

张晶晶, 汤 一, 杨梦璇. 茶渣吸附性能在茶汤保鲜中的应用[J]. 江苏农业学报, 2016, 32(5): 1162-1170.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2016.05.033

茶渣吸附性能在茶汤保鲜中的应用

张晶晶, 汤 一, 杨梦璇

(浙江大学农业与生物技术学院, 浙江 杭州 310058)

摘要: 为探究茶渣吸附处理对茶汤的保鲜作用, 检测和分析了吸附后茶汤的儿茶素含量、咖啡因含量、氨基酸含量、色度值和透光率, 并与交联聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)和木质纤维素吸附处理进行对比。结果表明: 贮藏 15 d 后 3 种吸附剂处理及对照之间茶汤表没食子儿茶素(EGC)、儿茶素(C)、表儿茶素(EC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、儿茶素总量(T-C)含量均存在极显著差异($P < 0.01$), 总儿茶素含量对照(477.99 mg/L) > 木质纤维素处理(324.71 mg/L) > 茶渣处理(155.08 mg/L) > PVPP 处理(47.52 mg/L)。对茶汤色泽的改善效果 PVPP 处理 > 茶渣处理 > 木质纤维素处理, 茶渣处理的氨基酸含量高于其他处理, 而 3 种处理之间透光度无显著差异。使用茶渣吸附 60 min 保鲜效果最好, 可以在尽量保留茶汤中儿茶素的前提下, 有效改善茶汤的外观品质。

关键词: 茶渣; 吸附; 茶汤保鲜

中图分类号: TS275.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2016)05-1162-09

Preservation of tea infusion by tea waste adsorption

ZHANG Jing-jing, TANG Yi, YANG Meng-xuan

(College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: In order to explore the fresh-keeping effect of tea waste adsorption on tea infusion, the catechins and caffeine contents, chromatic value, light transmittance and amino acid content were measured and compared with those by PVPP adsorption and lignocellulose adsorption. PVPP-, lignocellulose-, and tea waste-treated tea infusion and CK differed significantly in epigallocatechin (EGC), catechine (C), epicatechin (EC), epigallocatechingallate (EGCG) and total catechins (T-C) contents after 15 d of storage. Total catechins content followed the order of CK (477.99 mg/L) > lignocellulose treatment (324.71 mg/L) > tea waste treatment (155.08 mg/L) > PVPP treatment (47.52 mg/L). PVPP showed the best improving effect on the color of tea infusion, followed by tea waste and lignocellulose. The amino acid content in tea infusion by tea waste treatment was higher than those by other treatments, and the transmittances were close in three treatments. Sixty-minute adsorption by tea waste achieved the best preservation effect, keeping the catechins in tea infusion as much as possible to improve the quality of tea appearance.

Key words: tea waste; adsorption; preservation

儿茶素类物质是茶叶的主要保健成分, 同时其对茶汤的汤色^[1-2]、澄清度^[3]也有着重要的影响。

在茶汤贮藏过程中, 儿茶素类物质发生氧化、聚合等反应生成有色物质, 造成汤色劣变^[4-5]; 儿茶素类物质也可以与茶汤中蛋白质和咖啡碱等结合^[6-7], 生成大分子沉淀, 导致茶汤冷却后浑浊。因此生产上常用吸附^[8]、包埋^[9]等方法除去或隔离茶汤中的儿茶素。茶渣是近年来研究较多的一种吸附剂^[10-11], 相比于其他吸附剂, 茶渣具有清洁、卫生可再生的优

收稿日期: 2016-01-22

基金项目: 国家茶叶产业技术体系项目(CARS-23)

作者简介: 张晶晶(1992-), 女, 安徽芜湖人, 硕士研究生, 从事茶叶资源利用研究。(E-mail) 21316073@zju.edu.cn

通讯作者: 汤 一, (E-mail) ytang@zju.edu.cn

点^[12]。PVPP(交联聚乙烯吡咯烷酮)是一种多酚类的选择性吸附剂,目前广泛用于吸附去除茶饮料中的非生物稳定性物质^[13];木质纤维素也是目前研究较多的生物材料吸附剂^[14-15]。

本试验将茶渣吸附应用于茶汤保鲜研究,通过对吸附后的茶汤进行老化处理,定期测定茶汤中内含物质成分以及汤色、透光率等变化来综合评价茶汤的保鲜性能,并建立茶汤色泽变化动力学模型,为提高茶饮料保鲜性能提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 材料、试剂和仪器

制备茶渣材料为市售泰顺三杯香,制备茶汤材料为市售汤记雾绿一级。

表儿茶素(Epicatechin, EC)、儿茶素(Catechine, C)、表没食子儿茶素没食子酸酯(Epigallocatechingallate, EGCG)、表没食子儿茶素(Epigallocatechin, EGC)、表儿茶素没食子酸酯(Epicatechingallate, ECG)、没食子儿茶素(Gallocatechin, GC)、没食子儿茶素没食子酸酯(Gallocatechin, GCG)、儿茶素酸酯(Catechinsgallate, CG)和咖啡碱(Caffeine, CAF)购于Sigma公司,纯度均为99.9%。乙腈、甲醇、冰乙酸为色谱级,购于Tedia公司。其他试剂为分析纯。

DFT-100型100 g手提式高速万能粉碎机(温州市林大机械有限公司产品),DKS-28型电热恒温水浴锅(杭州蓝天化验仪器厂产品),HZ-9212SB水浴恒温振荡器(太仓市华利达实验设备有限公司产品),Konica Minolta CM-3600d分光测色仪(高效液相色谱仪,岛津LC-20A型),2802S UV/VIS紫外可见分光光度计(尤尼柯仪器有限公司产品)。

1.2 吸附材料的制备

茶渣制备:将茶样磨碎过筛,取粒径0.45~1.00 mm的茶渣10 g,加入450 ml沸水,放入100℃恒温水浴锅中浸提45 min(每10 min摇匀1次)。浸提结束后经真空泵抽滤后取出茶渣,45℃低温烘干后用95%乙醇浸泡过夜,再用蒸馏水将乙醇洗净,45℃低温烘干备用。

PVPP制备:将PVPP粉末用超纯水溶胀6 h,用蒸馏水洗至流出液无色,3倍体积乙醇浸泡24 h后,用乙醇洗至流出液与水混合(按1:5比例)时不浑浊,再用水洗至无乙醇味,加入5% HCl浸泡2~4

h,蒸馏水洗至中性,再加入2% NaOH浸泡2~4 h,水洗至中性。抽滤表面水分,密封保存备用。

木质纤维素制备:取杉树木质纤维素,磨样机磨碎后,过0.45 mm筛;用2倍体积的0.1 mol/L NaOH溶液浸泡7 d后,蒸馏水洗至溶液无色,再用0.1 mol/L HCl浸泡12 h后,蒸馏水洗至中性,95%乙醇继续洗至无色后,再用蒸馏水将乙醇洗净,45℃低温烘干备用。

1.3 茶汤的制备

将茶样磨碎后过1 mm筛网,以1 g茶样100 ml水的比例混合,80℃水浴15 min,每5 min搅动1次,浸提后抽滤冷却。

1.4 不同吸附材料性能比较及高温老化试验

分别称取5 g茶渣、木质纤维素和PVPP,置于500 ml具塞锥形瓶中,加入400 ml茶汤,于25℃水浴恒温振荡器中,以150 r/min的转速振荡吸附6 h。吸附完成后将茶汤抽滤备用。

将不同吸附材料处理后的茶汤分装于50 ml具塞锥形瓶中,各处理分别设置0 d、3 d、6 d、9 d、12 d、15 d 6个保鲜时间并以未经吸附处理的花茶作为对照。将锥形瓶密封,微波杀菌120 s后,置于40℃层析柜中贮藏,按设置的保鲜时间分别取样检测。

1.5 茶渣不同吸附时间的保鲜效果对比

等量称取6份茶渣,每份5 g,分别置于500 ml具塞锥形瓶中,加入400 ml茶汤,于25℃水浴恒温振荡器中,以150 r/min的转速振荡吸附,分别吸附10 min、20 min、30 min、60 min、180 min、360 min,未经吸附处理的原茶汤作为对照(其吸附时间标为0)。吸附完成后将茶汤过滤备用。

将不同吸附处理后的茶汤分装于50 ml具塞锥形瓶中,每个吸附处理分别设置0 d、3 d、6 d、9 d、12 d、15 d 6个保鲜时间,以未经吸附处理的花茶作为对照。将锥形瓶密封,微波杀菌120 s后,置于40℃层析柜中贮藏,按设置的保鲜时间分别取样检测。

1.6 样品检测与计算方法

1.6.1 儿茶素、咖啡因含量测定 儿茶素及咖啡因含量测定: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×250.0 mm,5 μm),柱温25℃,检测波长280 nm,流速1.0 ml/min;流动相A为0.5%冰醋酸+3.0%乙腈+96.5%超纯水,流动相B为0.5%冰醋酸+30.0%

乙腈+69.5%超纯水;洗脱梯度:前40 min内B相由20%线性增加到65%,瞬间降到20%,以20%B相保持5 min,进样量10 μl 。

1.6.2 色度测定 取15 ml茶汤,使用分光测色仪测量样品的明度(L)、红绿色度(a)、黄蓝色度(b)和色度角(h°),每个样品测定3次,以平均值作为样品色度。 L 值代表样品的明亮程度, L 值越大样品越明亮; a 正值时代表红色程度,负值时表示绿色程度; b 正值时表黄色程度,负值时表示蓝色程度;色度角表示样品的真实颜色,是颜色的综合评价指标,从0到180依次为紫红($h^\circ=0$)、红、橙、黄($h^\circ=90$)、黄绿、蓝绿色($h^\circ=180$)。

1.6.3 氨基酸总量测定 使用茚三酮比色法(GB 8314-2002)测定。

1.6.4 透光率测定 取1 ml茶汤,用分光光度计测量茶汤透光率,检测波长为460 nm,石英比色皿光程1 cm,以蒸馏水为空白。

1.6.5 茶汤色泽变化动力学模型的建立 茶汤贮藏过程中的色度因子 C 的变化速率可以用 $dC/dt = -kC^n$ 表示,式中 C 为时间 t 时的色度因子(在本试验中为 L 、 a 、 b 及 h°), n 为反应级数, k 为反应速率常数(d^{-1})(其单位由反应级数 n 决定), t 为贮藏时间(d)。颜色变化与时间的关系一般表现为零级或一级反应,零级反应为 $kt = C_0 - C$,一级反应为 $kt = \ln(C_0) - \ln(C)$ 。

1.6.6 数据分析 每处理重复3次,以3次重复的平均值表示处理结果,数据统计分析采用SAS软件。

2 结果与分析

2.1 不同材料吸附后茶汤儿茶素类物质及咖啡因含量变化

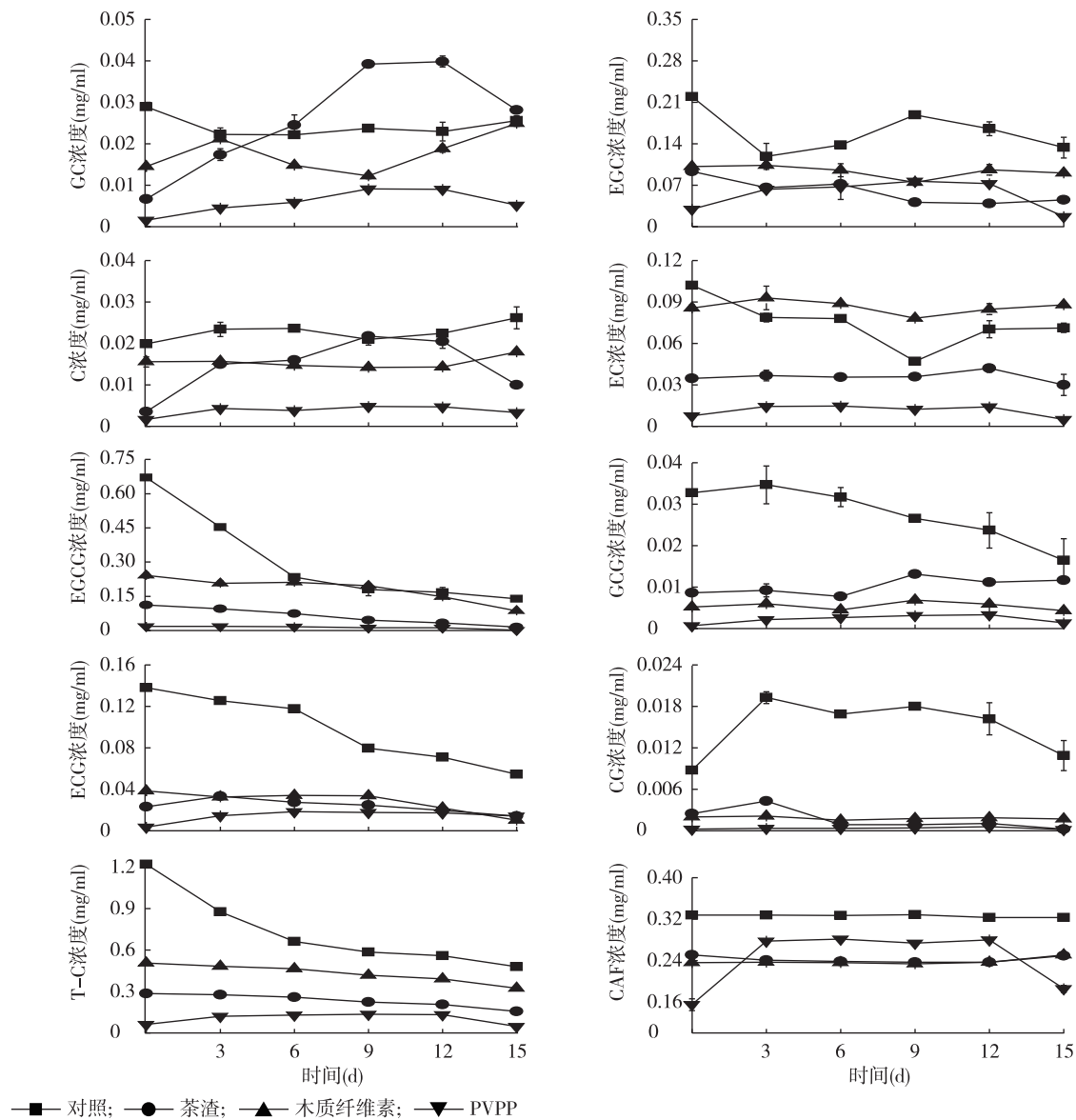
不同吸附材料处理茶汤酯型儿茶素和总儿茶素含量呈下降趋势,而非酯型儿茶素含量变化规律并不明显或有所上升(图1)。说明在贮藏过程中不仅发生了儿茶素的降解,也存在酯型儿茶素向非酯型儿茶素的转化。在贮藏开始前,由于不同吸附剂吸附性能的差异,茶汤中儿茶素及咖啡因含量表现为对照>木质纤维素处理>茶渣处理>PVPP处理。随着贮藏时间的延长,各处理间酯型儿茶素和总儿茶素的浓度差异逐渐缩小。但贮藏15 d后,3个处理及对照在表没食子儿茶素

(EGC)、儿茶素(C)、表儿茶素(EC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、儿茶素总量(T-C)含量上仍存在极显著差异($P<0.01$)。经PVPP吸附的茶汤儿茶素含量最低,茶渣处理次之,木质纤维素处理最高。

2.2 不同材料吸附后茶汤色度变化及动力学分析

图2为贮藏过程中茶汤各色度参数的变化情况。由图2可知,随贮藏时间的增加,茶汤 L 值和 h° 值不断减小,而 a 值和 b 值都呈现上升的趋势。但经过吸附处理后的茶汤色度值变化程度均小于对照,且各参数值在吸附处理和未经吸附处理的对照间存在极显著差异($P<0.01$)。未经吸附处理的花茶,在贮藏过程中茶汤明度(L 值)迅速降低,在15 d贮藏结束时, L 值降低了18.61;而经3种吸附剂处理后的茶汤 L 值分别降低了6.00、6.70、2.68,茶汤明度稳定性显著改善。对照的 a 值在贮藏中变化最大,贮藏结束时 a 值由-1.91增加到11.54,色泽由淡绿变为偏红;而处理组茶汤 a 值变化明显减弱,除木质纤维素处理的 a 值变为0.25外,茶渣和PVPP处理的花茶在贮藏结束后仍能保持淡绿色。在 b 值变化程度上,茶渣和木质纤维素处理与对照基本一致,而PVPP处理的变化较小,但在0 d时经吸附处理后茶汤的黄色程度有了明显的降低。色度角(h°)为 90° 时茶汤呈现黄色,略小于 90° 时茶汤呈橙黄色,而略高于 90° 时茶汤呈黄绿色。在贮藏过程中色度角降低,表明茶汤的色泽由黄绿转为了橙黄,而又以对照茶汤下降最为明显,经吸附处理的花茶 h° 值有不同程度的改善。整体来看,吸附处理后茶汤贮藏过程中的稳定性有明显改善,改善效果PVPP处理>茶渣处理>木质纤维素处理。

对 L 、 a 、 b 、 h° 4个色度参数进行动力学模型拟合。结果(表1)显示,2个模型都可以很好地反映茶汤贮藏过程中色度值变化,且零级动力学方程的决定系数(R^2)比一级动力学方程更大,其拟合值也更接近实测值,但是一级动力学模型无法对 a 值变化进行拟合。这说明在贮藏过程中,茶汤色度值接近一个常数,且与茶汤初始状态相关。反应速率常数 k 为贮藏过程中每天色度值的变化值, L 、 a 、 b 值变化速率常数(k)的绝对值为对照>木质纤维素处理>茶渣处理>PVPP处理, h° 值变化速率常数(k)为对照>PVPP处理>木质纤维素处理>茶渣处理。



GC:没食子儿茶素;EGC:表没食子儿茶素;C:儿茶素;EC:表儿茶素;EGCG:表没食子儿茶素没食子酸酯;GCG:没食子儿茶素没食子酸酯;ECG:表儿茶素没食子酸酯;CG:儿茶素酸酯;T-C:儿茶素总量;CAF:咖啡碱。

图1 茶汤中儿茶素类和咖啡因浓度动态变化

Fig.1 Dynamic changes of catechins and caffeine concentrations in tea infusion

2.3 不同材料吸附后茶汤透光率变化

透光率反映茶汤澄清程度^[16]。透光率越大则茶汤越澄清,反之,则茶汤越浑浊。由表2可知,在吸附处理之后,茶汤透光率立即上升,但并未达到显著水平。在贮藏过程中3种吸附处理的茶汤透光率均显著高于对照,且吸附处理间无显著差异。贮藏15 d后,对照的透光率仅为32.48%,约为吸附处理的一半。可见,3种吸附剂均能显著改善茶汤的澄清度。

清度。

2.4 不同材料吸附后茶汤氨基酸总量变化

贮藏期间茶汤氨基酸浓度变化如表3所示。对照茶汤氨基酸含量呈现先增加后减小的趋势,其原因可能是贮藏前期蛋白质的分解速度大于氨基酸降解速度导致氨基酸浓度增加,而后期氨基酸自身的降解又造成其浓度的下降。相对而言,吸附处理的茶汤氨基酸浓度变化则较为平缓。贮藏15 d后,茶

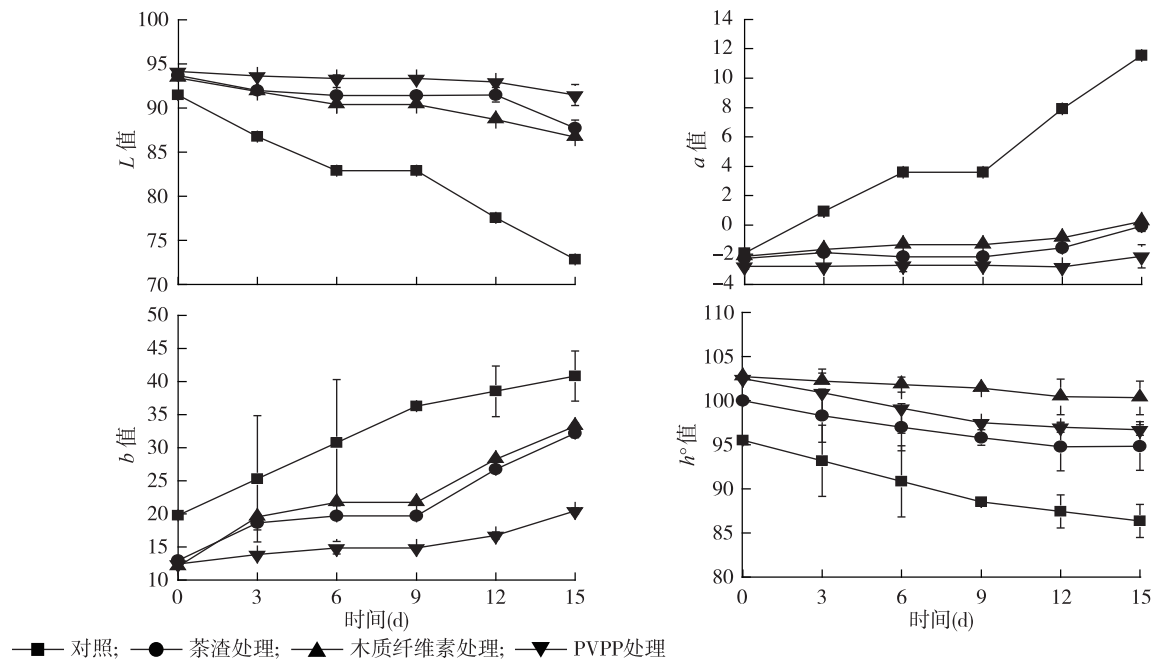


图 2 茶汤贮藏过程中色度值动态变化
Fig.2 Dynamic changes of chromatic value of tea infusion treated differently during storage

表 1 茶汤色泽变化动力学模型
Table 1 Kinetics model of color changes for tea infusion treated differently

处理	色度值	实测值	零级反应模型			一级反应模型		
			拟合值	$k(\text{d}^{-1})$	R^2	拟合值	$k(\text{d}^{-1})$	R^2
对照	L	72.83	74.22	1.149	0.961	74.13	0.014	0.957
	a	11.55	10.69	-0.840	0.954	-	-	-
	b	40.83	41.28	-1.432	0.966	40.68	-0.048	0.931
	h°	86.35	86.19	0.621	0.973	87.29	0.006	0.976
茶渣	L	87.71	89.22	0.300	0.739	89.60	0.003	0.735
	a	-0.09	-0.58	-0.114	0.596	-	-	-
	b	32.19	30.20	-1.150	0.904	29.12	-0.054	0.915
	h°	94.86	100.19	0.170	0.968	99.70	0.002	0.968
木质纤维素	L	87.71	87.24	0.410	0.958	86.64	0.005	0.957
	a	-0.09	-0.11	-0.134	0.868	-	-	-
	b	32.19	30.92	-1.258	0.933	29.20	-0.059	0.896
	h°	94.86	94.67	0.357	0.937	94.20	0.004	0.939
PVPP	L	87.71	91.96	0.147	0.820	88.68	0.004	0.937
	a	-0.09	-2.35	-0.030	0.402	-	-	-
	b	32.19	19.39	-0.467	0.874	19.14	-0.029	0.911
	h°	94.86	96.41	0.405	0.934	99.45	0.002	0.818

渣吸附处理的茶汤氨基酸含量与对照无显著差异，同时茶渣处理的氨基酸含量显著高于木质纤维素处

表 2 贮藏期间茶汤透光率变化
Table 2 Changes of light transmittance of tea infusion treated differently during storage

贮藏时间 (d)	透光率(%)			
	对照	茶渣吸附	木质纤维素吸附	PVPP 吸附
0	88.24A	88.72A	88.78A	88.44A
3	70.36B	78.28A	79.13A	78.28A
6	57.85B	77.86A	77.99A	76.97A
9	50.97B	74.53A	74.36A	73.63A
12	43.86B	73.63A	73.06A	73.57A
15	32.48B	69.29A	70.20A	70.04A

同行数值后不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

表 3 贮藏期间茶汤氨基酸浓度变化
Table 3 Changes of amino acid concentration of tea infusion treated differently during storage

贮藏时间 (d)	氨基酸浓度(mg/ml)			
	对照	茶渣吸附	木质纤维素吸附	PVPP 吸附
0	0.40A	0.40A	0.40A	0.37B
3	0.42A	0.34B	0.35B	0.33B
6	0.50A	0.33C	0.35B	0.33C
9	0.49A	0.38B	0.39BC	0.40B
12	0.37A	0.32B	0.32B	0.28C
15	0.30AB	0.33A	0.29B	0.28B

同行数值后不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

理和 PVPP 处理($P<0.01$)。

2.5 茶渣吸附后茶汤儿茶素类及咖啡因含量变化

图 3 为茶渣吸附后的茶汤在贮藏期间儿茶素和咖啡因含量的变化趋势。由图 3 可知,在贮藏期间,茶汤内总儿茶素含量不断降低,起始阶段各处理间总儿茶素含量差异较大,而随着贮藏过程的进行,未经吸附处理及吸附时间较短处理(10 min、20 min)的茶汤总儿茶素含量迅速下降,随后不同吸附时间处理的总儿茶素含量差异不断减小。在各儿茶素组分中,GC 与 C 的含量不断增加。EGC 和 EC 含量在储存过程中变化较大,EGC 主要呈现先增加后减小的趋势,而 EC 含量变化规律并不明显。EGCG 和 ECG 含量在储存过程中一直呈降低趋势,这与儿茶素的转化途径一致,即 EGCG 和 ECG 在茶汤中的变化以降解为主,转化生成简单儿茶素。GCG 与 CG 含量在储存过程中略有上升,但总体呈下降趋势。贮藏 15 d 后,未经吸附处理的茶汤儿茶素类含量仍

然显著高于各处理组。茶渣吸附 10 min 处理的非酯型儿茶素含量与对照无显著差异,而酯型儿茶素含量显著低于对照($P<0.01$);吸附 20 min 处理与吸附 10 min 处理相比,EGC、EC、EGCG、ECG、CG 含量无显著差异,而酯型儿茶素和总儿茶素含量显著低于吸附 10 min 处理($P<0.01$);吸附 30 min 处理的茶汤各儿茶素组分含量和总儿茶素含量与吸附 20 min 处理无显著差异($P<0.01$);与吸附 30 min 处理相比,吸附 60 min 处理的茶汤各组分含量有所下降;吸附 180 min、360 min 处理,由于吸附时间过长,各儿茶素组分含量均显著低于吸附时间较短的处理。

2.6 茶渣吸附后茶汤色度变化

由图 4 可知,贮藏过程中明度 L 值和色度角 h° 值呈下降趋势, a 值和 b 值呈上升趋势,且吸附处理时间越长,色度参数的变化速度越小,色泽的稳定性越高。贮藏 15 d 后,各处理的 L 值远高于对照,且吸附 60 min、180 min 的改善效果最为明显, L 值较贮藏开始时并未显著降低($P<0.01$);对照茶汤和吸附 10 min、20 min、30 min 的茶汤,在贮藏 15 d 后, a 值变为正值,感官上表现为偏红,而吸附 60 min 以上的茶汤 a 值仍然为负值,茶汤保持淡绿色;各处理间 b 值差异均达到显著水平,总体来说,随吸附时间增加, b 值减小;吸附 60 min 以上的茶汤 h° 值大于 90° ,在贮藏 15 d 后呈现黄绿色,而吸附时间较短的茶汤 h° 值小于 90° ,呈橙黄色。可见,吸附 60 min 以上,有利于茶汤汤色的改善。

2.7 茶渣吸附后茶汤透光率变化

从表 4 可以看出,贮藏期间各处理茶汤透光率呈下降趋势。贮藏 15 d 之后,除吸附 30 min 处理外,各处理茶汤透光率均显著高于对照($P<0.01$),且吸附时间越长,茶汤透光率越高。吸附 60 min 以上处理的茶汤透光率均在 60% 以上,茶汤清澈度明显改善。

2.8 茶渣吸附后茶汤氨基酸浓度变化

茶渣吸附处理后,贮藏期间茶汤氨基酸浓度先增加后减小,不同吸附时间处理之间差异较小(表 5)。贮藏 15 d 后,吸附 20 min 处理的茶汤氨基酸浓度(0.38 mg/ml)显著高于其他处理和对照($P<0.01$),其他各处理间氨基酸浓度无显著差异,而吸附 180 min 处理的氨基酸浓度(0.29 mg/ml)最低。

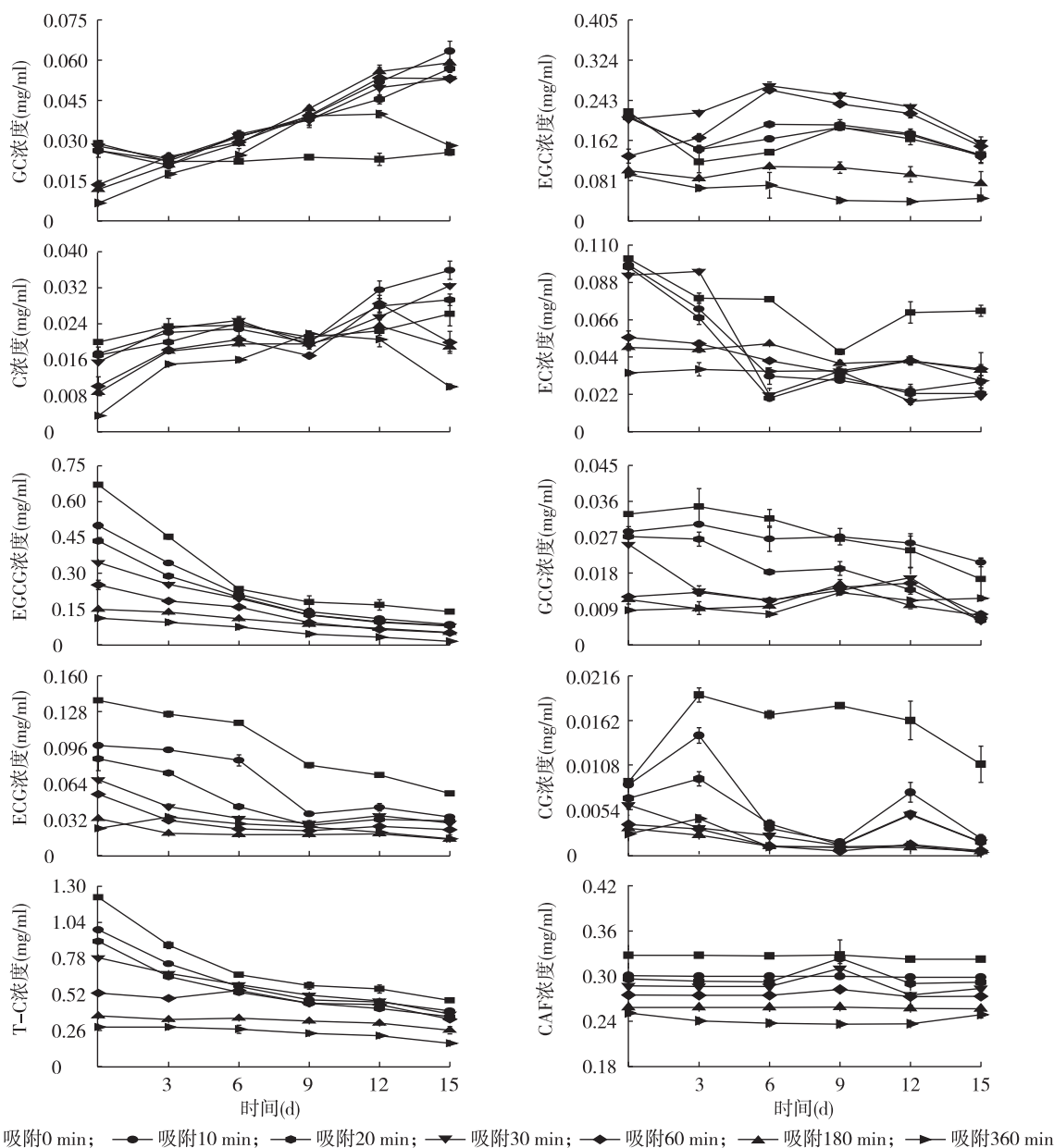


图3 茶渣吸附后茶汤贮藏过程中儿茶素类和咖啡因浓度动态变化

Fig.3 Dynamic changes of catechins and caffeine concentration of tea infusion adsorbed by tea waste during storage

3 讨论

使用茶渣、木质纤维素、PVPP 吸附茶汤的试验结果表明, PVPP 吸附处理对茶汤的外观有非常明显的改善作用, 但处理后茶汤中儿茶素保留较少; 相对于 PVPP 处理, 使用茶渣吸附可以在保留更多儿茶素的情况下有效改善茶汤外观; 木质纤维素吸附虽然对茶汤外观的改善效果较弱, 但能保留较多的儿茶素。然而, 木质纤维素再生效率低, 且其前处理

需要强酸、强碱参与, 与茶渣相比安全性相对较差, 因此使用茶渣吸附改善茶汤外观的稳定性更具实用意义。

使用茶渣吸附 60 min、贮藏 15 d 的茶汤总儿茶素浓度为对照的 70% 以上, 茶汤明度 (L)、红绿色度 (a)、黄蓝色度 (b) 和色度角 (h°) 变化显著减小, 茶汤透光率在 60% 以上, 茶汤清澈度显著提高。因此, 利用茶渣的吸附性能改善茶汤贮藏期间外观品质是可行的。

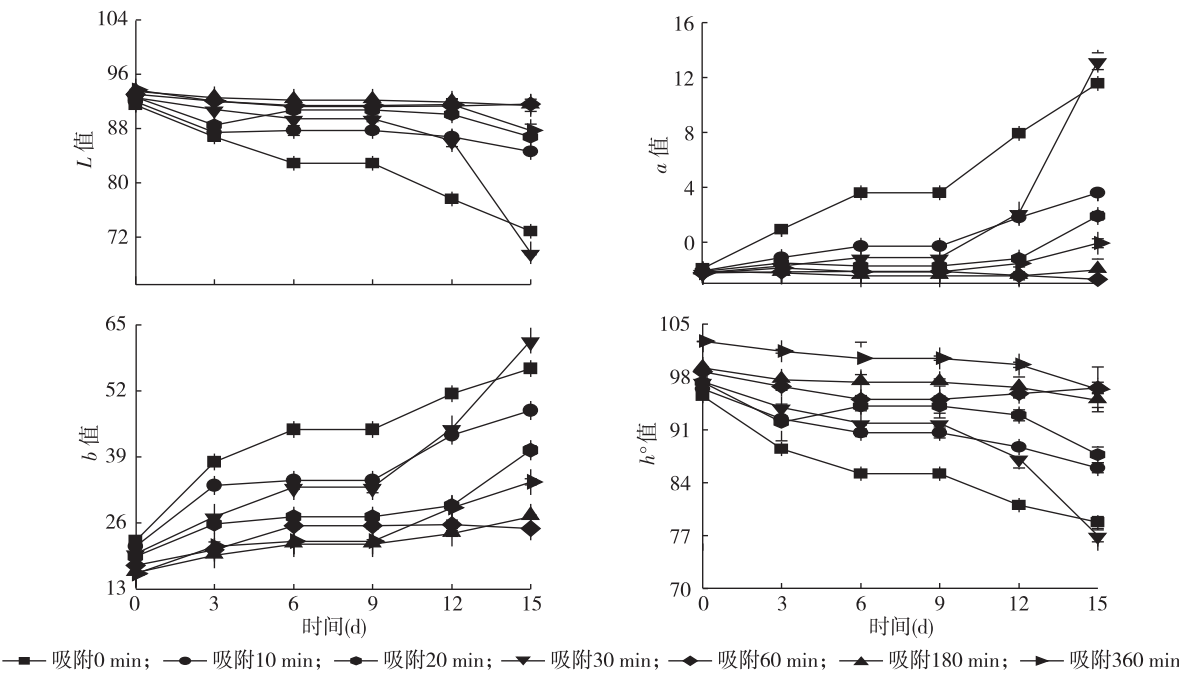


图 4 不同吸附时间处理茶汤色度值动态变化
Fig.4 Dynamic changes of tea infusion chromatic value of tea infusion adsorbed for different time

表 4 茶渣吸附后茶汤贮藏期间透光率变化
Table 4 Changes of light transmittance of tea infusion adsorbed by tea waste during storage

贮藏时间 (d)	透光率 (%)						
	对照	吸附 10 min	吸附 20 min	吸附 30 min	吸附 60 min	吸附 180 min	吸附 360 min
0	88.24AB	88.72AB	88.79A	88.58AB	88.03B	88.31AB	88.72AB
3	70.36D	67.87E	72.78C	71.51D	76.86B	78.28A	78.28A
6	57.85C	55.72C	63.24B	58.46C	76.93A	77.34A	77.86A
9	50.97F	48.50G	61.71D	57.68E	65.07C	71.68B	74.53A
12	43.86D	45.19D	61.49C	42.89D	65.07B	70.66A	73.63A
15	32.48E	42.15D	54.07C	33.67E	61.39B	67.45A	69.29A

同行数值后不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

表 5 茶渣吸附后茶汤贮藏期间氨基酸含量变化
Table 5 Changes of amino acid concentration of tea infusion adsorbed by tea waste during storage

贮藏时间 (d)	氨基酸浓度 (mg/ml)						
	对照	吸附 10 min	吸附 20 min	吸附 30 min	吸附 60 min	吸附 180 min	吸附 360 min
0	0.40C	0.38C	0.42A	0.39BC	0.44A	0.42A	0.40B
3	0.42A	0.39AB	0.42A	0.38BC	0.35CD	0.36BCD	0.34D
6	0.50A	0.40B	0.42B	0.37C	0.36C	0.35CD	0.33D
9	0.49A	0.39C	0.41BC	0.40BC	0.42C	0.40BC	0.38C
12	0.37A	0.31C	0.39A	0.32BC	0.33B	0.31BC	0.32BC
15	0.30BC	0.32BC	0.38A	0.29BC	0.30BC	0.29C	0.33B

同行数值后不同大写字母表示在 0.01 水平上差异显著。

参考文献:

- [1] 梁月荣, 陆建良, 马 辉. 罐装绿茶饮料防褐变研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1999, 25(3): 260-262.
- [2] 步 城, 朱 旗, 黄 静. 绿茶中脂溶性色素研究进展[J]. 茶叶通讯, 2006, 33(2): 21-24.
- [3] 吴雅红. 绿茶饮料褐变与沉淀生成及其控制研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2005.
- [4] 李 钊. 绿茶茶汤色泽变化的机理研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2010.
- [5] YE Q, CHEN H, ZHANG L B, et al. Effects of temperature, illumination, and sodium ascorbate on browning of green tea infusion [J]. Food Science and Biotechnology, 2009, 18(4): 932-938.
- [6] 许勇泉, 尹军峰. 绿茶茶汤冷后浑特性研究[J]. 茶叶科学, 2010(1): 527-532.
- [7] SESHADRI R, DHANARAJ N. New hydrophobic lipid interactions in tea cream[J]. SciFood Agric, 1988, 45: 79-86.
- [8] 方元超. 汤沉淀机理的研究(续)[J]. 茶叶通讯, 2000(3): 17-19.
- [9] 赵育漳. 包种茶汤之茶乳形成及其对膜浓缩加工之影响[D]. 台北: 台湾大学, 1994.
- [10] PANNEERSELVAM P, MORAD N, TAN K A. Magnetic nanoparticle (Fe_3O_4) impregnated onto tea waste for the removal of nickel (II) from aqueous solution[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011, 186(1): 160-168.
- [11] KHAJEH M, BARKHORDAR A. Modelling of solid-phase tea waste extraction for the removal of manganese from food samples by using artificial neural network approach [J]. Food Chemistry, 2013, 141(2): 712-717.
- [12] 胡书琴, 汤一, 刘 莉. 茶渣对儿茶素的选择吸附性能研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(7): 213-227.
- [13] 李云飞, 戴前颖, 夏 涛. 添加 PVPP 对绿茶汤色的影响及作用机理的研究[J]. 食品工业科技, 2012, 33(22): 127-132.
- [14] 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.
- [15] 叶俭慧, 金 晶, 梁慧玲, 等. 茶梗木质纤维素对儿茶素类吸附动力学研究[J]. 茶叶科学, 2008, 28(5): 313-318.
- [16] 陆建良. 茶汤蛋白对茶饮料冷后浑形成的影响[D]. 杭州: 浙江大学, 2008.

(责任编辑: 张震林)