,30,40,50,100,500,1 000 时,离线校正值与标准值的相对误差基本在 12%以下。

表 9 条件 1 下实验组 1,2 离线校正结果

Table 9 Off-line corrected value of Cd (condition 1)

样品名称 Sample	Sn/(μg·L⁻¹) / Cd/(μg·L⁻¹)	离线校正(相对误差/%) Off-line corrected value(E_r/%)	样品名称 Sample	Sn/(μg·L⁻¹) / Cd/(μg·L⁻¹)	离线校正(相对误差/%) Off-line corrected value(E_r/%)
1-1	1	0.994(−3.48)	2-1	1	1.934(−2.94)
1-2	2	0.980(−2.06)	2-2	2	1.962(−1.70%)
1-3	4	0.961(−3.16)	2-3	4	2.017(1.26)
1-4	6	0.983(−2.72)	2-4	6	1.982(−0.79)
1-5	8	0.993(−0.14)	2-5	8	1.959(−4.15)
1-6	10	1.025(2.36)	2-6	10	2.011(−0.25)

续表 9

样品名称 Sample	Sn/(μg·L⁻¹) / Cd/(μg·L⁻¹)	离线校正(相对误差/%) Off-line corrected value(E_r/%)	样品名称 Sample	Sn/(μg·L⁻¹) / Cd/(μg·L⁻¹)	离线校正(相对误差/%) Off-line corrected value(E_r/%)
1-7	20	1.000(−0.15)	2-7	20	2.001(−0.20)
1-8	30	0.999(−0.68)	2-8	30	1.961(−1.37)
1-9	41	0.968(−2.77)	2-9	40	1.954(−2.80)
1-10	50	0.997(−2.28)	2-10	49	2.081(0.79)
1-11	100	1.047(3.14)	2-11	99	2.126(3.19)
1-12	529	1.057(10.27)	2-12	539	1.743(−5.26%)
1-13	1 041	0.867(−9.86)			

表 10　条件 2 下实验组 1,2 离线校正结果

Table 10　Off-line corrected value of Cd (condition 2)

样品名称 Sample	Sn/(μg·L⁻¹) / Cd/(μg·L⁻¹)	离线校正(相对误差/%) Off-line corrected value(E_r/%)	样品名称 Sample	Sn/(μg·L⁻¹) / Cd/(μg·L⁻¹)	离线校正(相对误差/%) Off-line corrected value(E_r/%)
1-1	1	0.992(−3.64)	2-1	1	1.961(−1.60)
1-2	2	0.984(−1.70)	2-2	2	1.997(0.06)
1-3	4	1.000(0.79)	2-3	4	1.978(−0.68)
1-4	6	1.027(1.73)	2-4	6	2.003(0.24)
1-5	8	1.007(1.31)	2-5	8	2.006(−1.85)
1-6	10	1.034(3.28)	2-6	10	2.016(0.01)
1-7	20	1.022(2.07)	2-7	20	2.007(0.12)
1-8	30	1.022(1.63)	2-8	30	2.022(1.71)
1-9	41	1.004(0.87)	2-9	40	2.018(0.41)
1-10	50	1.017(−0.27)	2-10	49	2.086(1.01)
1-11	100	1.090(7.37)	2-11	99	2.190(6.29)
1-12	529	1.003(4.60)	2-12	539	1.638(−11.01)
1-13	1 041	0.904(−6.00)			

综上所述,当 Sn 浓度是 Cd 浓度的 30 倍以下时,采用在线校正和离线校正均能获得比较满意的结果;当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值大于 30,甚至达到 1 000 时,采用离线校正方式更合理。

3　结论

通过改变仪器工作条件,改变 Sn/Cd 比值来测定 Sn 对 Cd(^{114}Cd)的干扰程度,表明:(1)当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值在 2 以下时,Cd 的测定值不需要任何方式校正,Sn 基本不干扰 Cd 测定;当 Sn 浓度达到 Cd 浓度的 2 倍以上时,不经任何校正的 Cd 浓度偏离标准值,Sn 浓度与 Cd 浓度比值越高,不经任何校正的 Cd 浓度与标准值偏差越大。(2)当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值为 2～30 时,采用离线校正和 EPA6020 推荐的在线干扰校正公式均可以得到较为合理的结果,两者比值高于 30,Cd 的在线校正结果偏离标准值。(3)当 Sn 浓度与 Cd 浓度比值高达 40,50,100,500,1 000 时,相比于在线干扰校正方式,采用离线校正方式能得到更接近标准值的测定值。

参考文献

[1] 冯先进,屈太原. 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)最新应用进展[J]. 中国无机分析化学(*Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry*),2011,1(1):46-52.

[2] 符靓. 八极杆碰撞/反应池 ICPMS 法测定果脯中的重金属元素[J]. 食品工业科技(*Science and Technology of Food Industry*),2012, 33(15):311-314.

[3] 李欣荣,宿洁,吴爱英. 电感耦合等离子体质谱法测定海洋天然药物中 5 种重金属的含量[J]. 中国海洋药物(*Chinese Journal of Marine Drugs*),2010(3):68-70.

[4] 贾双琳,赵平,杨刚,等. 混合酸敞开或高压密闭溶样-ICPMS 测定地质样品中稀土元素[J]. 岩矿测试(*Rock and Mineral Analysis*),2014,33(2):186-191.

[5] 岳晓云,蔡绍勤,邵荣珍,等. 电感耦合等离子体质谱法测定高纯镓中痕量杂质[J]. 分析化学(*Chinese Journal of Analytieal Chemistry*), 2001,29(11):1307-1310.

[6] 李金英,石磊,鲁盛会,等. 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)及其联用技术研究进展[J]. 中国无机分析化学(*Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry*),2012,2(2):1-5.

[7] 贺文萍. 浅谈 ICP-MS 测定土壤样品中锗碘的研究[J]. 大观周刊(*Grand Week*),2011(41):56.

[8] 姚亮,薛瑞. ICP-MS 法测定土壤中金属元素[J]. 当代

化工(*Contemporary Chemical Industry*),2014,43(2):313-316.

[9] 刘畅. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定环境空气颗粒物中的金属元素[J]. 现代农业科技(*Modern Agricultural Science and Technology*),2014(1):237,240.

[10] 念娟妮,刘建利,张宇,等. 电感耦合等离子体质谱法测定饮用水中铅、镉[J]. 广东化工(*Guangdong Chemical Industry*),2014,41(1):159-160.

[11] 李玲,闫旭宇. 植物中微量镉检测方法的对比研究进展[J]. 农学学报(*Journal of Agriculture*),2014,4(4):26-29.

[12] 李冠虹,巩海娟. 微波消解-电感耦合等离子体质谱测定玉米中铬、镉、铅[J]. 吉林地质(*Jilin Geology*),2013,32(4):117-119.

[13] 荀颖怡,尹坤. 电感耦合等离子体质谱法测定水系沉积物中的镉[J]. 黑龙江科技信息(*Heilongjiang Science and Technology Information*),2012(7):101.

[14] 李刚,曹小燕. 电感耦合等离子体质谱法测定地质样品中锗和镉的干扰及校正[J]. 岩矿测试(*Rock and Mineral Analysis*),2008,27(3):197-200.

[15] 常学东. ICP-MS 方法测定镉的干扰现象分析[J]. 新疆有色金属(*Xinjiang Nonferrous Metals*),2011(6):47-49.