

网络出版时间:2015-06-10 08:40

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2015.07.023

网络出版地址:http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20150610.0840.023.html

茶渣对酯型儿茶素的选择性吸附性能研究

胡书琴,汤 一,刘 莉

(浙江大学 农业与生物技术学院 茶叶研究所,浙江 杭州 310058)

【摘 要】 【目的】研究茶渣对酯型儿茶素的选择性吸附性能,为获得脱咖啡碱的高纯度儿茶素类产品及茶渣的再利用提供参考。**【方法】**以一次浸提、二次浸提、乙醇处理和酸碱处理共 4 种方式处理茶渣,比较咖啡碱及酯型儿茶素(表没食子儿茶素没食子酸酯(Epigallocatechin gallate,EGCG)、没食子儿茶素酸酯(Gallocatechin gallate,GCG)、表儿茶素没食子酸酯(Epicatechin gallate,ECG)、儿茶素酸酯(Catechin gallate,CG))吸附量的大小,选择茶渣最佳处理方式;测定乙醇处理后茶渣对茶汤中相关成分的动态吸附过程;分析比较茶汤质量浓度分别为 2,5,10,15,20 mg/mL 以及液固比(茶汤体积/mL)与茶渣质量(g)的比值)分别为 20 : 1,40 : 1,80 : 1,100 : 1,180 : 1 时,茶渣对咖啡碱及酯型儿茶素吸附量的影响。**【结果】**乙醇处理茶渣吸附性能最好,其对酯型儿茶素 EGCG、GCG、ECG、CG 的吸附量分别为 25.67,8.44,7.60 和 2.44 mg/g,咖啡碱与酯型儿茶素的吸附量比值为 0.098。吸附时间为 70 min 时,酯型儿茶素的吸附量已达最大值,但咖啡碱尚未达到饱和。茶渣对酯型儿茶素的吸附量与茶汤质量浓度呈线性正相关;酯型儿茶素和咖啡碱的吸附量随茶汤体积与茶渣质量间的液固比的增大而增加,但综合考虑吸附量、咖啡碱脱除效果与茶汤利用率,液固比以 40 : 1 为宜。**【结论】**茶渣对酯型儿茶素具有选择性吸附效果,在不同吸附时间以及不同茶汤质量浓度与液固比下,酯型儿茶素与咖啡碱的吸附量呈现不同的变化特征,据此设计工艺方案有助于提高茶渣的选择性吸附效率。

【关键词】 茶渣;酯型儿茶素;脱咖啡碱;吸附性能

【中图分类号】 S571.109.9

【文献标志码】 A

【文章编号】 1671-9387(2015)07-0213-06

Effects of tea residue on selective adsorption properties of ester-catechins

HU Shu-qin, TANG Yi, LIU Li

(Tea Research Institute, College of Agriculture & Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310058, China)

Abstract: 【Objective】 The effects of tea residue on selective adsorption properties of ester-catechins were researched in this paper to provide reference on obtaining high purity catechins products with low caffeine and reusing tea residue. **【Method】** Tea residue was treated by 4 methods, one time water extraction, two times water-extraction, ethanol treatment, and acid and alkali treatment. The adsorption amounts of caffeine and catechins (Epigallocatechin gallate (EGCG), Gallocatechin gallate (GCG), Epicatechin gallate (ECG), and Catechin gallate (CG)) were compared to obtain the best treatment method. The dynamic adsorption process of the ethanol treated tea residue was determined to compare the effects of tea residue on adsorption of ester-catechins when tea concentrations were 2, 5, 10, 15 and 20 mg/mL and liquid-solid ratios were 20 : 1, 40 : 1, 80 : 1, 100 : 1 and 180 : 1. **【Result】** The ethanol treated tea residue was the best with

【收稿日期】 2014-01-01

【基金项目】 国家茶叶产业技术体系项目(CARS-23)

【作者简介】 胡书琴(1989—),女,安徽巢湖人,在读硕士,主要从事茶叶加工工程及品质鉴定研究。E-mail:21116076@zju.edu.cn

【通信作者】 汤 一(1962—),男,浙江诸暨人,副教授,硕士生导师,主要从事茶叶加工工程及品质鉴定研究。

E-mail:ytang@zju.edu.cn

adsorption capacities on EGCG, GCG, ECG, and CG of 25.67, 8.44, 7.60, and 2.44 mg/g, respectively, and the ratio of caffeine to ester-catechins was 0.098. After 70 min, the adsorption of ester-catechins had reached its maximum while the adsorption of caffeine had not. The adsorption of ester-catechins had a linear correlation with tea concentration. The adsorption capacities of ester-catechins and caffeine increased with the increase of volume of tea and liquid-solid ratio. But considering the adsorption capacity, caffeine removal effect and utilization rate of tea, 40 : 1 was suggested for liquid-solid ratio. 【Conclusion】 Tea residue could absorb ester-catechins selectively. Besides, ester-catechins and caffeine showed different characteristics in dynamic process and different relationships between adsorption capacities and tea concentration and liquid-solid ratio. This study was beneficial to improve the selective adsorption efficiency of tea residue.

Key words: tea residue; ester-catechins; decaffeination; adsorption properties

以表没食子儿茶素没食子酸酯(Epigallocatechin gallate),即 EGCG 为代表的酯型儿茶素,是茶叶中的主要功能性成分,具有优异的抗氧化性和清除自由基能力^[1-3]。茶叶中功能性成分常规提取和纯化技术,如热水浸提法^[4]、有机溶剂萃取法^[5-6]、树脂吸附法^[7]、超临界 CO₂ 萃取法等^[8-9],或提取效率不高,或存在有机溶剂残留、树脂污染等问题,或生产成本过于昂贵,在实际生产应用中都有一定的困难。随着人们对食品安全质量的重视,天然材料越来越受到关注。木质纤维素是近年来发现的一种对儿茶素具有选择性吸附性能的天然植物材料,如梁慧玲等^[10-11]、Ye 等^[12]用杉树木质纤维素获得了脱咖啡碱的高酯型儿茶素产品。

近年来,我国茶叶深加工产业发展迅速,茶饮料、速溶茶等产品的生产过程中会产生大量的茶渣^[13]。敖晓奎^[14]通过扫描电镜观察发现,茶渣表面布满椭圆形气孔,且气孔基本呈打开状态,其适宜的孔结构和表面结构符合高效吸附剂的特点。另有研究表明,茶渣中碳表面富含酚类和羧酸类等活性基团^[15],其主要成分为蛋白质和纤维素类^[16],而吸附剂木质纤维素也主要由富含酚羟基的木质素构成,可见二者的化学组成具有相似性。目前关于茶渣对废水中重金属的吸附已有较多研究^[17-18]。束鲁燕等^[19]对儿茶素浸提动力学的研究表明,酯型儿茶素的浸提速率低于简单儿茶素,由此推测,茶叶中不可溶性干物质(茶渣)对酯型儿茶素可能存在选择吸附效应,但这一推断尚无文献报道加以证实。

茶渣本身可食用,且安全、无毒、可再生,对其再利用可解决生产上茶渣过剩的难题。本研究以茶渣不同处理方式、不同吸附时间以及不同茶汤质量浓度和液固比等为试验因子,通过对比试验,就茶渣对酯型儿茶素的选择性吸附性能进行了分析评价,并就影响其吸附性能的相关因素进行了初步探索,旨

在为茶渣资源的利用提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

用于制备茶渣和茶汤的茶叶原料为低档龙井老黄片,取自于浙江新昌县大佛龙井产地。

1.2 试验仪器与试剂

主要仪器:DKS-28 型电热恒温水浴锅(杭州蓝天化验仪器厂)、HZ-9212SB 水浴恒温振荡器(太仓市华利达实验设备有限公司)、HP8453 紫外可见分光光度计(Pharmacia Biotech 公司)、高效液相色谱仪(岛津 LC-20A 型)、ALPHA1-2LD plus 型冷冻干燥机(德国 Christ 公司)、DFT-100 型 100 克手提式高速万能粉碎机(温岭市林大机械有限公司)。

主要试剂:EGCG、表儿茶素没食子酸酯(Epigallocatechin gallate, ECG)、没食子儿茶素酸酯(Gallocatechin gallate, GCG)、儿茶素酸酯(Catechin gallate, CG)和咖啡碱(Caffeine)等标样,均来自 Sigma 公司;乙腈、甲醇, HPLC 级;冰乙酸、酒石酸亚铁、十二水合磷酸氢二钠、磷酸二氢钾, AR 级;超纯水若干。

1.3 试验方法

1.3.1 茶汤的制备 将试验用茶样用高速万能粉碎机磨碎并过 1 mm 筛,称取 10 g,加入 450 mL 沸水,放入 100 °C 恒温水浴锅中浸提 45 min(每 10 min 摇匀 1 次),浸提结束后经高压真空泵抽滤,分离茶汤与茶渣,滤液转移至 500 mL 容量瓶中,冷却后定容备用;抽滤后所得茶渣低温烘干,过 0.45 mm 筛收集备用。

1.3.2 茶渣不同预处理方式及其吸附性能比较 按表 1 的不同预处理方式得到 4 组茶渣,将各组所得茶渣等量称取 3 份,每份 2 g,置于 100 mL 具塞锥形瓶中,各加 60 mL 浸提所得茶汤,于 25 °C 水浴

恒温振荡器中,以 150 r/min 振荡 2 h 后滤纸过滤,碱含量的变化,计算吸附量和吸附率。收集滤液,检测吸附前后滤液中儿茶素组分与咖啡

表 1 茶渣的 4 种不同预处理方法
Table 1 Four different pretreatments of tea residue

组别 Group	处理方法 Process method	处理步骤 Process program
A	一次浸提 One time water-extraction	茶叶按 1.3.1 节方法浸提 1 次后,滤去茶汤,蒸馏水洗去茶渣表面残留茶汤后,低温烘干备用 Extracted one time according to section 1.3.1;then washed by distilled water after being filtered;at last,reserved after drying with low temperature
B	二次浸提 Two times water-extraction	按 1.3.1 节方法继续浸提 1 次,滤去茶汤,蒸馏水洗去残留茶汤后,低温烘干备用 Extracted again according to section 1.3.1;then washed by distilled water after filtered;at last,reserved after drying with low temperature
C	乙醇处理 Ethanol treatment	按 1.3.1 节方法处理所获茶渣,用体积分数 95%乙醇浸泡 1 h,用蒸馏水洗至无乙醇味后低温烘干 Tea residue was processed according to section 1.3.1;soaked for 1 h by 95% ethanol;dried with low temperature after washing with distilled water until no traces
D	酸碱处理 Acid and alkali treatment	按 1.3.1 节方法处理所获茶渣,用 0.1 mol/L NaOH 浸泡 1 h,再用 0.1 mol/L HCl 浸泡 1 h,最后用蒸馏水洗至中性后,低温烘干备用 Tea residue was processed according to section 1.3.1;soaked for 1 h by 0.1 mol/L NaOH then 1 h for by 0.1 mol/L HCl;dried with low temperature after washing with distilled water until neutral

1.3.3 茶渣得率 每份 10 g 茶叶原料,重复 3 次,按表 1 处理方式所得到的茶渣称质量后,计算茶渣与茶叶原料的质量比,即为茶渣得率。

1.4 茶渣动态吸附特征

取 4.5 g 茶渣于 500 mL 锥形瓶中,加入 360 mL 茶汤,置于恒温振荡器中,在 25 ℃、150 r/min 的条件下振荡,分别于 10,20,30,50,70,100,130,160 和 220 min 取样,检测各处理吸附前后滤液中儿茶素组分与咖啡碱含量的变化,计算吸附量和吸附率。

1.5 茶汤质量浓度对茶渣吸附性能的影响

将浸提所得茶汤经冷冻干燥机冷冻成粉状后,配制成质量浓度为 2,5,10,15,20 mg/mL 的茶汤,在 25 ℃、150 r/min 的条件下振荡 2 h 后,测定吸附前后茶汤中各主要组分的含量,检测各处理吸附前后滤液中儿茶素组分与咖啡碱含量的变化,计算吸附量和吸附率。

1.6 液固比对茶渣吸附性能的影响

以液固比(茶汤体积(mL)与吸附剂质量(g)的比值)20 : 1,40 : 1,80 : 1,100 : 1,180 : 1 加入茶汤与茶渣,达到吸附平衡后测定茶汤中各组分含量,检测各处理吸附前后滤液中儿茶素组分与咖啡碱含量的变化,计算吸附量。

1.7 成分检测和计算方法

1.7.1 咖啡碱和儿茶素含量测定 将测试液过 0.45 μm 滤膜,用于 HPLC 分析,采用岛津 LC-20A 型高效液相色谱仪,AgiLent TC-C18(2)分析柱(4.6 mm×250 mm,5 μm),柱温 35 ℃,检测波长

280 nm,流速 1.0 mL/min;流动相 A 为体积分数 0.5%冰醋酸+体积分数 3%乙腈+体积分数 96.5%超纯水,流动相 B 为体积分数 0.5%冰醋酸+体积分数 30%乙腈+体积分数 69.5%超纯水;洗脱梯度:前 35 min 内 B 相由体积分数 20%线性增加到 65%,瞬间降到 20%,以 20%B 保持 5 min,进样量 10 μL。

1.7.2 吸附量与吸附率的计算 计算公式^[20]分别为:

$$Q=(C_0-C_e)\times V/w,$$
$$E=[(C_0-C_e)/C_0]\times 100\%,$$
$$K_{\text{caffeine/Ester-catechins}}=Q_{\text{caffeine}}/Q_{\text{Ester-catechins}}\circ$$

式中:Q 为吸附量,mg/g;C₀ 为起始溶液质量浓度,mg/mL;C_e 为吸附平衡时溶液质量浓度,mg/mL;V 为吸附溶液体积,mL;w 为吸附剂质量,g;E 为吸附率,%;K_{caffeine/Ester-catechins} 为咖啡碱与酯型儿茶素的吸附量比值;Q_{caffeine} 为咖啡碱吸附量;Q_{Ester-catechins} 为酯型儿茶素吸附量。

1.8 数据处理

每组试验均重复 3 次,以 3 次重复的平均值作为试验结果。试验数据采用 SPSS 20.0 软件进行处理与分析,并采用 Duncan's 进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同预处理方式的茶渣得率及其吸附性能比较

由表 2 可以看出,按表 1 预处理方式各组茶渣

得率为 42.16%~55.52%，其中 A 和 B 组茶渣得率较高，分别为 55.52%和 53.87%。茶渣对 EGCG 吸附量最大的是 C 组，达 25.67 mg/g，其次是 B 组，为 24.56 mg/g，均极显著高于 A 和 D 组。对咖啡碱的吸附量，A 组最低，极显著低于其他 3 组，其他 3 组差异不大；B 和 C 组的 $K_{\text{Caffeine/Ester-catechins}}$ 值，即咖啡碱与酯型儿茶素的吸附量比值较低，说明其脱咖啡碱效果优于 A 和 D 组。

表 2 不同预处理方式的茶渣得率及其酯型儿茶素和咖啡碱的吸附量比较

Table 2 Comparison of tea residue's adsorption capacities of ester-catechins and caffeine under different pretreatments							
组别 Group	茶渣得率/% Yield of tea residue	吸附量/(mg·g ⁻¹) Adsorption capacity					<i>K</i> _{caffeine/Ester-catechins}
		咖啡碱 Caffeine	酯型儿茶素组分 Components of ester-catechins				
			EGCG	GCG	ECG	CG	
A	55.52±0.34 A	3.97±0.08 B	19.86±0.26 B	6.58±0.04 B	6.59±0.06 C	2.16±0.02 B	0.110
B	53.87±1.49 A	4.22±0.02 A	24.56±0.24 A	8.11±0.07 A	7.39±0.01 B	2.40±0.00 A	0.099
C	42.16±0.53 B	4.31±0.12 A	25.67±0.53 A	8.44±0.15 A	7.60±0.08 A	2.44±0.02 A	0.098
D	43.83±0.65 B	4.23±0.18 A	19.69±1.19 B	6.43±0.62 B	6.17±0.29 D	2.43±0.11 A	0.122

注：同列数据后不同大写字母表示在 $P<0.01$ 水平差异极显著。表 3,4,6 同。
Note: Different capital letters in each column indicate significance at $P<0.01$ level. The same for tables 3,4, and 6.

由表 3 可知，就吸附率而言，茶渣不同处理方式对酯型儿茶素的吸附率存在一定的差异，其中 C 组对酯型儿茶素各组分的吸附率均最高，对 EGCG、GCG、ECG、CG 的吸附率分别为 93.17%，97.11%，94.56%，80.68%。各组对咖啡碱的吸附率除 A 组极显著较低外，其余各组差异不大，在 23.20%~23.72%。可见，C 组即水浸提后经乙醇处理茶渣对酯型儿茶素的选择吸附性能最优。鉴于此，以下试验所采用的均为乙醇处理茶渣。

表 3 茶渣经不同预处理后酯型儿茶素类及咖啡碱的吸附率比较

Table 3 Adsorption rates of ester-catechins and caffeine by differently treated tea residues							%
组别 Group	咖啡碱 Caffeine	酯型儿茶素组分 Components of ester-catechins					
		EGCG	GCG	ECG	CG		
A	16.32 B	72.09 B	84.14 B	73.72 B	71.18 B		
B	23.20 A	89.12 A	94.46 A	90.88 A	79.18 A		
C	23.72 A	93.17 A	97.11 A	94.56 A	80.68 A		
D	23.25 A	71.47 B	78.84 C	72.01 B	80.28 A		

2.2 茶渣对酯型儿茶素及咖啡碱吸附率的动态变化

茶渣对酯型儿茶素与咖啡碱吸附率的动态变化如表 4 所示。由表 4 可知，咖啡碱的吸附率变化与酯型儿茶素有着明显差别。咖啡碱吸附量在 220 min 内一直呈缓慢上升趋势，未出现明显的吸附饱

和点；而酯型儿茶素 EGCG、ECG、GCG、CG 的吸附率动态变化趋势较为一致，吸附开始后 10 min 左右即达饱和和吸附量的 89.38%~94.87%，至 70 min 左右达到饱和和吸附量的 96.83%~99.53%。可见，基于富集酯型儿茶素的同时最大限度脱去咖啡碱，吸附时间不宜过长。

表 4 茶渣对酯型儿茶素类及咖啡碱吸附率的动态变化

Table 4 Dynamic adsorption rates of ester-catechins and caffeine by tea residue							%
处理时间/min Time	咖啡碱 Caffeine	酯型儿茶素组分 Components of ester-catechins					
		EGCG	GCG	ECG	CG		
10	2.91 I	91.36 G	89.38 G	94.87 F	92.95 G		
20	7.04 H	91.60 F	92.15 F	96.07 E	94.89 F		
30	9.15 G	94.14 E	93.13 E	96.07 E	95.24 E		
50	11.83 F	94.72 D	94.04 D	96.34 D	95.77 D		
70	17.18 E	99.39 A	99.53 A	98.51 B	96.83 A		
100	19.22 D	99.22 C	98.76 C	98.51 B	96.13 C		
130	18.43 C	99.24 C	98.79 C	98.46 C	96.13 C		
160	20.53 B	99.31 B	98.96 B	98.57 A	96.30 B		
220	20.98 A	99.22 C	98.95 B	98.51 B	96.30 B		

2.3 茶汤质量浓度对茶渣吸附性能的影响

由表 5 中回归模型可以看出，在一定范围内，EGCG、GCG、ECG、CG 的吸附量(y)与茶汤质量浓

度(x)之间呈线性关系，其回归模型的 R^2 值分别为 0.894 6,0.982 0,0.915 1,0.949 8,可见随茶汤质量浓度的增加，EGCG、GCG、ECG、CG 等酯型儿茶

素的吸附量同步增加。而咖啡碱的吸附量(y)与茶汤质量浓度(x)呈指数函数关系,即在低质量浓度条件下,茶汤质量浓度对咖啡碱吸附量的影响较小,当质量浓度大于 15 mg/mL 时,吸附量才出现显著增加。由此可见,较高的茶汤质量浓度有利于茶渣

吸附酯型儿茶素,但同时造成脱咖啡碱效果降低。综合考虑,茶汤质量浓度以 15 mg/mL 较好,此时根据表 5 数值计算得到的 $K_{\text{caffeine/Ester-catechins}}$ 值最低,为 0.056。

表 5 茶汤质量浓度对酯型儿茶素类和咖啡碱吸附量的影响及其回归分析
Table 5 Influence of tea concentrations on adsorption capacities of ester-catechins and caffeine and relevant regression analysis

成分 Components	吸附量/(mg · g ⁻¹) Adsorption capacity					回归模型 Regression model	R ²
	2 mg/mL	5 mg/mL	10 mg/mL	15 mg/mL	20 mg/mL		
EGCG	8.98±0.07 E	16.80±0.24 D	20.07±0.21 C	24.34±0.00 B	42.95±1.07 A	$y=1.642x+5.550\ 3$	0.894 6
GCG	3.70±0.03 A	6.07±0.05 B	7.64±0.06 B	10.19±0.00 A	11.78±0.15 A	$y=0.436\ 6x+3.333\ 8$	0.982 0
ECG	3.21±0.03 E	5.88±0.07 D	7.21±0.07 C	8.80±0.05 B	14.84±0.25 A	$y=0.569\ 2x+2.068\ 7$	0.915 1
CG	1.16±0.02 E	1.88±0.02 D	2.36±0.02 C	2.64±0.00 B	3.75±0.05 A	$y=0.128\ 0x+1.026$	0.949 8
咖啡碱 Caffeine	0.07±0.07 B	1.78±0.41 B	1.47±0.37 B	2.56±0.28 B	14.29±1.40 A	$y=0.026\ 4x^{1.941\ 9}$	0.854 0

注:同行数据后不同大写字母表示在 $P<0.01$ 水平差异极显著。回归模型中 y 为吸附量, x 为茶汤质量浓度。
Note: Different capital letters in each column indicate significance at $P<0.01$ level. In the regression model, y means adsorption capacity and x means tea concentration.

2.4 不同液固比对茶渣吸附性能的影响

由表 6 可知,酯型儿茶素和咖啡碱的吸附量均随液固比的增加而增大,尤其当液固比由 20 : 1 增至 40 : 1 时,这一趋势最为明显,但总体而言,咖啡

碱的吸附量增加比率明显高于酯型儿茶素。综合茶渣对酯型儿茶素的吸附量、茶汤利用率以及脱咖啡碱效果等因素,液固比以 40 : 1 左右较好。

表 6 不同液固比下茶渣对酯型儿茶素类及咖啡碱的吸附量比较

Table 6 Absorption capacities of ester-catechins and caffeine by tea residues with different liquid-solid ratios						mg/g
液固比 LSR	咖啡碱 Caffeine	酯型儿茶素组分 Components of ester-catechins				
		EGCG	GCG	ECG	CG	
20 : 1	0.92±0.22 E	12.35±0.04 E	4.26±0.01 E	4.29±0.00 E	1.30±0.00 E	
40 : 1	1.60±0.37 D	20.00±0.21 D	7.62±0.06 D	7.20±0.07 D	2.35±0.02 D	
80 : 1	4.22±0.29 C	28.14±1.83 B	8.52±0.91 C	9.08±0.57 B	3.94±0.23 C	
100 : 1	4.61±0.61 B	27.62±1.61 C	8.79±0.28 A	9.25±0.56 A	3.69±0.09 B	
180 : 1	4.96±1.63 A	28.56±3.31 A	8.76±1.41 A	9.06±1.04 B	4.96±0.50 A	

3 讨论与结论

木质纤维素主要由纤维素(35%~50%)、半纤维素(20%~40%)、木质素(20%~30%)组成^[21],强酸强碱处理后主要为木质素,木质素大量的酚羟基等活性基团可以与茶多酚的羟基形成氢键,而其中的苯环可以与茶多酚中的苯环产生疏水性作用力和化学吸附作用,因此具有较好地吸附茶多酚的能力^[11]。梁慧玲等^[11]用处理后的木质纤维素为吸附剂,结果表明木质纤维素对 EGCG 的吸附量为 16.22 mg/g,对咖啡碱的吸附量为 2.12 mg/g,咖啡碱与酯型儿茶素的吸附量比值为 0.105,木质纤维素脱咖啡碱效果显著。

茶渣中主要成分为蛋白质和纤维素类^[14],其中蛋白质占 15%~18%,纤维素、半纤维素和木质素各占 20%左右。与木质纤维素相比,茶渣具有相似

的结构,此外还含有一定量的蛋白质,其所含活性基团更丰富,氨基酸侧链可与多酚苯环间因形成氢键和疏水相互作用而络合^[20]。从本研究结果看,茶渣同样具有较好的脱咖啡碱吸附酯型儿茶素效果。

- 综合本研究结果,可以得到如下结论:
- 1)不同预处理方式相比较而言,水浸提后再用乙醇处理所获茶渣对酯型儿茶素的选择吸附性能最优。
 - 2)酯型儿茶素与咖啡碱之间的吸附动态变化曲线呈现不同的特征,前者在 70 min 时已基本吸附饱和,而咖啡碱至 220 min 尚未达到吸附饱和点,所以吸附时间 70 min 左右较为适宜,既可充分吸附酯型儿茶素,又有利于控制咖啡碱的吸附量。
 - 3)由于茶汤质量浓度与酯型儿茶素的吸附量之间呈线性正相关,而与咖啡碱呈指数关系,因此茶汤较低质量浓度有利于提高脱咖啡碱效果,但也会使

酯型儿茶素的吸附总量减少,综合比较,茶汤质量浓度 15 mg/mL 左右较为适宜。

4)酯型儿茶素和咖啡碱的吸附量均随液固比的增加而增大,低液固比下,茶渣尚未达到最大吸附量,利用不充分;但液固比过高,不仅造成茶汤浪费,也会使咖啡碱吸附量增大。综合比较,液固比 40 : 1 左右较为合理。

以茶渣作为酯型儿茶素提取的吸附剂,不仅成本低廉,而且其本身可食用,具有卫生环保的优势。从本研究结果看,茶渣的吸附性能优越,由于茶叶有效成分的提取往往以乙醇为提取溶剂,因此将由此产生的废弃茶渣,直接用作酯型儿茶素提取的吸附材料,具有一定的可行性。当然,由于茶渣所含高分子成分较复杂,因此无论就其吸附机理还是吸附的工艺条件均有进一步深入研究的必要。

[参考文献]

[1] 李淑娟. 茶多酚的保健和药理作用研究进展 [J]. 西北药学杂志, 2010, 25(1): 78-79.
Li S J. Research progress on health and pharmacological functions of tea polyphenol [J]. Northwest Pharmaceuttcal Journal, 2010, 25(1): 78-79. (in Chinese)

[2] 朱桂勤, 李建科. 茶多酚的功能研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2005, 26(1): 33-35.
Zhu G Q, Li J K. Research progress on functions of tea polyphenol [J]. Food Research and Development, 2005, 26(1): 33-35. (in Chinese)

[3] Chen R, Wang J B, Zhang X Q, et al. Green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate (EGCG) induced intermolecular cross-linking of membrane proteins [J]. Archives of Biochemistry and Biophysics, 2011, 507(2): 343-349.

[4] 尔朝娟, 王洪新, 金 循, 等. 茶多酚水溶液浸提法生产低咖啡碱茶叶的研究 [J]. 食品工业科技, 2012, 33(4): 265-268.
Er C J, Wang H X, Jin X, et al. Study on preparation of low-caffeine tea by tea polyphenol solution treatment [J]. Science and Technology of Food Industry, 2012, 33(4): 265-268. (in Chinese)

[5] Lu J L, Wu M Y, Yang X L, et al. Decaffeination of tea extracts by using poly (acrylamide-co-ethylene glycol dimethylacrylate) as adsorbent [J]. Journal of Food Engineering, 2010, 97(4): 555-562.

[6] Kanda H, Li P, Makino H. Production of decaffeinated green tea leaves using liquefied dimethyl ether [J]. Food and Bioproducts Processing, 2013, 22(2): 581-587.

[7] 纪小燕, 王 玉, 丁兆堂, 等. 大孔吸附树脂对茶多酚和咖啡碱吸附及洗脱性能的研究 [J]. 食品工业科技, 2011, 32(2): 118-120.
Ji X Y, Wang Y, Ding Z T, et al. Study on adsorbing and desorption characteristics of macroporous adsorption resin for

teapolyphenols and caffeine [J]. Science and Technology of Food Industry, 2011, 32(2): 118-120. (in Chinese)

[8] 屠冰心, 庞林江, 王允祥, 等. 超临界脱除茶叶咖啡碱的优化工艺 [J]. 农机化研究, 2009, 21(9): 50-55.
Tu B X, Pang L J, Wang Y X, et al. Optimum technology on decaffeination of green tea by supercritical carbon dioxide [J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2009, 21(9): 50-55. (in Chinese)

[9] Sun Q L, Hua S, Ye J H, et al. Decaffeination of green tea by supercritical carbon dioxide [J]. Med Plants Research, 2010, 20(4): 1161-1168.

[10] 梁慧玲, 梁月荣, 陆建良, 等. 杉树木质纤维素对酯型儿茶素类选择性吸附的研究 [J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2006, 32(6): 665-670.
Liang H L, Liang Y R, Lu J L, et al. Study on the specific adsorption of catechin gallates by cedar lignocellulose [J]. Journal of Zhejiang University: Agric & Life Sci Ed, 2006, 32(6): 665-670. (in Chinese)

[11] 梁慧玲, 张 伟, 王 晶. 碱处理强度对木质纤维素吸附茶儿茶素类和咖啡碱的影响 [J]. 中国茶叶, 2009, 21(7): 12-14.
Liang H L, Zhang W, Wang J. The effects of alkali treatment of lignocellulose to the adsorption of tea catechins and caffeine [J]. China Tea, 2009, 21(7): 12-14. (in Chinese)

[12] Ye J H, Jin J, Liang H, et al. Using tea stalk lignocellulose as an adsorbent for separating decaffeinated tea catechins [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(2): 622-628.

[13] 傅志民, 吴永福. 废弃茶渣综合再利用研究进展 [J]. 中国茶叶加工, 2011, 10(1): 17-20.
Fu Z M, Wu Y F. Reserach on multi-purpose utilization of used waste tea leaves [J]. China Tea Processing, 2011, 10(1): 17-20. (in Chinese)

[14] 敖晓奎. 速溶茶渣对废水中重金属离子的吸附行为和机理研究 [D]. 长沙: 湖南农业大学, 2008.
Ao X K. Studies on the behavior and mechanism of adsorption of instant tea dregs on heavy metal ion in waste water [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2008. (in Chinese)

[15] Ahmaruzzaman M, Gayatri S L. Activated tea waste as a potential low-cost adsorbent for the removal of p-nitrophenol from wastewater [J]. Journal of Chemical & Engineering Data, 2010, 55(11): 4614-4623.

[16] Buranov A U, Mazza G. Lignin in straw of herbaceous crops [J]. Industrial Crops and Products, 2008, 28(3): 237-259.

[17] 马宏飞, 李 薇, 韩秋菊, 等. 茶渣对 Ni (Ⅱ) 的吸附性能研究 [J]. 科学技术与工程, 2013, 13(13): 3824-3827.
Ma H F, Li W, Han Q J, et al. Research on the adsorption performance of Ni (Ⅱ) with tea dust [J]. Science Technology and Engineering, 2013, 13(13): 3824-3827. (in Chinese)

[18] Yang X, Cui X. Adsorption characteristics of Pb (Ⅱ) on alkali treated tea residue [J]. Water Resources and Industry, 2013, 11(2): 532-539.