

3 种安徽名茶功能性成分浸出条件及 茶渣资源化研究

陶梦婷, 张 瑾*, 杨梦莹, 卞志强, 王 滔

(安徽建筑大学环境与能源工程学院, 安徽省水污染控制与废水资源化重点实验室, 合肥 230601)

摘 要: 目的 探究不同浸泡条件对茶叶功能性成分浸出量和茶水自由基清除能力的影响及实现茶渣资源化。**方法** 选取安徽 3 种特色茶叶(祁门红茶、黄山毛峰、六安瓜片)作为研究对象, 采用紫外分光光度法分别测定在不同浸泡条件下(5、10、30、60、120 min、60、75、90、100 °C、一浸液、二浸液、三浸液)茶叶中功能性成分茶多酚、茶氨酸、茶多糖的浸出情况以及茶水对自由基的清除效果, 并考察了浸泡后的茶渣对甲醛和重金属铬(Cr)的吸附效果, 以及茶渣炭化后对吸附作用的影响。**结果** 3 种茶叶的 3 种功能性成分浸出率都随时间和温度的增加而增大, 随浸泡次数的增加而减小, 而茶汤自由基清除能力受浸泡时间和浸泡温度的影响不大, 但随浸泡次数增大而减小。黄山毛峰和六安瓜片的有效成分浸出率及自由基清除能力都大于祁门红茶; 茶渣对甲醛和 Cr 均有一定的吸附作用, 红茶渣对甲醛的吸附率较另外 2 种茶渣略低, 但对于 Cr, 红茶渣吸附能力明显强于黄山毛峰和六安瓜片; 炭化的茶渣对甲醛和 Cr 的最大吸附能力较炭化前增强了 0%~50%, 且茶渣的吸附平衡时间明显缩短, 但茶叶种类对炭化后茶渣的吸附能力没有明显影响。**结论** 温度、时间和浸泡次数均会影响茶叶功能性成分浸出量和茶水的自由基清除能力, 可利用茶渣的吸附功能实现其资源化, 而茶渣炭化可提高其作为吸附剂的使用价值。

关键词: 茶叶; 浸泡条件; 自由基; 茶渣; 吸附; 炭化

Study on extraction conditions of functional ingredients of 3 famous Anhui teas and residue of tea residues

TAO Meng-Ting, ZHANG Jin*, YANG Meng-Ying, BIAN Zhi-Qiang, WANG Tao

(Key Laboratory of Water Pollution Control and Wastewater Resource of Anhui Province, College of Environment and Energy Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China)

ABSTRACT: Objective To explore the effects of different soaking conditions on the leaching amount of tea functional ingredients and the ability to scavenge free radicals in tea water and realize the tea residue resource. **Methods** The 3 famous teas (Keemun black tea, Huangshan Maofeng tea and Lu'an GuaPian) in Anhui province were selected as the research objects. Ultraviolet spectrophotometry was used to determine the leaching of the functional components tea

基金项目: 国家自然科学基金(No.21677001), 安徽省自然科学基金(No.1708085MB50), 安徽省质量工程项目(No.2016jyxm0214), 大学生创新训练项目。

Fund: Supported by the National Natural Science Foundation of China (No.21677001), Natural Science Foundation of Anhui Province (No.1708085MB50), Quality Engineering Project of Anhui Province (No.2016jyxm0214) and Innovation training Project of College students.

***通讯作者:** 张瑾, 副教授, 主要研究方向为污染物化学与毒理学。E-mail: ginzy@163.com

***Corresponding author:** ZHANG Jin, Associate Professor, Key Laboratory of Water Pollution Control and Wastewater Resource of Anhui Province, College of Environment and Energy Engineering, Anhui Jianzhu University, Hefei 230601, China. E-mail: ginzy@163.com

polyphenols, theanine, and tea polysaccharides in tea and the scavenging effect of tea on free radicals under different soaking conditions (5, 10, 30, 60, 120 min, 60, 75, 90, 100 °C, first lixiviating solution, second lixiviating solution and third lixiviating solution) and the adsorption effect of soaking tea residue on formaldehyde and heavy metal chromium (Cr) and the effect of carbonization of tea residue on adsorption were also explored. **Results** The leaching rate of the three functional ingredients of the three teas all increased with time and temperature, and decreased with the increase in the number of soaks. However, the free radical scavenging ability of tea soup was not greatly affected by soaking time and soaking temperature, but decreases with the increase of soaking times. The effective ingredient leaching rate and free radical scavenging ability of Huangshan Maofeng and Lu'an GuaPian were greater than those of Keemun black tea. Tea residue had certain adsorption effects on formaldehyde and Cr. The adsorption rate of black tea residue on formaldehyde was slightly lower than the other 2 kinds of tea residue. But for Cr, the adsorption capacity of black tea residue was obviously stronger than Huangshan Maofeng and Lu'an GuaPian. The maximum adsorption capacity of carbonized tea residue for formaldehyde and Cr was increased by 0%-50% compared with that before carbonization, and the adsorption equilibrium time of tea residue was significantly shortened, but the type of tea had no significant effect on the adsorption capacity of tea residue after carbonization. **Conclusion** Temperature, time, and number of soaks all affect the amount of tea functional ingredients and the free radical scavenging ability of tea. Tea residue can be utilized to realize its resource utilization, and tea residue carbonization can increase its use value as an adsorbent.

KEY WORDS: tea; soaking condition; free radical; tea residue; adsorption; carbonization

1 引 言

随着人们生活水平的提高,越来越多的人注重养生,喝茶已成为越来越多人的习惯。然而,许多人在浸泡茶叶时,没有充分地利用茶叶的功能性成分,即没有注意到茶叶功能性成分浸出条件,致使茶叶中的功能性成分发挥不出最大的功效。韩延超等^[1]通过在不同浸泡条件下对西湖龙井进行成分及自由基清除能力的测定,发现茶汤的抗氧化性与茶水比、冲泡时间、冲泡次数和冲泡温度都相关。杨维平等^[2]发现茶叶中茶多酚的浸出量随水温升高而增多。张霞等^[3]发现五峰毛尖中的水浸出物、茶多酚、咖啡碱、氨基酸的浸出量均随冲泡温度升高、冲泡时间延长、茶水比增大而增加。由此可看出,茶叶中的功能性成分会在煮茶或泡茶的过程中不断地浸出,其相应的健康功效在这个过程中也会受到影响。因此,研究不同浸泡条件下茶叶功能性成分浸出量多少和茶汤自由基清除效果具有重要意义。

茶叶的浸泡次数有限,需要经常更换,因此会产生很多的茶渣^[4,5]。如何有效利用茶渣成为一个令人关注的环境问题,有研究发现茶渣具有良好的吸附作用^[6-9]。李晓等^[10]将茶叶用于卷烟过滤器,发现茶叶包埋颗粒能明显提高卷烟的吸品质,周菁菁^[11]发现茶渣对废水中铅、镉离子有良好的吸附效果, Yang 等^[12]发现茶渣对铅离子有良好的吸附作用。因此,将茶渣作为吸附剂以吸附有毒有害物质,是实现茶渣资源化的一种有效途径。甲醛和重金属铬(Cr)是 2 种较为常见的环境污染物^[13,14],对人体以及环境生物都具有较强的毒性。所以如果茶渣对甲醛和 Cr 具有良好的

吸附效果,将提高茶渣作为吸附剂使用的实际价值。

安徽因其独特的地理位置、土质和气候条件等成为茶叶的故乡,其优质的茶叶享誉海内外^[15]。因此,本研究拟以安徽省 3 个不同产地的茶叶(祁门红茶、黄山毛峰、六安瓜片)作为研究对象,研究在不同浸泡条件下(5、10、30、60、120 min、60、75、90、100 °C、一浸液、二浸液、三浸液),茶叶中茶多酚、茶氨酸、茶多糖的浸出情况以及茶水对自由基的清除效果,并进一步开展茶渣对危害较大的环境污染物甲醛和重金属 Cr 的吸附去除效果,研究结果将为茶叶的合理健康利用提供数据和方法参考。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

本实验选用安徽 3 种名茶:祁门红茶、黄山毛峰以及六安瓜片,3 种茶叶均为 2018 年谷雨前春茶,市场上采购,分别产自于六安祁门县、黄山歙县和六安金寨县,产地均雨水光照充足,且适合茶叶生长。实验中所用到的主要试剂和药品均为分析纯(茶多酚、茛三酮、茶氨酸、酒石酸亚铁、葡萄糖、苯酚、水杨酸、甲醛、乙酰丙酮、重铬酸钾、二苯碳酰二肼),购自国药化学试剂公司集团。

2.2 仪器与设备

UV-5100 紫外分光光度计(上海元析仪器有限公司);FA2204N 电子分析天平(上海菁科仪器有限公司);TG16K-II 台式高速离心机(上海赵迪生物科技有限公司);YTH-4-10 马弗炉(苏州九联科技有限公司);QE-100 高速粉碎机(宁波意菲特环保设备有限公司)。

2.3 实验方法

实验具体方法^[16-19]如下:

(1) 浸泡时间对茶叶功能性成分分析出的影响:分别称取 5.000 g 茶叶样品于一系列的 250 mL 烧杯中,向烧杯中加入 200 mL 100 °C 的超纯水,加盖,分别浸泡 5、10、30 min、1、2 h, 倾倒入茶水,置于 100 mL 锥形瓶中,备用。

(2) 浸泡温度对茶叶功能性成分分析出的影响:分别称取 5.000 g 茶叶样品于一系列的 250 mL 烧杯中,分别向烧杯中加入 200 mL 60、75、90、100 °C 的超纯水,加盖,浸泡 30 min, 倾倒入的茶水置于 250 mL 锥形瓶中,备用。

(3) 浸泡次数对茶叶功能性成分分析出的影响:称取 5.000 g 茶叶样品于一系列的 250 mL 烧杯中,加入 200 mL 100 °C 的超纯水,加盖,浸泡 10 min, 倾倒入茶水置于 100 mL 锥形瓶中,为一浸液,并在相同条件下进行 2 次冲泡,为二浸液和三浸液。

(4) 茶叶渣对甲醛溶液和 Cr 的吸附作用:选用一定量的茶叶,用沸水多次浸泡至接近无色,将茶水过滤,把茶叶渣在 70 °C 的烘箱中烘干 12 h。取已制备好的茶叶渣(祁门红茶、黄山毛峰、六安瓜片)0.5 g 放入到 10 mL 甲醛标准溶液(3.04 mg/L)和 Cr (5 μg/mL)溶液中,分别反应 5、15、30、45、60、90、120 min, 离心过滤(3000 r/min, 5min)后测定滤液中甲醛和 Cr 含量,并计算吸附率。

茶渣炭化后对甲醛溶液和重金属 Cr 的吸附作用:将一定量的茶叶泡至无色,烘干后将茶叶渣和氯化锌溶液按 1:1.5(m:m)混合,充分搅拌放置 24 h,浸渍完的茶渣烘干后将移至坩锅中,放在马弗炉中 300 °C 炭化 90 min,然后升至 600 °C 活化 60 min。随炉自然冷却后用 10% 的盐酸洗涤,后多次用超纯水洗涤至接近中性,用滤纸滤干水分后置于烧杯中,在 70 °C 电热恒温干燥箱中干燥 12 h。取出烧杯在干燥器中自然冷却,然后快速粉碎即得活性炭成品。

取炭化后茶叶渣(祁门红茶、黄山毛峰、六安瓜片) 0.5 g 放入到 10 mL 甲醛标准溶液(3.04 mg/L)和 Cr (5 μg/mL)溶液中分别反应 5、15、30、45、60、90、120 min, 离心过滤(3000 r/min, 5 min)后测定滤液中甲醛和 Cr 含量,并计算吸附率。

2.4 分析方法

数据采集与分析方法参考相关文献^[16-19],具体如下:

(1) 茶氨酸含量测定——茚三酮比色法

标准曲线的绘制:分别取 0.3 mmol/L 的标准茶氨酸溶液 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0 mL 于试管中,用超纯水补足至 1 mL 各加入 1 mL pH 5.4、2 mol/L 醋酸缓冲液;再加入 1 mL 茚三酮显色液,充分混匀后,加盖,在 100 °C 水浴中加热 15 min,用自来水冷却放置 5 min 后,加入 3 mL 60 % 乙醇稀释,充分摇匀,用紫外分光光度计测定 OD₅₇₀ 3 次取平均值,以绘制茶氨酸标准曲线。

样品中茶氨酸含量测定:取不同浸泡条件下的茶汤

样品 0.1 mL,加超纯水稀释 10 倍至 1 mL,按上述同样方法测定 OD₅₇₀,重复 3 次,然后依据标准曲线计算出氨基酸总量,最后取均值。

(2) 茶多酚总量——酒石酸亚铁比色法

标准曲线的绘制:分别取 0.1 mg/mL 的标准茶多酚溶液 0、1.0、2.0、3.0、4.0 mL 于 50 mL 容量瓶中,用超纯水补足至 10 mL。各加入 10 mL 酒石酸亚铁溶液,再用 pH7.5 的磷酸盐缓冲液稀释至刻度,充分混匀,用紫外分光光度计测定 OD₅₄₀ 3 次求平均值,以绘制茶多酚标准曲线。

样品中茶多酚含量测定:取不同浸泡条件下的茶汤样品 0.2 mL,用超纯水稀释 5 倍至 1 mL,加入酒石酸亚铁溶液 1 mL, pH7.5 的磷酸盐缓冲液稀释至 5 mL,充分混匀,用紫外分光光度计测定 OD₅₄₀,重复 3 次,然后依据标准曲线计算出茶多酚含量,最后取均值。

(3) 茶多糖总量——硫酸-苯酚法

标准曲线的绘制:分别取 0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4 mL 100 μg/mL 的葡萄糖标准溶液补超纯水至 2 mL,然后加入 5% 的苯酚溶液 1.0 mL 及浓硫酸 5.0 mL,摇匀,恒温沸水浴加热 15 min,溶液显淡棕色,静置 10 min 后,用紫外分光光度计测定 OD₄₉₀ 3 次求平均值,以绘制茶多糖标准曲线。

样品中茶多糖含量测定:取不同浸泡条件下的茶汤样品 0.1 mL,用超纯水稀释 20 倍至 2 mL,按上述同样方法测定 OD₅₄₀ 重复 3 次,然后依据标准曲线计算出茶多糖含量,最后取均值。

(4) 自由基清除率——水杨酸法

在 10 mL 比色管中依次加入 0.3% 的 H₂O₂、7.5×10⁻³ mol/L 的硫酸亚铁铵和 7.5×10⁻³ mol/L 的水杨酸各 1 mL,最后分别加入 1 mL 不同浸泡条件下的茶汤样品,并定容至 10 mL,30 min 后,用紫外分光光度计测定 OD₅₁₀。清除率计算公式为:

$$\text{清除率}(\%) = \frac{A_{\text{对照}} - A_{\text{样品}}}{A_{\text{对照}}} \times 100\%$$

式中: A_{对照} 为加入硫酸亚铁铵、H₂O₂ 和水杨酸后的羟自由基体系的吸光度; A_{样品} 为加入硫酸亚铁铵、H₂O₂、水杨酸和不同浸泡条件下茶汤样品后的羟自由基体系的吸光度。

(5) 甲醛总量——乙酰丙酮分光光度法

标准曲线的绘制:分别取 3.04 mg/L 的甲醛标准使用液 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0 mL 于 10 mL 容量瓶中,再加入 2.0 mL 乙酰丙酮显色剂,用超纯水稀释至 10 mL,充分摇匀后,静置 60 min,用紫外分光光度计测定 OD₄₁₄ 3 次求平均值,以绘制甲醛溶液标准曲线。

甲醛吸附率的测定:取加入茶渣后不同吸附时间下的甲醛过滤溶液,按上述方法测定 OD₄₁₄,重复 3 次,依据标准曲线计算出含量,并计算吸附率。

(6) Cr 总量——二苯碳酰二肼法

标准曲线的绘制:分别取 0、0.5、1.0、2.0、4.0、6.0、8.0、10.0 mL 5 μg/mL 的铬标准溶液于一系列 50 mL 容量

瓶中,用超纯水稀释至刻度,加入 0.5 mL 50% 的硫酸溶液和 0.5 mL 50% 的磷酸溶液,摇匀,在加入 2 mL 显色剂,摇匀。以空白作参比,用紫外分光光度计测定 OD_{540} ,3 次求平均值。以绘制 Cr 标准曲线。

Cr 吸附率测定:取加入茶渣后不同吸附时间下的 Cr 过滤溶液,按上述方法测定 OD_{540} ,重复 3 次,依据标准曲线计算出含量,并计算吸附率。

3 结果与分析

3.1 浸泡条件对茶叶功能性成分浸出量的影响

3.1.1 浸泡时间对茶叶 3 种功能性成分浸出量的影响

不同浸泡时间下茶氨酸、茶多酚和茶多糖的浸出浓度如图 1 所示。

从图 1 可以看出,3 种茶叶的茶氨酸、茶多酚和茶多糖的浸出浓度均随着茶叶浸泡时间的延长而升高,2 种绿茶的 3 种功能性成分的浸出量大于祁门红茶。祁门红茶的 3 种功能性成分的浸出量受时间的影响较小。而黄山毛峰的茶氨酸、茶多酚和茶多糖的浸出浓度随着浸泡时间的延长增长较明显,其茶氨酸与茶多糖的浸出浓度在浸泡时间内始终处于增长状态,而茶多酚的浸出量在 30 min 之后便没有明显增长。六安瓜片 3 种功能性成分的浸出浓度浸泡时间有明显增长,其茶氨酸和茶多糖浸出浓度于浸泡 60 min 左右趋于稳定,茶多酚的浸出浓度在 30 min 之后稳定。

综合分析得,3 种茶叶的 3 种功能性成分的浸出量均受时间影响,随着浸泡时间的延长 3 种功能性成分的浸出量均增加。张霞等^[3]在探究五峰毛尖功能性成分浸出率时得到了相同的规律,不同的是不同茶叶功能性成分浸出量随时间的增长规律存在差异,所以探究不同种类茶叶成分的浸出规律存在必要性。

3.1.2 浸泡温度对茶叶 3 种功能性成分浸出量的影响

不同浸泡温度下茶氨酸、茶多酚和茶多糖的浸出浓度如图 2 所示。

3 种茶叶的茶氨酸、茶多酚和茶多糖的浸出浓度随着浸泡温度的升高呈缓慢增长趋势,并且 3 种功能性成分的

浸出浓度均于浸泡温度在 100 °C 时达到最大值。茶氨酸随着浸泡温度的升高浸出浓度升高,而对于茶多酚和茶多糖,浸泡温度高于 75 °C 之后趋于稳定。同时与图 2 可得出一致结论,2 种绿茶的 3 种功能性成分浸出量大于祁门红茶。

余浩等^[20]证明温度越高茶叶浸出物浓度越大。而本研究中 3 种茶叶的茶氨酸、茶多酚和茶多糖的浸出浓度也随着浸泡温度的升高而增大。

3.1.3 浸泡次数对茶叶 3 种功能性成分浸出量的影响

不同浸泡次数下茶汤中茶氨酸、茶多酚和茶多糖的浸出浓度如图 3 所示。

3 种茶叶的茶氨酸、茶多酚和茶多糖均随着浸泡次数的增多而减少。其中茶氨酸的浸出浓度受浸泡次数影响较大,1 次浸泡与 2 次浸泡比较,浓度有很大降低。对于茶多酚与茶多糖,六安瓜片的一浸液和二浸液浓度降低幅度较大,祁门红茶和黄山毛峰 3 次浸泡的浓度降低幅度均较缓。3 种茶叶的 3 种功能性成分均于一次浸泡时浓度最大,3 次浸泡时最小。

综上所述,3 种茶叶的浸泡次数不宜太多,否则会造成大量茶叶功能性成分的降低^[3]。因茶叶中在生长、加工等过程中难免存在污染^[21],所以洗茶习惯流行。但考虑到茶叶中功能性成分的流失,洗茶又存在不合理性。结合实验结论,洗茶可在低温、短时条件下进行。

3.2 不同浸泡条件对茶水清除自由基能力的影响

不同浸泡条件下 3 种茶汤对自由基的清除能力如图 4 所示。

3 种茶叶的自由基清除率均随浸泡次数的增加而减少。而在不同浸泡时间和浸泡温度下 3 种茶叶的自由基清除率相差不大。六安瓜片和黄山毛峰的自由基清除能力明显强于祁门红茶,在相同的浸泡温度或浸泡时间下,六安瓜片的自由基清除率最高,约为黄山毛峰的 2 倍,祁门红茶的 4 倍。而 3 种茶叶的自由基清除能力受浸泡次数影响最大的为六安瓜片。茶汤自由基清除能力与茶叶功能性成分的含量大小具有相关性,功能性成分浸出量大的 2 种绿茶的自由基清除能力大于祁门红茶。

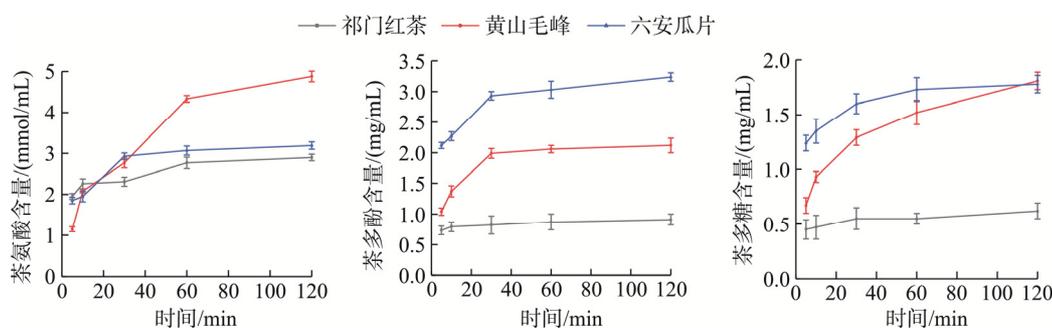
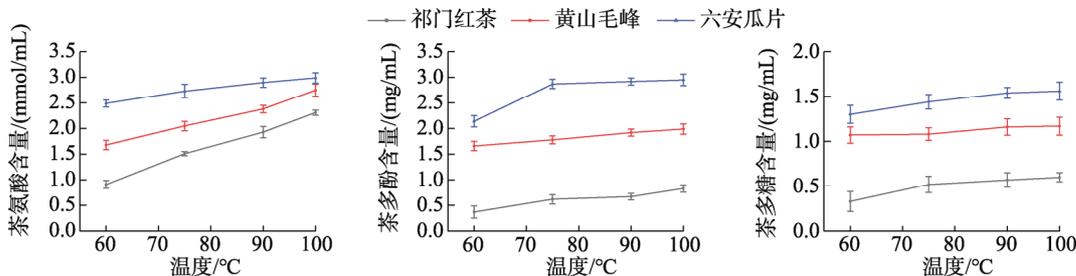
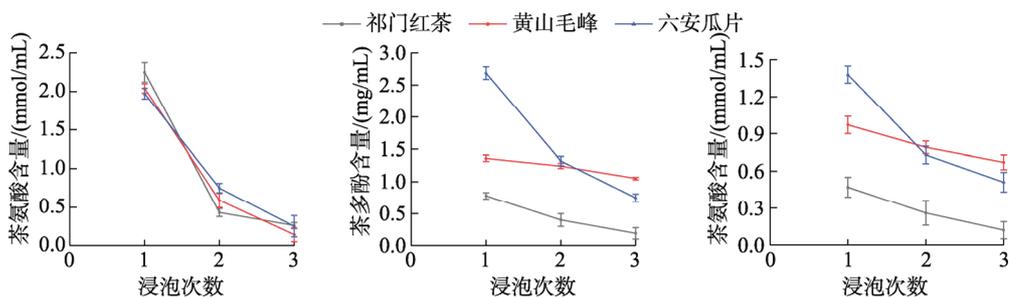
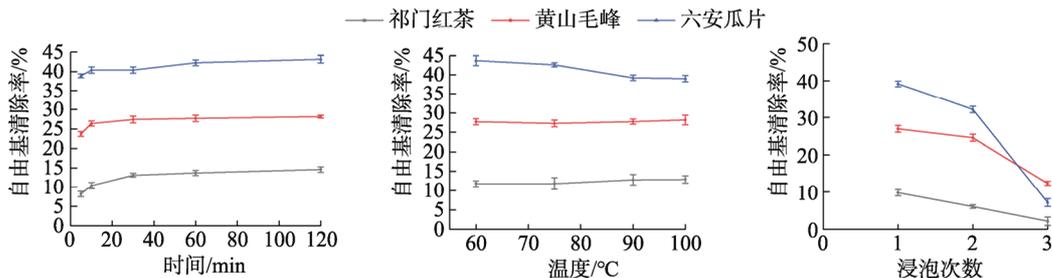


图 1 浸泡时间对茶叶 3 种功能性成分浸出浓度的影响($n=3$)

Fig.1 Effects of soaking time on extraction concentration of 3 functional components in Tea ($n=3$)

图 2 浸泡温度对茶叶 3 种功能性成分浸出浓度的影响($n=3$)Fig.2 Effect of soaking temperature on extraction concentration of 3 functional components in tea ($n=3$)图 3 浸泡次数对茶叶 3 种功能性成分浸出浓度的影响($n=3$)Fig.3 Effect of soaking times on extraction concentration of 3 functional components in Tea ($n=3$)图 4 不同浸泡条件对茶水自由基清除能力的影响($n=3$)Fig.4 Effects of different soaking conditions on free radical removal capacity of tea ($n=3$)

韩延超等^[1]发现西湖龙井茶汤的抗氧化能力随浸泡时间和温度的增加而增加,浸泡次数的增加而减小。而杨青等^[2]发现铁观音茶汤的抗氧化能力随浸泡温度的升高而降低。所以不同茶叶的抗氧化能力受浸泡条件的影响不同,本研究中 3 种茶叶的抗氧化能力随浸泡次数的减小而减小,但时间和温度对 3 种茶叶抗氧化能力影响不大。

3.3 碳化前后 3 种茶叶渣对甲醛的吸附去除作用

3 种碳化前后的茶叶渣(祁门红茶、黄山毛峰、六安瓜片)对甲醛的吸附率计算结果如图 5、图 6 所示。

从图 5 可以看出,3 种茶叶渣对甲醛的吸附率随着时间的延长而变大,前 60 min 内黄山毛峰和六安瓜片的甲醛吸附率增长较快,60 min 之后增速减缓,而祁门红茶对甲醛的吸附率始终处于缓慢增长的状态。吸附前期 3 种茶叶对甲醛的吸附率基本没有差别,15 min 后黄山毛峰和六安瓜片对甲醛的吸附率与祁门红茶最终相差约为 10%左右。

从图 6 可以看出,碳化后祁门红茶的茶叶渣对甲醛吸附能力有了明显的提升,而黄山毛峰与六安瓜片对于甲醛的吸附效果受碳化的影响只体现在吸附初期,60 min 后差别不大。3 种茶渣碳化后的吸附效果都很稳定,基本上在 30 min 内就完成了甲醛的主要吸附。从图中还可以看出,炭化后茶渣的吸附效果与茶叶的种类并没有明显的联系。

顾洁等^[23]对活性炭及改性活性炭吸附甲醛进行了研究,发现改性前和改性后的活性炭对甲醛的吸附率为 40%~50%。而本研究中茶渣炭化后对甲醛的吸附率在 40%~60%,故茶渣炭化吸附甲醛具有一定优势。

3.4 炭化前后 3 种茶叶渣对 Cr 的吸附去除作用

3 种碳化前后的茶叶渣(祁门红茶、黄山毛峰、六安瓜片)对 Cr 的吸附率计算结果如图 7、图 8 所示。

从图 7 可以看出,3 种茶叶渣对 Cr 的吸附率随着时间的增长而变大,其中祁门红茶对 Cr 的吸附率最高,黄山毛峰其次,六安瓜片的吸附能力最弱,且六安瓜片在 60 min 左

右对 Cr 的吸附效果就已经基本达到稳定, 而其他 2 种茶叶在 2 h 的实验中吸附率还在不断上升。

从图 8 可以看出, 3 种炭化后的茶叶渣对 Cr 的吸附效果有了很大的提升。炭化前, 3 种茶叶渣对 Cr 的吸附率随吸附时间的延长而增大, 而炭化后 3 种茶渣在 5 min 时就达到吸附饱和状态。并且同吸附甲醛一样, 炭化后茶渣的吸附效果与茶叶的种类没有明显的联系。

综上, 炭化后茶渣对 Cr 具有良好的吸附效果, 可针对其最佳吸附条件进行进一步的研究, 所得结果对茶渣的资源化将具有更大帮助。

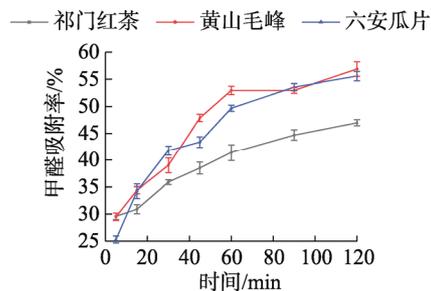


图 5 炭化前吸附时间对甲醛吸附率的影响(n=3)
Fig.5 Effect of adsorption time before carbonation on formaldehyde adsorption rate (n=3)

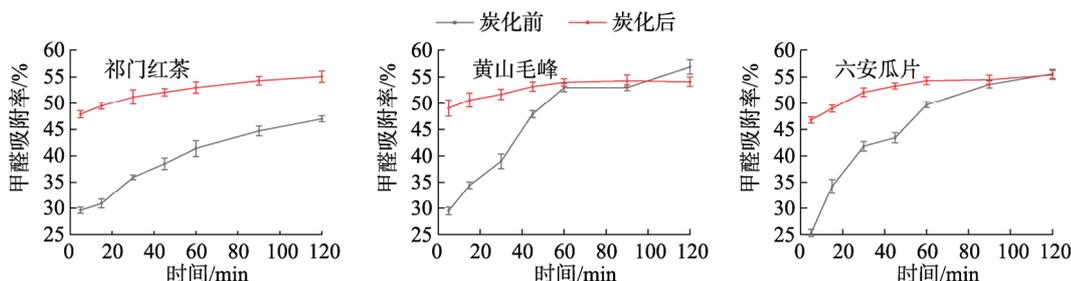


图 6 炭化前后 3 种茶叶渣甲醛吸附率的变化(n=3)
Fig.6 Changes of formaldehyde adsorption rate of 3 kinds of tea residue before and after carbonation (n=3)

4 结 论

3 种茶叶的 3 种功能性成分浸出率都随时间和温度的增加而增大, 随浸泡次数的增加而减小, 而茶汤自由基清除能力受浸泡时间和浸泡温度的影响不大, 但随浸泡次数增大而减小。黄山毛峰和六安瓜片的有效成分浸出率及自由基清除能力都大于祁门红茶。炭化前 3 种茶叶渣对甲醛和 Cr 的吸附率都随时间的延长而增加, 其中祁门红茶对甲醛的吸附率相较于另外 2 种绿茶要略低, 但对 Cr 的吸附能力明显强于黄山毛峰和六安瓜片。炭化的茶渣对甲醛和 Cr 的最大吸附能力较炭化前增强了 0%~50%, 且茶渣的吸附平衡时间明显缩短, 但茶叶种类对炭化后茶渣的吸附能力没有明显影响。综上所述, 温度、时间和浸泡次数均会影响茶叶功能性成分浸出量和茶水的自由基清除能力, 所

以在泡茶和进行茶叶功能性成分提取时, 可以此作为参考。茶渣的吸附功能可用于环境污染物的去除, 而茶渣炭化可提高其作为吸附剂的使用价值。

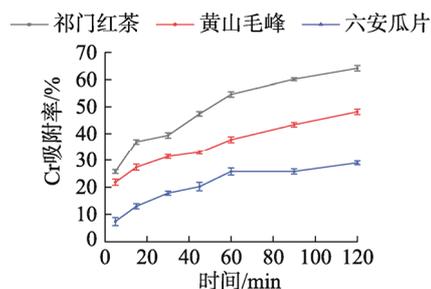


图 7 炭化前吸附时间对 Cr 吸附率的影响(n=3)
Fig.7 Effect of adsorption time before carbonation on Cr adsorption rate (n=3)

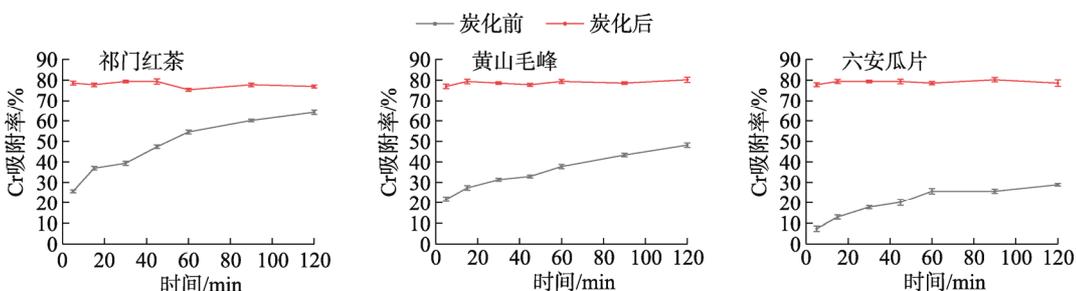


图 8 炭化前后 3 种茶叶渣 Cr 吸附率的变化(n=3)
Fig.8 Changes of Cr adsorption rate of 3 kinds of tea residue before and after carbonation (n=3)

参考文献

- [1] 韩延超, 陈杭君. 冲泡条件对西湖龙井抗氧化特性的影响及相关性分析[J]. 中国食品学报, 2018, 18(10): 128-136.
Han YC, Chen HJ. Effect of foaming conditions on antioxidant properties of Xihu Longjing tea and its correlation analysis [J]. Chin J Food, 2018, 18(10): 128-136.
- [2] 杨维平, 吴洁荣, 高茜娣, 等. 浸泡方式对茶叶茶多酚溶出量的影响[J]. 安徽农业科学, 2010, 38(21): 11174-11175.
Yang WP, Wu JL, Gao XD, *et al.* Effect of soaking method on the dissolution of polyphenols from tea and tea [J]. Anhui Agric Sci, 2010, 38(21): 11174-11175.
- [3] 张霞, 任模. 冲泡条件对五峰毛尖茶品质的影响[J]. 湖北农业科学, 2016, (3): 665-669.
Zhang X, Ren M. Effect of brewing conditions on quality of Wufeng Maojian Tea [J]. Hubei Agric Sci, 2016, (3): 665-669.
- [4] 杨方慧, 杨毅坚, 张艳梅, 等. 大叶种茶功能成分研究及提取开发现状[J]. 安徽农业科学, 2018, 46(11): 10-13, 34.
Yang FH, Yang YJ, Zhang YM, *et al.* Research and extraction and development status of functional components of large leaf tea [J]. Anhui Agric Sci, 2018, 46(11): 10-13, 34.
- [5] 龚舒蓓, 林铃敏. 茶渣的再利用研究进展[J]. 饮料工业, 2019, 22(4): 76-79.
Gong SB, Lin LM. Research progress of re-utilization of tea-residue [J]. Beverag Ind, 2019, 22(4): 76-79.
- [6] 石艳梅, 石珉玥, 伍庆, 等. 废弃茶叶茶多酚的提取及其粗提物对水中铜离子的吸附效果[J]. 安徽农业科学, 2016, 44(24): 64-65.
Shi YM, Shi QM, Wu Q, *et al.* The extraction of tea polyphenols from waste tea and the effect of crude extract on the adsorption of copper ions in water [J]. Anhui Agric Sci, 2016, 44(24): 64-65.
- [7] Tran TH, Vo AQ, Nguyen QH, *et al.* Studying on the adsorption of chromium (VI) on polyaniline modified with activated tea residue [J]. Vietnam J Chem, 2018, 56(5): 559-563.
- [8] Tao J, Huo PL, Fu ZH, *et al.* Characterization and phenol adsorption performance of activated carbon prepared from tea residue by NaOH activation [J]. Environ Technol, 2017, 40(2): 1-41.
- [9] Dizadji N, Anaraki NA. Adsorption of chromium and copper in aqueous solutions using tea residue [J]. Intern J Environ Sci Technol, 2011, 8(3): 631-638.
- [10] 李晓, 郭贞贞, 姚二民, 等. 造粒法茶叶包埋颗粒在卷烟过滤器中的应用[J]. 河南农业科学, 2014, 43(10): 141-145.
Li X, Guo ZZ, Yao EM, *et al.* Application of granulation in cigarette filter [J]. Henan Agric Sci, 2014, 43(10): 141-145.
- [11] 周菁菁. 茶叶对废水中铅锌镉离子的吸附性能研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2013.
Zhou JJ. Study on adsorption properties of lead, zinc and cadmium ions in wastewater by tea [D]. Changsha: Hunan University, 2013.
- [12] Yang X, Cui XN. Adsorption characteristics of Pb (II) on alkali treated tea residue [J]. Water Resour Ind, 2013, 3(2): 1-10.
- [13] 吴江涛. 延河流域水污染现状评价及管理建议[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2018.
Wu JT. Present situation evaluation and management suggestion of water pollution in Yanhe River Basin [D]. Xianyang: Northwest University of Agriculture and Forestry Science and Technology, 2018.
- [14] 江浩芝, 赵婉君. 室内甲醛的危害及其污染现状[J]. 广东化工, 2016, 43(11): 189, 201.
Jiang HZ, Zhao WJ. The harm of indoor formaldehyde and its pollution status [J]. Guangdong Chem Ind, 2016, 43(11): 189, 201.
- [15] 曾华聪, 池仰坤. 生态条件对茶叶品质的影响[J]. 东南园艺, 2015, 3(5): 28-30.
Zeng HT, Chi YK. The effect of ecological conditions on the quality of tea [J]. South-East Horticul, 2015, 3(5): 28-30.
- [16] 陈金娥, 丰慧君, 张海容. 红茶、绿茶、乌龙茶活性成分抗氧化性研究[J]. 食品科学, 2009, 30(3): 62-66.
Chen JE, Feng HJ, Zhang HR. Studies on antioxidant activity of black tea, green tea and oolong tea [J]. Food Sci, 2009, 30(3): 62-66.
- [17] 段学艺. 普洱茶中氨基酸和茶多酚浸出规律的研究[J]. 贵州茶叶, 2010, (2): 16-22.
Duan XY. Study on extraction of amino acids and tea polyphenols from Pu'er tea [J]. Guizhou Tea, 2010, (2): 16-22.
- [18] 卢绮静, 何志昌, 梁奇峰. 废弃茶叶渣吸附甲醛的研究[J]. 广州化工, 2011, 39(14): 130-132.
Lu YJ, He ZC, Liang QF. Study on adsorption of formaldehyde by waste tea residue [J]. Guangzhou Chem Ind, 2011, 39(14): 130-132.
- [19] 信欣, 何歆, 崔轲, 等. 核桃壳炭化吸附废水中 Cr(VI)的性能研究[J]. 环境工程学报, 2010, (10): 2273-2277.
Xin X, He X, Cui K, *et al.* Study on the adsorption of Cr (VI) from walnut shell carbonization wastewater [J]. J Environ Eng, 2010, (10): 2273-2277.
- [20] 余浩, 唐敏, 黄升谋. 冲泡条件对绿茶水浸出物含量及感官品质的影响研究[J]. 绿色科技, 2016, (24): 137-140.
Yu H, Tang M, Huang SM. Study on the effect of brewing conditions on the content and sensory quality of Green Tea extract [J]. Green Technol, 2016, (24): 137-140.
- [21] 刘腾飞, 董明辉, 杨代凤, 等. 茶叶质量安全主要化学影响因素分析方法研究进展[J]. 食品科学, 2018, 39(9): 310-325.
Liu TF, Dong MH, Yang DF, *et al.* Research progress in analysis methods of main chemical influencing factors of tea quality and safety [J]. Food Sci, 2018, 39(9): 310-325.
- [22] 杨青, 刘芷瑜, 李冠楠, 等. 冲泡条件对铁观音茶体外抗氧化活性的影响[J]. 中国农学通报, 2017, 33(13): 159-164.
Yang Q, Liu ZY, Li GN, *et al.* Effect of brewing conditions on antioxidant activity of Tieguanyin tea *in vitro* [J]. China Agric Sci Circul, 2017, 33(13): 159-164.
- [23] 顾洁, 胡星梦, 牛永红, 等. 活性炭/TiO₂ 光催化净化室内甲醛的实验研究[J]. 应用化工, 2019, 48(8): 1791-1794.
Gu J, Hu XM, Niu YH, *et al.* Experimental study on photocatalytic purification of indoor formaldehyde by activated carbon/TiO₂ [J]. Appl Chem Ind, 2019, 48(8): 1791-1794.

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介

陶梦婷, 硕士, 主要研究方向为污染物化学与毒理学。
E-mail: 1562087162@qq.com

张瑾, 副教授, 主要研究方向为污染物化学与毒理学。
E-mail: ginnzy@163.com