

不同粒径大叶种茶叶中矿质元素的溶出特性*

张柳叶, 侯 顺, 肖 涵, 杨婉秋**

(昆明学院 化学化工学院, 云南 昆明 650214)

[摘 要] 茶叶中富含的矿质元素可被溶出于茶汤之中, 进而被人体吸收和利用. 茶叶的粒径强烈影响着矿质元素的溶出率, 查明不同粒径茶叶中矿质元素的溶出特征可为 CTC 工艺中茶产品粒径的调控提供理论支持. 采用恒温纯水浸泡、微波消解-ICP-MS 对不同粒径 (10, 4, 2, 0.45 mm) 大叶种茶叶中 Al、Mn、Cu、Ni、Cr 和 Ge 的溶出特性进行了研究. 结果表明, 茶叶中 Al、Mn、Cu、Ni、Cr 和 Ge 的溶出率随浸泡时间的延长而升高. 小粒径茶叶 (0.45 mm) 浸泡至 5 min 时, Ge 和 Cr 的溶出率可达 20%, 而 Ni、Cu 和 Al 的溶出率则高达 40%. 当浸泡时间延长至 40 min 时, 各矿质元素溶出率 (D) 由高到低的排序为: $D(\text{Ni}) > D(\text{Al}) > D(\text{Ge}) > D(\text{Cr}) > D(\text{Cu}) > D(\text{Mn})$. 茶叶中 Al、Mn、Cu、Ni 和 Ge 的溶出率随茶叶粒径的减小而增大, 而 Cr 的溶出率则受粒径变化的影响较小. 茶叶粒径越小则越有利于 Ge、Cu、Al、Mn 的溶出, 浸泡时间越长对 Al、Mn、Ni 和 Cr 的溶出越有利. 总体而言, 在细粒径茶叶 (0.45 mm) 中, Al、Mn、Cu、Ni 和 Ge 可在较短时间 (5 min) 内获得较高的溶出率. 在 CTC 茶叶生产过程中, 若需控制有毒有害元素的溶出, 则茶叶粒径不宜太小; 当需要增加有益元素的溶出时, 则应适当减小茶叶的粒径.

[关键词] CTC; 大叶种茶; 粒径; 锗; 溶出特征

[中图分类号] TS272.5 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 1674-5639(2023)06-0038-06

DOI: 10.14091/j.cnki.kmxyxb.2023.06.006

茶是颇受人们喜爱的非酒精饮品之一. 茶汤不仅含茶多酚、氨基酸等功能性物质, 而且还富含铜、锌和铁等人体所需矿质元素. 此外, 饮茶也是人们摄取有益稀缺元素 (如有机硒、有机锗等) 的有效途径之一^[1,2].

茶汤的口感、营养和安全是茶叶研究的主题. 在茶汤口感方面, 研究证实, 茶汤中的呈味物质主要有糖类、氨基酸、酚类及其氧化物、咖啡碱和茶皂素等, 尤以茶多酚、氨基酸、咖啡碱和糖类对茶汤口感的影响为甚. 其中, 茶多酚主要影响着茶汤的涩味; 氨基酸主要影响着茶汤的鲜味; 咖啡碱主要影响着茶汤的苦味; 而糖类则主要影响着茶汤的甜味^[3,4]. 在营养方面, 一方面茶叶中蛋白质含量较高, 人体必需氨基酸种类齐全, 且其热量较低^[5]; 另一方面, 茶叶中富含具有抗氧化、提高免疫力的茶单宁, 可滤尿提神的咖啡因和可增强记忆、提高学习能力的茶氨酸^[5,6]; 且茶叶中富含的水溶性维生素几乎可全部溶出于茶汤之中^[7]. 此外, 茶叶中较为丰富的矿质元素 (如: 钙、镁、铁、锰、铜和锌等) 也可被溶出于茶汤之中, 进而被人体吸收和利用^[8]. 在茶叶饮用安全方面, 较多的研究则聚焦于茶品中的农药残留和有毒有害矿质元素的含量^[9]. 值得注意的是, 茶叶中矿质元素的种类繁多, 茶汤在为人体提供必需微量营养元素的同时也可能会导致有毒有害金属元素 (如铅和镉等) 的摄入^[7,9]. 因此, 对茶叶中矿质元素的溶出特性进行研究极其必要.

* [收稿日期] 2023-11-21

[作者简介] 张柳叶, 女, 河南安阳人, 昆明学院在读硕士研究生, 研究方向为分析化学.

** [通信作者] 杨婉秋, 女, 昆明石林人, 昆明学院教授, 博士, 研究方向为高原特色农业, E-mail: amyfall@163.com.

[基金项目] 国家自然科学基金项目 (31960057, 32360375).

按照传统制作过程中的发酵程度, 成品茶叶主要分为绿茶、白茶、黄茶、青茶(乌龙茶)、红茶和黑茶这六大类^[10], 均由茶叶鲜叶通过一定的加工工序(如: 萎凋、杀青、摇青、揉捻、发酵、干燥等)制备而成, 采用传统制作工艺所得茶产品的粒径主要与茶叶鲜叶的大小有关. 与之相对的, CTC 技术(Crush, Tear and Curl; CTC)则是将茶叶鲜叶经压碎、撕裂、揉卷使其成为较小的颗粒以便于在较短时间内冲泡出茶汤的生产工艺. 随着 CTC 生产工艺的问世, 茶叶鲜叶经压碎、撕裂成粉末状后已无须进行揉捻, 通过该工艺制作的茶产品粒径则主要取决于人们的需求. 目前, 虽有大量的研究对浸泡温度、浸泡时间和浸泡次数等因素对茶叶中矿质元素的溶出特性进行了研究^[11], 然而, 茶叶粒径对矿质元素溶出特性的影响尚不十分清楚. 我国是最早发现和利用茶叶的国家, 茶树的种植面积和茶叶产量均位居全球之首^[12]. 据国家统计局 2021 年发布的统计数据表明, 2020 年我国茶叶总产量约为 293.18 万 t, 而云南茶叶总产量已达 46.32 万 t, 位居全国第一. 我国茶树的栽培品种繁多, 其中大叶种茶树(*Camellia sinensis* L.) 因具有自身独特个性且非常适宜在云南特殊生态环境条件下生长繁衍而得以在云南大面积种植^[13]. 目前, 以大叶种茶叶为原料, 通过 CTC 加工工艺生产的 CTC 红碎茶已畅销全球, 但鲜见有关茶叶粒径对矿质元素溶出特性影响的研究报道. 基于此, 本文以云南大叶种茶叶为研究对象, 对不同粒径茶叶中 Al、Mn、Cu、Ni、Cr 和 Ge 的溶出特性进行研究, 以期对 CTC 工艺中茶产品粒径的调控提供理论支持.

1 方法与材料

1.1 茶叶样品的采集及制备

供试茶叶样品采自云南省临沧市临翔区章驮乡邦卖村茶园(100°00'16"E, 23°55'19"N). 2021 年 10 月采集茶叶鲜叶(一芽二至三叶)经自来水和超纯水清洗、烘干(60 °C)后采用切样机和研钵分别加工至不同粒径(10, 4, 2, 0.45 mm), 贴标、备用.

1.2 矿质元素的浸提

分别称取 6.000 g(精确至 0.001 g)不同粒径的茶叶样品置于一系列 250 mL 磨口锥形瓶中, 加入 150 mL 沸水摇匀加盖后置于恒温水浴(94 °C)振荡器中震荡(120 r/min). 分别于 10, 20, 30, 40, 80, 160, 300, 600, 1 200, 2 400, 3 600, 7 200 s 取出锥形瓶, 快速倾倒入茶汤并采用 0.45 μm 膜过滤、备用.

1.3 矿质元素的分析

准确吸取 10 mL 茶汤滤液于 25 mL 消解罐中, 置于赶酸仪上浓缩至 1~2 mL, 加入 8 mL 浓 HNO₃ 和 2 mL H₂O₂(30%)后置于微波消解仪中消解, 消解完成后采用 0.1% 的 HNO₃ 定容至 10 mL 并采用 ICP-MS 对 Al、Mn、Cu、Ni、Cr 和 Ge 的含量进行测定. 茶叶样品中各矿质元素的含量采用文献杨婉秋等^[14]报道的方法进行测定.

每一试验均设置 3 份平行并加带空白, 结果表示为 3 次试验的平均值. 若无特别说明, 本研究所使用的试剂均为优级纯或以上级别, 水为超纯水.

2 结果与讨论

2.1 供试茶叶中矿质元素的含量

采用微波消解-ICP-MS 对茶叶中 Al、Mn、Cu、Ni、Cr 和 Ge 的含量进行测定, 结果列于表 1 之中.

表 1 供试茶叶中矿质元素的含量

元素	Ge	Al	Mn	Cu	Ni	Cr
含量	0.296	410.000	190.000	15.800	5.940	1.120

有研究^[15]显示, 临沧市大叶种茶叶中 Al 和 Mn 的含量分别在 356~1 227 mg/kg 和 478~874 mg/kg 之间. 在本研究中, 茶叶中 Al 和 Mn 含量相对较低(分别为 410 mg/kg 和 190 mg/kg), 这主要与茶叶的成熟度和采摘季节有关. 大量的研究^[16,17]表明, 茶叶中 Al 的含量在春季的嫩叶中较低, 而在秋冬季或老叶

中较高; Cu、Ni 和 Cr 在夏季较低, 而春季则较高. Letuzia M. de Oliveira 等^[18]对茶叶中的矿质元素含量分析结果表明, 各类 CTC 茶叶中 Al 的平均含量均高于 1 000 mg/kg; 而成熟茶树植株老叶中 Al 的含量可高达 19 316 mg/kg^[19]. 显然, CTC 茶叶原料多为夏秋季或成熟度较高的茶叶鲜叶. 总体而言, 本研究供试茶叶中 Al、Mn、Cu、Ni 和 Cr 的含量与绿茶、乌龙茶、红茶和袋泡茶中的含量基本一致^[20-24]. Ge 是典型的稀散元素, 且有机锗具有较高的生物活性^[25], 但目前关于茶叶中 Ge 含量的研究报道较少, 有研究表明, 大叶种茶树老叶中 Ge 含量可高达 0.221 mg/kg, 而嫩叶中仅有 0.059 6 mg/kg^[14]. 而在本研究中, 供试茶叶(嫩叶)中锗的含量高达 0.296 mg/kg, 显然茶叶中锗的含量不仅受成熟度和采摘季节的影响而且还严重受制于茶园土壤中锗含量的高低.

2.2 溶出率随浸泡时间的变化

对各粒径茶叶的不同浸泡时间茶汤中 Al、Mn、Cu、Ni、Cr 和 Ge 的含量进行测定, 各元素的溶出率随浸泡时间的变化趋势如图 1 所示.

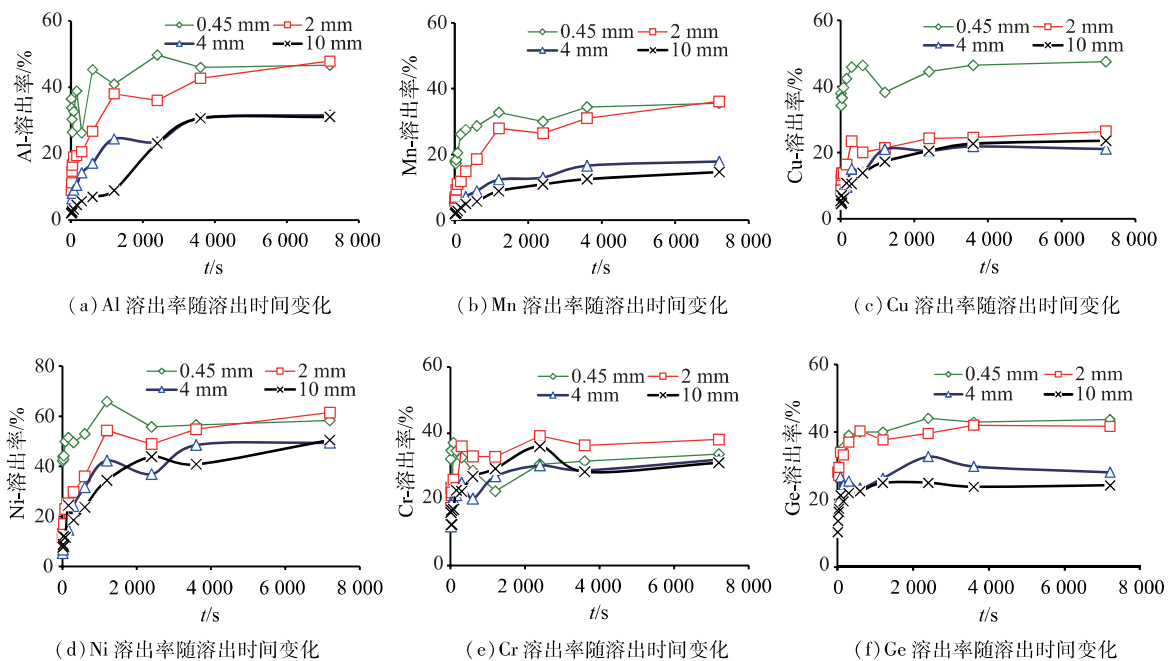


图 1 Al、Mn、Cu、Ni、Cr 和 Ge 的溶出率随溶出时间的变化

不同粒径茶叶中 Al、Mn、Cu、Ni、Cr 和 Ge 的溶出率随浸泡时间的变化趋势分析结果表明, 在 2 400 s 内, 各元素的溶出率随浸泡时间的延长而升高, 且均在 2 400 s 后趋于稳定, 但在不同浸泡时间内各元素溶出率的增幅不一. 在较短的浸泡时间内 (<300 s), 各粒径茶叶中 Ge 和 Cr 的溶出率接近 20%, 0.45 mm 茶叶中 Ni、Cu 和 Al 的溶出率接近 40%, 而 2 mm 茶叶中接近 15%, 4 mm 和 10 mm 茶叶中低于 10%, 并且 Mn 在 2、4 和 10 mm 茶叶中溶出率均低于 10%, 该时段内溶出率(D)从高到低表现为: $D(\text{Ge}) > D(\text{Cr}) > D(\text{Cu}) > D(\text{Ni}) > D(\text{Al}) > D(\text{Mn})$; 在 300 ~ 1 200 s 内, Ni 溶出率增长最快, 最高达到 65%, 元素溶出率高低顺序为: $D(\text{Ni}) > D(\text{Ge}) > D(\text{Cr}) > D(\text{Cu}) > D(\text{Al}) > D(\text{Mn})$; 长时间浸泡 ($\geq 2 400$ s) 时, 不同粒径间元素溶出率变化平缓, Al、Mn、Cu 和 Ni 溶出率持续缓慢增长, Ge 和 Cr 则无增长, 元素溶出率高低表现为: $D(\text{Ni}) > D(\text{Al}) > D(\text{Ge}) > D(\text{Cr}) > D(\text{Cu}) > D(\text{Mn})$. 浸泡 600 s 之后各元素溶出率与 Zhang^[24] 和 Li^[26] 等人对各国各类茶叶茶汤中 Ni、Cu、Cr、Mn 等溶出率相似, 但 Cr 的溶出率高于印度阿萨姆邦和北孟加拉的红茶 (5.96%)^[27].

研究^[28]表明, 矿质元素在植物体内的溶出特性与其赋存形态密切相关. 在植物中, 矿质元素可以游离态、有机物结合态、无机盐结合态等多种形态赋存. 水可有效提取茶叶中的离子态和无机盐结合态矿

质元素. 因此, 茶叶中离子态和无机盐结合态含量比例相对较高的矿质元素, 其溶出速率也相对较快. 在本研究中, Cr 和 Ni 均在 160 s 时趋于平衡, 而 Mn 则需要 1 200 s 时方可趋于平衡. 显然离子态和可溶性无机盐结合态的 Cr 和 Ni 的分布比例相对较高, 而离子态和可溶性无机盐结合态 Mn 的分布比例相对较低. 此外, 茶叶的粒径对矿质元素的溶出率也有一定的影响. 具体表现为, 茶叶中 Al、Mn、Cu、Ni 和 Ge 的溶出率随茶叶粒径的减小而增大, 而 Cr 的溶出率则受粒径变化的影响较小. 至于影响茶叶中 Cr 溶出率的主要原因有待进一步深入研究.

2.3 茶叶粒径和浸泡时间与矿质元素溶出率之间的相关关系

为了解茶叶粒径和浸泡时间对矿质元素溶出率的影响进行了深入分析, 本研究采用 SPSS 26 软件对茶叶粒径、浸泡时间和溶出率之间的相关性进行了分析, 结果汇总于表 2 之中.

表 2 茶叶粒径、浸泡时间和矿质元素溶出率之间的相关性 (n = 48)

指标	相关性系数 (R^2)							
	浸泡时间	茶叶粒径	Al 溶出率	Mn 溶出率	Cu 溶出率	Ni 溶出率	Cr 溶出率	Ge 溶出率
浸泡时间	1.000	0.000	0.572**	0.534**	0.326*	0.599**	0.517**	0.388**
茶叶粒径		1.000	-0.625**	-0.627**	-0.623**	-0.449**	-0.374**	-0.698**
Al 溶出率			1.000	0.952**	0.872**	0.936**	0.769**	0.846**
Mn 溶出率				1.000	0.869**	0.921**	0.740**	0.895**
Cu 溶出率					1.000	0.859**	0.659**	0.755**
Ni 溶出率						1.000	0.799**	0.780**
Cr 溶出率							1.000	0.744**
Ge 溶出率								1.000

注: “**”表示极显著相关 ($P < 0.01$); “*”表示显著相关 ($P < 0.05$).

相关性分析结果表明, Al、Mn、Ni 和 Cr 的溶出率均与浸泡时间呈极显著强正相关, 与茶叶粒径呈极显著强负相关. 比较而言, Cu 的溶出率与浸泡时间呈显著正相关, 与茶叶粒径呈极显著强负相关, 而 Ge 溶出率与浸泡时间呈极显著正相关, 与茶叶粒径呈极显著强负相关. 显然, 茶叶粒径越小则越有利于 Ge、Cu、Al、Mn 的溶出, 浸泡时间越长对 Al、Mn、Ni 和 Cr 的溶出越有利.

3 结论

通过以上研究可以获得如下结论:

1) 茶叶中 Al、Mn、Cu、Ni、Cr 和 Ge 的溶出率随浸泡时间的延长而升高, 但不同元素的溶出速率差异较大, 小粒径茶叶 (0.45 mm) 浸泡至 5 min 时, Ge 和 Cr 的溶出率可达 20%, 而 Ni、Cu 和 Al 的溶出率则高达 40%; 当浸泡时间延长至 40 min 时, 各矿质元素溶出率 (D) 由高到低的排序为: $D(\text{Ni}) > D(\text{Al}) > D(\text{Ge}) > D(\text{Cr}) > D(\text{Cu}) > D(\text{Mn})$.

2) 茶叶粒径对矿质元素溶出率的影响表现为, 茶叶中 Al、Mn、Cu、Ni 和 Ge 的溶出率随茶叶粒径的减小而增大, 而 Cr 的溶出率则受粒径变化的影响较小.

3) 茶叶粒径越小则越有利于 Ge、Cu、Al、Mn 的溶出, 浸泡时间越长对 Al、Mn、Ni 和 Cr 的溶出越有利. 总体而言, 在细粒径茶叶 (0.45 mm) 中, Al、Mn、Cu、Ni 和 Ge 可在较短时间 (5 min) 内获得较高的溶出率. 在 CTC 茶叶生产过程中, 若需控制有毒有害元素 (如 Cr 等) 的溶出, 则茶叶粒径不宜太小 (> 0.45 mm); 当需要增加有益元素 (如 Ge) 的溶出时, 则应适当减小茶叶的粒径 (< 0.45 mm). 参考本研究结论, 也可根据不同粒径茶叶比例搭配控制茶叶中各种元素的溶出率.

[参考文献]

- [1] ZHANG H A, QI R L, MINE Y. The impact of oolong and black tea polyphenols on human health [J]. Food Bioscience, 2019, 29: 55-61.
- [2] KHAN N, MUKHTAR H. Tea polyphenols in promotion of human health [J]. Nutrients, 2018, 11 (1): 39-55.
- [3] FENG Z H, LI Y F, LI M, et al. Tea aroma formation from six model manufacturing processes [J]. Food Chemistry, 2019, 285: 347-354.
- [4] JIANG H, YU F, QIN L, et al. Dynamic change in amino acids, catechins, alkaloids, and gallic acid in six types of tea processed from the same batch of fresh tea (*Camellia sinensis* L.) leaves [J]. Journal of Food Composition and Analysis, 2019, 77: 28-38.
- [5] TANG G Y, MENG X, GAN R Y, et al. Health functions and related molecular mechanisms of tea components: an update review [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20 (24): 61-96.
- [6] 吴玲玲, 张秀芬, 梁光志, 等. 不同茶树品种紫色芽叶茶叶中多酚类与咖啡碱含量比较分析 [J]. 茶叶通讯, 2022, 49 (1): 42-48.
- [7] KHAN H, REALE M, ULLAH H, et al. Anti-cancer effects of polyphenols via targeting p53 signaling pathway: updates and future directions [EB/OL]. (2019-04-18)[2023-11-01]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975019300667?via%3Dihub>.
- [8] 肖涵, 杨婉秋, 李焯. 云南勐海普洱茶中重金属元素的健康风险评估 [J]. 昆明学院学报, 2020, 42 (3): 37-41.
- [9] 缪德仁, 李晓, 杨婉秋. 云南凤庆茶叶中铜、铅、锌、镉、铬和砷的健康风险评估 [J]. 昆明学院学报, 2019, 41 (3): 56-60.
- [10] SU D, XU T S, LI Y L, et al. Flavor evolution in raw Pu-erh tea during manufacturing using different processing types [EB/OL]. (2021-12-01)[2023-11-01]. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821020582?via%3Dihub>.
- [11] 颜媛, 张琼, 朱丽江, 等. 云南省保山市不同茶叶中重金属浸出特征分析 [J]. 昆明学院学报, 2016, 38 (3): 43-48.
- [12] 陈永召, 姚元春. 云南省茶叶出口贸易探析研究 [J]. 劳动保障世界, 2016 (18): 611.
- [13] 谢佳, 阮亚男, 李秋桦, 等. 云南临沧大叶种茶树不同组织中稀土元素的含量分布特征 [J]. 昆明学院学报, 2020, 42 (3): 32-36.
- [14] 杨婉秋, 肖涵, 缪德仁. 锗、铜、铅和锌在云南大叶种茶树不同组织中的含量分布 [J]. 昆明学院学报, 2020, 42 (6): 30-34.
- [15] 朱芬德, 高思楠, 杨婉秋. 云南临沧茶产区茶叶中金属元素含量调查分析 [J]. 昆明学院学报, 2018, 40 (3): 28-31.
- [16] 崔世展, 沈宝华, 杨婉秋. 云南凤庆茶园不同季节茶叶中重金属元素的含量分布特征 [J]. 昆明学院学报, 2021, 43 (3): 38-40.
- [17] 侯顺, 肖涵, 马银海. 云南凤庆冬春两季大叶种茶中常量元素的差异性分析 [J]. 昆明学院学报, 2021, 43 (6): 46-51.
- [18] DE OLIVEIRA L M, DAS S, DA SILVA E B, et al. Metal concentrations in traditional and herbal teas and their potential risks to human health [J]. Science of The total Environment, 2018, 633: 649-657.
- [19] FUNG K F, CARR H P, POON B H T, et al. A comparison of aluminum levels in tea products from Hong Kong markets and in varieties of tea plants from Hong Kong and India [J]. Chemosphere, 2009, 75 (7): 955-962.
- [20] KARAK T, BHAGAT R M. Trace elements in tea leaves, made tea and tea infusion: a review [J]. Food Research International, 2010, 43 (9): 2234-2252.
- [21] KARAK T, KUTU F R, NATH J R, et al. Micronutrients (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, and Zn) content in made tea (*Camellia sinensis* L.) and tea infusion with health prospect: a critical review [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2017, 57 (14): 2996-3034.
- [22] ZHANG J, YANG R D, CHEN R, et al. Accumulation of heavy metals in tea leaves and potential health risk assessment: a case study from Puan County, Guizhou Province, China [J]. International Journal of Environmental Research and Public

- Health, 2018, 15 (1): 133.
- [23] SZYMCZYCHA-MADEJA A, WELNA M, POHL P. Elemental analysis of teas and their infusions by spectrometric methods [J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2012, 35: 165-181.
- [24] ZHANG L, ZHANG J Y, CHEN L Y, et al. Influence of manufacturing process on the contents of iron, copper, chromium, nickel and manganese elements in Crush, Tear and Curl black tea, their transfer rates and health risk assessment [J]. Food Control, 2018, 89: 241-249.
- [25] WICHE O, SZÉKELY B, MOSCHNER C, et al. Germanium in the soil-plant system-a review [J]. Environmental Science and Pollution Research, 2018, 25 (32): 31938-31956.
- [26] LI W H, ZHOU H P, LI N, et al. Chromium level and intake from Chinese made tea [J]. Food Additives & Contaminants Part B, 2013, 6 (4): 289-293.
- [27] BARMAN T, BAROOAH A K, GOSWAMI B C, et al. Contents of chromium and arsenic in tea (*Camellia sinensis* L.): extent of transfer into tea infusion and health consequence [J]. Biological trace element research, 2020, 196 (1): 318-329.
- [28] 周莉, 董维兵, 邱倩, 等. 中江丹参植株中 Cd、Pb、Cu 的溶剂提取及离子交换去除研究 [J]. 中国测试, 2017, 43 (8): 60-65.

Dissolution Characteristics of Mineral Elements in Large Leaf Tea with Different Particle Sizes

ZHANG Liuye, HOU Shun, XIAO Han, YANG Wanqiu

(School of Chemistry & Chemical Engineering, Kunming University, Kunming, Yunnan, China 650214)

Abstract: The mineral elements in tea leaves are rich in dissolution and can be absorbed and utilized by the human body. The particle size of tea leaves has a strong influence on the dissolution rate of mineral elements. Identifying the dissolution characteristics of mineral elements in tea leaves of different particle sizes can provide theoretical support for regulating the particle size of tea products during the CTC process. In this paper, the constant temperature pure water immersion and microwave digestion-ICP-MS measurement method was employed to study the dissolution characteristics of Al, Mn, Cu, Ni, Cr, and Ge in large leaf tea of different particle sizes (10, 4, 2, 0.45 mm). The results showed that the dissolution rate of Al, Mn, Cu, Ni, Cr, and Ge increased with the extension of immersion time. When tea leaves with a small particle size (0.45 mm) were immersed for 5 minutes, the dissolution rates of Ge and Cr reached 20%, while the dissolution rates of Ni, Cu, and Al were as high as 40%. When the immersion time was extended to 40 minutes, the order of dissolution rates of various mineral elements (D) from high to low was: $D(\text{Ni}) > D(\text{Al}) > D(\text{Ge}) > D(\text{Cr}) > D(\text{Cu}) > D(\text{Mn})$. The dissolution rates of Al, Mn, Cu, Ni, and Ge increased with the decrease in tea leaf particle size, while the dissolution rate of Cr was less affected by changes in particle size. The smaller the particle size of tea leaves, the more favorable it is for the dissolution of Ge, Cu, Al, and Mn. Longer immersion time is more beneficial for the dissolution of Al, Mn, Ni, and Cr. Overall, in fine particle size tea (0.45 mm), Al, Mn, Cu, Ni, and Ge can achieve high dissolution rates in a short time (5 min). In the CTC tea production process, if it is necessary to control the dissolution of toxic and harmful elements the particle size of tea leaves should not be too small; if it is necessary to increase the dissolution of beneficial elements, the particle size of tea leaves should be appropriately reduced.

Key words: CTC (Crush, Tear and Curl); large leaf tea; particle size; Germanium; dissolution characteristics

(责任编辑: 陈伟超)