

DOI: 10.13652/j.issn.1003-5788.2019.09.035

抹茶茶汤感官理化特性、多酚组成及抗氧化活性研究

Study on physicochemical and sensory properties, polyphenolic composition and antioxidant capacity of matcha tea infusion

张祺祺^{1,2}程俊侠³王琦^{1,2}王浩鹏^{1,2}ZHANG Qi-qi^{1,2} CHENG Jun-xia³ WANG Qi^{1,2} WANG Hao-peng^{1,2}杨娜^{1,2}郭俊彤^{1,2}邵红军^{1,2}YANG Na^{1,2} GUO Jun-tong^{1,2} SHAO Hong-jun^{1,2}

(1. 陕西师范大学食品工程与营养科学学院, 陕西 西安 710119; 2. 陕西省绿色食品制造与
安全控制实验室, 陕西 西安 710119; 3. 陕西省环境监测中心站, 陕西 西安 710043)

(1. College of Food Engineering and Nutrition Science, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710119, China; 2. Shaanxi Engineering Laboratory for Food Green Processing and Security Control, Xi'an, Shaanxi 710119, China; 3. Shaanxi Environmental Monitoring Centre, Xi'an, Shaanxi 710043, China)

摘要:研究了两种市售抹茶茶汤理化指标、多酚化学组成及抗氧化活性,并进行感官审评。结果表明:随着冲泡次数的增加,抹茶汤的pH值增加,可滴定酸含量降低,色泽明亮度增加但黄蓝度降低。同时,一泡茶汤较二泡、三泡茶汤具有最优的色香味感官品质。此外,两种抹茶茶汤的总多酚含量、多酚组成及体外抗氧化活性无显著差异,但均随冲泡次数递减;UPLC所分析茶汤中的9种化学物质中含量相对较高的成分依次为表没食子儿茶素没食子酸酯、咖啡因和表没食子儿茶素。

关键词:抹茶;茶汤;多酚;抗氧化活性

Abstract: The physicochemical and sensory properties, polyphenolic composition, and antioxidant capacity of two kinds of matcha tea infusion were investigated in the present study. The results showed that the pH increased slightly, and the titratable acid content decreased dramatically from the first to the third brew. Meanwhile, the infusions of the first brew had optimal color and scent sensory quality compared with those of the second and third brews. Furthermore, the total polyphenol content, polyphenolic composition, and antioxidant capacity of tea

infusions showed no significant difference between the two kinds of matcha tea, but all decreased to some degrees during the three successive extractions. Chemical profiling by UPLC further confirmed nine phytochemicals in these infusions, in which epigallocatechin gallate, caffeine, and epigallocatechin predominated, respectively.

Keywords: matcha tea; tea infusion; polyphenol; antioxidant capacity

抹茶是采摘覆盖遮阴栽培的优质鲜茶叶,经蒸青、烘干和研磨而成的超细绿茶粉末^[1]。相对普通绿茶,栽培期间的遮阴处理有利于茶叶中叶绿素和茶氨酸的积累,改善其风味品质。加之蒸青和低温研磨处理,使得抹茶具有独特的感官品质和营养保健功效^[2]。如 Weiss 等^[3]报道,抹茶中高活性的表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin-3-gallate, EGCG)含量是高品质绿茶的137倍,比文献报道的其他绿茶也高出2~3倍。这与抹茶以鲜嫩叶为加工原料直接相关,鲜嫩茶叶的EGCG含量比老叶的高,经遮阴处理的叶片也比未经遮阴的含有更多的茶多酚^[4]。已有研究^[5-7]表明,抹茶具有改善血液流动、改善心血管疾病、缓解压力、降血糖和降血脂等作用。因此,近年来抹茶在全世界范围内受欢迎的程度和关注度不断上升。

抹茶作为天然食品添加剂广泛应用于冰淇淋、奶茶、面条、饼干和蛋糕等高端食品加工^[8-10],其直接饮品在中

基金项目:中央高校基本科研业务费专项基本项目(编号: GK20102001);陕西省农业科技创新与攻关项目(编号: 2016NY-174)

作者简介:张祺祺,女,陕西师范大学在读硕士研究生。

通信作者:邵红军(1977—),男,陕西师范大学副教授,博士。

E-mail: shaohj@snnu.edu.cn

收稿日期:2019-01-17

国的消费量也逐年增加。与茶叶多次冲泡取茶汤饮用方式不同,抹茶通常用水冲泡之后形成茶汤和茶粉整体摄入,实现了从“饮茶”到“吃茶”的转变。一般认为,抹茶的这种摄入方式可最大化地利用茶叶中的营养物质,包括膳食纤维等大分子和与之结合的多酚等小分子物质,但有关抹茶粉各类物质在加工及摄入后的消化过程中变化研究甚少。就茶多酚而言,研究^[11]表明不同茶叶成品形态及冲泡条件对其生物可及性以及生物利用度有重要的影响,如相同冲泡条件下袋泡茶比散茶叶的茶多酚更易溶出,从而具有更高的生物可及性。但抹茶作为粒径为 10~32 μm 的超微茶粉,其茶多酚的溶出情况和抗氧化活性等尚未明确。

试验拟通过分析抹茶汤 pH 值、可滴定酸、色差、V_c 等理化指标及感官品质,利用 UPLC 分析多酚组成和含量及抗氧化活性,为抹茶营养功能的全面认知和深度开发提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

抹茶:宇治抹茶(YZM)、曹老爷抹茶(CLM)均购于陕西西安华润万家超市,置于密闭容器中并于 4℃避光保存备用;

没食子酸(GA)、没食子儿茶素(GC)、表没食子儿茶素(EGC)、儿茶素(C)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、咖啡因(CAF)、表儿茶素(EC)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)标准品:纯度为 98%,美国 Sigma-Aldrich 公司;

无水乙醇、碳酸钠、氢氧化钠、过硫酸钾、氯化铁:分析纯,国药集团化学试剂有限公司;

福林酚试剂:分析纯,西安晶博生物科技有限公司;

2,2-二苯基-1-苦基肼基(DPPH)、2,2-连氮双-(3-乙基苯并噻唑啉)-6-磺酸(ABTS)、2,4,6-三(2-吡啶基)-s-三嗪(TPTZ)、V_E(Trolox):纯度>98%,上海源叶生物科

技有限公司。

1.2 仪器与设备

电热恒温水浴锅:HH-S6A 型,北京科伟永兴仪器有限公司;

高速离心机:HC-3018 型,安徽中科中佳科学仪器有限公司;

酸度计:PB-10 型,赛多利斯科学仪器(北京)有限公司;

色彩色差计:CM-350D 型,日本 Mionha 公司;

酶标仪:Multiskan GO 型,美国热电(西安)公司;

真空冷冻干燥机:LGJ-18C 型,北京四环科学仪器厂;

高效液相色谱仪:U-3000 型,美国 Thermo Fisher 公司。

1.3 试验方法

1.3.1 样品制备 根据文献[12],修改如下,称取宇治抹茶及曹老爷抹茶各 1.0 g 与 100 mL、80℃蒸馏水混合,水浴保温 30 min 后离心、收集上清液定容至 100 mL。与一泡方法相同,茶渣用 80℃蒸馏水重复浸提两次,从而得到二泡、三泡茶汤,置于 4℃冰箱中保存备用。

1.3.2 理化指标测定

- (1) pH 值:酸度计测定。
- (2) 可滴定酸:氢氧化钠滴定法^[13]。
- (3) 色差:色差仪测定。
- (4) V_c:碘量法^[14]。

1.3.3 感官评分 由 10 名感官品评员组成评价小组,对上述冲泡的抹茶汤进行感官质量评定。品评员培训及实验室要求参照 GB/T 16291.1—2012 和 GB/T 13868—2009 相关要求,抹茶感官审评方法参照 GB/T 23776—2018 并稍作修改。评定项目包括汤色、香气和滋味,满分 100 分,取 10 人评分的平均值作为评分结果,评分标准见表 1。

表 1 抹茶汤的感官评分标准

Table 1 Sensory evaluation criteria of matcha tea infusion

因子	级别	品质特征	分值
汤色(20%)	甲	色彩鲜艳	90~99
	乙	色彩尚鲜艳	80~89
	丙	色彩较差	70~79
香气(40%)	甲	嫩香,嫩栗香,清高,花香	90~99
	乙	清香,尚高,栗香	80~89
	丙	尚纯,熟,老火,青气	70~79
滋味(40%)	甲	鲜醇爽口,醇厚甘爽,醇厚清爽,口感细腻	90~99
	乙	浓厚,尚醇厚,口感较细腻	80~89
	丙	尚醇,浓涩,青涩,有粗糙感	70~79

1.3.4 总多酚含量测定 根据文献[15],略作修改。吸取 50 μL 茶汤与 50 μL 福林酚试剂混合、摇匀,然后再加入 800 μL 蒸馏水,充分摇匀,室温下静置 8 min 后加入 7.5% Na_2CO_3 溶液 800 μL ,摇匀后于室温下避光放置 1 h,然后在 765 nm 下测其吸光度 A ,以没食子酸制作标准曲线并计算样品茶多酚的含量。总多酚含量表示为毫克没食子酸当量每克干重,即 $\text{mg GAE/g} \cdot \text{DW}$ 。

1.3.5 UPLC 分析 色谱柱: C_{18} 柱, 150 mm $\times$ 3 mm, 3 μm ; 流动相 A: 0.1% 甲酸水; 流动相 B: 100% 甲醇; 洗脱程序: 0~2 min, 18% B; 2~5 min, 18%~34% B; 5~8 min, 34%~35% B; 8~16 min, 35%~38% B; 16~17 min, 38%~60% B; 17~22 min, 60% B; 22~24 min, 60%~18% B; 24~26 min, 18% B。流动相流速 1.0 mL/min, 检测波长 280 nm, 柱温 30 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.3.6 抗氧化活性

(1) 清除 DPPH 自由基能力: 参照 Celep 等^[16]的方法, 略作修改。准确吸取 500 μL 浓度为 2×10^{-4} mol/L 的 DPPH 工作液与 100 μL 待测茶汤样品溶液混合摇匀, 室温下避光反应 30 min, 于 517 nm 下测定混合反应液吸光度 A_1 。样品对照组用无水乙醇代替 DPPH 工作液测定其吸光度 A_2 ; 空白组用无水乙醇代替样品液测定吸光度 A_0 , 按式(1)计算 DPPH 自由基清除率。

$$K = (1 - \frac{A_1 - A_2}{A_0}) \times 100\%, \quad (1)$$

式中:

K ——DPPH 自由基清除率, %;

A_1 ——样品吸光度值;

A_2 ——样品对照吸光度值;

A_0 ——空白对照吸光度值。

以不同摩尔浓度 ($2.0 \times 10^{-5} \sim 2.0 \times 10^{-4}$ mol/L) 的 Trolox 清除 DPPH 自由基的能力作标准曲线, 以清除率为纵坐标, Trolox 摩尔浓度为横坐标。根据回归方程计算待测茶汤样品的 Trolox 当量抗氧化能力, 结果表示为微摩尔 Trolox 当量每克干重, 即 $\mu\text{mol TE/g} \cdot \text{DW}$ 。

(2) 清除 ABTS^+ 自由基能力: 根据刘薇等^[17]的方法, 略作修改。取 7 mmol/L ABTS 溶液和 2.45 mmol/L $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 溶液各 5 mL, 混合均匀, 于避光处放置 24 h。使用前用无水乙醇稀释使 A_{734} 为 (0.70 ± 0.20) 即可。然后准确吸取 750 μL ABTS 工作液与 100 μL 待测茶汤样品溶液混合摇匀, 室温下避光反应 6 min 后, 于 734 nm 处测其吸光度 A_1 , 同时用无水乙醇代替样品液作为对照测定其吸光度 A_0 , 按式(2)计算 ABTS^+ 自由基清除率。

$$K = (1 - \frac{A_1}{A_0}) \times 100\%, \quad (2)$$

式中:

K —— ABTS^+ 自由基清除率, %;

A_1 ——样品吸光度值;

A_0 ——空白对照吸光度值。

以不同摩尔浓度 ($4.0 \times 10^{-5} \sim 1.6 \times 10^{-4}$ mol/L) 的 Trolox 清除自由基的能力作标准曲线, 以清除率为纵坐标, Trolox 摩尔浓度为横坐标。根据回归方程计算待测茶汤样品的 Trolox 当量抗氧化能力, 结果表示为微摩尔 Trolox 当量每克干重, 即 $\mu\text{mol TE/g} \cdot \text{DW}$ 。

(3) FRAP 法测定总抗氧化能力: 参考 Zhou 等^[15] 的方法配制 FRAP 工作液, 将 pH 3.6 醋酸缓冲液、20 mmol/L $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 10 mmol/L TPTZ 溶液按比例 (10:1:1) 均匀混合。取 900 μL FRAP 工作液与 100 μL 一系列 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 标准溶液 ($1.0 \times 10^{-4} \sim 6.0 \times 10^{-4}$ mol/L) 或者样品液混合, 摇匀, 37 $^{\circ}\text{C}$ 下孵育 30 min 后, 于 593 nm 下测定吸光度 A , 结果表示为微摩尔 FeSO_4 当量每克干重, 即 $\mu\text{mol FE/g} \cdot \text{DW}$ 。

1.4 统计分析

所有试验重复 3 次, 结果表示为 (平均值 $\pm$ 标准偏差)。使用 SPSS 软件进行分析其差异显著性 ($P < 0.05$)。

2 结果与分析

2.1 抹茶汤 pH、可滴定酸、色差和 V_c 的测定

由表 2 可知:

(1) 两种市售抹茶汤的 pH 值在 $(5.98 \pm 0.01) \sim (6.43 \pm 0.02)$, 与已报道^[18] 绿茶茶汤的 pH 值一致。同时随着冲泡次数的增加, pH 值略有升高, 可能与冲泡过程中茶碱逐渐溶出和可滴定酸的含量逐次降低有关^[19]。

(2) 随着冲泡次数的增加, L 值逐渐增加, 一泡茶汤的明亮度显著低于二泡、三泡茶汤, 二泡和三泡茶汤的明亮度无显著差异, 可能是一泡茶汤水浸出物的茶多酚氧化产物迅速浸出, 增加了茶汤的浊度, 但随着冲泡次数的增加, 茶汤内含物减少, 明亮度增强。 a 值无显著变化, b 值逐渐降低, 即黄度逐渐减弱, 说明茶汤中呈现黄色的儿茶素和黄酮类物质随着冲泡次数增加溶出减少^[20]。

(3) YZM 和 CLM 两种抹茶的一泡茶 V_c 含量分别为 (10.45 ± 0.95) , (13.3 ± 0.95) mg/100 mL, 而二泡、三泡的茶汤中未检测到 V_c 。

2.2 抹茶汤品质感官审评结果分析

由表 3 可知, 3 次冲泡抹茶汤的审评总评分在 72.8~95.2, 两种抹茶一泡茶汤感官评分得分最高, 均在 90 分以上, 其茶汤色彩鲜艳, 香气呈现为嫩香型, 滋味醇厚甘爽, 易被审评人员接受。随着冲泡次数的增加, 茶汤感官评分逐渐降低, 色泽、香气和滋味相应地变差。三泡茶汤评分最低, 具体表现在色泽较差、香气老火、滋味浓涩和有颗粒感。

2.3 抹茶汤总多酚含量

由图 1 可知, 不同冲泡次数的茶汤多酚存在显著差异

表 2 冲泡次数对抹茶汤 pH、色差、可滴定酸和 V_C 的影响[†]

Table 2 Effect of brewing number on pH, chromaticity, titrable acid and V_C of matcha tea infusion

样品	pH	L	a	b	可滴定酸/ (10 ⁻² mmol · mL ⁻¹)	V _C / (10 ⁻² mg · mL ⁻¹)
YZM-1	6.09±0.01 ^c	64.37±0.24 ^b	3.99±0.13 ^b	21.07±0.78 ^a	0.57±0.03 ^a	10.45±0.95
YZM-2	6.26±0.02 ^b	65.01±0.03 ^a	4.36±0.07 ^a	15.36±0.52 ^b	0.09±0.01 ^b	0
YZM-3	6.35±0.05 ^a	65.18±0.05 ^a	4.36±0.07 ^a	14.02±0.09 ^b	0.05±0.00 ^b	0
CLM-1	5.98±0.01 ^c	64.28±0.33 ^b	3.96±0.07 ^a	20.32±2.08 ^a	0.62±0.03 ^a	13.30±0.95
CLM-2	6.16±0.04 ^b	64.78±0.06 ^a	4.11±0.14 ^a	15.95±0.58 ^b	0.13±0.03 ^b	0
CLM-3	6.43±0.02 ^a	64.94±0.02 ^a	4.20±0.08 ^a	14.81±0.07 ^b	0.05±0.00 ^c	0

[†] YZM-1 表示一泡, YZM-2 表示二泡, 以此类推; 同列字母不同表示差异显著 (P<0.05)。

表 3 冲泡次数对抹茶汤感官品质的影响[†]

Table 3 Effect of brewing number on sensory evaluation of matcha tea infusion.

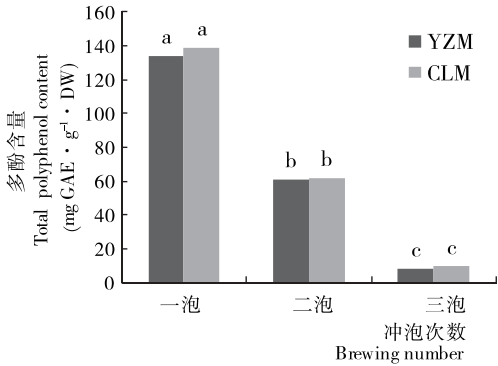
样品	汤色	香气	滋味	总分	排名
YZM-1	97	95	92	94.2	2
YZM-2	84	83	84	83.6	4
YZM-3	74	72	73	72.8	6
CLM-1	98	96	93	95.2	1
CLM-2	88	85	81	84.0	3
CLM-3	75	76	71	73.8	5

[†] YZM-1 表示一泡, YZM-2 表示二泡, 以此类推。

(P<0.05), 一泡茶汤的多酚含量最高, 随着冲泡次数的增加, 茶多酚含量急剧减少, 二泡茶汤中茶多酚含量几乎为一泡的 1/2。说明茶多酚随冲泡次数增加而溶出减少, 与魏雪等^[21]的结果一致。从释放的总多酚来看, YZM 和 CLM 两种抹茶汤含量无显著差异, 分别为 (203.48±5.91), (210.38±1.49) mg GAE/g · DW, 与 Tontul 等^[22]对土耳其绿茶粉总多酚的报道 (214.9~232.4 mg GAE/g · DW) 一致。实际饮用过程中抹茶通常通过 1 次冲泡后茶汤和茶粉整体摄入, 而试验发现 1 次冲泡多酚含量约占 3 次冲泡抹茶茶汤总多酚含量的 66%。说明有相当比例的茶多酚仍存在于抹茶粉中, 可能与茶粉基质中难溶的多糖和蛋白质等大分子一同进入机体, 其在消化过程中的释放情况有待进一步研究。

2.4 抹茶汤多酚化学组成

由图 2 可知, 两种抹茶汤的化学轮廓相似, 8 种儿茶素成分和咖啡因均有检出。总体上看, CAF、EGCG、EGC、EC 和 ECG 为茶汤中含量相对较高的 5 种化合物。其中 YZM 和 CLM 两种抹茶茶汤 3 次提取的 EGCG 总含量分别为 (14.84±0.61), (30.44±1.24) mg/g · DW, 与 Weiss 等^[3]结果相比, 其 EGCG 含量比绿茶含量 [(0.42±0.05) mg/g · DW] 高, 但比甲醇提取的抹茶汤含量 (57.4 mg/g · DW) 低, 可能与所用提取溶剂等条件不同



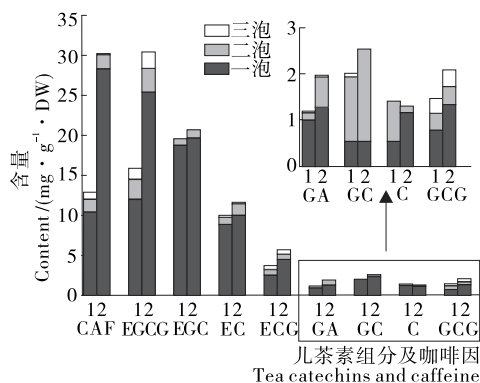
字母不同表示差异显著 (P<0.05)

图 1 冲泡次数对抹茶汤多酚含量的影响

Figure 1 Effect of brewing number on ployphenol content of matcha tea infusion

有关。此外, 抹茶茶汤中 CAF 含量也比一般绿茶含量高^[2], 而 GA、GC、C 和 GCG 含量相对较少, 其范围在 1~3 mg/g · DW。

由图 2 还可知, 9 种有效物质的含量在 3 次冲泡茶汤中逐次降低。林春芳等^[20]进行了白茶中酚类成分的提取动力学分析, 结果显示在某一特定温度下, 提取时间对酚类成分的释放有显著影响, 各物质的提取速率在前 50 min 明显较快。而试验中, 3 次冲泡茶汤各物质差异较大。以 CLM 为例, 一泡 30 min 冲泡茶汤中, 9 种有效成分全部检出, 其含量顺序为: CAF>EGCG>EGC>EC>ECG>GC>GCG>GA>C, 其中 CAF 含量高达 (28.34±1.03) mg/g · DW; 二泡茶汤中 9 种有效成分虽均被检测到, 但各物质的含量显著低于一泡茶汤 (P<0.05), 其中 GC 含量由 (2.40±0.10) mg/g · DW 减至 (0.17±0.02) mg/g · DW, EGC 含量由 (19.61±1.05) mg/g · DW 减至 (1.11±0.02) mg/g · DW, C 含量则由 (1.17±0.05) mg/g · DW 锐减至 (0.15±0.02) mg/g · DW; 随后在三泡茶汤中, GC、EGC 和 C 均未检出, 其他物质含量也低于二泡茶汤。YZM 和 CLM 两种抹茶茶汤 3 次冲泡



1. YZM 2. CLM

图2 抹茶汤中酚类化合物和咖啡因含量

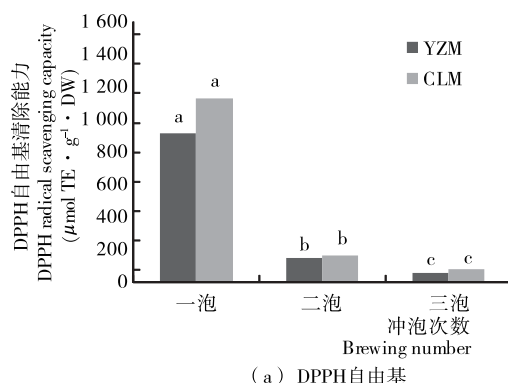
Figure 2 The polyphenolic composition and caffeine content of matcha tea infusion.

释放总酚类化合物含量分别为 68.10, 106.60 mg/g · DW, 稍低于 Yang 等^[23]报道的不同粒径范围绿茶粉的总儿茶素含量 $[(156.39 \pm 2.90) \sim (162.57 \pm 1.17) \text{ mg/g} \cdot \text{DW}]$, 而高于 Zaiter 等^[24]报道的绿茶粉的总儿茶素含量 $(20.0 \sim 33.5 \text{ mg/g} \cdot \text{DW})$, 可能与不同研究中所采用的方法和原料差异有关。

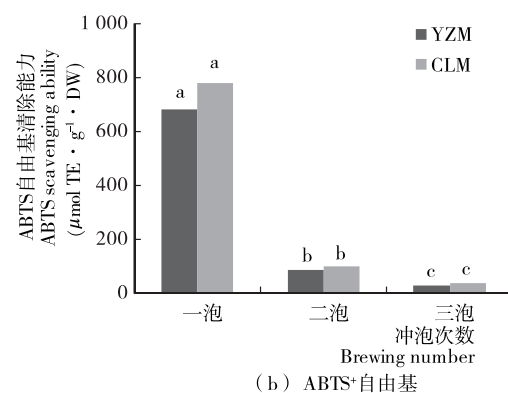
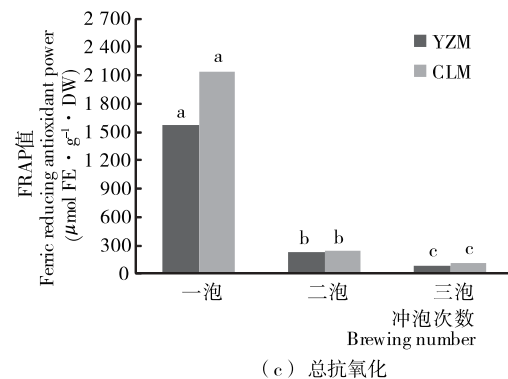
2.5 抹茶汤抗氧化活性测定

以 YZM 和 CLM 两种抹茶的 3 次冲泡茶汤为样品, 分别测定 DPPH 自由基、ABTS⁺ 自由基的清除效果和 FRAP 法测定总抗氧化能力, 综合评价体外抗氧化活性, 结果如图 3 所示。

由图 3(a) 可知, YZM 和 CLM 两种抹茶一泡茶汤对 DPPH 自由基清除能力较高, 分别为 (915.65 ± 11.03) , $(1128.45 \pm 115.96) \mu\text{mol TE/g} \cdot \text{DW}$, 说明抹茶茶汤多酚对 DPPH 自由基有较强的清除能力。与韩卫娟等^[25]对柿叶茶、杜仲雄花茶、绿茶和红茶体外抗氧化活性研究结果相比, 一泡茶汤的 DPPH 自由基清除能力比上述 4 种茶的能力都强。但随着冲泡次数的增加, 二泡茶汤的 DPPH 自由基清除能力分别减少了 762.40, 964.93 $\mu\text{mol TE/g} \cdot \text{DW}$, 三泡茶汤的 DPPH 自由基清除能力为二泡茶汤的 1/2, 与多酚含量变化趋势一致。由图 3(b) 可知, 3 次冲泡茶汤对 ABTS⁺ 自由基也具有清除活性, 且三者之间均存在显著差异。一泡茶汤的 ABTS⁺ 自由基清除能力仍最强[分别为 (680.23 ± 57.82) , $(779.82 \pm 121.51) \mu\text{mol TE/g} \cdot \text{DW}$], 为二泡茶汤的 8 倍, 三泡茶汤的 20 倍。由图 3(c) 可知, FRAP 法测得抗氧化活性大小为一泡 > 二泡 > 三泡, 该结果与上述 DPPH 和 ABTS⁺ 自由基清除能力一致。总体而言, 抹茶汤具有较高的体外抗氧化活性, 多酚含量与其抗氧化能力存在明显的正相关。



(a) DPPH 自由基

(b) ABTS⁺ 自由基

(c) 总抗氧化

字母不同表示差异显著 ($P < 0.05$)

图3 冲泡次数对抹茶汤抗氧化活性的影响

Figure 3 Effect of brewing number on antioxidant activity of matcha tea infusion

3 结论

试验系统分析了宇治抹茶和曹老爷抹茶 3 次冲泡抹茶茶汤的 pH、可滴定酸、色差、V_C、总酚、儿茶素、咖啡因的含量及其抗氧化能力, 并进行感官审评。结果表明, 两种抹茶间品质差异不显著, 其活性成分均随冲泡过程逐渐地溶出, 3 次冲泡茶汤间存在明显差异。其中, 一泡茶汤的色香味感官品质最优, 总多酚和儿茶素等单体的含量也最高, 其主要组分为表没食子儿茶素没食子酸酯、咖啡因和表没食子儿茶素; 同时表现出明显的 DPPH、ABTS⁺ 自由基清除活性和总抗氧化能力。然而, 实际饮

用中抹茶通常是 1 次冲泡整体摄入,研究表明 1 次冲泡茶汤中的多酚含量仅占 3 次冲泡抹茶茶汤总多酚含量的 66%,说明实际饮用中抹茶粉中仍有相当比例的茶多酚未能溶入茶汤,可能与茶粉基质中难溶的多糖和蛋白质等大分子一同进入机体,其在消化过程中的释放情况有待深入研究。

参考文献

- [1] 刘东娜, 聂坤伦, 杜晓, 等. 抹茶品质的感官审评与成分分析[J]. 食品科学, 2014, 35(2): 168-172.
- [2] DIETZ C, DEKKER M, PIQUERAS-FISZMAN B. An intervention study on the effect of matcha tea, in drink and snack bar formats, on mood and cognitive performance[J]. Food Research International, 2017, 99: 72-83.
- [3] WEISS D J, ANDERTON C R. Determination of catechins in matcha green tea by micellar electrokinetic chromatography[J]. Journal of Chromatography A, 2003, 1 011(1/2): 173-180.
- [4] 王玺. 茶树叶片中主要特征性物质的年变化规律研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2013: 2-4.
- [5] WILLEMS M, ŞAHİN M, COOK M. Matcha green tea drinks enhance fat oxidation during brisk walking in females[J]. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 2018, 28(5): 536-541.
- [6] UNNO K, FURUSHIMA D, HAMAMOTO S, et al. Stress-reducing function of matcha green tea in animal experiments and clinical trials[J]. Nutrients, 2018, 10(10): 1 468.
- [7] YAMABE N, KANG K S, HUR J M, et al. Matcha, a powdered green tea, ameliorates the progression of renal and hepatic damage in type 2 diabetic OLETF rats[J]. Journal of Medicinal Food, 2009, 12(4): 714-721.
- [8] 黄媛媛, 王煜, 胡秋辉. 抹茶冰淇淋、抹茶奶茶和抹茶面条的研制[J]. 食品科学, 2004(4): 122-124.
- [9] 郑丽娜, 刘龙. 抹茶全麦饼干的研制[J]. 现代食品科技, 2013, 29(6): 1 362-1 364.
- [10] 李金金. 抹茶蛋糕制作工艺研究[J]. 食品工程, 2015(4): 18-21.
- [11] LIU Yan, LUO Li-yong, LIAO Chen-xi, et al. Effects of brewing conditions on the phytochemical composition, sensory qualities and antioxidant activity of green tea infusion: A study using response surface methodology [J]. Food Chemistry, 2018, 269: 24-34.
- [12] YAN Shuai-shuai, SHAO Hong-jun, ZHOU Zhi-hao, et al. Non-extractable polyphenols of green tea and their antioxidant, anti- α -glucosidase capacity, and release during *in vitro* digestion[J]. Journal of Functional Foods, 2018, 42: 129-136.
- [13] 全国食品工业标准化技术委员会. GB/T 12456—2008 食品中总酸的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [14] 丁素君, 张会芬. 碘量法测定不同种类茶叶中的维生素 C 含量[J]. 中国当代医药, 2014, 21(5): 156-157.
- [15] ZHOU Zhi-hao, SHAO Hong-jun, HAN Xiao, et al. The extraction efficiency enhancement of polyphenols from *Ulmus pumila* L. barks by trienzyme-assisted extraction[J]. Industrial Crops and Products, 2017, 97: 401-408.
- [16] CELEP E, CHAREHSAZ M, AKYUZ S, et al. Effect of *in vitro* gastrointestinal digestion on the bioavailability of phenolic components and the antioxidant potentials of some Turkish fruit wines[J]. Food Research International, 2015, 78: 209-215.
- [17] 刘薇, 邱乐, 杨婧, 等. ABTS 与邻二氮菲- Fe^{3+} 法测定保健食品抗氧化能力比较分析[J]. 食品工业, 2013, 34(3): 120-124.
- [18] 郭桂义, 葛国平. 不同茶类茶汤 pH 值的研究[J]. 食品科技, 2012, 37(5): 74-76.
- [19] 毛平生, 朱运华, 张贱根, 等. 茶汤的酸碱性分析[J]. 蚕桑茶叶通讯, 2013(1): 22-23, 25.
- [20] 林春芳. 白茶酚类成分提取动力学分析及儿茶素硫酸化和酰基化定向修饰[D]. 杭州: 浙江大学, 2017: 16-25.
- [21] 魏雪, 张清安, 黎梅雨. 茶叶冲泡中茶多酚溶出及其对 DPPH 自由基的清除[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(6): 1-5.
- [22] TONTUL I, TORUN M, DINCER C, et al. Comparative study on volatile compounds in Turkish green tea powder: Impact of tea clone, shading level and shooting period[J]. Food Research International, 2013, 53(2): 744-750.
- [23] SHU Yang, LI Jie, YANG Xiao-ping, et al. Effect of particle size on the bioaccessibility of polyphenols and polysaccharides in green tea powder and its antioxidant activity after simulated human digestion[J]. Journal of Food Science and Technology, 2019, 56(3): 1 127-1 133.
- [24] ZAITER A, BECKER L, KARAM MC, et al. Effect of particle size on antioxidant activity and catechin content of green tea powders[J]. Journal of Food Science and Technology, 2016, 53(4): 2 025-2 032.
- [25] 韩卫娟, 张嘉嘉, 杜改改, 等. 柿叶茶、杜仲雄花茶、绿茶和红茶体外抗氧化活性比较研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(3): 144-148, 155.