

云南省保山市不同茶叶中重金属浸出特征分析

颜媛, 张琼, 朱丽江, 杨婉秋*

(昆明学院 化学科学与技术系, 云南 昆明 650214)

摘要:采用 ICP-MS 法对产自云南省保山市的绿茶、红茶、普洱生茶、普洱熟茶及其茶汤中重金属(As, Cd, Cr, Ni 和 Pb)质量分数进行分析, 研究茶叶在不同冲泡次数、冲泡时间、冲泡温度下重金属的浸出规律. 结果表明, 供试茶叶样品中 As, Cd, Cr 和 Pb 的质量分数远低于国家卫生质量标准的最高质量分数限定值, 但各重金属质量分数差异较大, 表现为: $w(\text{Ni}) \gg w(\text{Cr}) \approx w(\text{Pb}) \approx w(\text{As}) > w(\text{Cd})$. 茶汤中重金属浸出率随冲泡次数的增加而降低; 随浸泡时间延长而增大, 浸泡 30 min 后增幅平缓, 浸出量基本稳定; 同时, 浸出率随浸泡温度的升高而增大, 80 °C 以上恒温浸泡重金属浸出量增幅明显. 茶叶中 Ni 和 Pb 较易浸出, Cd 较难浸出.

关键词:保山市; 茶; 浸出; 重金属; ICP-MS

中图分类号: TS207 文献标识码: A 文章编号: 1674-5639(2016)03-0043-06

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2016.03.009

Analysis on Leaching Characteristics of Heavy Metals in Tea from Yunnan Baoshan

YAN Yuan, ZHANG Qiong, ZHU Li-jiang, YANG Wan-qiu*

(Department of Chemical Science and Technology, Kunming University, Yunnan Kunming 650214, China)

Abstract: In order to study the leaching rule of five heavy metals (Al, Cd, Cr, Ni and Pb) from tea to tea infusions, ICP-MS were used to analyze green tea, black tea, Pu'er raw tea and Pu'er ripe tea from Baoshan, Yunnan at first. Then the tea infusions brewed by three key factors (Number of brewing, brewing time and brewing temperature) were analyzed. The results showed that the quality mass contents of As, Cd, Cr and Pb were far below the limited value of national standards, respectively. Each heavy metal showed the quality mass content difference which could be expressed as: $w(\text{Ni}) \gg w(\text{Cr}) \approx w(\text{Pb}) \approx w(\text{As}) > w(\text{Cd})$ in all the samples. Heavy metals in tea infusions decreased with increasing of the numbers of brewing. The contents of those elements increased with immersion times, and the upward trends slowed down after 30 min, which indicated the leaching rate became steadily. The leaching rate increased with the water temperature increasing and it became obvious when the temperature reached to above 80 °C and Ni and Pb in tea were easier to leach than Cd.

Key words: Baoshan; tea; extraction; heavy metals; ICP-MS

茶叶作为全球销量最大的无酒精饮料, 其消费人数及消费量呈逐年增加趋势, 目前年消费量已超过 482 万 t^[1]. 而随着环境污染事件的频发以及人们对食品质量安全要求标准的提高, 茶叶中重金属、稀土含量(质量分数, 下同)、农药残留超标等茶叶质量安全问题成为人们关注的焦点, 其中重金属因其生物半衰期长, 蓄积毒性强, 且含量(质量分数, 下同)高低受茶叶生长成熟度, 产地水、土、空气等环

境因素及加工工艺影响^[2-4], 因此该问题已成为茶叶质量安全核心问题之一, 备受人们关注.

茶叶中重金属并非通过直接食用茶叶进入人体, 而是经浸泡茶叶, 浸出至茶汤中, 继而转移至饮茶者体内蓄积. 目前, 国家标准《食品中污染物限量》(GB 2762—2012) [$w(\text{Pb}) < 5.0 \text{ mg/kg}$], 以及农业部《茶叶中铬、镉、汞、砷及氟化物限量》(NY 659—2003) [$w(\text{Cr}) < 5.0 \text{ mg/kg}$, $w(\text{Cd}) <$

收稿日期: 2016-05-18

基金项目: 昆明学院应用型人才培养改革创新资助项目“化学化工类大学生创新实践基地建设”.

作者简介: 颜媛(199—), 女, 云南师宗人, 昆明学院本科生, 主要从事食品与药品检验研究.

* 通讯作者: 杨婉秋(1980—), 女, 云南石林人, 副教授, 博士, 主要从事分析检测研究, E-mail: amyfall@163.com.

1.0 mg/kg, $w(\text{As}) < 2.0 \text{ mg/kg}$] 仅对茶叶中重金属提出限量, 并不能准确反映饮茶者摄入的重金属含量(质量分数, 下同)。因此, 研究茶叶重金属浸出情况, 寻找其浸出规律对完善茶叶质量安全标准及指导人们科学饮茶极其必要。

近年来, 关于茶叶中重金属浸出情况的研究^[2]报道较多, 茶汤中 As, Cd, Cr 和 Ni 的质量浓度分别处于痕量 - 1.5 $\mu\text{g/L}$, 痕量 - 0.79 $\mu\text{g/L}$, 未检出 - 0.79 $\mu\text{g/L}$ 和未检出 - 0.16 $\mu\text{g/L}$ 范围内, 不同茶叶品种、不同浸泡条件重金属的浸出率有显著差异(差异有统计学意义)^[5-11], 但茶汤中重金属含量与茶叶中含量基本成正相关^[7], 总体表现为绿茶中浸出率低于红茶^[2], 且同一品牌袋泡茶及其茶汤中重金属含量均高于相应茶叶^[11], 而在泡茶时添加柠檬酸则会增加茶叶中重金属元素的浸出^[12]。但长时间浸泡茶叶, 重金属浸出的表现不一。张洋婷等^[7]发现浸泡 30 min 后重金属浸出情况趋于稳定不再变化。崔莎莎等人^[8]发现以浸泡 30 min 为分割点, 前期浸出量小, 后期浸出量明显增加。而茶叶中重金属浸出量及浸出率的高低与其来源有关, 来源于水体、土壤等生物有效利用的内源性部分重金属较难浸出, 来自于空气沉降、加工过程等外源性部分重金属则较易浸出^[2, 11, 13]。因此, 如果根据茶汤中重金属浸出情况进行分析则有利于寻找其污染源。

云南省保山市是云南主要茶叶产区之一, 目前尚未见到保山市茶叶及其茶汤中重金属污染物的相关分析研究报道, 为了解保山市不同品种茶叶及茶汤中重金属的浸出情况, 本文拟对保山市所产 4 种茶叶及其茶汤中重金属含量进行探讨, 旨在为该地区茶叶中重金属污染情况及污染源寻找提供可靠依据, 为科学安全饮茶提出建议。

1 材料与方法

1.1 材料及仪器

2014 年从市场获取云南省保山市所产红茶、绿茶、普洱熟茶及普洱生茶。

重金属多元素混合标准溶液(As, Cd, Cr, Ni, Pb) 购自美国安捷伦公司(8500-6940), Li, Co, Y, Ce, Tl 混合标准溶液(美国 Agilent, 5188-6564) 为调谐溶液, Rh, Re 标准溶液(国家有色金属及电子材料分析测试中心) 为内标溶液, 采用 ICP-MS 电感耦合等离子质谱仪(7700e, 美国 Agilent 公司) 进行分析。

实验用水为超纯水(Milli-Q 纯水仪制备), 其余试剂均为优级纯级别。

1.2 仪器条件

ICP-MS 工作条件: 等离子体射频(RF) 功率: 1550 W; 载气: 1.03 L/min; 雾化室温度: 2 $^{\circ}\text{C}$; 蠕动泵: 0.10 r/s; 采样深度: 10.0 mm; 等离子体模式: He 模式(碰撞反应池模式); 氦气流量: 4.3 mL/min; 重复次数: 3 次。

1.3 实验方法

1.3.1 茶叶中重金属质量分数分析

准确称取 2.000 g 茶叶干粉样品置于锥形瓶中, 加入 30 mL 混酸[V(硝酸):V(高氯酸)=5:1], 加盖浸泡过夜后, 于电热板上加热消解至无色澄清透明, 加热赶酸, 冷却, 然后以 2% 硝酸溶液多次洗涤定容至 200 mL。同法处理空白样品, 每件样品做 3 份平行。

1.3.2 茶汤中重金属质量浓度分析

1) 冲泡次数对重金属浸出量的影响。准确称取 2.000 g 茶叶样品置于小烧杯中, 加入 100 mL 沸水, 自然浸泡 10 min, 倾倒入全部茶汤, 所得茶汤加入浓硝酸(2 mL) 进行酸化、浓缩后, 定容至 100 mL, 得到 1 浸液, 待测。将茶叶残渣同法制备得到 2 浸液和 3 浸液, 待测。按上述方法处理空白样品, 每件样品平行制备 3 份。

2) 浸泡时间对重金属浸出量的影响。分别准确称取 2.000 g 茶叶样品于烧杯中, 加入 100 mL 沸水, 置于沸水浴中分别恒温浸泡(沸水浸泡的样品使用沸水恒温水浴) 10, 30, 60, 120 min, 倾倒入全部茶汤, 所得茶汤用 2 mL 浓硝酸进行酸化、浓缩后, 定容至 100 mL, 待测。同法制备空白样品, 每件样品制备 3 份平行样。

3) 浸泡温度对重金属浸出量的影响。准确称取 2.000 g 茶叶样品置于小烧杯中, 分别加入 60, 80 $^{\circ}\text{C}$ 以及沸水 100 mL, 恒温浸泡 30 min, 倾倒入全部茶汤, 将所得茶汤加入 2 mL 浓硝酸酸化、浓缩、定容至 100 mL, 待测。空白样品依此方法处理, 每件样品平行做 3 份。

2 结果与讨论

2.1 茶叶中重金属元素分析

采用 ICP-MS 对云南省保山市所产红茶、绿茶、普洱熟茶及普洱生茶样品中重金属(As, Cr, Cd, Ni, Pb) 进行测定, 结果见下页表 1。

表1 保山市茶叶样品中重金属元素质量分数

茶叶品种	元素及质量分数/(mg·kg ⁻¹)				
	As	Cd	Cr	Ni	Pb
绿茶	0.142 1	0.032 1	0.246 6	7.098 7	0.256 8
红茶	0.268 8	0.025 8	0.350 1	6.682 6	0.489 4
普洱生茶	0.358 4	0.031 0	0.236 0	5.450 5	0.220 3
普洱熟茶	0.307 8	0.058 6	0.874 0	6.717 6	0.531 7

由表1可知,保山市不同品种茶叶中重金属质量分数除Ni(暂无国家卫生标准)外,其余元素(As, Cd, Cr和Pb)均远低于国家卫生标准[$w(\text{Cr}) < 5.0 \text{ mg/kg}$, $w(\text{Cd}) < 1.0 \text{ mg/kg}$, $w(\text{As}) < 2.0 \text{ mg/kg}$ (NY 659—2003); $w(\text{Pb}) < 5.0 \text{ mg/kg}$ (GB 2762—2012)],但重金属质量分数差异较大,各重金属元素质量分数高低顺序表现为: $w(\text{Ni}) \gg w(\text{Cr}) \approx w(\text{Pb}) \approx w(\text{As}) \gg w(\text{Cd})$. 各种类茶叶间重金属质量分数差异明显,其中,绿茶Cd质量分数最低,

Ni质量分数最高;红茶Cd质量分数最低;普洱生茶Cd, Cr和Pb质量分数最低, Ni质量分数最高;普洱熟茶Cd质量分数最低, Cr, Pb和Ni质量分数均为最高. 其质量分数差异与土壤背景值、茶叶成熟度以及茶叶制作工艺等因素相关^[3].

2.2 茶汤中重金属元素分析

2.2.1 冲泡次数对茶汤中重金属浸出的影响

保山市茶叶不同冲泡次数茶汤中重金属的质量浓度见表2.

表2 冲泡次数对茶汤中各重金属元素浸出的影响

茶汤		元素及质量浓度/(g·L ⁻¹)				
茶叶品种	冲泡次数	As	Cd	Cr	Ni	Pb
绿茶	1 浸液	0.546 1	-	1.032 8	43.763 0	0.857 2
	2 浸液	0.130 4	-	0.079 3	11.628 0	-
	3 浸液	-	-	-	2.787 0	-
	总浸出量	0.676 5	-	1.112 1	58.178 0	0.857 2
红茶	1 浸液	0.579 0	-	1.030 1	18.796 0	2.620 2
	2 浸液	0.133 3	-	0.100 7	6.294 0	-
	3 浸液	-	-	-	1.632 0	-
	总浸出量	0.712 3	-	1.130 8	26.721 0	2.620 2
普洱生茶	1 浸液	1.112 5	-	0.175 4	19.409 0	-
	2 浸液	0.510 7	-	-	9.164 0	-
	3 浸液	0.147 0	-	-	3.496 0	-
	总浸出量	1.769 5	-	0.175 4	32.069 0	-
普洱熟茶	1 浸液	0.688 4	-	0.643 7	20.014 0	0.684 6
	2 浸液	0.315 8	-	0.263 9	9.593 0	-
	3 浸液	0.240 2	-	-	2.866 0	-
	总浸出量	1.244 4	-	0.907 6	32.473 0	0.684 6

注:“-”示未检出,下表同.

检测结果表明,所有茶汤中重金属元素质量浓度均远低于国家《茶饮料卫生标准》(GB 19296—2003)[$\rho(\text{As}) < 0.2 \text{ mg/L}$; $\rho(\text{Pb}) < 0.3 \text{ mg/L}$],除Ni质量浓度外,其余元素均低于国家《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)[$\rho(\text{As}) < 0.01 \text{ mg/L}$; $\rho(\text{Cd}) < 0.005 \text{ mg/L}$; $\rho(\text{Cr}) < 0.05 \text{ mg/L}$; $\rho(\text{Ni}) < 0.02 \text{ mg/L}$;

$\rho(\text{Pb}) < 0.01 \text{ mg/L}$]. 在常温冲泡过程中茶叶中各重金属元素所浸出的质量浓度均未超出 Karak 和 Bhagat^[2]所统计的质量浓度范围, As, Cd, Cr和Pb浸出量均低于 LI Lanhai^[10]所报道的江西绿茶,茶汤中各元素总浸出量(1, 2, 3浸液中重金属质量分数之和)高低顺序与茶叶重金属质量分数顺序表现不一致,但各元素浸出量均随冲泡

次数的增加而减少,除 Cd 均未检出外,1 浸液中 As, Cr, Ni 和 Pb 浸出量较高,2 和 3 浸出液中金属元素质量浓度均明显减少,甚至低于检出限,特别是 Pb 仅在 1 浸液中检出. 茶叶中重金属浸出率的高低与其来源有关,来源于水体、土壤等生物有效利用的内源性部分重金属较难浸出,而来源于空气沉降、加工过程等外源性部分重金属较易浸出^[2,11,13]. 表 2 所示检测结果表明,保山市不同茶叶中重金属来源途径不完全一致,一部分来自土壤-茶树的迁移吸收,另一部分来自环境中空气沉降、工艺等,特别是茶汤中 Pb 来源可能为外源性污染(如:汽车尾气、空气沉降、加工工艺等因素),其附着于茶叶表面,第 1 次浸泡即可浸出.

茶汤中重金属总浸出率(见图 1)差异明显,除 Cd 外,其余元素浸出率高低顺序表现为:Cr < Pb < As < Ni. 不同品种茶叶元素浸出率略有差别,绿茶和普洱生茶表现为:Pb < Cr < As < Ni;红茶表现为:As < Cr < Ni < Pb;普洱熟茶则是:Cr < Pb < As < Ni. As 总浸出率为 26% ~ 50%,Cr 总浸出率为 7% ~ 45%,Ni 总浸出率为 40% ~ 82%,Pb 总浸出率为 0% ~ 54%,Ni 较易浸出,与崔莎莎等人^[8]研究结论相似. 说明部分 Ni 有可能来自外源性污染,而各元素总浸出率与 Polechonska 等^[5]和 Milani 等^[6]报道相似.

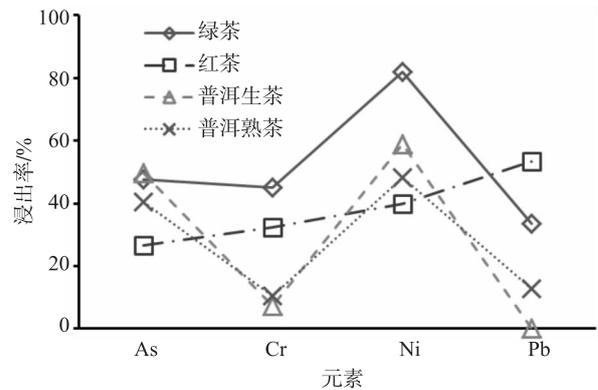


图1 茶汤中重金属元素浸出率分析

重金属在不同种类茶叶中浸出率表现不同,具体为,As 浸出率:普洱生茶 \approx 绿茶 > 普洱熟茶 > 红茶;Cr 浸出率:绿茶 > 红茶 > 普洱熟茶 > 普洱生茶;Ni 浸出率:绿茶 > 普洱生茶 > 普洱熟茶 > 红茶;Pb 浸出率:红茶 > 绿茶 > 普洱熟茶 > 普洱生茶. 其中 As 和 Ni 在绿茶和普洱生茶中浸出率高于普洱熟茶和红茶,说明 As 和 Ni 浸出率的高低可能与茶叶的发酵程度有关,绿茶和红茶中 Cr 和 Pb 浸出率高于普洱茶,可能与绿茶和红茶制作工艺中需经高温加工有关.

2.2.2 浸泡时间对茶汤中重金属浸出的影响

对不同浸泡时间所得茶汤进行重金属质量浓度测定,所得结果见表 3.

表 3 浸泡时间对茶汤中各重金属元素浸出的影响

茶汤		元素及质量浓度/(g · L ⁻¹)				
茶叶品种	浸泡时间/min	As	Cd	Cr	Ni	Pb
绿茶	10	0.791 4	0.014 6	2.100 1	58.204 1	1.379 7
	30	0.806 9	0.061 7	2.101 1	58.623 4	1.515 5
	60	0.914 9	0.069 3	2.119 8	59.579 9	1.764 4
	120	1.020 0	0.278 5	2.307 4	60.054 1	1.748 8
红茶	10	0.830 3	0.014 3	2.018 9	46.200 6	2.543 3
	30	0.853 8	0.035 7	2.032 1	49.824 0	4.078 5
	60	1.067 7	0.059 7	2.257 2	50.434 8	4.144 7
	120	1.187 3	0.100 4	2.913 8	52.634 1	4.178 1
普洱生茶	10	0.999 0	0.038 3	0.517 6	28.879 7	2.036 4
	30	1.289 8	0.057 7	0.610 9	34.764 3	2.116 3
	60	1.401 0	0.111 4	0.885 3	35.115 1	2.048 0
	120	1.456 5	0.148 0	1.094 1	34.555 6	2.209 6
普洱熟茶	10	1.084 9	-	1.936 5	44.368 1	2.790 8
	30	1.371 0	-	2.068 6	43.692 4	3.102 4
	60	1.466 6	0.061 8	1.958 5	43.840 4	3.508 6
	120	1.544 0	0.092 8	2.241 3	47.072 4	3.688 4

由表3可知,茶汤中重金属的质量浓度随着浸泡时间的增加而增大,浸泡30 min后重金属浸出量增加趋于平缓,且基本保持稳定,与张洋婷等^[7]研究情况相似.从浸出率来看[见图2(a),(b),(c),(d),(e)],As浸出率在30%~60%之间,Ni浸出

率在60%~85%之间,Pb浸出率在50%~90%之间,Cd和Cr浸出率差异巨大,波动范围超过80%,其原因是茶叶中Cd和Cr质量分数低,致使浸出率差异变大.整体来看,茶叶中重金属的浸出量及浸出率均在浸泡30 min后趋于平稳.

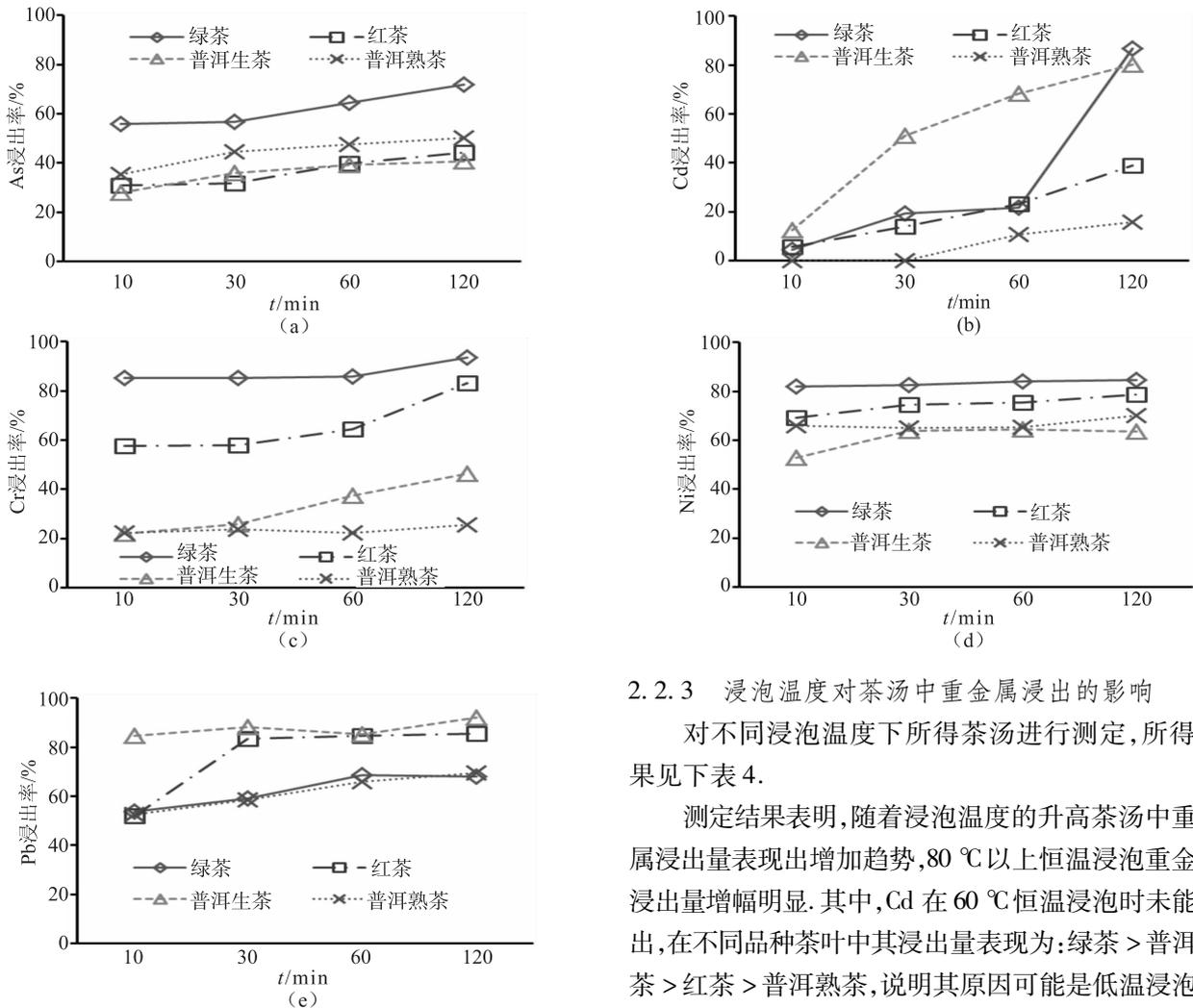


图2 浸泡时间对重金属浸出率的影响

2.2.3 浸泡温度对茶汤中重金属浸出的影响

对不同浸泡温度下所得茶汤进行测定,所得结果见下表4.

测定结果表明,随着浸泡温度的升高茶汤中重金属浸出量表现出增加趋势,80℃以上恒温浸泡重金属浸出量增幅明显.其中,Cd在60℃恒温浸泡时未能检出,在不同品种茶叶中其浸出量表现为:绿茶>普洱生茶>红茶>普洱熟茶,说明其原因可能是低温浸泡及茶叶发酵都使Cd不易浸出,为降低Cd重金属的摄入,可选择低温浸泡或者有一定发酵程度的茶叶.

表4 浸泡温度对茶汤中各重金属元素浸出的影响

茶汤		元素及质量浓度/(g·L ⁻¹)				
茶叶品种	浸泡温度/℃	As	Cd	Cr	Ni	Pb
绿茶	60	0.403 3	-	1.785 9	50.390 4	0.255 1
	80	0.522 5	0.047 5	1.824 0	57.791 2	1.092 9
	100	0.806 9	0.061 7	2.101 1	58.623 4	1.515 5
红茶	60	0.542 3	-	1.757 0	32.927 0	2.932 9
	80	0.598 6	-	1.741 5	45.015 1	3.559 2
	100	0.853 8	0.035 7	2.032 1	49.824 0	4.078 5
普洱生茶	60	1.099 3	-	0.375 4	30.293 8	0.810 6
	80	1.181 4	-	0.433 1	34.034 7	1.936 2
	100	1.289 8	0.057 7	0.610 9	34.764 3	2.116 3

续表 4

茶汤		元素及质量浓度/(g·L ⁻¹)				
茶叶品种	浸泡温度/℃	As	Cd	Cr	Ni	Pb
普洱熟茶	60	0.791 7	-	1.103 7	33.419 2	1.311 0
	80	1.058 9	-	1.616 7	41.491 1	2.789 8
	100	1.371 0	-	2.068 6	43.692 4	3.102 4

不同温度下,各茶汤中重金属元素的浸出率差异明显[见图3(a),(b),(c),(d),(e)],表现为:As浸出率在25%~60%之间;Cd浸出率较低(20%以下);Ni浸出率较高(49%~82%);Cr,Ni和As浸出率随

温度变化较为平缓,Pb浸出率随温度变化明显.说明浸泡温度对As,Cr和Ni的浸出影响不大,而对Pb的浸出影响明显.为减少重金属的摄入,应尽量避免沸水恒温浸泡.

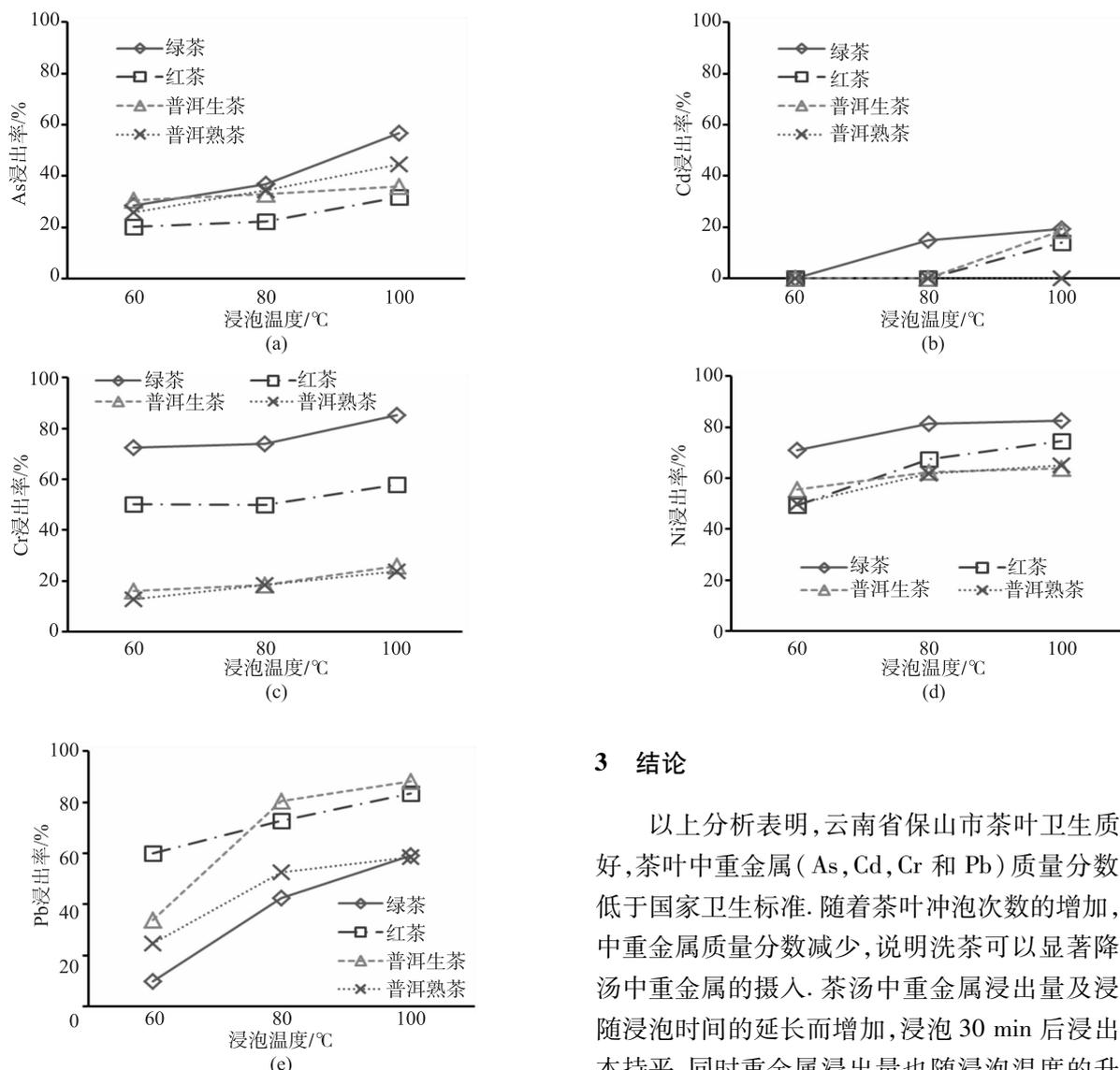


图3 浸泡温度对各重金属浸出率的影响

综合冲泡次数、浸泡时间及浸泡温度所得结果,从重金属摄入量角度出发,室温浸泡重金属的总浸出率低于恒温浸泡,说明持续高温浸泡有利于重金属的浸出,不利于人体健康.

3 结论

以上分析表明,云南省保山市茶叶卫生质量较好,茶叶中重金属(As,Cd,Cr和Pb)质量分数均远低于国家卫生标准.随着茶叶冲泡次数的增加,茶汤中重金属质量分数减少,说明洗茶可以显著降低茶汤中重金属的摄入.茶汤中重金属浸出量及浸出率随浸泡时间的延长而增加,浸泡30 min后浸出量基本持平,同时重金属浸出量也随浸泡温度的升高而增加,高温利于重金属的浸出.至于茶叶中Ni和Pb较易浸出,而Cd较难浸出是否是由于茶叶中各重金属的来源差异所致则有待进一步深入研究.

(下转第61页)

- [3]陈新焕,肖家勇,易征璇,等.干灰化法前处理测定茶叶中铅的影响因素[J].光谱实验室,2012,29(5):2685-2688.
- [4]方从权,褚敬东,李春,等.石墨炉原子吸收光谱法测定茶叶中的铅[J].分析试验室,2007,26(11):112-114.
- [5]李琳,王立忠,万荫玲,等.微波消解:石墨炉原子吸收法测定茶叶中的铅[J].中国卫生检验杂志,2007,17(10):1811-1812.
- [6]陈恒初,刘汉东.悬浮液进样:平台石墨炉原子吸收光谱法测定生物样品中痕量铅[J].光谱实验室,1998,15(1):44-46.
- [7]孙汉文,温晓华,梁淑轩.悬浮体进样:基体改进效应石墨炉原子吸收光谱法直接测定土壤中的铅和镉[J].光谱学与光谱分析,2006,26(5):950-954.
- [8]戴秀丽,王沁,李绍南.悬浮液直接进样塞曼石墨炉平台原子吸收法测定土壤中痕量铅[J].中国环境监测,2002,18(1):24-26.
- [9]周陶鸿,林津,彭青枝,等.悬浮液进样石墨炉原子吸收光谱法测定乳粉中痕量铬[J].食品安全质量检测学报,2015,6(4):1478-1482.
- [10]中华人民共和国卫生部.生活饮用水标准检验方法 金属指标;GB/T 5750.6—2006[S].北京:中国标准出版社,2006.
- [11]马戈,谢文兵,于桂红,等.石墨炉原子吸收光谱法测定蘑菇中的镉、铅[J].分析化学,2003,31(9):1109-1111.
- [12]马戈,谢文兵,伍一根,等.横向加热石墨炉原子吸收光谱法测定茶叶中铅和镉[J].光谱学与光谱分析,2003,23(6):1183-1184.

(上接第48页)

[参考文献]

- [1]管曦.我国茶叶消费相关数据的讨论:基于消费者层面的分析[J].中国茶叶,2015(10):11-12.
- [2]KARAK T, BHAGAT R M. Trace elements in tea leaves, made tea and tea infusion; A review[J]. Food Research International, 2010, 43: 2234-2252.
- [3]SZYMCZYCHA-MADEJA A, WELNA M, POHL P. Elemental analysis of teas and their infusions by spectrometric methods[J]. Trends in Analytical Chemistry, 2012, 35: 165-181.
- [4]瞿燕,高原,杨婉秋.云南省普洱市茶叶中重金属及稀土总量分析[J].昆明学院学报,2015,37(6):34-38.
- [5]POLECHONSKA L, DAMBIEC M, KLINK A, et al. Concentrations and solubility of selected trace metals in leaf and bagged black teas commercialized in Poland[J]. Journal of food and drug analysis, 2015, 23: 486-492.
- [6]MILANI R F, MORGANO M A, CADORE S. Trace elements in Camellia sinensis marketed in southeastern Brazil: Extraction from tea leaves to beverages and dietary exposure[J]. LWT-Food Science and Technology, 2016, 68: 491-498.
- [7]张洋婷,马洪波,郗艳丽,等.茶叶中重金属含量测定及其浸出规律的研究[J].食品研究与开发,2015,36(22):11-13.
- [8]崔莎莎,唐晓萍,王强,等.ICP-OES法测定绿茶中7种重金属元素的溶出量[J].化学分析计量,2014,24(5):48-51.
- [9]张清海,龙章波,林绍霞,等.贵州云雾茶园土壤高含量重金属和砷在茶叶中的积累与浸出特征[J].食品科学,2013,34(8):212-215.
- [10]LI L H, FU Q L, ACHAL V, et al. A comparison of the potential health risk of aluminum and heavy metals in tea leaves and tea infusion of commercially available green tea in Jiangxi, China[J]. Environ Monit Assess, 2015, 38(5): 187-228.
- [11]杨钦沾,陈孟君,温恒,等.茶叶中10种重金属浸出率[J].福建农业学报,2015,30(4):406-410.
- [12]JESZKA-SKOWRON M, KRAWCZYK M, ZGOLA-GRZEESKOWIAK A. Determination of antioxidant activity, rutin, quercetin, phenolic acids and trace elements in tea infusions: Influence of citric acid addition on extraction of metals[J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2015, 40: 70-77.
- [13]王阳,李宝刚,章明奎.大气沉降对茶叶重金属积累的影响[J].科技导报,2011,29(21):55-59.