

ICP-AES 测定茶包中总铝及水溶性铝的含量

吴莉, 王玉

(江苏省食品药品监督检验研究院, 南京 210008)

摘要 目的: 建立电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES 法) 测定茶包中总铝及水溶性铝含量。**方法:** 样品经微波消解消化处理, 采用 ICP-AES 法测定茶包中总铝及水溶性铝含量, 样品导入泵速 $30 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$, 功率 $1\ 100 \text{ W}$, 等离子气流量 $15.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 辅助气流量 $1.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$, 雾化器压力 200 kPa , 载气为高纯氩气, 以内标法计算, 选择待测元素铝波长为 396.152 nm , 内标钪波长为 361.383 nm 。**结果:** ICP-AES 法测定茶包中铝元素, 线性范围为 $0\sim 25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (校准曲线相关系数 $r=0.999\ 7$); 加样回收率平均值 ($n=9$) 为 95.6% , RSD 为 1.3% ; 检测限为 $0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; 重复性 RSD 为 1.3% ($n=6$); 总铝含量范围为 $117\sim 1\ 046 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 水溶性铝含量范围为 $36\sim 367 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。**结论:** 本法适用于茶包中总铝及水溶性铝的含量测定。第 1 次冲泡的茶水中铝含量较高。

关键词: 电感耦合等离子体原子发射光谱法 (ICP-AES); 茶包; 铝; 水溶性铝; 微波消解

中图分类号: R 917 文献标识码: A 文章编号: 0254-1793 (2017) 05-0869-06

doi: 10.16155/j.0254-1793.2017.05.18

Quantitative analysis of total aluminium and water soluble aluminium in tea bags by ICP-AES

WU Li, WANG Yu

(Jiangsu Institute for Food and Drug Control, Nanjing 210008, China)

Abstract Objective: To establish an ICP-AES method for the quantitative analysis of total aluminium and water soluble aluminium in tea bags. **Methods:** Microwave digestion was used for sample pre-treatment. The content of total aluminium and water soluble aluminium were measured by internal standard method using ICP-AES, respectively. The pump speed was $30 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$. The power was $1\ 100 \text{ W}$. The flow rate of plasma gas was $15.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$. The flow rate of auxiliary gas was $1.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$. The nebulizer pressure was 200 kPa , and the carrier gas was high purity argon. The wavelength of Al was set at 396.152 nm and the wavelength of Sc as the internal standard element was 361.383 nm . **Results:** The calibration curve of total aluminium in tea bags has good linearity between $0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ and $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (calibration curve correlation coefficient $r = 0.999\ 7$). The mean recovery rate ($n=9$) was 95.6% and the RSD was 1.3% . The detection limit of the method was $0.6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The repeatability of RSD was 1.3% ($n=6$). The amount of total aluminium ranged from 117 to $1046 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. The amount of water soluble aluminium ranged from 36 to $367 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. **Conclusion:** This method is suitable for the quantitative analysis of total aluminium and water

第一作者 Tel: (025) 86630712; E-mail: wulienglish@sohu.com

soluble aluminium in tea bags. The amount of water soluble aluminium in tea bags for the first time was higher.

Keywords: inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES); tea bags; aluminium; water soluble aluminium; microwave digestion

铝是地壳中含量最丰富的金属元素,是一种低毒非必需性的微量元素。铝在人体内是慢慢蓄积起来的,其引起的毒性缓慢且不易察觉,一旦发生代谢紊乱的毒性反应,后果将非常严重。它与阿尔兹海默病的发生有密切关系^[1],还可以引起骨软化症^[2]和小细胞性贫血^[3],世界卫生组织于1989年正式将铝确定为食品污染物加以控制。天然食品中以茶叶含铝最高^[4-5],茶叶制成茶包后究竟铝含量如何,通过饮茶进入人体的铝究竟有多少,越来越多地引起了人们的关注。本文采用微波消解法、平板湿法、干灰化法、沸水浸泡法处理样品,并进行了消解效果比较实验,建立了电感耦合等离子体原子发射光谱法(ICP-AES法)测定茶包中总铝及水溶性铝的含量,为茶包中总铝及水溶性铝的监测提供了技术支持。

1 仪器与试剂

1.1 仪器

720型电感耦合等离子体原子发射光谱仪(Agilent公司),MARS型微波消解仪(CEM公司),BHW-09C恒温控制器(博通公司),Arium[®] pro超纯水仪(Sartorius公司),XS205DU电子天平(Mettler-Toledo公司),PCE-E3000 Serials加热平板,B 180型马弗炉(德国纳博热)。

1.2 试剂

铝单元素标准溶液 1 000 mg·L⁻¹(GSB 04-1713-2004,国家有色金属及电子材料分析测试中心),铈单元素标准溶液 1 000 mg·L⁻¹(GSB 04-1750-2004,国家有色金属及电子材料分析测试中心),50 ppm波长校正液(Agilent公司),Suprapur[®] 65%硝酸(批号 Z0357941538, Merck公司),盐酸(优级纯,批号 160202017J,南京化学试剂股份有限公司),30%过氧化氢(优级纯,批号 20150917,国药集团化学试剂有限公司),高氯酸(优级纯,批号 14061211307,南京化学试剂有限公司),去离子水。

标准样品为地球物理地球化学勘查研究所(IGGE)制备的国家标准物质紫菜 GBW10023(GSB-14)及螺旋藻 GBW10025(GSB-16)。

A牌减肥茶包(批号 20150805)、B牌减肥茶包(批号 150603、150809、151112)、B牌常润茶包(批号 150404)、C牌减肥茶包(批号 20150116、20150819)、D牌通便茶包(批号 AE150912、AE151019)和E牌减肥茶包(批号 20150711)规格均为每袋 2.5 g,从市场购买。

2 方法与结果

2.1 溶液的制备

2.1.1 内标溶液 精密量取 1 000 mg·L⁻¹ 铈单元素标准溶液 5 mL,置 50 mL量瓶中,加 1%硝酸溶液稀释定容至刻度,摇匀,制成 100 mg·L⁻¹ 铈标准溶液作为内标溶液。

2.1.2 铝标准溶液 精密量取 1 000 mg·L⁻¹ 铝单元素标准溶液 5 mL,置 100 mL量瓶中,加 1%硝酸溶液稀释定容至刻度,摇匀,制成 50 mg·L⁻¹ 铝标准储备溶液。精密量取 1 000 mg·L⁻¹ 铝单元素标准溶液 5 mL,置 20 mL量瓶中,加 1%硝酸溶液稀释定容至刻度,摇匀,制成 250 mg·L⁻¹ 铝标准溶液。

2.2 样品处理

2.2.1 微波消解法 取茶包 5 袋,将内容物混匀、研细,取细粉约 0.2 g,精密称定,置聚四氟乙烯消化管中,加入硝酸-盐酸(2:1)5 mL,轻轻摇匀,旋紧罐盖,置微波消解仪中至消解完全,冷却至室温,取出,拧开罐盖,置恒温控制器上 150 °C加热赶酸至近干,将消解液转移至 50 mL量瓶中,再精密加入内标溶液 1 mL,用水稀释定容至刻度,摇匀;用 0.45 μm 滤膜过滤,弃去初滤液 2 mL,取续滤液即得供试品溶液,用于茶包中总铝含量的测定。同时作试剂空白试验。

2.2.2 平板湿法 取细粉约 1 g,精密称定,置 250 mL高脚烧杯中,加硝酸-高氯酸(4:1)20 mL,轻轻摇匀,盖上玻片,连续缓慢加热至黄棕色烟雾消失并冒白烟,加水 5 mL继续加热至近干,取出,冷却至室温,将消解液转移至 50 mL量瓶中,用水稀释定容至刻度,摇匀;用 0.45 μm 滤膜过滤,弃去初滤液 2 mL,精密量取续滤液 5 mL置 25 mL量瓶中,再精密加入内标溶液 0.5 mL,用水稀释定容至刻度,摇匀,即得供

试品溶液,用于茶包中总铝含量的测定。同时作试剂空白试验。

2.2.3 干灰化法 取细粉约 1 g,精密称定,置 100 mL 新瓷坩埚中,在电炉上先微火加热至不冒烟,再缓慢加大电炉温度,直至电炉温度调至最大时不冒烟,加热完全炭化后,移入 550 °C 马弗炉中加热 4 h,取出,冷却至室温,加入硝酸-盐酸(2:1) 2 mL 使溶解,移入 50 mL 量瓶中,用水稀释定容至刻度,摇匀;用 0.45 μm 滤膜过滤,弃去初滤液 2 mL,精密量取续滤液 5 mL 置 25 mL 量瓶中,再精密加入内标溶液 0.5 mL,用水稀释定容至刻度,摇匀,即得供试品溶液,用于茶包中总铝含量的测定。同时作试剂空白试验。

2.2.4 浸泡法 取茶包 1 袋,置 150 mL 烧杯中,加入沸水 100 mL,水浸没茶包后,盖好玻片,放置 30 min,将杯中茶水全部倒入 100 mL 比色管中,即得第一泡的供试品溶液 A₁,茶包备用;取上述茶包置另一 150 mL 烧杯中,加入沸水 100 mL,重复上述操作 2 次,分别制得第二泡及第三泡的供试品溶液 A₂、A₃;上述 3 个供试品溶液用于茶包中水溶性铝含量的外标法测定;精密量取供试品溶液 A₁、A₂、A₃ 各 5 mL,分别置 10 mL 量瓶中,再精密加入内标溶液各 0.2 mL,加水稀释定容至刻度,摇匀,即得第一泡、第二泡及第三泡供试品溶液 B₁、B₂、B₃,用于茶包中水溶性铝含量的内标法测定。

2.3 测定

2.3.1 ICP-AES 仪器工作参数 样品导入泵速 30 r·min⁻¹,功率 1 100 W,等离子气流量 15.0 L·min⁻¹,辅助气流量 1.5 L·min⁻¹,雾化器压力 200 kPa,进样延迟时间 0 s,仪器稳定延时 30 s,1 次读数时间 3 s,读数次数 3 次,载气为高纯氩气。

2.3.2 样品的测定 仪器的优化: 将 50 ppm ICP-AES 波长校正液稀释成 5 ppm 以调试仪器,用于校正仪器波长和调节炬管准直,使仪器的稳定性、灵敏度、精密密度等指标达到测试要求,编辑测试方法,选择

待测元素和内标元素。将标准曲线溶液、试剂空白溶液、样品溶液分别引入仪器,在铝 396.152 nm 及钪 361.383 nm 波长下绘制标准曲线,根据线性回归方程计算出样品中铝元素的含量。

2.4 结果

2.4.1 线性试验 以 1% 硝酸溶液稀释 50 mg·L⁻¹ 铝标准储备溶液,制成铝质量浓度分别为 0、0.5、2.5、5、10、25 mg·L⁻¹ 及内标钪质量浓度为 2 mg·L⁻¹ 的系列标准曲线溶液。记录铝及内标钪的信号响应值,按内标法计算,得回归方程:

$$Y=62\ 388.1X+5\ 058.2 \quad r=0.999\ 7$$

结果表明,在铝线性工作范围为 0~25 mg·L⁻¹ 时,信号响应强度与质量浓度呈良好的线性关系。

2.4.2 回收率试验 取已知总铝含量(平均含量为 1 046 mg·kg⁻¹)的样品细粉约 0.2 g,精密称定,共 9 份,3 份为一组,分别精密量取 250 mg·L⁻¹ 铝标准溶液 1.2、1.0、0.8 mL,按“2.2.1”项下方法,自“置聚四氟乙烯消化管中”起操作,进行消解,将消解液转移至 100 mL 量瓶中,再精密加入内标溶液 2 mL,用水稀释定容至刻度,摇匀;用 0.45 μm 滤膜过滤,弃去初滤液 2 mL,取续滤液即得供试溶液,测定高、中、低浓度 9 份溶液的加样回收率,平均值为 95.6%,RSD 为 1.3%。

2.4.3 检测限试验 对试剂空白溶液(除不加样品外,其余操作同“2.2.1”项,即得)进行 11 次平行测定,按标准偏差的 3 倍计算,铝元素检测限浓度为 0.002 4 mg·L⁻¹,样品中铝元素检测限浓度为 0.6 mg·kg⁻¹。

2.4.4 重复性试验 精密称取同一批茶包共 6 份,按“2.2.1”项下方法制成供试品溶液,进行测定,RSD ($n=6$)为 1.3%。

2.4.5 准确性试验 按照“2.2.1”项下方法处理标准样品紫菜 GBW10023(GSB-14)及螺旋藻 GBW10025(GSB-16),测定结果见表 1。比较测定值和真实值,两者之间无明显差距。

表 1 标准样品测定结果(%)

Tab. 1 Results of the quantitative analysis in standard samples

标准样品名称 (standard sample)	真实值 (real value)	内标法 (internal standard method)	外标法 (external standard method)
紫菜(laver, GSB-14)	0.49 ± 0.08	0.47	0.42
螺旋藻(spirulina, GSB-16)	0.033 ± 0.007	0.030	0.027

2.4.6 含量测定结果

按照“2.2.1”项下微波消解法处理 5 个厂家 10 批样品,在铝波长 396.152 nm 及内标钪波长 361.383 nm

下测定样品中总铝含量,采用内标法计算,结果见表 2。表 2 中水溶性铝含量依次为溶液 B₁、B₂、B₃ 中水溶性铝含量和 3 次的总含量。

表 2 样品的测定结果

Tab. 2 Quantitative analysis for 10 commercial samples

编号 (No.)	名称 (name)	批号 (batch No.)	水溶性铝含量 (content of water soluble aluminium)/(mg · kg ⁻¹)	总铝含量 (content of total aluminium)/(mg · kg ⁻¹)
1	A 牌减肥茶 (A brand slimming tea)	20150805	282, 64, 21 (367)	1 046
2	B 牌减肥茶 (B brand slimming tea)	150603	99, 22, 11 (132)	395
3		150809	94, 20, 11 (125)	343
4		151112	88, 20, 4 (112)	319
5	C 牌减肥茶 (C brand slimming tea)	20150116	102, 21, 7 (130)	427
6		20150819	103, 22, 10 (135)	413
7	D 牌通秘茶 (D brand detox tea)	AE150912	102, 23, 10 (135)	367
8		AE151019	89, 17, 6 (112)	331
9	E 牌减肥茶 (E brand slimming tea)	20150711	28, 6, 2 (36)	117
10	B 牌常润茶 (B brand detox tea)	150404	82, 19, 3 (104)	300

3 讨论

3.1 不同样品处理方法比较

按照“2.2”项下微波消解法、平板湿法、干灰化法 3 种处理样品的消解方法,改变部分实验条件,对同一批次样品 (A 牌减肥茶包: 每袋 2.5 g, 批

号 20150805), 在铝波长 396.152 nm、内标钪波长 361.383 nm 下进行样品中铝的含量测定,采用内标法计算,比较不同消解方法及实验条件对样品测定结果的影响,结果见表 3。

表 3 不同样品处理方法的测定结果

Tab. 3 Results of the quantitative analysis with different treatment methods

处理方法 (treatment method)	实验条件 (experimental condition)	铝含量 (content of aluminium)/(mg · kg ⁻¹)
微波消解法 (microwave digestion)	120 °C 赶酸 (heating acid at 120 °C)	1 049
	135 °C 赶酸 (heating acid at 135 °C)	1 034
	150 °C 赶酸 (heating acid at 150 °C)	1 046
平板湿法 (plant heating)	消解液 (digestion solution) 硝酸 (HNO ₃) - 盐酸 (HCl) (2:1)	1 015
	消解液 (digestion solution) 硝酸 (HNO ₃) - 高氯酸 (HClO ₄) (4:1)	1 035
	干灰化法 (dry ashing)	灰化温度 (pyrolysis temperature) 500 °C
干灰化法 (dry ashing)	灰化温度 (pyrolysis temperature) 550 °C	1 037
	灰化温度 (pyrolysis temperature) 600 °C	1 027
	浸泡法 (boiling water immersion)	浸泡 - 第一泡 (immersion-first)
浸泡 - 第二泡 (immersion-second)		64
浸泡 - 第三泡 (immersion-third)		21

平板湿法采用 2 种混酸 [硝酸 - 盐酸 (2:1) 和硝酸 - 高氯酸 (4:1)] 对样品同时进行处理,消解完全后消解液硝酸 - 高氯酸 (4:1) 比硝酸 - 盐酸 (2:1)

更澄清,而且测定结果 1 035 mg · kg⁻¹ 比 1 015 mg · kg⁻¹ 更接近真实值 1 046 mg · kg⁻¹, 因此平板湿法采用混酸硝酸 - 高氯酸 (4:1) 体系更可靠。

茶包中含有较多的有机物,在采用干灰化法对样品进行处理时要注意,灰化前一定要炭化完全,并小心控制炭化温度,过高时燃烧的火焰会带走部分灰分造成损失,过低则容易造成炭化不完全;在3种灰化温度500、550、600℃下破坏样品,550℃结果为 $1\,037\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,与真实值 $1\,046\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 基本吻合,较为理想,过低或过高的灰化温度对处理样品都会造成一定影响,因此对灰化温度的控制也是必要的。

采用微波消解法时,对样品量、消解液的种类、消解液的体积以及赶酸温度均进行了选择。由于样品基质复杂,样品量越大越不易被破坏完全,在实验条件相同的情况下,样品量为0.5g时消解液中有微

小颗粒,消解不完全,而样品量为0.2g时消解液无沉淀,澄清透明,故样品量选择0.2g较为合适,见表4。消解液的种类对样品破坏的程度影响很大,分别采用混酸体系硝酸-过氧化氢(5:1)、硝酸-过氧化氢(5:2)、硝酸-盐酸(2:1)及硝酸-盐酸(3:1)消解样品,实验表明混酸硝酸-过氧化氢体系破坏样品不完全,有沉淀,测定结果均偏低,而硝酸-盐酸体系无沉淀,结果可靠,选择硝酸-盐酸(2:1)体系更为妥当,见表4。消解液的体积在5~8mL范围内对结果影响不大;不赶酸的测定结果均比赶酸低,见表4。在赶酸温度分别为120、135、150℃时,结果相差不大,但考虑到赶酸时间和实验效率,选用150℃的赶酸温度比较合理,见表3。

表4 不同消解条件的选择

Tab. 4 Selections of different digestion conditions

取样量 (sampling)/g	消解体系 (digestion system)	赶酸 (heating acid)/(mg·kg ⁻¹)	未赶酸 (no heating acid)/(mg·kg ⁻¹)
0.2	硝酸(HNO ₃)-盐酸(HCl)(2:1)	1 046	1 026
	硝酸(HNO ₃)-盐酸(HCl)(3:1)	1 025	1 017
	硝酸(HNO ₃)-过氧化氢(H ₂ O ₂)(5:1)	987	965
	硝酸(HNO ₃)-过氧化氢(H ₂ O ₂)(5:2)	981	966
0.5	硝酸(HNO ₃)-过氧化氢(H ₂ O ₂)(5:1)	961	954
	硝酸(HNO ₃)-盐酸(HCl)(2:1)	1 014	998

比较微波消解法、平板湿法、干灰化法这3种样品前处理方法,平板湿法和干灰化法操作烦琐,耗时长,元素易损失,造成结果偏低,且加热不均匀,平行性差;微波消解法取样量少,耗酸少,消解完全,元素不易损失,平行性好,空白值低,省时省力,并且减少环境污染,尤其适用于大批量样品的检测。所以,选用微波消解法消化样品最为合适。

3.2 实验条件的选择

本实验分别采用外标法及内标法测定标准样品紫菜GBW10023(GSB-14)和螺旋藻GBW10025(GSB-16),结果见表1。比较内标法和外标法测定结果得出,采用内标法时结果更准确。对仪器自身推荐的排名前位的铝特征谱线进行选择,167.019nm线性范围窄,237.312nm灵敏度低,309.271、394.401nm峰形差,将396.152nm与308.215nm进行比较,结果显示396.152nm信号响应值更大,灵敏度更高,且峰形对称,线性范围宽,所以本文选用396.152nm为分析波长。同时,对内标钪特征谱线也进行了选

择,335.372nm峰形最差,363.074nm灵敏度最低,故选用361.383nm。

3.3 饮茶摄入铝量估算

茶包的饮用方式是浸泡后饮用茶汤弃去茶包,茶包中铝含量并不等于饮茶摄入铝量。本文用沸水浸泡茶包3次,茶汤颜色由红棕色渐变为黄色,测定三泡茶汤中铝含量均值分别为282、64和21mg·kg⁻¹,见表3。实验结果表明,沸水浸泡茶包时头泡茶汤含铝量最高,超过3次总浸出量的75%;第三泡铝含量已经很低;茶包中铝元素的溶出率随着浸泡次数的增多而迅速下降,水溶性铝在前三泡茶汤中已经基本溶出。

茶包浸泡3次的水溶性铝含量之和超过总铝量30%。以A牌减肥茶包为例,若成人每日浸泡1袋茶包约2.5g,饮茶300mL,茶汤中含铝量约为3mg·L⁻¹,高于我国规定饮用水铝限量标准0.2mg·L⁻¹的15倍;1989年,联合国粮农组织和世界卫生组织(FAO/WHO)暂定每周允许摄入铝量(PTWI)为

7 mg · kg⁻¹, 此后 FAO/WHO 多次对饮食中铝进行评价, 2006 年起将每周允许摄入铝量降低为 1 mg · kg⁻¹[6-7]。所以饮茶过多或饮用方式不正确依然存在潜在危险。在日常饮茶过程中, 弃饮头泡茶, 茶包浸泡时间也不宜过长, 尽量减少茶包中溶出铝对人体的危害。

3.4 不同厂家不同批次测定结果的分析

茶包的出现是为了方便携带和冲泡, 更多的是顾及便捷性。常见的茶包有绿茶、红茶、早餐茶等, 还有具有附加功效的减肥茶、通便茶、常润茶等。目前茶包种类和品牌繁多, 质量也参差不齐。茶叶是茶包的主要原料, 所以茶包中铝含量也直接由茶叶决定。查看有关茶叶的文献资料^[8-12]发现, 茶叶中铝含量与茶叶的产地、土壤、叶龄、是否施用含铝肥等因素有关。在市场上随机抽取 5 个厂家共 10 批样品进行测定, 总铝含量范围为 117~1 046 mg · kg⁻¹, 水溶性铝含量范围为 36~367 mg · kg⁻¹, 见表 2。结果显示, 各厂家生产的茶包之间铝含量相差很大, 分布范围比较宽, 含量最高的是最低的近 10 倍。因此, 日常检测工作中加大对茶包中铝含量的监测和研究, 提高茶包的质量是必要的。

4 结论

本文采用 ICP-AES 法和不同样品前处理方法对茶包中铝的含量进行比较, 分析了不同的消解方法对样品测定的影响, 结果显示采用微波消解法处理样品、ICP-AES 法测定, 分析速度快, 干扰小, 灵敏度高, 结果准确, 具有明显优势。本文按照饮茶习惯, 采用开水冲泡茶包, 测得的第一次冲泡茶水中铝溶出率最高, 故而应该重视对茶包铝含量的监测调查。

参考文献

[1] CRAPPER DR, KRISHNAN SS, QUITTKAT S. Aluminium, neurofibrillary degeneration and Alzheimer's disease[J]. *Brain*, 1976, 99(1): 67

[2] OTT SM. Aluminum-related osteomalacia[J]. *Int J Artif Organs*, 1983, 6(4): 173

[3] KAISER L, SCHWARTZ KA. Aluminum-induced anemia[J]. *Am J Kidney Dis*, 1985, 6(5): 348

[4] WANG L. Studies on the aluminium content in Chinese foods and the aximum permitted levels of aluminum in wheat flour products[J]. *Biomed Environ Sci*, 1994, 7(1): 91

[5] 刘凤贞, 于德奎, 吕严, 等. 国人铝日允许摄入量的初步研究[J]. *环境与健康杂志*, 1991, 8(2): 49

LIU FZ, YU DK, LÜ Y, *et al.* Preliminary study on ADI of

aluminium for Chinese[J]. *J Environ Health*, 1991, 8(2): 49

[6] 王林, 苏德昭, 王永芳, 等. 中国居民每日摄入量及面粉食品中铝限量卫生标准研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 1996, 8(2): 1

WANG L, SU DZ, WANG YF, *et al.* Study on ADI of aluminium for Chinese citizens and the maximum permitted amount of aluminium in flour food products[J]. *Chin J Food Hyg*, 1996, 8(2): 1

[7] 曹云. 铝对人体健康影响及面粉食品中铝添加量和测定的研究进展[J]. *河南预防医学杂志*, 2015, 26(5): 354

CAO Y. Research progress on the effect of aluminium on human health and the amount and determination of aluminum in flour food[J]. *Henan J Prev Med*, 2015, 26(5): 354

[8] 梁春穗, 李海. 茶叶中铝的来源及溶解性研究[J]. *现代预防医学*, 1996, 23(4): 235

LIANG CS, LI H. Studies on the source of aluminium in teas and its solubility[J]. *Mod Prev Med*, 1996, 23(4): 235

[9] 刘淑君, 平庆杰, 杨艳虹, 等. 进口茶叶中铝含量调查分析[J]. *食品研究与开发*, 2014, 35(22): 119

LIU SJ, PING QJ, YANG YH, *et al.* Investigation and analysis on the content of aluminium in import tea[J]. *Food Res Dev*, 2014, 35(22): 119

[10] 高舫, 陶锐. 茶叶中铝的卫生学实验研究[J]. *中国公共卫生*, 2011, 17(3): 221

GAO G, TAO R. Experimental studies on the hygienics of aluminum in tea[J]. *China Public Health*, 2011, 17(3): 221

[11] 王文伟, 骆和东, 周娜福, 等. 福建省地产茶叶中 14 种元素的分析与研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2011, 23(3): 265

WANG WW, LUO HD, ZHOU NF, *et al.* Fourteen kinds of elements in teas from Fujian province[J]. *Chin J Food Hyg*, 2011, 23(3): 265

[12] 陈波, 颜治, 赵旭, 等. 元素含量分析应用于十种中国名茶的产地鉴别[J]. *湘潭大学自然科学学报*, 2016, 38(1): 61

CHEN B, YAN Z, ZHAO X, *et al.* Regional indentification of 10 kinds of Chinese famous tea by multi-element analysis[J]. *Nat Sci J Xiangtan Univ*, 2016, 38(1): 61

[13] 杨大鹏, 刘晶. ICP-AES 法测定福鼎白茶中铝及铅元素的含量及其溶出特性的研究[J]. *茶叶*, 2016, 42(2): 73

YANG DP, LIU J. Studies on determination of Al and Pb elements in white tea by ICP-AES and their dissolution characteristics[J]. *J Tea*, 2016, 42(2): 73

[14] 吴志丹, 江福英, 张磊. 茶树品种及采摘时期对茶叶绿含量的影响[J]. *茶叶学报*, 2016, 57(1): 13

WU ZD, JIANG FY, ZHANG L. Aluminum content in *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze cultivars with delayed leaf-plucking[J]. *Acta Tea Sin*, 2016, 57(1): 13

[15] 郑功宇, 陈寿松, 苏培凌, 等. 铝对茶叶主要化学品质影响的研究进展[J]. *茶叶科学技术*, 2013(3): 1

ZHENG GY, CHEN SS, SHU PL, *et al.* Research progress on effects of aluminium on main chemical components of tea[J]. *Tea Sci Technol*, 2013(3): 1

(本文与 2016 年 5 月 25 日收到)