

夏瑞, 钟耕, 李恬, 等. 负氧化还原电位电解水冷泡绿茶茶汤理化特性、抗氧化性能及香气成分研究 [J]. 食品工业科技, 2022, 43(15): 89–97. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100243

XIA Rui, ZHONG Geng, LI Tian, et al. Study on the Physicochemical Properties, Antioxidant Properties and Aroma Components of Cold Brewing Green Tea in Negative Oxidation-reduction Potential Electrolyzed Water[J]. Science and Technology of Food Industry, 2022, 43(15): 89–97. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100243

· 研究与探讨 ·

负氧化还原电位电解水冷泡绿茶茶汤理化特性、抗氧化性能及香气成分研究

夏 瑞, 钟 耕*, 李 恬, 杨万富, 高羽歌
(西南大学食品科学学院, 重庆 400000)

摘 要:以瓶装饮用天然水冷泡绿茶和常规热泡绿茶作为对比, 探讨负氧化还原电位电解水对冷泡绿茶茶汤品质的影响, 以期得到活性成分含量高及抗氧化活性强的冷泡绿茶饮品提供新选择。通过调节电解饮用水时间电解生成不同负氧化还原电位电解水 1 和 2; 通过紫外分光光度法、高效液相色谱法以及顶空固相微萃取与气相色谱-质谱联用法测定并比较负氧化还原电位电解水、瓶装饮用天然水冷泡绿茶和常规热泡绿茶茶汤基本理化指标、主要活性成分含量、抗氧化性、感官品质和香气成分。结果表明, 负氧化还原电位电解水冷泡绿茶茶汤 pH 呈弱碱性, 氧化还原电位为负值, 可溶性固形物含量及茶汤浸提率显著高于瓶装饮用天然水冷泡绿茶 ($P<0.05$), 与常规热泡茶相当; 电解水制得茶汤色度黄绿明亮, 汤色品质高; 电解水茶汤多酚含量显著高于瓶装饮用天然水冷泡, 且电解水样 2 显著高于常规热泡 ($P<0.05$), 游离氨基酸总量显著高于瓶装饮用天然水冷泡以及常规热泡 ($P<0.05$), 咖啡碱含量低于常规热泡, 儿茶素类含量均高于瓶装饮用天然水冷泡, 除 EGCG 和 EGC 外均高于常规热泡; 电解水冷泡茶茶汤抗氧化能力显著高于其他两种绿茶茶汤 ($P<0.05$); 电解水冷泡茶茶汤感官评分最高且茶汤香气成分最为丰富醇和。实验初步验证了负氧化还原电位电解水用作冷泡绿茶加工用水可行性, 且筛选出电解水样 2 制得绿茶茶汤生化成分高、抗氧化活性强且感官评价得分高、香气清香持久。

关键词:负氧化还原电位电解水, 冷泡绿茶, 活性成分, 抗氧化活性, 香气成分

中图分类号: TS275.2

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2022)15-0089-09

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2021100243

本文网刊:



Study on the Physicochemical Properties, Antioxidant Properties and Aroma Components of Cold Brewing Green Tea in Negative Oxidation-reduction Potential Electrolyzed Water

XIA Rui, ZHONG Geng*, LI Tian, YANG Wanfu, GAO Yuge

(College of Food Science, Southwest University, Chongqing 400000, China)

Abstract: The effects of electrolyzing water-cooled green tea with negative redox potential on the quality of tea soup was studied by comparing the bottled natural water-cooled green tea and conventional hot bubble green tea, in order to provide a new choice for the processing water of cold bubble green tea with high content of active ingredient and strong antioxidant activity. Electrolyzing drinking water by adjusting the electrolysis time to generate electrolytic water samples 1 and 2 with different negative redox potentials. The basic physicochemical indexes, main active ingredient, antioxidant activity, sensory quality and aroma components of electrolyzed water with negative redox potential, bottled natural water-cooled green tea and conventional hot bubble green tea were determined and compared by UV spectrophotometry, high performance liquid chromatography, headspace solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. The results showed that the pH of electrolytic water-cooled green tea soup was weak alkaline, the redox potential was negative, the content of

收稿日期: 2021-10-25

基金项目: 2021 年国家级大学生创新创业训练计划项目 (编号: 202110635096)。

作者简介: 夏瑞 (1997-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 食品加工与安全, E-mail: xiaruirui@163.com。

* 通信作者: 钟耕 (1964-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 粮食工程、现代食品加工理论与技术、生物资源开发与利用等, E-mail: 980360686@qq.com。

soluble solids and the extraction rate of tea soup were significantly higher than those of bottled natural water-cooled green tea ($P<0.05$), and were equivalent to standard hot tea. The color of tea soup prepared by electrolyzing water with negative redox potential was yellow green and bright, and the color quality of tea soup was high. The polyphenol content of tea infusion was significantly higher than that of bottled drinking natural water cold soaking, and electrolyzed water sample 2 was significantly higher than conventional hot soaking ($P<0.05$), and the total amount of free amino acids was significantly higher than bottled drinking natural water cold soaking and conventional hot soaking ($P<0.05$), the content of caffeine was lower than the conventional hot brew, and the content of catechins was higher than that of bottled drinking natural water cold brew, except for EGCG and EGC, all higher than the conventional hot brew. The antioxidant activity of tea soup was significantly higher than that of the other two kinds of green tea soup ($P<0.05$). The sensory score of tea soup was the highest, and the aroma components of tea soup were the most abundant and mellow. The experiment preliminarily verified the feasibility of using the electrolyzed water with negative redox potential as the water for cold brewing green tea processing, and screened out the electrolyzed water sample 2 cold brewing green tea soup had high biochemical components, strong antioxidant activity, high sensory evaluation and lasting aroma, which was more suitable for cold brewing green tea processing.

Key words: electrolytic water with negative redox potential; cold brew green tea; active ingredient; antioxidant activity; flavor components

茶是世界上非常受欢迎的饮料^[1]。传统冲泡方式用沸水热泡,但高温使茶汤香气及滋味易出现浓而沉闷、欠鲜爽特征^[2-3]。近年来,尤其在夏天,冷水(4或25℃)泡茶成为新泡茶方式逐渐流行。研究发现冷泡茶比热泡茶有更好的抗氧化作用,咖啡因含量较低,茶汤具有较少苦味和较高香气^[3]。绿茶是我国消费量和生产量最大的茶类,属于未发酵茶叶类型。研究表明未发酵类型茶叶更适合冷泡^[4],且其多酚含量较高,有良好的抗氧化、防癌抗癌、缓解高血压、降胆固醇和血糖等功能^[5-9]。

冷泡茶用水一般选用饮用天然水或纯净水^[10],茶叶可以是未改进加工的传统茶叶或是经物理^[11-12]、化学^[13]和生物方法^[14-15]改进的茶叶,以提高冷泡茶茶汤生化成分溶出率,但其加工过程繁琐,成本和技术要求较高。负氧化还原电位电解水(简称电解水,下同)是饮用水或电解质水经电解在阴极生成的碱性水,有一定抗氧化能力^[16-17],可清除自由基。此外,电解水还有较高渗透性和溶解性,对环境无污染等^[18-19]特点。顾宗义^[20]提出电解水热浸泡绿茶得到有良好抗氧化保健功能茶饮料。张丽等^[21]采用电解水萃取黑茶饮料,提高了茶多酚溶出率以及茶汤香气。

目前,电解水用作泡茶用水研究集中于热泡茶^[20-21],用于冷泡茶用水对茶汤活性成分溶出、抗氧化特性、感官品质以及香气成分影响的研究还未见报道。因此,本实验以电解水冷泡绿茶为研究对象,对比分析电解水与瓶装饮用天然水对冷泡绿茶茶汤理化特性、抗氧化性能、感官品质以及香气成分等指标的影响,并以常规热泡茶作对比,分析探讨电解水用作冷泡绿茶加工用水技术的可行性,旨在为冷泡绿茶加工用水的选择提供一定的理论参考。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

绿茶(干茶)、高山云雾绿茶 重庆西农茶叶有限公司生产;负氧化还原电位电解水 采用饮用水经

电解水机调节电解时间(1、4 min)电解后制得不同负氧化还原电位值电解水;瓶装饮用天然水 华润怡宝饮料(中国)有限公司;2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐(ABTS)、甲醇(色谱纯)、乙腈(色谱纯)、抗坏血酸标准品、没食子酸标准品(GAE)、茶氨酸标准品、咖啡因标准品、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)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、癸酸乙酯(均为色谱纯) 标准品纯度均 $\geq 98\%$,北京索莱宝科技有限公司;其他试剂均为国产分析纯。

759 紫外可见分光光度计 上海菁华科技仪器有限公司;CM-5 色差仪 日本柯尼卡美能达有限公司;GCMS-QP 2010 Plus 气相色谱-质谱联用仪 日本岛津公司;Agilent 1200 高效液相色谱仪 中国安捷伦科技有限公司;XK-A7 电解水机 广东新康科技;pHS-3C 型 pH/ORP 计 上海仪电科学仪器股份有限公司。

1.2 实验方法

1.2.1 负氧化还原电位电解水制备 使用电解水生成器调节电解时间(1、4 min)电解饮用水生产电解水样 1($\text{pH}=8.55\pm 0.02$, $\text{ORP}=-266\pm 4.00\text{ mV}$)、电解水样 2($\text{pH}=9.01\pm 0.03$, $\text{ORP}=-372\pm 1.00\text{ mV}$)。

1.2.2 供试样品制备 冷泡茶的制作参照 VENDITTI 等^[3]方法,略作修改如下:称取 3.0 g 绿茶茶叶,加入室温水($25\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$)200 mL 冷泡 2 h 得到冷泡绿茶;常规热泡茶则是以投茶量 3.0 g、加沸水(瓶装饮用天然水)200 mL、冲泡 5 min 制作,作为对照。

1.2.3 茶汤理化指标测定 参照龚芝萍等^[22]方法测定绿茶茶汤理化指标。检测指标包括:pH、氧化还原电位值(oxidation-reduction potential, ORP)、溶解性总固体(total dissolved solids, TDS)。

1.2.4 茶汤浸提率测定 参照陈挺强等^[23]方法,略作修改,对茶汤浸提率进行测定。计算公式如下:

茶汤浸提率(%)=[(干茶重量 $\times\omega$ -茶渣重量)/(干茶重量 $\times\omega$)] $\times 100$

式中: ω , 茶叶干物质含量(质量分数), %。测定方法参照 GB/T 8303-2013《茶 磨碎试样的制备及其干物质含量测定》; 茶渣重量为茶汤制备后所得茶叶滤渣于 105 ℃ 烘干至恒重得到。

1.2.5 茶汤色度测定 采用色差仪分析茶汤色度值, 应用 L^* 、 a^* 、 b^* 值表示样品亮度、红-绿度和黄-蓝度。

1.2.6 茶汤功能成分测定 参考 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》, 采用福林酚比色法测定茶多酚含量; 参考 GB/T 8314-2013《茶: 游离氨基酸总量测定》测定游离氨基酸总量; 参照 TANG 等^[24] 方法, 采用高效液相色谱法测定咖啡碱含量。色谱条件: 色谱柱为 Agilent Eclipse Plus C_{18} 柱 (250 mm $\times$ 4.6 mm, 5 μ m); 流动相为 1% 乙酸(流动相 A)、甲醇(流动相 B); 梯度洗脱: 0~5 min, 6% 甲醇; 5~10 min, 6%~20% 甲醇; 10~15 min, 20%~40% 甲醇; 15~20 min, 40%~6% 甲醇; 20~25 min, 6% 甲醇; 流速: 1.0 mL/min; 柱温: 26 ℃; 检测波长: 280 nm; 进样量: 5.0 μ L; 参考 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》, 采用高效液相色谱法测定儿茶素类组分含量。

1.2.7 茶汤体外抗氧化能力测定

1.2.7.1 ABTS 自由基清除率测定 参照 AYSELI 等^[25] 方法, 略作调整。4 mL 样品液(使用超纯水稀释茶汤 100 倍所得)与 4 mL 0.1 mmol/L ABTS⁺ 溶液混合, 剧烈震荡, 避光放置 10 min, 734 nm 测定其吸光度, 用超纯水溶液代替样品作对照。ABTS 自由基清除率计算公式如下:

$$S(\%) = \left(\frac{A_0 - A_1}{A_0} \right) \times 100$$

式中: S, ABTS 自由基清除率, %; A_0 , 对照组吸光度; A_1 , 实验组吸光度

以 V_C 为标品, 得到 V_C 浓度与 ABTS 自由基清除率标准曲线方程为 $y=0.0679x+0.0171$, $R^2=0.9995$ 。样品 ABTS 自由基清除率结果以 V_C 当量表示(μ g V_C /mL)。

1.2.7.2 羟自由基清除率 参照 YANG 等^[26] 方法并稍作修改。取 2 mL 样品液(使用超纯水稀释茶汤 20 倍所得), 依次加入 9 mmol/L $FeSO_4$ 溶液、9 mmol/L 水杨酸乙醇溶液和 8.8 mmol/L H_2O_2 溶液各 2.0 mL, 置于 37 ℃ 水浴 30 min。用同体积超纯水代替样品液作空白组, 用同体积超纯水代 H_2O_2 溶液作对照, 510 nm 波长处测量吸光度值。

$$S(\%) = \left(\frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \right) \times 100$$

式中: S, 羟自由基清除率, %; A_0 , 不加样品液测得吸光度值; A_1 , 样品液测得吸光度值; A_2 , 不加 H_2O_2 测得的吸光度值。

以 V_C 为标品, 得到 V_C 浓度与羟自由基清除率标准曲线方程为 $y=0.0988x+0.3192$, $R^2=0.9992$, 样品羟自由基清除率结果以 V_C 当量表示(μ g V_C /mL)。

1.2.7.3 超氧阴离子自由基清除率 参照 SAAD 等^[27] 方法, 稍作调整。取 pH8.2 Tris-HCl 缓冲溶液 5 mL 于具塞试管中, 25 $\pm$ 0.5 ℃ 水浴预热 20 min, 依次加入样品液 2 mL(使用超纯水稀释茶汤 20 倍所得)和 0.5 mL 浓度 5.00×10^{-3} mol/L 邻苯三酚溶液(1.0×10^{-2} mol/L HCl 溶液配制), 摇匀, 25 ℃ 水浴反应 4 min, 波长 320 nm 测定其吸光度 A_1 ; 超纯水 2 mL 代替上述样品溶液, 测定吸光度 A_0 ; 以 1.0×10^{-2} mol/L HCl 参比溶液 0.5 mL 代替邻苯三酚溶液, 测定吸光度 A_2 。按下式计算自由基清除率。

$$S(\%) = \left(\frac{A_0 - (A_1 - A_2)}{A_0} \right) \times 100$$

式中: S, 超氧阴离子自由基清除率, %; A_0 , 空白组吸光度值; A_1 , 实验组吸光度值; A_2 , 对照组吸光度值。

以 V_C 为标品, 得到 V_C 浓度与超氧阴离子自由基清除率标准曲线方程为 $y=0.0071x+0.0288$, $R^2=0.9992$, 样品超氧阴离子清除率结果以 V_C 当量表示(μ g V_C /mL)。

1.2.8 茶汤感官品质评价 由 10 位年龄组成在 20~27 岁, 男女比 2:3 受过专业培训的感官品评员组成评价小组, 对以上冲泡绿茶进行感官品质评价。茶叶感官审评表参考江春柳^[28] 的方法, 适当修改。评定项目包括汤色、香气和滋味, 满分 100 分。各茶汤感官质量评分标准, 如下表 1。

表 1 绿茶茶汤感官评价表
Table 1 Sensory evaluation of green tea soup

项目	评分标准(分)
汤色(30分)	明亮(具原茶应有液色, 清澈明亮, 无混浊沉淀)(21~30)
	尚明亮(具原茶应有液色, 尚清亮, 不混, 稍有沉淀)(10~20)
	欠明亮(具原茶应有液色, 不清亮)(5~9)
香气(30分)	不清亮, 混浊, 有沉淀(0~4)
	纯正(具原茶应有茶香)(21~30)
	尚纯正(10~20)
	欠纯正, 稍有异味(5~9)
	异味重(0~4)
滋味(40分)	醇和(醇正, 有原茶应有风味)(31~40)
	平和或尚醇正(平和有原茶应有风味)(20~30)
	欠醇正, 稍有异味(15~19)
	滋味较苦涩, 不爽口, 不具有原茶应用风味(8~14)
	滋味苦涩有其他不良异味(0~8)

1.2.9 茶汤香气成分测定与分析方法

1.2.9.1 香气成分测定 参照曾敏等^[29] 的方法, 略作修改。取 3 mL 茶汤于 10 mL 萃取瓶, 加入 20 μ g/mL 癸酸乙酯 10 μ L 作为内标, 加盖密封。用 DVB/CAR/PDMS 30~50 μ m 萃取头, 60 ℃ 水浴锅固相微萃取吸附 50 min, 于气相色谱-质谱联用仪(gas chromatography-mass spectrometry, GC-MS)解吸 5 min 分

析。升温程序: 40 ℃ 保持 2 min, 程序升温 5 ℃/min 至 70 ℃, 4 ℃/min 至 130 ℃, 2.5 ℃/min 至 180 ℃ 后以 5 ℃/min 至 230 ℃ 保持 5 min; 载气(He)流速 1.0 mL/min; 压力 49.7 kPa; 进样方式: 不分流进样。质谱条件: EI 电子能量 70 eV; 离子源温度 230 ℃; 接口温度 230 ℃; 全扫描模式, 扫描范围 35~400 amu。各组分通过质谱经计算机谱库(NIST 05、NIST 05s)进行检索、参考文献辅助定性^[30-33]; 物质相对含量计算公式如下^[32-33]:

香气物质相对含量($\mu\text{g/mL}$)=(待测成分峰面积 $\times$ 内标物质量浓度)/内标物峰面积

1.3 数据处理

采用 Excel 2016 统计分析, 结果以“平均值 $\pm$ 标准差”表示($n=3$); SPSS 26.0 软件统计学分析, 通过 Duncan 法分析多组间显著性, 采用 Origin 2019 作图。

2 结果与分析

2.1 绿茶茶汤理化指标

由表 2 可知, 电解水冷泡绿茶茶汤 pH 显著高于瓶装饮用天然水冷泡绿茶以及常规热泡茶($P<0.05$), TDS 值及茶汤浸提率显著($P<0.05$)高于瓶装饮用天然水冷泡绿茶, 与常规热泡茶无显著性差异($P>0.05$)。TDS 值是指可溶性固形物含量, 可反映茶汤物质溶出程度^[28], 其变化与茶汤浸提率一致。电解水冷泡绿茶茶汤 pH 呈弱碱性, ORP 值为负值, SHIRAHATA 等^[34]研究发现, 高负 ORP 值物质表现出较强抗氧化作用, 饮用 ORP 值为负值饮料对人体健康有益。电解水样 2 以及瓶装饮用天然水冷泡绿茶茶汤浸提率分别为 25.77%、24.50%, 高于王秀萍等^[35]用天然水冷泡古丈毛尖绿茶的浸提率(23.18%), 可能是因为所选茶叶品种不同及电解后电解水具有负 ORP 值和较小分子簇等特性^[36-37], 其渗透性较强, 具有较好溶解性^[18-19]。对比电解水样 1($\text{pH}=8.55\pm 0.02$, $\text{ORP}=-266\pm 4.00$ mV)、电解水样 2($\text{pH}=9.01\pm 0.03$, $\text{ORP}=-372\pm 1.00$ mV)发现, 电解水在冷泡过程中其 pH 逐渐下降还原为普通水, 负 ORP 值也逐渐降低。这可能是因为其在冷泡过程中见光以及未完全密封等原因, 其负 ORP 值不断被氧化而降低, 而负 ORP 值变化导致 pH 随着下降^[17], 这与刘洋^[17]对电解水稳定性研究结果一致。

表 2 绿茶茶汤理化指标
Table 2 Physical and chemical indexes of green tea soup

水质	pH	ORP(mV)	TDS(%)	浸提率(%)
电解水样1	7.03 $\pm$ 0.06 ^b	-11.67 $\pm$ 0.47 ^b	0.46 $\pm$ 0.05 ^a	25.44 $\pm$ 0.01 ^a
电解水样2	7.22 $\pm$ 0.03 ^a	-45.33 $\pm$ 1.25 ^c	0.53 $\pm$ 0.05 ^a	25.77 $\pm$ 0.13 ^a
瓶装饮用天然水	6.07 $\pm$ 0.08 ^c	29.33 $\pm$ 0.47 ^a	0.37 $\pm$ 0.05 ^b	24.50 $\pm$ 0.02 ^b
常规热泡	5.96 $\pm$ 0.04 ^c	34.50 $\pm$ 1.22 ^a	0.48 $\pm$ 0.01 ^a	25.63 $\pm$ 0.10 ^a

注: 同列不同小写字母表示具有显著性差异($P<0.05$), 表3~表5同。

2.2 绿茶茶汤色度值

由表 3 可知, 电解水冷泡绿茶茶汤亮度(L^*)显著高于常规热泡茶($P<0.05$), 电解水样 2 冷泡绿茶茶汤

亮度高于瓶装饮用天然水冷泡绿茶。电解水冷泡绿茶茶汤红绿度($-a^*$)和黄蓝度(b^*)显著高于瓶装饮用天然水冷泡以及常规热泡绿茶($P<0.05$)且电解水样 2 最高。这可能是因为茶汤中化合物浸出量不同, 电解水相较于瓶装天然饮用水更好的溶出茶叶中化合物, 研究表明热泡茶其茶汤叶绿素含量较少显示出红色, 冷泡茶茶汤颜色呈绿色^[2,4], 这与 CARLONI 等^[4]对不同温度冲泡绿茶和白茶的影响研究一致。综上, 电解水冷泡茶与瓶装饮用天然水冷泡以及常规热泡相比其汤色黄绿明亮, 茶汤品质高。研究认为绿茶汤亮度透明度高, 颜色呈现黄绿色更受人们喜爱^[10]。

表 3 绿茶茶汤色度值
Table 3 Color value of green tea

水质	L^*	a^*	b^*
电解水样1	95.34 $\pm$ 0.13 ^c	-3.04 $\pm$ 0.02 ^c	9.52 $\pm$ 0.11 ^b
电解水样2	95.80 $\pm$ 0.04 ^a	-3.21 $\pm$ 0.03 ^d	10.56 $\pm$ 0.07 ^a
瓶装饮用天然水	95.58 $\pm$ 0.13 ^b	-1.50 $\pm$ 0.03 ^b	5.23 $\pm$ 0.07 ^c
常规热泡	94.08 $\pm$ 0.01 ^d	-1.26 $\pm$ 0.01 ^a	5.04 $\pm$ 0.08 ^d

2.3 绿茶茶汤活性成分含量

2.3.1 茶多酚 茶多酚是决定茶叶滋味的重要组分, 是构成绿茶茶汤浓度、收敛性、爽口味等不可缺少的基本成分^[28]。由下图 1 可知, 不同水样冷泡绿茶茶多酚含量依次为电解水样 2(1.350 $\pm$ 0.002 g GAE/L)>电解水样 1(1.190 $\pm$ 0.006 g GAE/L)>瓶装饮用天然水(1.160 $\pm$ 0.004 g GAE/L), 电解水样 2 高于电解水样 1, 负 ORP 值大小与茶多酚溶出具有相关性, 研究发现负 ORP 值与小分子簇结构具有一定相关性因此其渗透能力较强^[18,36]。其中, 电解水样 2 冷泡绿茶显著高于常规热泡茶(1.190 $\pm$ 0.008 g GAE/L, $P<0.05$)。瓶装饮用天然水冷泡茶茶多酚含量显著低于常规热泡($P<0.05$), 这与 VENDITTI 等^[3]对各种茶叶冷泡与热泡相关研究结果一致。电解水冷泡绿茶显著提高了瓶装饮用天然水冷泡绿茶茶多酚溶出量, 这可能与电解水渗透及溶解力强相关^[38]。

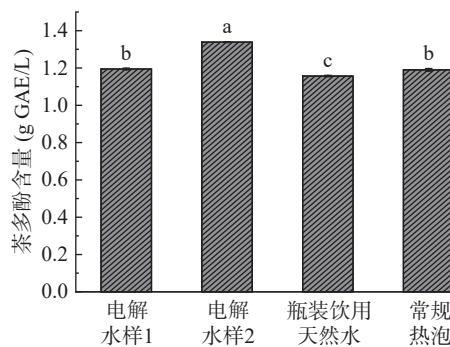


图 1 绿茶茶汤茶多酚含量

Fig.1 Content of tea polyphenols in green tea soup

注: 不同小写字母表示差异显著, $P<0.05$; 图 2~图 4 同。

2.3.2 游离氨基酸总量 氨基酸是构成茶汤鲜味的重要物质, 对滋味和香气有重要贡献, 氨基酸含量高则滋味醇厚鲜爽、香气宜人^[29]。图 2 可知, 电解水冷

泡绿茶茶汤游离氨基酸总量显著($P<0.05$)高于瓶装饮用天然水冷泡绿茶以及常规热泡绿茶, 电解水样 1、电解水 2 之间无显著性差异($P>0.05$), 这说明电解水负 ORP 值大小与茶汤游离氨基酸浸出量无明显相关性, 这可能是因为氨基酸在冷水中溶出较为缓慢, 长时间浸泡电解水负 ORP 值已被氧化降低^[11,17]。但总的来说, 电解水冷泡绿茶游离氨基酸溶出总量高于瓶装饮用天然水冷泡绿茶, 这可能因为电解水渗透及溶解力强^[38], 能充分溶解茶叶氨基酸。绿茶冷泡游离氨基酸总量显著高于常规热泡($P<0.05$), 这可能是因为冷泡浸泡时间较长更有利于氨基酸浸出^[11], 这与 LIN 等^[2] 对不同冲泡方式对绿茶品质影响的研究结果一致。研究认为氨基酸含量高的冷泡茶滋味更加鲜爽, 口感甘冽, 不会出现热泡带来的水闷气, 更易受消费者喜爱^[10,35]。

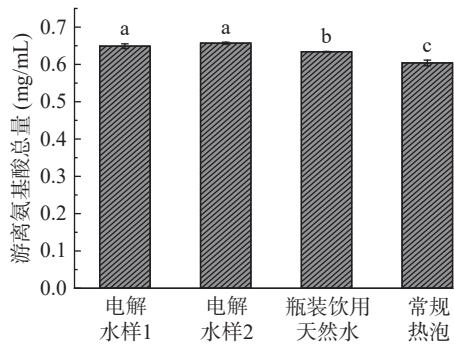


图 2 绿茶茶汤游离氨基酸总量
Fig.2 Total free amino acids in green tea soup

2.3.3 咖啡碱 由图 3 可知, 冷泡绿茶茶汤咖啡碱含量均显著低于热泡茶茶汤($P<0.05$), 研究认为生物碱类物质易溶于热水, 热水浸泡能在短时间内快速溶出咖啡碱, 而在冷水中不易溶出^[10-11], 这与 LIN 等^[2] 对不同冲泡方式对绿茶品质影响研究结果一致。电解水咖啡因含量显著高于瓶装饮用天然水($P<0.05$), 但电解水样 1、电解质水 2 之间无显著性差异($P>0.05$), 这可能是因为长时间浸泡电解水负 ORP 值已被氧化降低还原为普通水^[17]。咖啡碱虽然是一种苦味物

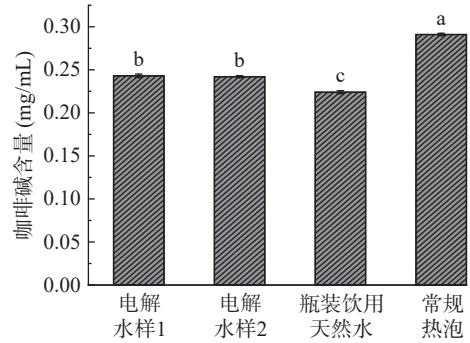


图 3 绿茶茶汤咖啡碱含量
Fig.3 Caffeine content in green tea soup

质, 但它与茶多酚、氨基酸等形成的络合物却是一种鲜爽物质, 对绿茶滋味形成有一定的积极作用^[39]。咖啡碱虽然对茶汤滋味有一定有利影响, 但含量过高会导致苦味显露, 且对一些老年人或神经衰弱患者会造成失眠等不利影响。因此, 冷泡降低茶汤咖啡碱含量, 不仅能解决热泡茶带来的苦味感, 还在茶的生理功能方面产生了有利变化^[29]。

2.3.4 儿茶素类 儿茶素类物质是茶多酚主要成分, 占茶多酚总量 60%~80%^[1], 主要包括表没食子儿茶素(EGC)、儿茶素(C)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)以及表儿茶素没食子酸酯(ECG)、表儿茶素(EC)^[1]。由表 4 可知, 电解水冷泡绿茶茶汤儿茶素类含量大于瓶装饮用天然水冷泡绿茶, 这与图 1 电解水冷泡绿茶茶多酚含量高于瓶装饮用天然水冷泡研究结果一致。与常规热泡茶对比, 冷泡茶 ECG 含量显著高于热泡茶($P<0.05$), C 以及 EC 含量无显著性差异($P>0.05$), 冷泡茶 EGC、EGCG 含量显著低于热泡茶($P<0.05$), 可能是因为热水冲泡更易溶出 EGC 与 EGCG, 这可能归因于其较大分子以及其苯环上含有三个羟基的没食子部分特殊结构^[2,40]。这与 WANG 等^[40] 研究热泡对绿茶儿茶素类含量影响的结果一致。

2.4 绿茶茶汤体外抗氧化活性

由表 5 可知, 电解水冷泡绿茶体外抗氧化活性

表 4 绿茶茶汤儿茶素类含量

Table 4 Content of catechins in green tea soup

水质	EGC(mg/L)	C(mg/L)	EGCG(mg/L)	ECG(mg/L)	EC(mg/L)
电解水样1	166.49±0.86 ^c	78.28±0.87 ^b	229.78±4.96 ^{bc}	68.15±0.36 ^b	155.12±1.12 ^b
电解水样2	183.76±2.17 ^b	89.32±0.74 ^a	247.26±0.50 ^a	70.16±0.43 ^a	169.11±3.21 ^a
瓶装饮用天然水	101.08±2.19 ^d	73.11±2.98 ^c	218.62±5.83 ^c	65.10±0.15 ^c	152.06±1.41 ^b
常规热泡	191.93±4.32 ^a	72.22±2.64 ^c	235.42±4.27 ^b	59.29±0.40 ^d	151.38±1.36 ^b

表 5 绿茶茶汤体外抗氧化活性

Table 5 Antioxidant activity of green tea soup *in vitro*

水质	ABTS自由基清除率($\mu\text{g V}_C\cdot\text{mL}^{-1}$)	羟自由基清除率($\mu\text{g V}_C\cdot\text{mL}^{-1}$)	超氧阴离子自由基清除率($\mu\text{g V}_C\cdot\text{mL}^{-1}$)
电解水样1	1337.46±37.46 ^b	3.37±0.10 ^{bc}	131.43±0.12 ^b
电解水样2	1378.75±37.46 ^a	8.59±0.17 ^a	134.24±0.15 ^a
瓶装饮用天然水	1330.58±56.19 ^b	3.12±0.20 ^c	129.68±0.20 ^c
常规热泡	1332.23±36.22 ^b	3.60±0.20 ^b	129.83±0.71 ^c

大于瓶装饮用天然水冷泡绿茶以及常规热泡茶,其中电解水样 2 冷泡绿茶体外抗氧化活性最高。这可能一方面是因为电解水冷泡茶相比于瓶装天然水冷泡以及热泡浸提出较多茶多酚,研究报道绿茶中酚类物质有良好抗氧化活性,能中和自由基降低氧化反应速率^[2,41]。另一方面对比表 2 可知,电解水冷泡绿茶其茶汤 ORP 值为负值,SHIRAHATA 等^[34]发现,负 ORP 值越大,其给电子能力越强,与过氧自由基结合能力越强,对自由基清除能力越强。

2.5 绿茶茶汤感官品质评分

如图 4 所示,电解水冷泡绿茶茶汤滋味与瓶装饮用天然水冷泡感官评价无显著性差异($P>0.05$),但总的来说均显著高于热泡茶($P<0.05$)。热泡茶茶汤

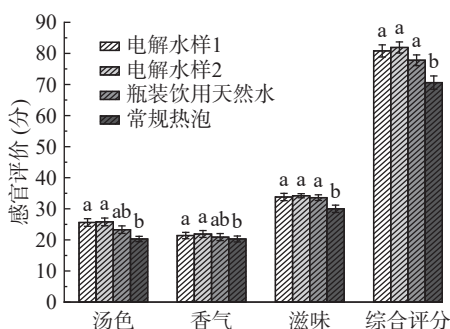


图 4 绿茶茶汤感官评价得分

Fig.4 Sensory evaluation score of green tea soup

滋味较苦涩,其原因可能是咖啡碱等苦味物质含量较高。电解水样 2 冷泡绿茶茶汤综合评分最高,为 81.50 分,香味最好,汤色黄绿明亮,口感醇和苦涩味适中。瓶装饮用天然水冷泡绿茶茶汤综合评分为 77.20 分,口感醇和苦涩味适中但香气以及汤色较差。常规热泡绿茶综合评分(70.60 分)最低,香气具有闷熟味,汤色不明亮且滋味较为苦涩。

2.6 绿茶茶汤香气成分

本实验前述研究结果表明电解水样 2 冷泡绿茶在理化特性、活性成分溶出、抗氧化性能以及感官评分中最好,因此选取电解水样 2 冷泡绿茶测定其茶汤香气成分并以瓶装天然饮用水以及常规热泡作对比。由表 6 可知,电解水冷泡绿茶茶汤共鉴定出 44 种香气成分;瓶装饮用天然水共鉴定出 41 种香气成分;而常规热泡共鉴定出 36 种香气成分。热泡法制得绿茶茶汤特征香气成分损失较为严重,这与曾敏等^[29]的研究结果一致。3 种方法制得绿茶茶汤主要香气成分可以分为醛类、醇类、烯类、酮类、酯类及有机酸类 6 大类,其共性香气成分有 18 种,其中,绿茶特征香气成分如芳樟醇、(+)-柠檬烯、 β -环柠檬醛、十二醛、 α -萜烯油烯、水杨酸辛酯等均在 3 种茶汤中呈现^[33],具有美好的花果清香味^[29-31],且这些物质在电解水冷泡绿茶茶汤香气物质中相对含量比瓶装天然水冷泡以及常规热泡高 0.061、0.079 $\mu\text{g/mL}$ 。

表 6 绿茶茶汤主要香气成分及相对含量

Table 6 Main aroma components and relative content of green tea soup

序号	保留时间(min)	化合物名称	香气特征 ^[30-33]	相对含量($\mu\text{g/mL}$)		
				电解水样2	瓶装饮用天然水	常规热泡
1	5.865	庚醛	油脂味	0.008	0.006	0.045
2	7.830	苯甲醛	特殊的杏仁气味	0.096	0.089	0.109
3	8.441	1-辛烯-3-醇	薰衣草、玫瑰、干草香	—	0.039	0.017
4	9.185	正辛醛	略带辛辣味	0.059	0.042	0.191
5	9.455	(E,E)-2,4-庚二烯醛	青香、果香	0.063	0.044	0.014
6	9.970	(+)-柠檬烯	鲜橙、柠檬香	0.024	0.018	0.017
7	10.060	2-乙基己醇	柑橘香、青香、花香、甜香	0.018	—	—
8	10.370	苯乙醛	蜂蜜香、果香	—	0.024	0.012
9	10.970	异佛尔酮	—	0.025	0.013	—
10	11.210	苯乙酮	山楂香气	0.030	—	—
11	11.305	3,5-辛二烯-2-酮	奶油香	0.225	0.211	0.099
12	11.545	辛醇	青香	0.182	0.171	0.152
13	12.445	芳樟醇	花香、果香、木香、柑橘类香气	0.896	0.855	0.861
14	12.640	3,7-二甲基-1,5,7-三烯-3-醇	花香、果香	0.197	—	—
15	12.975	苯乙醇	甜香、玫瑰花香	0.075	—	—
16	13.840	2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-甲醛	甜香	—	0.504	—
17	14.600	乙酸苄酯	茉莉花型香	0.069	0.062	—
18	15.500	(Z)-2-甲基丙酸-3-己烯酯	清香、薄荷香	0.008	0.007	—
19	15.625	水杨酸甲酯	薄荷味	0.025	0.023	—
20	15.835	2,3-二氢-2,2,6-三甲基苯甲醛	花香	0.047	0.037	—
21	16.225	癸醛	甜香、花香	0.025	0.022	—
22	16.505	β -环柠檬醛	甜香、果香、草本香	0.092	0.084	0.090
23	18.185	2-十三烯醛	柑橘香味	—	0.008	—
24	18.365	柠檬醛	柠檬香气	0.025	0.017	—

续表 6

序号	保留时间(min)	化合物名称	香气特征 ^[30-33]	相对含量(μg/mL)		
				电解水样2	瓶装饮用天然水	常规热泡
25	18.790	十一醛	花香	0.004	—	—
26	19.030	茴香烯	甜香、茴香似香气	0.005	0.003	—
27	19.230	吡嗪	花香	0.084	0.066	0.041
28	21.030	α-草澄茄油烯	木香、果香、花香	0.017	0.015	0.014
29	21.735	2-十一烯醛	烘烤味	—	—	0.014
30	21.770	2-甲基癸醇	—	—	0.005	—
31	22.250	己酸叶醇酯	果香味	0.025	0.024	—
32	22.785	己酸环己酯	—	—	0.015	—
33	23.180	十二醛	甜香、花香、柑橘香	0.141	0.131	0.102
34	23.540	α-紫罗酮	紫罗兰香	0.041	0.035	—
35	24.455	香叶基丙酮	板栗香、青香、果香	0.076	—	0.005
36	25.515	β-紫罗酮	紫罗兰香	—	0.026	—
37	26.842	十三醛	—	—	—	0.003
38	27.130	二氢猕猴桃内酯	青香、柑橘香	0.080	0.033	—
39	28.655	反式-橙花叔醇	略带橙花和甜味	0.023	0.019	—
40	29.950	月桂酸乙酯	果香味	—	0.008	—
41	30.655	桃醛	果香味	0.062	—	0.005
42	31.036	二苯甲酮	甜味、玫瑰香味	—	—	0.020
43	33.240	肉豆蔻醇	蜡质气味	0.013	0.012	0.011
44	37.044	苯乙酸乙酯	甜味	—	—	0.011
45	38.010	水杨酸辛酯	花香	0.180	0.176	0.169
46	38.760	十六醛	—	0.016	0.011	0.006
47	39.130	咖啡因	—	0.211	0.202	0.236
48	39.735	植酮	花香	0.033	—	—
49	40.160	邻苯二甲酸二异丁酯	花香	0.212	0.201	0.221
50	41.315	十九烷醇	—	0.031	—	0.006
51	43.100	棕榈酸甲酯	果香	0.026	0.025	0.011
52	43.990	邻苯二甲酸二丁酯	—	0.303	0.247	0.438
53	44.635	豆蔻酸	—	—	—	0.066
54	45.440	棕榈酸乙酯	蜡香、果香、奶油香气	0.011	0.004	—
55	46.390	棕榈酸异丙酯	—	0.012	—	0.065
56	48.340	5-十二烷基-2(3H)-呋喃酮	—	—	0.005	—
57	48.445	油酸甲酯	—	0.014	—	0.004
58	49.141	丁位十六内酯	轻微的气味	—	—	0.003
59	50.149	硬脂酸	不愉快油脂味	—	—	0.117
60	50.592	亚油酸	蜡油味	—	—	0.147
61	53.195	对甲氧基肉桂酸辛酯	—	0.008	—	0.130
62	57.645	顺-9-十六烯醛	—	—	—	0.002

电解水冷泡绿茶表现出纯正花果香气,其独有特征香气成分为 2-乙基己醇、苯乙酮、3, 7-二甲基-1,5,7-三烯-3-醇、苯乙醇、植酮以及十一醛,其中,2-乙基己醇具有柑橘清香味、苯乙酮具有果香、植酮具有花香、苯乙醇以及十一醛具有玫瑰花香^[30,32];常规热泡茶呈现较浓烈的苦涩闷熟味以及不愉快油脂味,其含量较多的特征香气成分有庚醛、苯甲醛、正辛醛、2-十一烯醛、二苯甲酮、苯乙酸乙酯,其中庚醛具有强烈不愉快脂肪气味、正辛醛略带辛辣味、2-十一烯醛具有烘烤糊味^[29,33]。此外,热泡茶还测出较多高级脂肪酸(硬脂酸、亚油酸),该类物质会使得香气挥发度较低^[29];瓶装饮用天然水冷泡绿茶表现出花果香,其特征香气成分有果香味的苯乙醛、花果香味的

2,6,6-三甲基-2-环己烯-1-甲醛、柑橘香味的 2-十三烯醛、紫罗兰香味的 β-紫罗酮、果香味的月桂酸乙酯^[30-31]。总的来说,冷泡茶相比与热泡茶表现出香气醇正略带花香特征,其中,电解水冷泡绿茶,在绿茶茶汤特征香气成分如具有花果清香的芳樟醇、具有杏仁气味的苯甲醛、具有果香味的香叶基丙酮、具有柑橘清香味的二氢猕猴桃内酯、具有果香味的桃醛^[30-31,33]中其相对含量高出瓶装饮用天然水冷泡绿茶 0.041、0.007、0.076、0.047、0.062 μg/mL。综上,电解水冷泡绿茶在感官品质上能表现出香气纯正而带有较为浓烈花果香特征。

3 结论

本文主要研究电解水冷泡绿茶对茶汤理化特

性、抗氧化性能、感官品质以及香气成分的影响,并以瓶装饮用天然水冷泡绿茶以及常规热泡茶作对比。得出电解水冷泡绿茶茶汤活性成分溶出量均高于瓶装饮用天然水冷泡绿茶;与常规热泡茶相比,电解水样2茶多酚含量显著高于常规热泡($P<0.05$),电解水冷泡游离氨基酸总量以及除EGCG和EGC外的儿茶素类含量均高于常规热泡,咖啡碱含量显著低于常规热泡($P<0.05$),虽然热泡茶咖啡碱含量最高,但过高含量咖啡碱对人体健康不利;电解水冷泡绿茶抗氧化活性以及感官品质均优于瓶装饮用天然水冷泡绿茶和常规热泡茶,茶汤香气成分最为丰富。其中电解水样2冷泡绿茶茶汤汤色黄绿明亮、活性成分含量高、抗氧化活性强、感官品质好、香气清香持久,适合用作冷泡茶加工用水。本研究结果可为人们选择冷泡茶用水,对指导人们科学饮茶、茶饮制造、茶叶风味研究等方面都有较好参考价值。

参考文献

- [1] QING Q C, WANG F, WANG J Q, et al. Effects of brewing water on the sensory attributes and physicochemical properties of tea infusions[J]. *Food Chemistry*, 2021, 364(2): 130235.
- [2] LIN S J, YANG Y, HSIEH Y, et al. Effect of different brewing methods on quality of green tea[J]. *Journal of Food Processing Preservation*, 2014, 38(3): 1234-1243.
- [3] VENDITTI E T, BACCHETTI L, TIANO L, et al. Hot vs. cold water steeping of different teas: Do they affect antioxidant activity?[J]. *Food Chemistry*, 2010, 119(4): 1597-1604.
- [4] CARLONI P, CASTIGLIONI D, ASTOLFI P, et al. Influence of steeping conditions (time, temperature, and particle size) on antioxidant properties and sensory attributes of some white and green teas[J]. *International Journal of Food Sciences Nutrition Research*, 2015, 4: 491-497.
- [5] CHEN L H, MO Z, LING Y, et al. Therapeutic properties of green tea against environmental insults[J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2017, 40: 1-13.
- [6] CLSA B, HA J, WC S, et al. Green tea supplementation benefits body composition and improves bone properties in obese female rats fed with high-fat diet and caloric restricted diet[J]. *Nutrition Research*, 2015, 35(12): 1095-1105.
- [7] LUO H, TANG L, MENG T, et al. Phase IIa chemoprevention trial of green tea polyphenols in high-risk individuals of liver cancer: Modulation of urinary excretion of green tea polyphenols and 8-hydroxydeoxyguanosine[J]. *Carcinogenesis*, 2006, 27(2): 262-268.
- [8] SHEN C L, YEH J K, CAO J J, et al. Green tea polyphenols mitigate bone loss of female rats in a chronic inflammation-induced bone loss model[J]. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 2010, 21(10): 968-974.
- [9] QIAN G, XUE K, TANG L, et al. Mitigation of oxidative damage by green tea polyphenols and Taichi exercise in postmenopausal women with osteopenia[J]. *Plos One*, 2012, 10(7): 480-492.
- [10] 尹鹏. 冷泡茶研究进展[J]. *湖南农业科学*, 2017, 26(1): 115-118. [YIN P. Research progress of cold brewing tea[J]. *Hunan Agricultural Science*, 2017, 26(1): 115-118.]
- [11] 张莉. 不同温度处理对冷泡茶主要成分溶出速度的影响[J]. *皖西学院学报*, 2014, 21(5): 83-85. [ZHANG L. Effects of different temperature treatments on the dissolution rate of main components of cold tea[J]. *Journal of West Anhui University*, 2014, 21(5): 83-85.]
- [12] 何新益, 刘金福, 黄宗海, 等. 变温压差膨化法制备冷泡茶的工艺优化[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(S1): 388-393. [HE X Y, LIU J F, HUANG Z H, et al. Process optimization of cold brewing tea by variable temperature and differential pressure expansion[J]. *Journal of Agricultural Engineering*, 2010, 26(S1): 388-393.]
- [13] 欧阳晓江. 冷溶速溶红茶粉的工艺研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2009. [OUYANG X J. Study on the technology of cold soluble and instant black tea powder[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2009.]
- [14] 何莲, 段学艺, 陈娟, 等. 添加纤维素酶对“冷泡绿茶”成品茶品质的影响研究[J]. *安徽农业科学*, 2014, 42(36): 13038-13042. [HE L, DUAN X Y, CHEN J, et al. Study on the effect of adding cellulase on the quality of "cold soaked green tea" finished tea[J]. *Anhui Agricultural Science*, 2014, 42(36): 13038-13042.]
- [15] 杨坚, 谢超, 段涛. 冷泡茶发酵菌筛选及发酵条件的优化研究[J]. *食品工业科技*, 2007, 28(10): 100-102. [YANG J, XIE C, DUAN T. Screening of cold tea fermentation bacteria and optimization of fermentation conditions[J]. *Food Industry Science and Technology*, 2007, 28(10): 100-102.]
- [16] 王萌蕾, 陈复生, 杨宏顺, 等. 电生功能水对果蔬杀菌和保鲜效果研究进展[J]. *粮食与油脂*, 2014, 27(5): 12-16. [WANG M L, CHEN F S, YANG H S, et al. Research progress on sterilization and preservation effect of electrogenerated functional water on fruits and vegetables[J]. *Grain and Oil*, 2014, 27(5): 12-16.]
- [17] 刘洋. 电生功能水的制备贮藏及其对小鼠生理功能影响研究[D]. 张家口: 河北北方学院, 2019. [LIU Y. Preparation and storage of electrogenic functional water and its effect on physiological function of mice[D]. Zhangjiakou: Hebei North University, 2019.]
- [18] VIZZINI A, CONTU M, ERCOLE E. Musumecia gen. nov. in the tricholomatoid clade (Basidiomycota, Agaricales) related to *Pseudoclitocybe*[J]. *Nordic Journal of Botany*, 2012, 29(6): 734-740.
- [19] GULDEN G, ELLEN L. *Atractosporocybe polaris*-a new clitocyboid agaric described from arctic-alpine and northern boreal regions in Svalbard and Scandinavia[J]. *Agarica*, 2016, 37: 33-34.
- [20] 顾宗义. 负电位抗氧化保健茶饮料: 中国, CN101473951A[P]. 2009-07-28. [GU Z Y. Negative potential antioxidant health tea beverage: China, CN101473951A[P]. 2009-07-28.]
- [21] 张丽, 朱耘, 耿艳艳, 等. 一种采用电解水萃茶的无糖金花黑茶饮料及其制备方法: 中国, CN109699775A[P]. 2019-05-03. [ZHANG L, ZHU Y, GENG Y Y, et al. A sugar free Jinhua black tea beverage by electrolytic water extraction and its preparation method: China, CN109699775A[P]. 2019-05-03.]
- [22] 龚芝萍, 尹军峰, 陈根生. 不同类型水质对龙井茶汤风味品质及主要化学成分的影响[J]. *茶叶科学*, 2020, 40(2): 215-224. [GONG Z P, YIN J F, CHEN G S. Effects of different types of water quality on flavor quality and main chemical components of Longjing tea soup[J]. *Tea Science*, 2020, 40(2): 215-224.]
- [23] 陈挺强, 刘淑敏, 黄惠华. 绿茶与红茶浸提液功能性成分含

- 量和抗氧化能力的差异研究[J]. 现代食品科技, 2014, 34(10): 141–146. [CHEN T Q, LIU S M, HUANG H H. Study on the difference of functional component content and antioxidant capacity between green tea and black tea extracts[J]. Modern Food Science and Technology, 2014, 34(10): 141–146.]
- [24] TANG V C Y, SUN J, COMUZ M, et al. Effect of solid-state fungal fermentation on the non-volatiles content and volatiles composition of *Coffea canephora* (robusta) coffee beans[J]. Food Chemistry, 2021, 337: 128023.
- [25] AYSELI M T, KELEBEK H, SELLI S. Elucidation of aroma-active compounds and chlorogenic acids of Turkish coffee brewed from medium and dark roasted *Coffea arabica* beans[J]. Food Chemistry, 2020, 338(5): 127821.
- [26] YANG H, HUA J L, WANG C. Anti-oxidation and anti-aging activity of polysaccharide from *Malus micromalus* Makino fruit wine[J]. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 121: 1203–1212.
- [27] SAAD H M, TAN C H, LIM S H, et al. Evaluation of anti-melanogenesis and free radical scavenging activities of five *Artocarpus* species for cosmeceutical applications[J]. Industrial Crops Products, 2021, 161: 113184.
- [28] 江春柳. 不同水质浸提、调配茶饮料品质技术的研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010. [JIANG C L. Study on quality technology of tea beverage extracted and prepared with different water quality[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010.]
- [29] 曾敏, 龚正礼. 超声辅助室温冲泡绿茶的条件筛选和品质分析[J]. 食品科学, 2014, 35(10): 315–319. [ZENG M, GONG Z L. Condition screening and quality analysis of ultrasonic assisted room temperature brewing of green tea[J]. Food Science, 2014, 35(10): 315–319.]
- [30] 石亚丽, 朱荫, 马婉君, 等. 名优炒青绿茶挥发性成分研究进展[J]. 茶叶科学, 2021, 41(3): 285–301. [SHI Y L, ZHU Y, MA W J, et al. Research progress on volatile components of famous and high-quality fried green tea[J]. Tea Science, 2021, 41(3): 285–301.]
- [31] 王梦琪, 朱荫, 张悦, 等. "清香"绿茶的挥发性成分及其关键香气成分分析[J]. 食品科学, 2019, 22: 219–228. [WANG M Q, ZHU Y, ZHANG Y, et al. Analysis of volatile components and key aroma components of "Qingxiang" green tea[J]. Food Science, 2019, 22: 219–228.]
- [32] 蒋青香, 李慧雪, 李利君, 等. 基于感官检验和气相色谱-质谱联用对白芽奇兰茶叶香气分级[J]. 食品科学, 2021, 42(20): 98–106. [JIANG Q X, LI H X, LI L J, et al. Aroma classification of baiyaqilan tea based on sensory test and gas chromatography-mass spectrometry[J]. Food Science, 2021, 42(20): 98–106.]
- [33] MA L L, CAO D, LIU Y L, et al. A comparative analysis of the volatile components of green tea produced from various tea cultivars in China[J]. Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 2019, 43(5): 451–463.
- [34] SHIRAHATA S, KABAYAMA S, NAKANO M, et al. Electrolyzed-reduced water scavenges active oxygen species and protects DNA from oxidative damage[J]. Biochemical Biophysical Research Communications, 1997, 234(1): 269.
- [35] 王秀萍, 朱海燕, 刘恋. 古丈毛尖绿茶冷泡饮用方法初探[J]. 茶叶学报, 2015, 56(3): 170–178. [WANG X P, ZHU H Y, LIU L. Preliminary study on cold bubble drinking method of Guzhang Maojian green tea[J]. Journal of Tea, 2015, 56(3): 170–178.]
- [36] 苗雨欣, 刘旭, 宁慧娟, 等. 碱性电解水提取灵芝子实体多糖的工艺优化[J]. 中国食用菌, 2020, 39(11): 62–74. [MIAO Y X, LIU X, NING H J, et al. Process optimization of extracting polysaccharide from *Ganoderma lucidum* fruiting body with alkaline electrolytic water[J]. Chinese Edible Fungi, 2020, 39(11): 62–74.]
- [37] TOGE Y, MIYASHITA K. Lipid extraction with electrolyzed cathode water from marine products[J]. Journal of Oleo Science, 2002, 52(1): 1–6.
- [38] 王超文, 彭蜀晋, 张莉, 等. 谈谈离子水的特征和应用[J]. 化学教育, 2010, 31(7): 1–2. [WANG C W, PENG S J, ZHANG L, et al. Talk about the characteristics and application of ionic water[J]. Chemical Education, 2010, 31(7): 1–2.]
- [39] 鲍晓华. 普洱茶贮藏年限的品质变化及种类差异研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010. [BAO X H. Study on quality changes and species differences of Pu'er tea during storage[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.]
- [40] WANG L F, KIM D M, LEE C Y. Effects of heat processing and storage on flavanols and sensory qualities of green tea beverage[J]. J Agric Food Chem, 2018, 48(9): 4227–4232.
- [41] 谢明勇, 王之珺, 谢建华. 多糖的硫酸化修饰及其结构与生物活性关系研究进展[J]. 中国食品学报, 2015, 15(2): 1–8. [XIE M Y, WANG Z J, XIE J H. Sulfation modification of polysaccharides and its relationship between structure and bioactivity[J]. Chinese Journal of Food, 2015, 15(2): 1–8.]