

7 种海南特色茶抗氧化活性及总多酚、总黄酮含量的测定

陈元杰¹, 徐 静², 刘常涛¹, 黄锦华¹, 岑举人^{1*}

1. 海南大学生命科学学院, 海南海口 570228; 2. 海南大学化学工程与技术学院/海南省精细化工工程技术研究中心, 海南海口 570228

摘 要: 为了深入探索海南地方特色茶的抗氧化活性及总多酚、总黄酮含量的差异, 本研究对 7 种海南特色茶 (辣木茶、苦丁茶、五指山绿茶、白沙绿茶、五指山红茶、兰贵人和鹧鸪茶) 提取液的抗氧化活性及总多酚、总黄酮含量进行测定。结果表明: 不同品种茶叶的抗氧化活性存在差异, 茶叶提取液的抗氧化活性与样品浓度均表现出量效关系, 同时热稳定性较好。7 种茶的总多酚和总黄酮含量分别在 9.80%~22.84% 和 0.90%~4.67% 之间, 五指山绿茶的总多酚含量最高, 是辣木茶的 2.33 倍; 苦丁茶、五指山红茶、兰贵人、鹧鸪茶的总多酚含量差异不显著。五指山绿茶的总黄酮含量最高, 是辣木茶的 5.18 倍; 五指山红茶、兰贵人、鹧鸪茶总黄酮含量差异不显著, 五指山绿茶的总多酚和总黄酮含量均为 7 种茶叶中最高。7 种茶叶提取液均具有抗氧化还原能力, 并且茶叶中的茶多酚含量、总黄酮含量与自由基清除能力呈现良好的量效关系, 辣木茶的清除 ABTS 能力最强, 五指山红茶的清除超氧自由基能力最强, 白沙绿茶整体的抗氧化效果最好, 其还原能力、DPPH 清除能力、羟自由基清除能力最强。7 种茶叶提取液在不同温度条件和沸水孵育, 其抗氧化性并未发生显著变化, 说明 7 种茶叶提取液的热稳定性较好。研究表明供试 7 种茶不仅富含总多酚和总黄酮, 而且具有较强的抗氧化活性, 为海南特色茶的进一步开发利用提供理论基础。

关键词: 海南特色茶; 总多酚; 总黄酮; 抗氧化

中图分类号: TS272.5

文献标志码: A

Determination of Antioxidant Activity, Total Polyphenol and Total Flavonoid Content of Seven Hainan Specialty Tea

CHEN Yuanjie¹, XU Jing², LIU Changtao¹, HUANG Jinghua¹, CEN Juren^{1*}

1. School of Life Sciences, Hainan University, Haikou, Hainan 570228, China; 2. School of Chemical Engineering and Technology, Hainan University / Hainan Provincial Chemical Engineering Research Center, Haikou, Hainan 570228, China

Abstract: The antioxidant activity, total polyphenol and total flavonoid content differences of local Hainan specialty teas (Moringa Tea, Kuding Tea, Wuzhishan Green Tea, Baisha Green Tea, Wuzhishan Black Tea, Languiren and Partridge Tea) were evaluated. Results revealed significant variations in antioxidant activity among the teas. The antioxidant activity of the tea extract exhibited a dose-dependent relationship with sample concentration and demonstrated excellent thermal stability. The total polyphenol and total flavonoid content of the teas was ranged from 9.80% to 22.84% and 0.90% to 4.67%, respectively, and the total polyphenol content of Wuzhishan Green Tea was the highest, which was 2.33 times that of Moringa Tea. The difference in total polyphenol content of Kuding Tea, Wuzhishan Black Tea, Languiren, and Partridge Tea was not significant, while the total flavonoid content of Wuzhishan Green Tea was the highest, and the total flavonoid content of Wuzhishan Green Tea was 5.18 times that of Moringa Tea. The difference in total flavonoid content of Wuzhishan Black Tea, Languiren, and Partridge Tea was not significant, and the total polyphenol and total flavonoid content of Wuzhishan Green Tea were the highest among the teas. The seven tea extracts had antioxidant reduction ability, and the tea polyphenol content and total flavonoid content showed a good quantitative relationship with the scavenging ability of free radicals. Moringa Tea had the strongest ability to scavenge ABTS, Wuzhishan Black Tea had the strongest ability to scavenge superoxide radicals, and

收稿日期 2023-06-05; 修回日期 2023-08-31

基金项目 国家自然科学基金项目 (No. 81973229, No. 82160675); 海南省重大科技项目 (No. ZDKJ202008)。

作者简介 陈元杰 (1999—), 男, 硕士研究生, 研究方向: 天然产物及其药理活性。*通信作者 (Corresponding author): 岑举人 (CEN Juren), E-mail: cenjr@hainu.edu.cn。

Baisha Green Tea had the best antioxidant effect overall, with the reduction ability, DPPH scavenging ability, hydroxyl radical scavenging ability were the strongest. The antioxidant properties of the seven tea extracts did not change significantly when incubated at different temperature conditions and boiling water, indicating that the seven tea extracts had better thermal stability. This study shows that Hainan specialty teas are rich in total polyphenols and total flavonoids and exhibit strong antioxidant abilities, providing a theoretical foundation for further development and utilization of Hainan specialty teas.

Keywords: Hainan specialty tea; total polyphenols; total flavonoids; antioxidant

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2024.06.016

茶属山茶科, 是生长于热带、亚热带地区的多年生常绿木本植物。海南省盛产茶, 是中国最南部的茶叶产区, 也是唯一的热带茶区^[1]。茶是世界上使用最广泛的饮料, 在国内, 茶是除了水之外消费最多的饮品。茶是丰富的药物活性分子来源, 对人体健康有许多益处^[2-3]。茶叶中含有许多具有药理价值的化合物, 其中对人体健康影响较为显著的化学物质主要是茶多酚^[4]。茶多酚的含量对茶叶品质有较大影响, 是形成茶叶独特风味不可缺少的物质^[5], 酚类物质也是茶叶中主要的活性物质, 是一类存在于植物体内并拥有特殊活性的次生代谢产物, 具有抗炎^[6]、抗衰老^[7]、抗氧化^[8]等生理活性, 常用作天然的抗氧化剂。黄酮类化合物也具有抗炎、抗肿瘤、抗氧化、抗动脉硬化、清除自由基^[9-10]等功效。

机体生理代谢活动中产生的活性氧 (ROS) 类对生命体的健康产生重大影响, 而消除 ROS 最有效的方法就是使用抗氧化剂, 如二丁基羟基甲苯 (BHT)、丁基羟基茴香醚 (BHA)、抗坏血酸 (VC) 等。而这些人工合成的抗氧化剂存在致癌和毒性等安全性问题^[11]。植物黄酮和多酚具有很强的清除自由基^[8-10]和防止一系列自由基连锁反应的能力, 而茶叶含有丰富的茶多酚, 表明茶叶具有成为天然抗氧化剂的巨大潜力。

本研究以 7 种海南特色茶 (辣木茶、苦丁茶、五指山绿茶、五指山红茶、白沙绿茶、兰贵人、鹧鸪茶) 为试验材料, 测定茶叶提取物中总多酚和总黄酮的含量, 以及不同种茶叶提取物的抗氧化活性, 并进行抗氧化活性的比较分析, 全面评估 7 种海南特色茶的抗氧化活性与总多酚、总黄酮含量之间的相关性, 为研究茶叶的抗氧化机制提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试材料 于海南当地市场购买辣木茶 (海南椰仙生物科技有限公司)、苦丁茶 (海南椰

仙生物科技有限公司)、五指山绿茶 (海口金峰岩茶叶有限公司)、白沙绿茶 (海南农垦白沙茶业股份有限公司)、五指山红茶 (海南椰仙生物科技有限公司)、兰贵人 (海南椰仙生物科技有限公司)、鹧鸪茶 (海口海茗贸易有限公司) 等成品茶叶作为供试材料, 以上成品茶均为春季采摘的一芽两叶茶叶。

1.1.2 试剂 1,1-二苯基-2,2-苦基肼 (DPPH, Sigma 公司); 2,2-联氮-二(3-乙基-苯并噻唑-6-磺酸)二铵盐 (ABTS, Sigma 公司); 没食子酸 (上海源叶生物科技有限公司); 芦丁标准品 (上海源叶生物科技有限公司); 核黄素 (上海源叶生物科技有限公司); 无水乙醇、L-甲硫氨酸、福林酚试剂、无水乙醇、VC、亚硝酸钠、硝酸铝、NaOH、无水碳酸钠、过硫酸钾、水杨酸、硫酸亚铁、双氧水、铁氰化钾、氯化亚铁、三氯化铁、磷酸钠缓冲液, 以上化学试剂均为分析纯。蒸馏水为实验室自制。

1.1.3 仪器 FW 高速万能粉碎机 (杭州旭众机械设备有限公司); JH-41-04 型紫外可见分光光度计 (上海菁华科技有限公司); AR2140 型电子天平 (奥豪斯仪器上海有限公司); XD-5200DTD 型超声波清洗机 (南京先欧仪器制造有限公司); DM0412S 低速离心机 (大龙兴创实验仪器股份有限公司); HH-2 数显恒温水浴锅 (国华电器有限公司)。

1.2 方法

1.2.1 样品制备 将供试茶叶经高速多功能粉碎机粉碎成粉末, 过 60 目筛, 精密称定 7 种茶叶粉末各 1 g, 置于具塞锥形瓶, 加入 75%乙醇 10 mL, 密塞, 称定重量, 浸泡过夜, 在功率为 100 W, 频率为 40 kHz 条件下超声处理 1 h, 冷却, 称定重量, 用 75%乙醇补足减少的重量, 摇匀, 过滤, 取滤液, 于 4000 r/min 条件下离心 15 min, 取上清液作供试液。

1.2.2 清除 DPPH·能力测定 参考李玮等^[12]的方法, 稍作修改, 取 7 个 5 mL 离心管, 分别加

入 3.9 mL 60 $\mu\text{mol/L}$ DPPH 溶液和 7 个不同浓度的茶叶提取液 0.1 mL, 将混合物充分震荡后于室温下避光反应 30 min, 在 517 nm 处测吸光值, 未加提取液作空白对照, 平行测定 3 次。清除率 $=[(A_{\text{blank}}-A_{\text{sample}})/A_{\text{blank}}]\times 100\%$, 式中, A_{blank} 表示对照管的吸光值, A_{sample} 表示加入提取液样品后的吸光值。

1.2.3 清除 ABTS^+ 能力测定 参考马慧等^[13]的方法, 稍作修改, 取 7 个 5 mL 离心管, 分别加入 3.9 mL ABTS 溶液和 7 个不同浓度的茶叶提取液 0.1 mL, 将混合物充分震荡后于室温下避光反应 30 min, 在 734 nm 处测吸光值。设置 1 个对照管, 对照管中加入 0.1 mL 无水乙醇和 3.9 mL ABTS 溶液。以 VC 为阳性对照, 平行测定 3 次。清除率 $=[(A_{\text{blank}}-A_{\text{sample}})/A_{\text{blank}}]\times 100\%$, 式中, A_{blank} 表示对照管的吸光值, A_{sample} 表示加入提取液样品后的吸光值。

1.2.4 清除超氧自由基 ($\text{O}_2^{\cdot-}$) 能力测定 参照苏凡等^[14]的方法测定茶叶提取液的超氧阴离子自由基清除率。

1.2.5 清除羟自由基 ($\cdot\text{OH}$) 能力测定 参考周婧^[15]的方法, 稍作修改, 取 7 个 5 mL 离心管, 依次加入 1 mL FeSO_4 溶液, 1 mL 水杨酸-乙醇溶液, 7 个不同浓度茶叶提取液 1 mL, 200 μL H_2O_2 以及 800 μL 水, 37 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 30 min, 在 510 nm 处测吸光值。对照管和样底管各设置 1 个, 对照管中用 1 mL 水代替供试液, 样底管中用水代替 H_2O_2 , 以 VC 为阳性对照。平行测定 3 次。清除率 $=1-(A_{\text{样品}}-A_{\text{样底}})/A_{\text{对照}}$, 式中, $A_{\text{样品}}$ 表示加入提取液样品后的吸光值, $A_{\text{样底}}$ 表示样底管的吸光值, $A_{\text{对照}}$ 表示对照管的吸光值。

1.2.6 还原能力测定 参考刘子金等^[16]的方法,

稍作修改, 取 7 个 10 mL 离心管, 依次加入 7 个不同浓度茶叶提取液 1 mL, 2.5 mL 磷酸钠缓冲液, 2.5 mL 铁氰化钾, 50 $^{\circ}\text{C}$ 水浴 30 min, 加入 2.5 mL 三氯乙酸, 3000 r/min 离心 20 min, 取上清液 2.5 mL, 加入 2.5 mL 水和 0.5 mL FeCl_3 。静置 10 min, 在 700 nm 处测定吸光值。以没食子酸为对照组, 平行测定 3 次。

1.2.7 热稳定性测定 参照吴英华等^[17]的方法测定茶叶提取液的热稳定性。

1.2.8 总多酚含量测定 参照刘仙俊等^[18]的方法, 以没食子酸作对照, 采用福林酚法测定茶叶提取液中总多酚的含量。

1.2.9 总黄酮含量测定 参照杨芙莲等^[19]和王萍等^[20]的方法, 采用亚硝酸钠-硝酸铝法测定茶叶提取液中总黄酮的含量。

1.3 数据处理

利用 Excecl 2021 软件进行数据处理, 采用 Graphpad Prism 9.5.1 软件进行差异显著性分析以及作图。

2 结果与分析

2.1 茶叶提取液的抗氧化活性分析

2.1.1 清除 DPPH 和 ABTS 自由基能力 在相同的浓度条件下 (8 mg/mL), 茶叶提取液所表现出来清除 DPPH 自由基和 ABTS 自由基的能力不同, 并且同种茶叶提取液随浓度的增加, 其清除自由基的能力也增强, 质量浓度小于 5 mg/mL 时, 各茶叶提取液的 DPPH 自由基清除能力具有明显差异; 质量浓度大于 5 mg/mL 时, DPPH 自由基的清除率均达到 80.00% 以上, 且无明显差异 (图 1A)。在测定的浓度范围内, 辣木茶提取液的清除 ABTS^+ 能力最强, ABTS^+ 清除率始终高于其

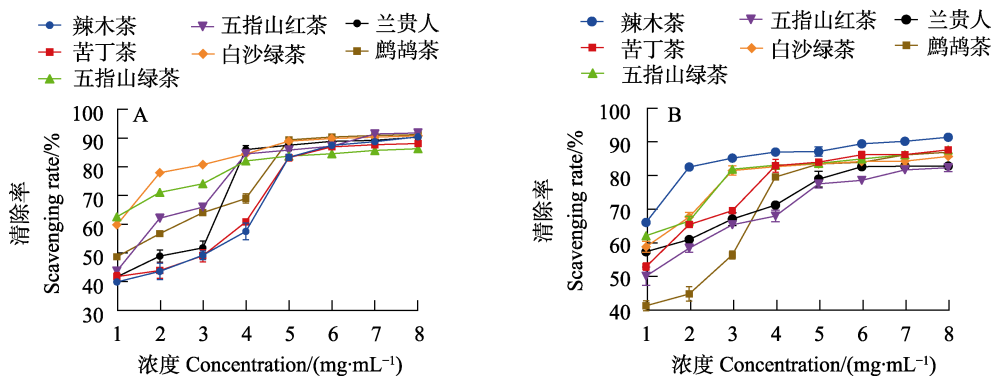


图 1 7 种茶叶提取液对 DPPH (A) 和 ABTS 自由基 (B) 的清除作用

Fig. 1 DPPH· (A) and ABTS^+ (B) scavenging activity of seven teas extracts

他茶叶提取液,辣木茶提取液浓度为 8 mg/mL 时,清除率达 91.53% (图 1B)。

由表 1 可知,7 种海南特色茶叶的 75%乙醇提取液对 DPPH·和 ABTS⁺·的半抑制浓度 (IC₅₀) 值有所不同,但是对 DPPH 自由基与 ABTS 自由基均具有较强的清除作用。五指山绿茶提取液的 DPPH 清除能力最强,IC₅₀ 值为 0.496 mg/mL,辣木茶提取液的 ABTS 清除能力最强,其 IC₅₀ 值为 0.394 mg/mL。

表 1 7 种茶叶提取液对 DPPH 和 ABTS 自由基的半抑制浓度

Tab. 1 IC₅₀ of seven teas extracts to DPPH· and ABTS⁺· mg/mL

茶叶 Tea	DPPH·	ABTS ⁺ ·
辣木茶	2.118±0.13 ^a	0.394±0.02 ^c
苦丁茶	2.027±0.13 ^a	0.936±0.03 ^b
五指山绿茶	0.496±0.04 ^b	0.557±0.06 ^c
五指山红茶	1.324±0.04 ^c	1.130±0.14 ^b
白沙绿茶	0.629±0.02 ^c	0.615±0.08 ^c
兰贵人	1.705±0.05 ^d	0.800±0.05 ^b
鹧鸪茶	1.333±0.01 ^d	1.757±0.09 ^a

注: 同列不同小写字母表示差异显著 (P<0.05)。

Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference (P<0.05).

2.1.2 清除超氧自由基能力 如图 2 所示,随着茶叶提取液浓度的增大,其清除超氧自由基能力不断增强,呈现正量效关系。7 种茶叶提取液对超氧自由基均具有清除作用,提取液质量浓度低于 1.8 mg/mL 时,五指山红茶和鹧鸪茶提取液的超氧自由基清除率接近;浓度大于 4.2 mg/mL 时,五指山红茶和鹧鸪茶提取液的超氧自由基清除率明显高于白沙绿茶、苦丁茶、五指山绿茶,浓度达到 4.8 mg/mL 时,五指山红茶提取液的超氧自由基清除率 (79.68%) 明显高于其他茶叶。

2.1.3 清除羟自由基能力 羟自由基测定结果如图 3 所示,在 0.6~4.2 mg/mL 浓度范围内,随着茶叶提取液浓度的增加,其清除羟自由基能力也逐渐增强。茶叶提取液浓度为 0.6 mg/mL 时,五指山绿茶 (42.49%) 和白沙绿茶 (38.13%) 提取液的清除率高于其他 5 种茶,而低于 CK (VC) 的清除率 (75.88%);提取液浓度达到 3.0 mg/mL 后其清除率增长缓慢,浓度超过 3.6 mg/mL 时清除率趋于平缓,达到最大浓度时 (4.8 mg/mL) 白沙绿茶提取液的羟自由基清除率为 71.07% 稍低于 CK (78.76%)。

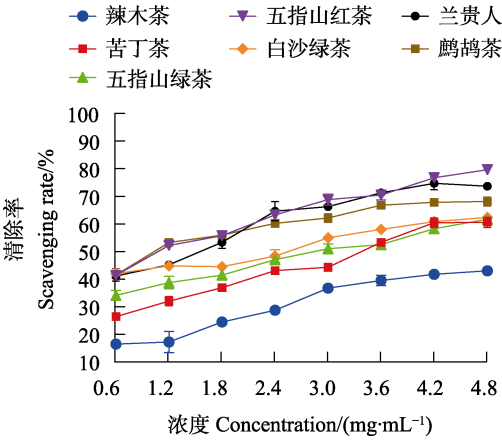


图 2 7 种茶叶提取液对超氧自由基的清除作用
Fig. 2 O₂⁻ scavenging activity of seven teas extracts

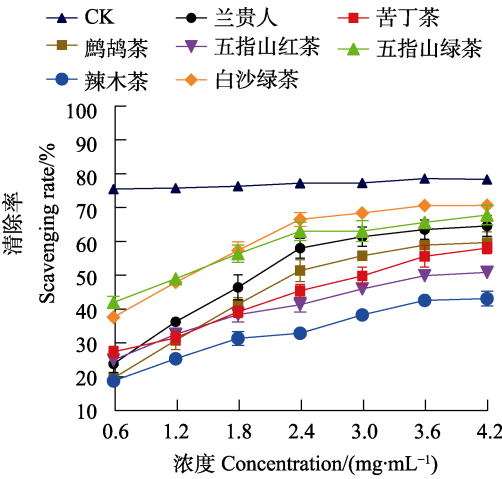


图 3 7 种茶叶提取液对羟自由基的清除作用
Fig. 3 ·OH scavenging activity of seven teas extracts

2.1.4 还原能力 如图 4 所示,7 种茶叶提取液均表现出一定的还原能力,随茶叶提取液浓度的增加,其还原能力也不断增强。在提取液浓度为 0.06~0.18 mg/mL 时,辣木茶、苦丁茶、兰贵人、鹧鸪茶、五指山红茶提取液的还原能力较为接近;提取液浓度为 0.18~0.30 mg/mL 时,鹧鸪茶与辣木茶的还原能力低于其他 5 种茶。随着提取液浓度的增大,辣木茶的还原能力逐渐弱于鹧鸪茶,在 0.18~0.48 mg/mL 浓度范围内,白沙绿茶的还原能力高于其余 6 种茶。在供试的浓度范围内 7 种茶叶提取液的还原能力均低于 CK(没食子酸)。

2.1.5 热稳定性 7 种茶叶提取液在不同温度下的抗氧化活性无明显变化 (图 5A)。通过研究沸水孵育对 7 种茶叶提取液抗氧化活性的影响可知,在 100 ℃ 条件下,延长沸水浴的时间对 7 种茶叶提取液的抗氧化性无明显变化 (图 5B)。

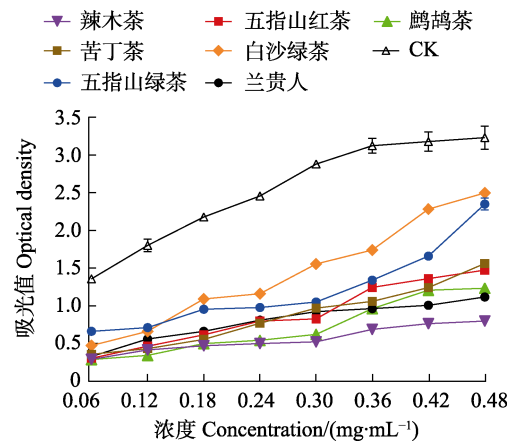


图 4 7 种茶叶提取液的还原能力
Fig. 4 Reducing capacity of seven teas extracts

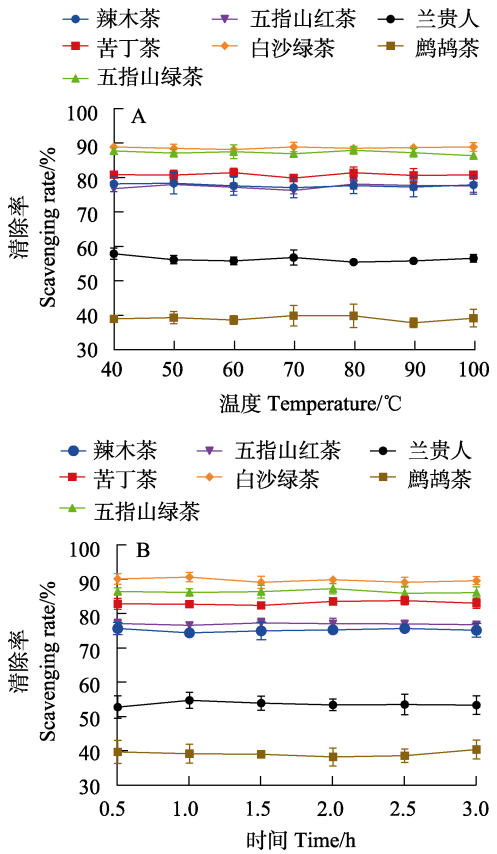


图 5 7 种茶叶提取液的热稳定性
Fig. 5 Thermal stability of seven teas extracts

2.2 总多酚和总黄酮的含量测定分析

7 种茶叶提取液的总多酚和总黄酮含量如表 2 所示。五指山绿茶提取液的总多酚含量最高 (22.84%), 是辣木茶 (9.80%) 的 2.33 倍, 而苦丁茶、五指山红茶、兰贵人、鸬鹚茶的总多酚含量差异不显著。从 7 种茶叶提取液的总黄酮含量来看, 五指山绿茶提取液的总黄酮含量最高

(4.67%), 是辣木茶的 5.18 倍, 五指山红茶、兰贵人、鸬鹚茶的总黄酮含量差异不显著。

表 2 7 种茶叶提取液中总多酚和总黄酮含量
Tab. 2 Content of total polyphenol and total flavonoids in seven teas extracts

茶叶 Tea	总多酚 Total polyphenols/%	总黄酮 Total flavonoids/%	总多酚/总黄酮 Total polyphenols/Total flavonoids
辣木茶	9.80±0.68 ^d	0.90±0.04 ^e	0.092±0.004 ^d
苦丁茶	15.31±0.37 ^c	3.85±0.04 ^c	0.252±0.004 ^a
五指山绿茶	22.84±0.52 ^a	4.67±0.09 ^a	0.204±0.001 ^b
五指山红茶	12.45±0.42 ^c	2.41±0.03 ^d	0.194±0.009 ^b
白沙绿茶	19.84±0.62 ^b	4.32±0.14 ^b	0.218±0.005 ^b
兰贵人	13.59±1.90 ^c	2.07±0.13 ^d	0.154±0.015 ^c
鸬鹚茶	14.94±0.57 ^c	1.55±0.07 ^d	0.104±0.001 ^d

注: 同列不同小写字母表示差异显著 ($P<0.05$)。
Note: Different lowercase letters in the same column indicate significant difference ($P<0.05$).

3 讨论

本研究对比 7 种海南特色茶叶提取液的总多酚、总黄酮含量及抗氧化活性, 并进行了差异分析, 发现其提取液均有抗氧化还原能力。抗氧化活性由 DPPH·、ABTS⁺·、羟自由基、超氧自由基等多个指标共同决定^[21-23]。在探索潜在的天然抗氧化剂时, 热稳定性是非常重要的一个因素^[24]。在本研究中, 7 种茶叶提取液在不同温度条件和沸水孵育下, 其抗氧化性并未发生显著变化。因此, 可以得知这 7 种茶叶提取液的热稳定性较佳。

研究表明, 7 种茶叶的茶多酚含量在 9.80%~22.84% 之间, 其中, 五指山绿茶的茶多酚含量最高为 22.84%, 属茶多酚含量较高水平, 这与董方等^[25]和何进武等^[26]的研究结果一致。总黄酮含量在 0.90%~4.67% 之间, 其中, 五指山绿茶的总黄酮含量最高为 4.67%, 属茶叶中相对较高的水平^[27]。茶叶中的茶多酚含量和总黄酮含量与自由基的清除能力呈现良好的量效关系^[28]。总多酚与总黄酮含量的测定结果也证实了这一观点, 但辣木茶的各项抗氧化活性指标低于其余几种茶叶, 而辣木茶的 ABTS⁺·清除率反而略高, 这与余芳等^[29]的研究结果一致。这可能是由于辣木茶中含有的一些醇溶性的、不属于多酚类的强抗氧化物质含量偏高, ABTS⁺·可溶于水和有机溶剂^[30], 可以在不同的 pH 下使用, 对 pH 的变化不敏感, 而 DPPH·只溶于有机极性溶剂中, 如乙醇^[31], 所以茶叶中的

水溶性抗氧化物质只能清除 ABTS^+ 而不能清除 DPPH^+ , 这些可能是导致 ABTS^+ 清除率高的原因。这一结果也说明了抗氧化活性不仅与多酚和黄酮含量相关, 同时也与其他化合物也存在着复杂的关系。

白沙绿茶整体的抗氧化效果最好, 其还原能力、 DPPH^+ 清除能力、羟自由基清除能力最强。本研究中, 75%乙醇提取物的抗氧化活性效果明显强于李杰等^[32]研究中所使用的 70%乙醇提取物和水提物。说明不同的提取方法也会造成提取的总酚含量或者其他的抗氧化活性成分有一定的差异。鹧鸪茶与白沙绿茶、五指山绿茶为同一种茶种(绿茶), 而抗氧化活性测定结果相差较大, 茶叶品种及其生长环境不同, 其所含的多酚种类和数量也不相同, 会造成提取的总酚含量有一定差异。

五指山红茶、兰贵人、苦丁茶的抗氧化能力接近, 这可能是由于这 3 种茶的总多酚和总黄酮含量较为接近。这一结果反映出茶叶的抗氧化活性与其化学成分及其含量存在相对复杂的关系, 但总体上可看出其均具有较强的抗氧化活性。

综上, 本研究中的 7 种海南特色茶富含总多酚和总黄酮等抗氧化成分, 且具有较好的抗氧化效果和热稳定性, 具有很高的开发利用价值。

参考文献

- [1] 韩旭. 中国茶叶种植地域的历史变迁研究[D]. 浙江: 浙江大学, 2013.
HAN X. A study on the historical changes of tea growing regions in China[D]. Zhejiang: Zhejiang University, 2013. (in Chinese)
- [2] 赵保路. 天然抗氧化剂茶多酚的健康作用及其机理[J]. 生物物理学报, 2012, 28(5): 426-437.
ZHAO B L. Health effects of natural antioxidant tea polyphenols and their mechanism[J]. Acta Biophysica Sinica, 2012, 28(5): 426-437. (in Chinese)
- [3] AMARJARGAL T. 茶多酚对酪蛋白体内外消化吸收的影响[D]. 安徽: 安徽农业大学, 2019.
AMARJARGAL T. Effect of tea polyphenols on the digestion and absorption of casein *in vitro* and *in vivo*[D]. Anhui: Anhui Agricultural University, 2019. (in Chinese)
- [4] 郑瑛珠. 茶叶的主要化学成分及其营养价值[J]. 福建茶叶, 2020, 42(11): 21-22.
ZHENG Y Z. The main chemical composition of tea leaves and their nutritional value[J]. Tea in Fujian, 2020, 42(11): 21-22. (in Chinese)
- [5] 翟淑红, 黄锦悦, 周婷钰, 石慧, 陈涛. 8 种发酵茶茶多酚含量及抗氧化活性分析[J]. 中国酿造, 2022, 41(8): 179-183.
ZHAI S H, HUANG J Y, ZHOU T Y, SHI H, CHEN T. Polyphenol content and antioxidant activity of 8 fermented teas[J]. China Brewing, 2022, 41(8): 179-183. (in Chinese)
- [6] 蔡朋举, 孙爱东, 贾国梁. 植物多酚的抗炎功效及微胶囊化研究进展[J]. 中国食品学报, 2022, 22(7): 417-427.
CAI P J, SUN A D, JIA G L. Advances in anti-inflammatory efficacy and microencapsulation of plant polyphenols[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(7): 417-427. (in Chinese)
- [7] 范红艳, 王艳春, 顾饶胜, 任旷. 茶多酚抗衰老的研究进展[J]. 中国老年学杂志, 2011, 31(5): 893-895.
FAN H Y, WANG Y C, GU R S, REN K. Advances in anti-aging research on tea polyphenols[J]. Chinese Journal of Gerontology, 2011, 31(5): 893-895. (in Chinese)
- [8] 陈仕学, 姚元勇, 卢忠英, 汪兰, 秦馨. 邻苯三酚自氧化法对茶叶中茶多酚的抗氧化性能应用研究[J]. 食品研究与开发, 2020, 41(17): 29-36.
CHEN S X, YAO Y Y, LU Z Y, WANG L, QIN X. Pyrogallol-oxidation and its application to tea polyphenols activity assay[J]. Food Research and Development, 2020, 41(17): 29-36. (in Chinese)
- [9] 刘冬英, 王茵. 茶叶多酚心血管保护作用的分子机制研究进展[J]. 食品科学, 2010, 31(21): 464-468.
LIU D Y, WANG Y. Advances in the molecular mechanism of cardioprotective effects of tea polyphenols[J]. Food Science, 2010, 31(21): 464-468. (in Chinese)
- [10] 黄陈陈, 丁之恩, 杨松, 蔡晶, 付广俊. 油茶叶黄酮类化合物清除自由基及抑菌作用研究[J]. 粮食与油脂, 2011(12): 12-15.
HUANG C C, DING Z E, YANG S, CAI J, FU G J. Study on free radical scavenging and antibacterial effects of flavonoids in oil tea leaves[J]. Cereals & Oils, 2011(12): 12-15. (in Chinese)
- [11] 吴英详, 余雪芳, 詹兴堆, 李欣欣, 杨超, 宗伟勋, 李永裕. 千层金叶片醇提物抗氧化活性的研究[J]. 热带作物学报, 2019, 40(7): 1367-1372.
WU Y X, YU X F, ZAN X D, LI X X, YANG C, ZONG W X, LI Y Y. Study on the antioxidant activity of the alcoholic extract of the leaves of *Phyllostachys sinensis*[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(7): 1367-1372. (in Chinese)
- [12] 李玮, 李莉, 王晓梅, 刁娟娟, 王新玲. 复方罗欧咳祖帕中总多酚总黄酮的含量测定与抗氧化活性研究[J]. 新疆医科大学学报, 2021, 44(7): 842-845.
LI W, LI L, WANG X M, DIAO J J, WANG X L. Determination of total polyphenols and total flavonoids in compound

- Loki zupa and study on antioxidant activity[J]. Journal of Xinjiang Medical University, 2021, 44(7): 842-845. (in Chinese)
- [13] 马慧, 茹鑫, 王津, 赵路漫, 王硕. 4 种茶叶水提取物及茶多酚的体外抗氧化性能研究[J]. 食品研究与开发, 2019, 40(8): 65-70.
- MA H, RU X, WANG J, ZHAO L M, WANG S. Study on the antioxidant capacity of four tea water extracts and tea polyphenols *in vitro*[J]. Food Research and Development, 2019, 40(8): 65-70. (in Chinese)
- [14] 苏凡, 杨小波, 李东海, 刘子金, 岑举人. 五指山水满茶的茶多酚、总黄酮含量与抗氧化活性研究[J]. 热带作物学报, 2018, 39(4): 675-680.
- SU F, YANG X B, LI D H, LIU Z J, CEN J R. The content of tea flavonoids, total phenols and antioxidant activities of Wuzhishan-Shuiman Tea[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(4): 675-680. (in Chinese)
- [15] 周婧. 大青叶化学成分与抗氧化活性研究[D]. 海口: 海南大学, 2014.
- ZHOU J. The study on chemical constituents and antioxidant activity in *Clerodendrum cyrtophyllum* Turcz leaves[D]. Haikou: Hainan University, 2014. (in Chinese)
- [16] 刘子金, 杨小波, 苏凡, 李东海, 岑举人. 七种藤黄科植物树皮抗氧化性及游离型总多酚、总黄酮含量的测定[J]. 分子植物育种, 2016, 14(12): 3536-3543.
- LIU Z J, YANG X B, SU F, LI D H, CEN J R. Determination of antioxidant activity, free total polyphenols contents and total flavonoids contents of bark extracts from Guttiferae plants[J]. Molecular Plant Breeding, 2016, 14(12): 3536-3543. (in Chinese)
- [17] 吴英华, 任凤莲. 7 种植物提取物的体外抗氧化活性比较研究[J]. 中成药, 2014, 36(6): 1298-1301.
- WU Y H, REN F L. A comparative study on the *in vitro* antioxidant activity of seven plant extracts[J]. Chinese Traditional Patent Medicine, 2014, 36(6): 1298-1301. (in Chinese)
- [18] 刘仙俊, 范向前, 史起鹏, 王雪虎, 戚晓阳. 燕麦总多酚的微波辅助提取工艺研究[J]. 食品研究与开发, 2016, 37(17): 55-59.
- LIU X J, FAN X Q, SHI Q P, WANG X H, QI X Y. Study on microwave-assisted extraction of total polyphenols from oat[J]. Food Research and Development, 2016, 37(17): 55-59. (in Chinese)
- [19] 杨芙莲, 陈旭清. 表面活性剂—超声波协同提取荞麦壳黄酮工艺研究[J]. 粮食与油脂, 2013, 26(6): 46-49.
- YANG F L, CHEN X Q. Study on surfactant assisted ultrasonic extraction of flavonoids from buckwheat hull[J]. Cereals & Oils, 2013, 26(6): 46-49. (in Chinese)
- [20] 王萍, 王宇鹤, 李辉, 赖普辉, 高寒. 枇杷核不同极性萃取物总黄酮、总多酚含量与其抗氧化活性的相关性[J]. 化学试剂, 2020, 42(9): 1067-1072.
- WANG P, WANG Y H, LI H, LAI P H, GAO H. Correlation between the content total flavonoids and total polyphenols in loquat nuclear with different extracts and their antioxidant activities[J]. Chemical Reagents, 2020, 42(9): 1067-1072. (in Chinese)
- [21] 朱文华, 杨为海. 澳洲坚果花发育过程中抗氧化物质含量及抗氧化活性的变化[J]. 经济林研究, 2023, 41(1): 63-70.
- ZHU W H, YANG W H. Changes in the antioxidant substance content and antioxidant capacity during flower development of macadamia[J]. Non-wood Forest Research, 2023, 41(1): 63-70. (in Chinese)
- [22] 房鑫, 覃新云, 农可懿, 刘智能, 张海文. 紫甘薯源花青素的抗氧化活性及模拟消化稳定性研究[J]. 饲料工业, 2023, 44(5): 33-39.
- FANG X, QIN X Y, NONG K Y, LIU Z N, ZHANG H W. Determination of *in vitro* antioxidant activity and simulated digestive stability of purple sweet potato-derived anthocyanins[J]. Feed Industry, 2023, 44(5): 33-39. (in Chinese)
- [23] 何偲, 黄元霞, 邱忠平, 李萍, 徐柳. 桑葚与红糖初始质量比对桑葚酵素抗氧化活性的影响[J]. 食品与药品, 2018, 20(5): 329-332.
- HE C, HUANG Y X, QIU Z P, LI P, XU L. Effect of initial mass ratio of mulberry and brown sugar on antioxidant activity of mulberry Jiaosu[J]. Food and Drug, 2018, 20(5): 329-332. (in Chinese)
- [24] 王彦博, 石燕, 袁毅君. 秦岭山脉野生蒲公英提取物的抗氧化活性及其对胡麻油氧化稳定性的影响[J]. 中国油脂, 2020, 45(5): 42-47.
- WANG L B, SHI Y, YUAN Y J. Antioxidant activity of wild dandelion extracts from the Qinling Mountains and its effect on the oxidative stability of caraway oil[J]. China Oils and Fats, 2020, 45(5): 42-47. (in Chinese)
- [25] 董方, 李小飞, 沈思言, 杨菲颖, 金玲莉, 涂娟, 吴月坤, 董越, 陈罗君, 谢枫. 江西茶树资源的遗传多样性分析及优异种质筛选[J]. 江西农业大学学报, 2022, 44(6): 1466-1477.
- DONG F, LI X F, SHEN X Y, YANG F Y, JIN L L, TU J, WU Y K, DONG Y, CHEN L J, XIE F. Genetic diversity analysis and screening of excellent germplasm of tea plant resources in Jiangxi[J]. Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, 2022, 44(6): 1466-1477. (in Chinese)
- [26] 何进武, 陈冬梅, 樊伟伟. 海南不同地区绿茶功能性成分对比分析[J]. 福建茶叶, 2018, 40(2): 5.
- HE J W, CHEN D M, FAN W W. Comparative analysis of functional components of green tea in different regions of Hainan[J]. Tea in Fujian, 2018, 40(2): 5. (in Chinese)

- [27] 何碧云, 杨张静, 何忠伟, 陈春岚, 殷佳雅, 潘中田. 不同品种茶树果内含物质分析及抗氧化活性研究[J]. 福建茶叶, 2021, 43(5): 62-64.
HE B Y, YANG Z J, HE Z W, CHEN C L, YIN J Y, PAN Z T. Analysis of substances and antioxidant activity Of different varieties of tea tree fruits[J]. Tea in Fujian, 2021, 43(5): 62-64. (in Chinese)
- [28] 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.
CHEN J E, FENG H J, ZHANG H R. Effects of active ingredients in black tea, green tea and Oolong tea on antioxidant capability[J]. Food Science, 2009, 30(3): 62-66. (in Chinese)
- [29] 余芳, 汪洪涛, 郑梦瑶, 朱龙龙. 辣木茶多酚提取工艺优化及其体外抗氧化活性[J]. 农产品加工, 2022(7): 24-28, 34.
YU F, WANG H T, ZHENG M Y, ZHU L L. Optimization of extraction process and *in vitro* antioxidant activity of moringa tea polyphenols[J]. Farm Products Processing, 2022(7): 24-28, 34. (in Chinese)
- [30] 路艳珍. 苹果叶中活性成分的分离分析及活性评价研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2019.
LU Y Z. Study on the isolation, analysis and activity evaluation of active ingredients in apple leaves[D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2019. (in Chinese)
- [31] 李书启. 柴胡疏肝散抗氧化活性及其活性成分柚皮苷药代动力学研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2010.
LI S Q. Study on the antioxidant activity of Chinese traditional herbal formula Chaihu-Shu-Gan-San (CSGS) and pharmacokinetics of the active component naringin in CSGS [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2010. (in Chinese)
- [32] 李杰, 王瑜, 黄午阳, 谷满屯, 姬彦羽, 张伟敏. 海南白沙绿茶的抗氧化活性及其酚酸类组成的 HPLC-MS 分析[J]. 热带作物学报, 2016, 37(4): 829-834.
LI J, WANG Y, HUANG W Y, GU M T, JI Y Y, ZHANG W M. HPLC-MS analysis of antioxidant activity and phenolic acid composition of Hainan Baisha Green Tea[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2016, 37(4): 829-834. (in Chinese)