

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.06.028

不同类型江西名茶儿茶素含量及体外 抗氧化能力比较

Comparative study on the catechin content and antioxidant
capacity of different types of tea in Jiangxi

王学渊^{1,2} 刘静宜³ 洪艳平^{1,2} 李雨薇^{1,2}

WANG Xue-yuan^{1,2} LIU Jing-yi³ HONG Yan-ping^{1,2} LI Yu-wei^{1,2}

柯法钧^{1,2} 陈薪竹^{1,2} 杨武英^{1,2}

KE Fa-jun^{1,2} CHEN Xin-zhu^{1,2} YANG Wu-ying^{1,2}

(1. 江西农业大学食品科学与工程学院, 江西 南昌 330045; 2. 江西省天然产物与功能食品
重点实验室, 江西 南昌 330045; 3. 华南农业大学食品学院, 广东 广州 510642)

(1. College of Food Science and Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang, Jiangxi 330045,
China; 2. Jiangxi Key Laboratory of Natural Product and Functional Food, Nanchang, Jiangxi 330045,
China; 3. College of Food Science, South China Agricultural University, Guangzhou, Guangdong 510642, China)

摘要:采用高效液相色谱法测定江西 11 种名茶中的 5 种儿茶素(儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素、表没食子儿茶素没食子酸酯、儿茶素没食子酸酯)含量,并通过测定茶叶样品的 DPPH 自由基清除能力、铁还原抗氧化能力、ABTS⁺ 自由基清除能力和总还原能力 4 项体外抗氧化指标,比较 11 种江西名茶的抗氧化能力。研究表明:上述茶叶中 5 种儿茶素含量有较大差异,总儿茶素含量大部分差异不显著,绿茶和白茶总儿茶素和各种儿茶素含量总体比红茶高;各种类型茶叶均表现出明显的抗氧化能力,总体趋势也是绿茶和白茶强于红茶。从抗氧化、防衰老的角度来说,推荐消费者优先选择井冈山翠绿、浮瑶仙芝等绿茶,资溪白茶、靖安白茶等白茶。

关键词:江西名茶;儿茶素含量;高效液相色谱法;抗氧化能力

Abstract: The content of five kinds of catechins in eleven types of famous teas in Jiangxi, including Catechin, L-Epicatechin, (-)-epigallocatechin, Epigallocatechin gallate and (-)-Epicatechin gallate, was determined by high performance liquid chromatography. Moreover, the antioxidant capacities among the eleven types of tea were compared by measuring *in vitro* antioxidant indexes, i.e.

基金项目:国家自然科学基金地区基金项目(编号:31660486)

作者简介:王学渊,男,江西农业大学在读硕士研究生。

通信作者:杨武英(1971—),女,江西农业大学副教授,博士。

E-mail: yangwuyi2003@163.com

收稿日期:2019-01-05

the free radical scavenging ability of DPPH, ABTS⁺, ferric reducing antioxidant power, and the total reduction ability. The results showed that the content of the five kinds of catechin in the tea was different, the content of total catechin did not differ significantly, and the contents of the total and different kind of catechin in green tea and white tea were higher than those in black tea. All types of tea showed obvious antioxidant capacity, but stronger antioxidant capacities in green tea and white tea were detected than that in black tea. For the antioxidant and anti-aging purpose, Jinggang and other kinds of green tea as well as Zixi and Jingan white tea were suggested.

Keywords: high performance liquid chromatography; famous teas in Jiangxi province; catechin content; antioxidant ability

中国江西气候温和、雨水充沛,拥有适宜的茶叶生长自然条件,产出的茶叶品质优良,其中庐山云雾、遂川狗牯脑、井冈翠绿、上饶白眉、修水宁红、靖安白茶等均为江西名茶的代表^[1]。研究表明茶叶具有良好的抗氧化能力^[2-3],能有效清除自由基并抑制机体自由基损伤^[4-5],具有抗癌^[6]、抗辐射^[7-8]、防治疾病^[9]和延缓衰老^[10]等功能。茶多酚是茶叶中的主要抗氧化物质,其含量达茶叶干重的 18%~36%^[11]。茶多酚主要包括儿茶素^[12]、茶黄素^[13]、没食子酸^[14-15]和黄酮等^[16],而其中儿茶素占比最大。目前尚未见对江西众多茶叶中的儿茶素及其抗氧化能力进行分析的研究。本研究拟选取江西 11 种名茶作

为研究对象,采用高效液相色谱法(High Performance Liquid Chromatography, HPLC)分别对其总儿茶素、儿茶素(C)、表儿茶素(EC)、表没食子儿茶素(EGC)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)和儿茶素没食子酸酯(ECG)进行测定和比较,并采用 DPPH 自由基清除能力、铁还原抗氧化能力、ABTS⁺ 自由基清除能力、总还原能力 4 项指标对样品的体外抗氧化能力进行测定和比较,旨在了解各种江西名茶中的儿茶素含量差异以及体外抗氧化能力差异,为消费者选择适合的茶叶以及江西茶叶的种植和加工提供理论指导。

1 材料与方 法

1.1 材料与试剂

绿茶、红茶、白茶 3 种类型共 11 种江西名茶茶叶样品:江西省南昌市鹿鼎国际茶叶城;

1,1-二苯基苦基苯肼(DPPH):纯度 $\geq 97\%$,东京化成工业株式会社;

乙二胺四乙酸二钠盐(EDTA、抗坏血酸、乙酸:色谱纯,西陇化工股份有限公司;

2,4,6-三吡啶基-S-三嗪(TPTZ):纯度 99%,金克隆生物技术有限公司;

2'-联氨-双-3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸(ABTS):纯度 98%,金克隆生物技术有限公司;

水溶性维生素 E 标准品(Trolox)、儿茶素标准品(C)、表儿茶素标准品(EC)、表没食子儿茶素标准品(EGC)、表没食子儿茶素没食子酸酯标准品(EGCG)、儿茶素没食子酸酯标准品(ECG):纯度 $\geq 98\%$,金克隆生物技术有限公司;

乙腈、甲醇:色谱纯,美国天地有限公司;

超纯水:实验室 MILLIPORE 超纯水机制备。

1.2 仪器与设备

高速多功能粉碎机:XY-200 型,星宇仪器有限公司;

高速冷冻离心机:HC-2518R 型,杭州华创科学器材有限公司;

可见分光光度计:723N 型,上海光学仪器一厂;

高效液相色谱仪:Waters e2695 型,美国 Waters 公司;

循环水真空泵:SHB-III 型,河南省予华仪器有限公司;

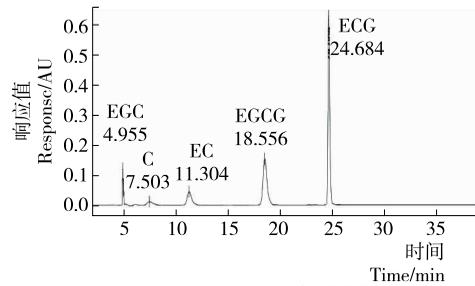
数显恒温水浴锅:HH-4 型,常州亿通分析仪器制造有限公司。

1.3 试验方法

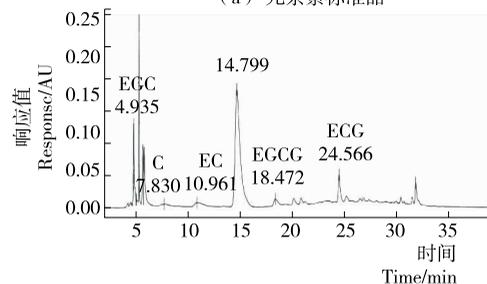
1.3.1 儿茶素含量的测定 参照 GB/T 8313—2008 采用高效液相色谱法对 11 种茶叶中的 5 种儿茶素含量进行测定。

(1) 色谱条件:色谱柱为 Waters Spherisorb C₁₈ 柱

(250 mm \times 4.6 mm, 5 μ m);柱温 35 $^{\circ}$ C;流速 0.9 mL/min;紫外检测器波长 $\lambda=278$ nm;进样量 10 μ L;梯度洗脱程序为:100% A 相(90 mL 乙腈+20 mL 乙酸+2 mL 10 mg/mL EDTA 溶液,用超纯水定容至 1 L,摇匀,过 0.45 μ m 膜)保持 10 min \rightarrow 15 min 内由 100% A 相变化至 68% A、32% B 相(800 mL 乙腈+20 mL 乙酸+10 mg/mL EDTA 溶液 2 mL,用超纯水定容至 1 L,摇匀,过 0.45 μ m 膜) \rightarrow 68% A 相、32% B 相保持 10 min \rightarrow 100% A 相。色谱图见图 1。



(a) 儿茶素标准品



(b) 茶叶样品

图 1 儿茶素标准溶液和茶叶样品溶液的色谱图

Figure 1 Chromatogram of catechin standard solution and Chromatogram of tea sample solution

(2) 标准曲线的制备:用稳定溶液(25 mL 10 mg/mL EDTA 溶液+25 mL 10 mg/mL 抗坏血酸溶液+50 mL 乙腈,用超纯水定容至 500 mL,摇匀)将 EGC、C、EC、EGCG、ECG 配置为不同浓度的系列混合标准溶液,进行 HPLC 检测,以峰面积为纵坐标,儿茶素标准溶液浓度为横坐标绘制标准曲线,计算回归方程。

(3) 精密度的试验:分别取 5 个不同浓度梯度的儿茶素标准溶液,在上述色谱的工作条件下,进行 HPLC 检测,每个浓度 6 次平行,对结果进行批次内差异分析,计算精密密度。

(4) 江西名茶样品中儿茶素含量的测定:准确称取 11 种干燥粉碎过筛的江西名茶样品各 0.2 g 于 10 mL 离心管中,加入预热到 70 $^{\circ}$ C 的 70% 甲醇溶液 5 mL,充分搅拌均匀,立刻转移到 90 $^{\circ}$ C 的水浴中,提取 10 min,提取结束后冷却到室温,离心 10 min(3 500 r/min),将上清液转移至 10 mL 容量瓶中,残渣重复提取离心 1 次,2 次上清液合并定容至同一容量瓶中。用移液管移取 2 mL 提取

液至 10 mL 容量瓶中,用稳定溶液定容,摇匀,过 0.45 μm 滤膜。进样 10 μL ,对 11 种江西名茶中 5 种儿茶素的含量进行 HPLC 测定。

(5) 加标回收试验:准确称取 6 份同种茶叶样品 0.2 g 于 10 mL 离心管中,其中 2 份做对照(即不加标准品),其他 4 份分为 2 组,每组加入不同水平的 5 种儿茶素标准品,每种水平 2 个平行样。第 1 组(水平 1)EGC、C、EC、EGCG、ECG 5 种儿茶素标准品的加入质量分别为 24.99, 12.50, 25.38, 64.64, 60.89 mg;第 2 组(水平 2)的加入质量分别为 10.00, 5.00, 9.63, 5.43, 9.10 mg。样品处理步骤同 1.3.1(4)。按照上述 1.3.1(1)高效液相色谱工作条件,每次进样 10 μL ,测定加标和未加标茶叶样品中 5 种儿茶素的含量。按式(1)计算加标回收率。

$$A = \frac{A_1 - A_0}{B} \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

A——加标回收率, %;

A_0 ——未加标样测定值, mg/g;

A_1 ——加标样测定值, mg/g;

B——加标量, mg/g。

1.3.2 体外抗氧化能力的测定

(1) 茶叶提取液的制备:准确称取各种茶叶各 0.400 0 g,置于小烧杯中,加入 100 $^{\circ}\text{C}$ 蒸馏水 50 mL,浸泡 15 min,过滤;滤渣再用相同方法浸泡过滤,2 次滤液合并于 100 mL 容量瓶,用蒸馏水定容,得到茶叶提取液,待进一步稀释。注意避光保存。

(2) 清除 DPPH 自由基能力:根据文献[17]在 3 只试管中分别加入 2 mL DPPH 液+2 mL 蒸馏水(S_0)、2 mL DPPH 液+2 mL 不同浓度的 Trolox 标准溶液(S_1)、2 mL 无水乙醇+2 mL 不同浓度的 Trolox 标准溶液(S_2),混匀,室温下置于暗处反应 30 min,在 517 nm 处测定 3 组溶液的吸光度(A_0 、 A_1 、 A_2)。平行测定 3 次,结果取其平均值。以 DPPH 自由基清除率为纵坐标, Trolox 浓度为横坐标,绘制标准曲线并计算回归方程。将 1.3.2(1)中的茶叶提取液稀释 100 倍,代替标准品按上述相同步骤进行吸光度测定并按式(2)计算清除率。

$$DPPH = \left(1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}\right) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

DPPH——自由基清除率, %;

A_0 ——空白对照吸光度;

A_1 ——样品溶液的吸光度;

A_2 ——抗氧化剂本底吸光度。

(3) 铁还原抗氧化能力:根据文献[18—19]取 0.1 mL 不同浓度的 FeSO_4 工作液于试管,加入 1.0 mL 新鲜配制的 FRAP 试剂(由 0.3 mol/L 醋酸盐缓冲液, 10 mmol/L TPTZ 溶液, 20 mmol/L FeCl_3 溶液按体积比 10 : 1 : 1 组

成),混匀后在 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴下反应 40 min,待冷却到室温后,测定波长 593 nm 处的吸光度。平行测定 3 次,结果取其平均值。以摩尔浓度为横坐标,吸光值为纵坐标,绘制硫酸亚铁抗氧化能力标准曲线。将 1.3.2(1)中的茶叶提取液稀释 100 倍,代替标准品按上述相同步骤进行铁还原抗氧化能力的测定。

(4) 清除 ABTS⁺ 自由基能力:根据文献[20—21]取 0.1 mL 不同浓度的 Trolox 标准溶液于试管,加入 3.9 mL ABTS⁺ 反应试剂,震荡 10 s 以充分混匀,室温静置 6 min,立刻测 734 nm 处的吸光值。再以 0.1 mL 蒸馏水+3.9 mL ABTS⁺ 反应试剂作为空白对照组,在 734 nm 波长处测定吸光度 A_0 。平行测定 3 次,结果取其平均值。以 ABTS⁺ 自由基清除率为纵坐标,以 Trolox 浓度为横坐标绘制标准曲线并计算回归方程。将 1.3.2(1)中的茶叶提取液稀释 10 倍,代替标准品按上述相同步骤测定吸光度 A_1 并按式(3)计算其清除率。

$$ABTS^+ = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%, \quad (3)$$

式中:

ABTS⁺——自由基清除率, %;

A_0 ——空白对照组吸光度;

A_1 ——样品溶液吸光度。

(5) 铁氰化钾还原能力:根据文献[21]取 2 mL 稀释 10 倍的茶叶提取液于试管,加入磷酸缓冲液(pH=6.6)和 1% 铁氰化钾溶液各 2 mL,混匀,置于 50 $^{\circ}\text{C}$ 水浴中 20 min,迅速冷却后,加入 10% 三氯乙酸溶液 2 mL。混合后,利用高速冷冻离心机以 3 000 r/min 离心 10 min,取 2 mL 上清液,再加入蒸馏水 2 mL 和 0.1% FeCl_3 溶液 0.5 mL,静置 10 min,用蒸馏水为空白,测定波长 700 nm 处的吸光度。平行测定 3 次,结果取其平均值。

1.3.3 11 种江西名茶儿茶素含量及体外抗氧化能力比较分析 采用 Microsoft Excel 2003 软件进行试验数据处理,采用 SPSS Statistics 19.0 软件对不同类型江西名茶儿茶素含量及体外抗氧化能力进行差异显著性比较分析,以 $P < 0.05$ 为显著性差异水平,以 $P < 0.01$ 为极显著性差异水平。

2 结果与分析

2.1 11 种江西名茶儿茶素含量比较分析

2.1.1 标准曲线的制备 各种儿茶素的标准曲线回归方程和相关系数如表 1 所示,由标准曲线的相关系数 R^2 值可知 5 种儿茶素的标准曲线线性关系都良好,符合要求。

2.1.2 精密度试验结果 由表 2 可知,5 种儿茶素精密密度试验的 RSD 在 0.11%~2.70%,均符合要求。

2.1.3 加标回收试验 由表 3 可知,5 种儿茶素的 2 个不同添加水平的加标回收率在 66.24%~123.20%,说明建立的方法符合要求。

2.1.4 11种江西名茶中儿茶素含量的测定和比较分析

采用本试验建立的高效液相色谱法对11种江西名茶中儿茶素的含量进行测定,测定结果见表4。由表4可知,11种茶叶中EGC含量婺源毛尖、庐山云雾、井岗翠绿、靖安白茶和资溪白茶与其他6种茶叶相比差异极显著($P < 0.01$),婺源毛尖、庐山云雾和资溪白茶之间差异不显著,井岗翠绿和靖安白茶跟婺源毛尖、庐山云雾、资溪白茶之间差异极显著($P < 0.01$),修水宁红、武夷红茶、祁红茶、浮红茶、遂川狗牯脑、浮瑶仙芝之间差异不显著;C含量靖安白茶与其他10种茶叶比较差异极显著($P < 0.01$),其他10种茶叶中,井岗翠绿相较修水宁红、武夷红茶、祁红茶、浮红茶、遂川狗牯脑差异显著($P < 0.05$),有

的差异不显著;EC含量靖安白茶和祁红茶与其他9种茶叶差异极显著($P < 0.01$),其他9种茶叶中,浮红茶相较修水宁红、浮瑶仙芝、婺源毛尖、庐山云雾和井岗翠绿差异显著($P < 0.05$),有的差异不显著;EGCG含量靖安白茶和庐山云雾与其他9种茶叶相比差异极显著($P < 0.01$),其他9种茶叶相比有的差异显著($P < 0.05$)有的差异不显著;ECG含量靖安白茶、井岗翠绿和婺源毛尖与其他8种茶叶相比差异极显著($P < 0.01$),靖安白茶跟井岗翠绿和婺源毛尖相比差异极显著($P < 0.01$),井岗翠绿和婺源毛尖差异不显著,其他8种茶叶中,庐山云雾与4种红茶相比差异显著($P < 0.05$)有的差异不显著;总儿茶素含量靖安白茶与其他10种茶叶差异显著($P < 0.05$),除靖安白茶

表1 5种儿茶素含量的标准曲线方程及相关系数

Table 1 The calibration curve equation and correlation coefficient of five catechins

儿茶素种类	标准曲线浓度/(mg · mL ⁻¹)	线性回归方程	相关系数(R ²)
EGC	0.53,0.95,1.58,2.20,4.40	y=1 514 338x-210 477	0.999 7
EC	0.36,0.88,1.76,2.64,5.50	y=4 205 892x-259 330	0.997 5
C	0.21,0.51,1.02,1.54,3.20	y=2 729 576x-191 938	0.998 7
EGCG	0.20,0.50,0.99,1.49,3.10	y=21 932 535x-232 673	0.996 0
ECG	0.34,0.83,1.66,3.38,4.21	y=15 966 806x+3 263 548	0.991 2

表2 精密度试验结果

Table 2 The results of precision experiment (n=5)

C		EC		EGC		EGCG		ECG	
浓度/ (mg · mL ⁻¹)	RSD/ %								
0.21	0.13	0.36	0.35	0.53	0.95	0.20	0.36	0.34	1.31
0.51	1.07	0.88	0.47	0.95	1.95	0.50	0.55	0.83	0.87
1.02	1.82	1.76	0.11	1.58	0.21	0.99	0.16	1.66	1.15
1.54	0.71	2.64	0.44	2.20	0.57	1.49	0.30	3.38	2.70
3.20	1.16	5.50	0.34	4.40	0.47	3.10	0.69	4.21	0.24

表3 加标回收试验结果

Table 3 The results of spiked recovery experiment (n=2)

儿茶素种类	水平	添加量/ (mg · g ⁻¹)	未加标样品含量/ (mg · g ⁻¹)	总测定值/ (mg · g ⁻¹)	平均回收率/ %	RSD/ %
EGC	1	24.99	4.56 ± 0.00	25.68 ± 0.02	84.51 ± 0.03	3.57
	2	10.00	4.56 ± 0.00	14.06 ± 0.01	95.02 ± 0.02	2.42
C	1	12.50	9.17 ± 0.00	19.77 ± 0.02	84.79 ± 0.03	4.10
	2	5.00	9.17 ± 0.00	12.48 ± 0.01	66.24 ± 0.01	0.85
EC	1	25.38	4.29 ± 0.00	35.56 ± 0.03	123.20 ± 0.03	4.67
	2	9.63	4.29 ± 0.00	15.61 ± 0.02	117.50 ± 0.02	3.29
EGCG	1	64.64	18.00 ± 0.00	75.24 ± 0.06	87.10 ± 0.06	8.25
	2	5.43	18.00 ± 0.00	22.61 ± 0.08	84.94 ± 0.08	12.06
ECG	1	60.89	2.15 ± 0.02	51.68 ± 0.02	81.35 ± 0.02	2.53
	2	9.10	2.15 ± 0.02	8.57 ± 0.04	70.59 ± 0.04	5.93

表 4 11 种江西名茶中儿茶素含量检测结果[†]

Table 4 The test results of catechins in eleven kinds of jiangxi famous tea (n=2) mg/g

样品	EGC	C	EC	EGCG	ECG	总儿茶素
修水宁红	6.50±0.01 ^{eE}	4.00±0.00 ^{dB}	4.00±0.00 ^{dC}	1.00±0.00 ^{cC}	0.50±0.00 ^{dC}	16.00 ^{bB}
武夷红茶	10.00±0.01 ^{eE}	3.50±0.00 ^{dB}	4.50±0.00 ^{cdBC}	1.00±0.00 ^{cC}	0.50±0.00 ^{dC}	19.50 ^{bB}
祁红茶	14.50±0.04 ^{deDE}	4.50±0.01 ^{dB}	6.00±0.01 ^{bB}	1.00±0.00 ^{cC}	0.50±0.00 ^{dC}	26.50 ^{bB}
浮红茶	12.00±0.00 ^{deE}	4.00±0.00 ^{cdB}	5.50±0.00 ^{bcBC}	1.00±0.00 ^{cC}	7.50±0.00 ^{dC}	30.00 ^{bB}
遂川狗牯脑	3.50±0.00 ^{eE}	5.50±0.00 ^{cdB}	4.00±0.00 ^{cdBC}	16.00±0.01 ^{bcC}	0.50±0.00 ^{cdC}	29.50 ^{bB}
浮瑶仙芝	28.00±0.02 ^{cdCE}	21.00±0.03 ^{bcdB}	4.00±0.00 ^{dC}	16.50±0.01 ^{bcC}	0.50±0.00 ^{cdC}	70.00 ^{bB}
婺源毛尖	37.50±0.05 ^{cC}	17.00±0.01 ^{bcdB}	4.00±0.01 ^{dC}	13.00±0.02 ^{bcBC}	0.50±0.01 ^{bB}	72.00 ^{bB}
庐山云雾	37.00±0.04 ^{cdD}	22.50±0.04 ^{bcB}	4.00±0.00 ^{dC}	20.50±0.01 ^{bB}	0.50±0.00 ^{cdC}	84.50 ^{bB}
井岗翠绿	68.50±0.00 ^{bB}	27.00±0.02 ^{bB}	4.00±0.00 ^{dC}	18.50±0.01 ^{bcC}	0.50±0.00 ^{bB}	117.00 ^{bB}
靖安白茶	109.00±0.47 ^{aA}	88.00±0.21 ^{aA}	9.50±0.16 ^{aA}	99.50±0.30 ^{aA}	0.50±0.07 ^{aA}	306.50 ^{aA}
资溪白茶	36.50±0.01 ^{cC}	19.50±0.03 ^{bcdB}	5.00±0.00 ^{bcdBC}	18.00±0.01 ^{bcC}	0.50±0.00 ^{cdC}	75.00 ^{bB}

† 同列大写字母不同表示差异极显著(P<0.01),小写字母不同表示差异显著(P<0.05)。

外其他 10 种茶叶儿茶素含量差异不显著,可见不同茶叶中各种儿茶素的含量差异不大,绿茶和白茶总儿茶素和各种儿茶素含量总体比红茶高。

2.2 11 种江西名茶体外抗氧化能力比较分析

2.2.1 DPPH 自由基清除能力 将不同种类的茶叶提取液与 DPPH 溶液反应 30 min 后,反应体系颜色变浅,说明茶叶提取液具有清除自由基的能力^[22]。茶叶样品的 DPPH 自由基清除能力 TEAC 值(Trolox equivalent antioxidant capacity)以达到同样清除率所需 Trolox 的浓度(mg/L)来表示,TEAC 值越大,则对 DPPH 自由基清除能力越强。如图 2 所示,各种茶叶样品的 TEAC 值依次为修水宁红<浮红茶<祁红茶<武夷红茶<狗牯脑<庐山云雾<靖安白茶<资溪白茶<婺源毛尖<浮瑶仙芝<井岗翠绿;3 种类型的茶叶 DPPH 自由基清除能力总体呈现出红茶<白茶和绿茶的趋势。不同类型茶叶的 DPPH 自由基清除能力有显著差异(P<0.01 或 P<

0.05);同种类型茶叶中,修水宁红与其他红茶相较 DPPH 自由基清除能力有显著性差异(P<0.01),2 种白茶之间的 DPPH 自由基清除能力差异显著(P<0.01),4 种绿茶中婺源毛尖和浮瑶仙芝与其他 3 种茶的 DPPH 自由基清除能力也有显著差异性(P<0.01),而有的差异不显著。

2.2.2 FRAP 铁还原抗氧化能力 将不同种类的茶叶提取液与 FRAP 试剂反应后,反应体系变蓝紫色,说明茶叶具有还原 Fe³⁺ 的能力。茶叶样品的 FRAP 值以达到同样吸光度所需 FeSO₄ 的浓度(mol/L)来表示,FRAP 值越大,则铁还原抗氧化能力越强。如图 4 所示,各种茶叶样品的 FRAP 值依次为修水宁红<武夷红茶<浮红茶<祁红茶<狗牯脑<资溪白茶<庐山云雾<浮瑶仙芝<婺源毛尖<靖安白茶<井岗翠绿;3 种类型的茶叶铁还原氧化能力总体呈现出红茶<白茶和绿茶的趋势。3 种类型的茶叶铁还原氧化能力总体呈现出红茶<白茶和绿茶的趋势;不同类型茶叶的铁还原氧化能力有显著性差异(P<0.01);同种类型茶叶中,4 种红茶间的铁还原氧化能力有

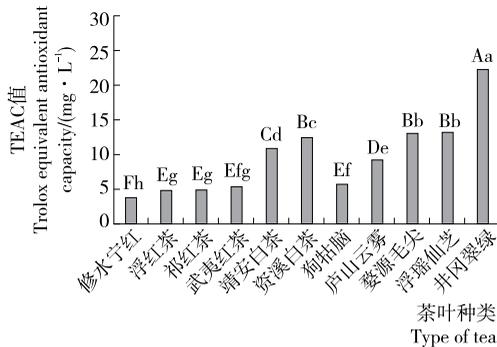


图 2 不同茶叶清除 DPPH 自由基能力的比较

Figure 2 Comparison of scavenging DPPH free radical ability of different tea leaves (n=3)

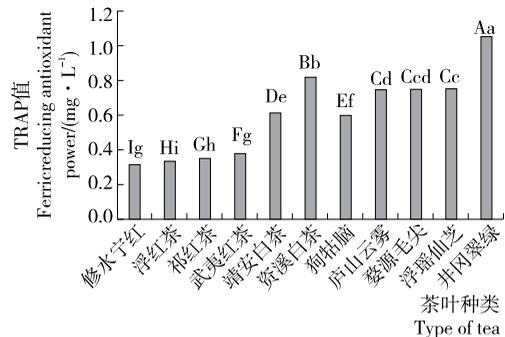


图 3 不同茶叶 FRAP 值的比较

Figure 3 Comparison of FRAP values of different teas (n=3)

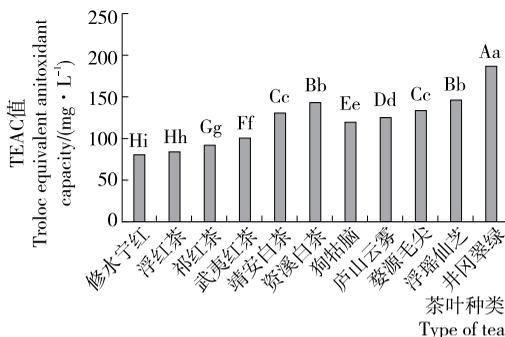
显著性差异($P < 0.01$), 2种白茶间差异显著($P < 0.01$), 5种绿茶中狗牯脑和井岗翠绿与其他3种绿茶的铁还原氧化能力差异也具显著性, 有的差异不显著。

2.2.3 ABTS⁺ 自由基清除能力 不同种类的茶叶提取液与 ABTS⁺ 溶液反应后, 反应体系颜色变浅, 说明茶叶提取液具有清除 ABTS⁺ 自由基的能力。茶叶样品的抗氧化能力 TEAC 值以达到同样清除率所需 Trolox 的浓度(mg/L)来表示, TEAC 值越大, 则对 ABTS⁺ 自由基清除能力越强。如图 6 所示, 各种类型茶叶的 ABTS⁺ 自由基清除能力依次为浮红茶 < 修水宁红 < 祁红茶 < 武夷红茶 < 狗牯脑 < 庐山云雾 < 资溪白茶 < 浮瑶仙芝 < 靖安白茶 < 婺源毛尖 < 井岗翠绿; 3 种类型茶叶的 ABTS⁺ 自由基清除能力总体呈红茶 < 白茶和绿茶的趋势。4 种红茶和 2 种白茶、5 种绿茶相比差异均显著($P < 0.01$), 绿茶和白茶相比, 其中狗牯脑、庐山云雾、婺源毛尖和井岗翠绿 4 种绿茶有显著性差异($P < 0.01$), 有的差异不显著; 同种类型茶叶的铁还原氧化能力均有显著性差异($P < 0.01$)。

2.2.4 总还原能力 总还原能力既是评价物质抗氧化能力的重要指标, 又是解释物质抗氧化活性的一种机理^[23]。不同种类的茶叶提取液反应 10 min 后, 反应体系颜色变深, 说明茶叶提取液有还原能力, 吸光度越大, 则总还原能力越强。如图 7 所示, 各种类型茶叶的总还原能力依次为修水宁红 < 祁红茶 < 武夷红茶 < 浮红茶 < 狗牯脑 < 资溪白茶 < 庐山云雾 < 婺源毛尖 < 浮瑶仙芝 < 靖安白茶 < 井岗翠绿; 3 种类型茶叶的总还原能力总体呈现出红茶 < 白茶和绿茶的趋势。4 种红茶和 5 种绿茶、白茶的总还原能力相比差异显著($P < 0.01$), 绿茶和白茶相比大部分有显著性差异($P < 0.01$), 仅狗牯脑和资溪白茶差异不显著; 同种类型茶叶的总还原能力均有显著性差异($P < 0.01$)。

3 结论

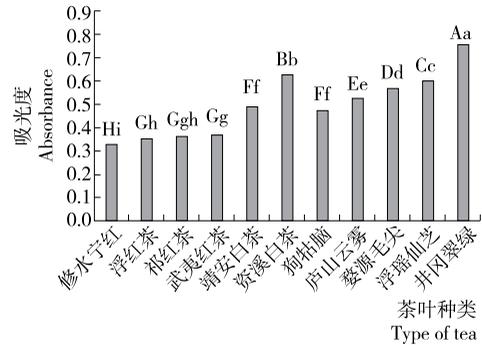
(1) 本试验建立的 5 种儿茶素高效液相色谱测定法



大写字母不同表示差异极显著($P < 0.01$), 小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 4 不同茶叶清除 ABTS⁺ 自由基能力的比较

Figure 4 Comparison of scavenging ABTS free radical ability of different tea leaves ($n = 3$)



大写字母不同表示差异极显著($P < 0.01$), 小写字母不同表示差异显著($P < 0.05$)

图 5 不同茶叶总还原能力的比较

Figure 5 Comparison of total reduction ability of different tea leaves ($n = 3$)

标准曲线的相关系数 R^2 都 > 0.99 , 精密度试验的 RSD 在 0.11% ~ 2.49%, 加标回收率在 66.24% ~ 123.20%, 均符合要求, 对儿茶素测定结果比较分析后发现 11 种江西名茶中总儿茶素含量大部分差异不显著, 只有靖安白茶跟其他 10 种茶叶差异极显著, 各种儿茶素含量有较大差异, 并且绿茶和白茶总儿茶素及各种儿茶素含量总体比红茶高。

(2) 本试验测定了 11 种江西名茶的 DPPH 自由基清除能力、铁还原抗氧化能力、ABTS⁺ 自由基清除能力和总还原能力 4 个体外抗氧化指标并对其进行了比较, 结果表明 3 种类型茶叶的体外抗氧化能力的总体趋势与儿茶素含量的测定结果相近, 仍为绿茶和白茶 $>$ 红茶。可能与各类型茶叶的加工工艺不同有关。

(3) 绿茶加工过程中的杀青步骤, 会使多酚氧化酶和过氧化酶等酶失活, 防止儿茶素等茶多酚的进一步破坏, 使得绿茶的茶多酚含量基本不变^[24]; 白茶的加工工艺也比较简单, 只是微发酵, 其茶多酚含量也没有很大变化; 而红茶的茶多酚在加工过程中发生氧化导致其含量有所下降。故从消费者喝茶抗氧化、防衰老的角度来说, 应优先选择井岗翠绿、浮瑶仙芝等绿茶, 以及资溪白茶、靖安白茶。

参考文献

- [1] 江新风, 李文金, 杨普香. 江西省茶树种质资源研究进展[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2016(5): 29-31.
- [2] 侯冬岩, 回瑞华, 刘晓媛, 等. 绿茶、红茶和乌龙茶抗氧化性能的比较[J]. 食品科学, 2006, 27(3): 90-93.
- [3] KANWAR J, TASKEEN M, MOHAMMAD I, et al. Recent advances on tea polyphenols[J]. Frontiers in Bioscience, 2012, 4(4): 111-131.
- [4] 刘礼军, 杜万红. 茶叶抗衰老机制研究进展[J]. 现代预防医学, 2014, 41(14): 2 537-2 539.
- [5] LETTIERI-BARBATO D, TOMEI F, SANCINIA, et al. Effect of plant foods and beverages on plasma non-enzymatic

- antioxidant capacity in human subjects: A meta-analysis[J]. *British Journal of Nutrition*, 2013, 109(9): 1 544-1 556.
- [6] QI Hui, LI Shi-xue. Dose-response meta-analysis on coffee, tea and caffeine consumption with risk of Parkinson's disease[J]. *Geriatrics & Gerontology International*, 2014, 14(2): 430-439.
- [7] 张晨, 王子硕, 吴荣琳, 等. 红茶浸出物抑制人舌鳞状细胞癌细胞增殖活力的实验研究[J]. *安徽医学*, 2013, 34(7): 861-864.
- [8] 洪乐乐, 陈宇宏, 李勤, 等. PM 2.5 致肺损伤及茶叶对肺部疾病防治作用的研究进展[J]. *茶叶通讯*, 2016, 43(2): 8-12, 65.
- [9] 林勇, 刘仲华, 马蕊. 茶叶中表没食子儿茶素没食子酸酯抑制中波紫外线诱导 HaCaT 细胞氧化损伤研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2015, 6(4): 1 224-1 228.
- [10] 马蕊, 刘仲华, 黄建安, 等. 绿茶和红茶提取物抑制中波紫外线诱导 HaCaT 细胞氧化损伤和凋亡的比较[J]. *湖南农业大学学报: 自然科学版*, 2013, 39(4): 377-381.
- [11] 邬新荣, 王岳飞, 张士康, 等. 茶多酚保健功能研究进展与保健食品开发[J]. *茶叶科学*, 2010, 30(增刊 1): 501-505.
- [12] 李友勇, 方成刚, 孙雪梅, 等. 滇南古树晒青茶品质化学成分特征研究[J]. *南农业学报*, 2014, 27(5): 1 874-1 883.
- [13] 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.
- [14] 金伟, 陈雪, 易有金, 等. 不同类型茶叶体外抗氧化能力的比较分析[J]. *中国食品学报*, 2014(8): 262-269.
- [15] 陈美丽, 唐德松, 龚淑英, 等. 绿茶滋味品质的定量分析及其相关性评价[J]. *浙江大学学报: 农业与生命科学版*, 2014, 40(6): 670-678.
- [16] 李志强, 葛彦双, 曾春茵, 等. 油茶茶叶多酚的提取及其抗氧化活性研究[J]. *四川大学学报: 自然科学版*, 2014, 51(5): 1 056-1 062.
- [17] WOJDYLO A, OSZMIANSKI J, CZEMERYSR. Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs[J]. *Food Chemistry*, 2007, 105(3): 940-949.
- [18] BENZIE I F, STRAIN J J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay[J]. *Analytical Biochemistry*, 1996, 239(1): 70-76.
- [19] BENZIE I F, SZETO Y T. Total antioxidant capacity of teas by the ferric reducing/antioxidant power assay[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1999, 47(2): 633-636.
- [20] SHEN Yun, JIN Ling, XIAO Peng, et al. Total phenolics flavonoids antioxidant capacity in rice grain and their relations to grain color, size and weight[J]. *Journal of Cereal Science*, 2009, 49(1): 106-111.
- [21] 蔡宁晨, 苏平, 刘晓霞, 等. 紫苏叶花色苷抗氧化作用的研究[J]. *中国食品学报*, 2012, 12(11): 32-36.
- [22] QUE Fei, MAO Lin-chun, PAN Xin. Antioxidant activities of five Chinese rice wines and the involvement of phenolic compounds[J]. *Food Research International*, 2006, 39: 581-587.
- [23] QUE Fei, MAO Lin-chun, FANG Xue-hua, et al. Comparison of hot air-drying and freeze-drying on the physicochemical properties and antioxidant activities of pumpkin (*Cucurbita moschata*, Duch.) flours[J]. *Ecological Indicators*, 2015, 124(4): A685-A685.
- [24] 崔宏春, 余继忠, 张建勇, 等. 加工工艺对绿茶儿茶素组分和茶多酚保留率的影响[J]. *江苏农业科学*, 2014, 42(4): 209-212.
- (上接第 151 页)
- [30] NDIAYE C, XU Shi-ying, WANG Zhang. Steam blanching effect on polyphenoloxidase, peroxidase and color of mango (*Mangifera indica* L.) slices[J]. *Food Chemistry*, 2009, 113(1): 92-95.
- [31] 郎宇曦, 马岩, 李斌, 等. 黄酮类化合物与其他化合物相互作用的研究进展[J]. *食品科学*, 2018(9): 258-264.
- [32] 张霖, 王丰俊, 王建中. 甘薯根颈四种不同预处理方式多糖含量研究[J]. *安徽农业科学*, 2008(15): 6 247-6 248.
- [33] 王振斌, 刘加友, 马海乐, 等. 无花果多糖提取工艺优化及其超声波改性[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(10): 262-269.
- [34] 张杰, 孙源. 超声提取蛹虫草多糖及其抗氧化活性分析[J]. *食品科技*, 2013, 38(5): 203-207.
- [35] 毕金峰, 魏益民. 果蔬变温压差膨化干燥技术研究进展[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(6): 308-312.
- [36] 刘璐, 王桂楨, 乔宇, 等. 烫漂方式对香菇中多糖含量及其抗氧化活性的影响[J]. *食品工业*, 2017, 38(1): 175-178.
- [37] TOMA M, VINATORU M, PANIWNKY L, et al. Investigation of the effects of ultrasound on vegetal tissues during solvent extraction[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2001, 8(2): 137-142.
- [38] CHERIAN B M, LEO A L, SOUZA S F D, et al. Isolation of nanocellulose from pineapple leaf fibres by steam explosion[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2010, 81(3): 720-725.
- [39] BOROWSKI J, NARWOJSZ A, BOROWSKA E J, et al. The effect of thermal processing on sensory properties, texture attributes and pectic changes in broccoli[J]. *Czech Journal of Food Sciences*, 2015, 33(3): 254-260.
- [40] 杨盈, 严宝珍, 聂舟, 等. α -生育酚与自由基 DPPH \cdot 的反应机理研究[J]. *波谱学杂志*, 2008(3): 331-336.
- [41] BENZIE F, STRAIN J. Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration[J]. *Methods in Enzymology*, 1999, 299: 15-27.
- [42] 林恋竹, 赵谋明. 反应时间对 DPPH \cdot 法、ABTS $^{+}$ 法评价抗氧化性结果的影响[J]. *食品科学*, 2010, 31(5): 63-67.
- [43] 倪德江. 乌龙茶多糖的形成特征、结构、降血糖作用及其机理[D]. 武汉: 华中农业大学, 2003: 50-51.
- [44] XIE Fan, ZHANG Wei, LAN Xiao-hong, et al. Effects of high hydrostatic pressure and high pressure homogenization processing on characteristics of potato peel waste pectin[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 196: 474-482.