

16 种市售茶叶抗氧化活性及抗氧化物质分析

冯拓, 单培, 张展开, 高献礼*, 马海乐, 王博
(江苏大学食品与生物工程学院 江苏镇江 212013)

摘要 以 16 种市售销量较好的茶叶为代表, 对比分析不同茶叶的茶汤中的总酚、总黄酮、氨基酸态氮、还原糖和总糖等抗氧化物质含量, 并以抗坏血酸为阳性对照, 采用 2,2-联苯基-1-苦基肼基(DPPH)自由基清除能力、2,2'-联氨-双二胺盐(ABTS)自由基清除能力、还原力和金属离子螯合能力等抗氧化指标评价茶汤的抗氧化活性。采用相关性分析、聚类分析和主成分分析等方法揭示茶汤的抗氧化物质与抗氧化活性之间的复杂关系。结果表明, 除少数茶汤样品间无显著性差异($P > 0.05$)外, 其余不同茶汤的抗氧化物质含量和抗氧化活性差异显著($P < 0.05$)。其中金坛雀舌和黄金芽的 DPPH 自由基清除能力最强, 西湖龙井的 ABTS 自由基清除能力最强, 黄金芽的还原力最强, 南京黄龙岷的金属螯合力最强, 黄金芽、南京黄龙岷、金坛雀舌、西湖龙井、信阳毛尖综合评分较高。对市售茶叶抗氧化活性和抗氧化物质的综合评价, 可为茶叶抗氧化机制研究提供基础数据, 同时为消费者有针对性地选择茶叶提供参考。

关键词 茶叶; 抗氧化活性; 抗氧化物质; 聚类分析; 主成分分析

文章编号 1009-7848(2022)10-0352-11 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2022.10.037

茶作为世界三大饮品(茶、可可和咖啡)之一, 其芳香浓郁, 味道醇正, 深受全球众多消费者的青睐与欢迎^[1-2]。中国是世界上最早发现和利用茶叶的国家, 可溯源至石器时代^[3], 并且中国茶资源丰富, 茶种类繁多, 除满足自身需求外, 还出口到其他国家, 据中国海关数据, 2021 年第 1 季度, 中国茶叶累计出口量达到 7.60 万 t, 同比增长 5.31%。

几乎所有种类的茶都是用人工采摘的茶树鲜叶通过不同加工工艺制成^[4-6], 不同茶叶加工工艺如表 1 所示。表 1 是按茶色不同对茶叶进行分类, 而按发酵方式与程度可将茶叶划分为不发酵茶(绿茶和白茶)、微发酵茶(黄茶)、半发酵茶(青茶, 亦称乌龙茶)、全发酵茶(红茶)和后发酵茶(黑茶)^[7-8]。大量研究表明, 茶叶含有超过 500 种化学成分, 其中有机化合物占比高达 90% 以上^[9], 无机矿物质 15 种以上^[10]。经常饮用之, 对人体有诸多益处, 如: 抗氧化, 延缓衰老^[11], 有助于抗病毒^[12], 降糖降脂^[13]以及抑制口腔致病菌的增殖^[14]等。喝茶有助于健康已被人们所接受, 健康的饮茶文化也

深深地植根于广大消费群体。

茶叶的抗氧化作用被认为是其保健、抗癌最重要的机理^[15], 这与其含有的茶多酚、茶多糖及黄酮等生化成分密切相关^[16]。其中, 茶叶多酚类物质是其抗氧化能力的最主要影响因素之一, 而以表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表没食子儿茶素(EGC)、表儿茶素没食子酸酯(ECG)、表儿茶素(EC)为主体的儿茶素类化合物占茶多酚总量的 60%~80%^[17]。杨丽霞等^[18]研究表明 EGCG、EGC、ECG、EC 是其所制备的黄茶啤酒中的主要抗氧化物质, 并且这 4 种物质对酒体本身的抗氧化活性贡献值高达 54.40%, 贡献顺序依次为 EGCG > EGC > ECG > EC, 同时该研究也证明茶叶的内源性抗氧化物质在很大程度上决定黄茶啤酒的抗氧化活性。茶叶中的糖类物质含量也极为丰富, 占茶叶干重的 20%~25%, 其中, 茶叶多糖被证明有较强的抗氧化活性, Wang 等^[19]研究表明天然黄茶多糖和超声波处理的黄茶多糖都具备一定的自由基(DPPH 自由基、超氧阴离子自由基和羟自由基)清除能力, 且自由基清除能力基本与黄茶多糖呈正相关。陈金娥等^[19]采用 DPPH·法、水杨酸法和邻苯三酚法测定了红茶、绿茶和乌龙茶的多糖提取液对各类自由基的清除能力, 结果表明, 每种多糖提取液对各类自由基均有强弱不一的清除能力。此外, 占茶叶干重的 1%~4%的氨基酸也是很好的

收稿日期: 2021-10-11

基金项目: 国基自然科学基金项目(31801537); 中山市重大科技专项(2018A1007); 阳西市科技创新战略专项(SDZX2021030)

作者简介: 冯拓(1996—), 男, 硕士生

通信作者: 高献礼 E-mail: gaolianli@ujs.edu.cn

抗氧化物质。虽然吕海鹏等^[20]研究表明“紫娟”茶产品的总抗氧化活性和清除 DPPH 自由基活性与游离氨基酸含量均呈负相关关系,但是 Gao 等^[21]研究表明在酱醪发酵过程中,超声处理释放更多的游离氨基酸显著增强了酱油对 DPPH 自由基的清除能力(尤其是丙氨酸、亮氨酸和苏氨酸)和金属离子螯合能力(尤其是精氨酸、亮氨酸和赖氨酸)。两个研究的结论存在矛盾,这也为本研究提供了一个思路:茶叶的抗氧化活性与其氨基酸含量的真实关系。由此可见,茶叶中的多酚、多糖和氨基酸等活性物质的含量是决定其抗氧化活性强弱的物质基础。

目前,有关茶叶的抗氧化活性研究主要集中于对单一品种与地区茶叶的研究^[4,9,20]以及生长环境、加工冲泡等条件对茶叶抗氧化活性的影响^[2,7-8,22]等,而对于不同种类茶叶的活性物质与抗氧化活性之间关系的研究较少,对茶叶抗氧化活性的主要贡献物质没有相对统一的认识。本研究首先筛选出 16 种市场销量较好的茶叶,以它们为代表,根据人们日常生活中常规的冲泡方式冲泡茶叶,然后,在大量对茶叶中抗氧化物质研究的基础上,选取总酚、总黄酮、氨基酸态氮、还原糖和总糖等为抗氧化物质指标,对它们进行对比分析。同时以熟知的抗氧化剂抗坏血酸为阳性对照,采用 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、

表 1 不同茶叶加工工艺

Table 1 Manufacturing processes of different teas	
茶的种类	加工工艺
绿茶	鲜叶→杀青→揉捻→干燥
红茶	鲜叶→萎凋→揉捻→发酵→干燥
白茶	鲜叶→萎凋→干燥
黄茶	鲜叶→萎凋→杀青→揉捻→闷黄→干燥
青茶	鲜叶→萎凋→做青→杀青→揉捻→干燥
黑茶	鲜叶→杀青→揉捻→渥堆→干燥

还原力和金属离子螯合能力等为抗氧化活性指标来评价不同茶叶样品茶汤的抗氧化活性。最后采用相关性分析、聚类分析以及主成分分析等方法来揭示 16 种市售茶叶样品茶汤的抗氧化物质与抗氧化活性之间的复杂关系,以期为消费者、茶叶研究人员和生产人员提供数据参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

16 种茶叶样品,市售,价格范围为(650±70)元/kg,样品名称、产地及其对应编号见表 2。

福林酚、DPPH、ABTS、没食子酸、铁氰化钾、菲咯啉、芦丁和奎诺二甲基丙烯酸酯(水溶性维生素 E)(6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid,Trolox),美国 Sigma 公司;其它化学药品为分析纯级,国药集团有限公司。

表 2 茶叶样品信息

Table 2 Information of selected tea samples

样品编号	样品名称	产地	样品编号	样品名称	产地
A1	南京云雾茶	南京	I9	白毫银针	福建
B2	信阳毛尖	信阳	J10	武夷岩茶	福建
C3	安吉富硒茶	安吉	K11	铁观音	福建
D4	西湖龙井	杭州	L12	普洱(熟)	云南
E5	南京黄龙岙	南京	M13	安化黑茶	安化
F6	罗汉果花茶	广西	N14	金坛雀舌	金坛
G7	苦丁茶	贵州	O15	黄金芽	浙江
H8	黄山毛峰	安徽	P16	手工碧螺春	苏州

1.2 仪器与设备

MD SpectraMax M2 型多功能酶标仪, Molecular Devices; EX223 型电子天平, 奥豪斯仪器(上海)有限公司; pH 计, METTLER TOLEDO; 电子万用炉, 通州实验仪器厂; 78-1 型磁力加热搅拌器,

常州国华电器有限公司; 电热鼓风机干燥箱、HWS26 型电热恒温水浴锅, 上海一恒科学仪器有限公司。

1.3 方法

1.3.1 样品的前处理 参照常规茶叶冲泡方法, 准确称取各茶样 1.00 g, 加入 100 mL 刚煮沸的水

冲泡茶叶,不加盖浸泡 10 min 后,过滤,得到澄清茶汤,用于后续分析。

1.3.2 抗氧化物质的测定

1.3.2.1 总酚的测定 参照 Xu 等^[23]的方法并略作修改,测定茶汤中的总酚含量。使用没食子酸为标准品,根据没食子酸标准曲线计算茶汤中的总酚含量,该结果以 $\mu\text{g GAE/mL}$ ($\mu\text{g gallic acid equivalent/mL}$) 茶汤表示。

1.3.2.2 总黄酮的测定 使用芦丁作为标准品,采用亚硝酸钠-硝酸铝显色法测定茶汤中总黄酮的含量。根据芦丁标准曲线计算茶汤中的总黄酮含量,该结果以 $\mu\text{g RE/mL}$ ($\mu\text{g rutin equivalent/mL}$) 茶汤表示。

1.3.2.3 氨基酸态氮的测定 采用酸度计法^[24]测定茶汤中氨基酸态氮的含量。

1.3.2.4 还原糖的测定 采用直接滴定法^[25]测定茶汤中还原糖的含量。

1.3.2.5 总糖的测定 取一定量的茶汤于 250 mL 锥形瓶中,加水 10 mL,6 mol/L HCl 2 mL,70 °C 水浴加热 15 min。冷却后加入甲基红指示液 2 滴,用 NaOH 溶液(200 g/L)滴定至红色消失(近中性),冷却后备用。其它步骤参照还原糖的测定方法。

1.3.3 抗氧化活性的测定

1.3.3.1 DPPH 自由基清除能力 在 Brand-Williams 等^[26]的方法基础上稍加修改,测定茶汤对 DPPH 自由基清除能力。茶汤对 DPPH 自由基清除能力计算公式:

$$\text{DPPH 自由基清除率}(\%) = \frac{A_0 - (A_1 - A_s)}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

式中, A_0 、 A_1 和 A_s ——分别代表仅含 DPPH 的空白溶液的吸光度,含或不含 DPPH 的茶汤的吸光度。

1.3.3.2 ABTS 自由基清除能力 参照 Lee 等^[27]的方法并略作修改,测定茶汤对 ABTS 自由基清除能力。使用 Trolox 为标准品,该结果以 $\mu\text{mol TE/mL}$ ($\mu\text{mol Trolox equivalent/mL}$) 茶汤表示。

1.3.3.3 还原力 根据 Tchabo 等^[28]的方法并稍加修改,测定茶汤的还原力。使用抗坏血酸为标准品,该结果以 $\mu\text{g AAE/mL}$ ($\mu\text{g ascorbic acid equivalent/mL}$) 茶汤表示。

1.3.3.4 金属离子螯合能力 参照 Zheng 等^[29]的方法并稍加修改,测定茶汤的金属离子螯合能力。使用乙二胺四乙酸 (Ethylene diamine tetraacetic acid, EDTA) 为标准品,该结果以 $\mu\text{g EE/mL}$ ($\mu\text{g EDTA equivalent/mL}$) 茶汤表示。

1.4 数据分析

所有试验数据均测定 3 次,以“平均值 \pm 标准偏差”的形式表示各测定数据。运用 SPSS 18.0 软件(美国 SPSS 公司)进行单因素方差分析、相关性分析、聚类分析及主成分分析。

2 结果与分析

2.1 抗氧化物质分析

16 种茶汤的总酚、总黄酮、氨基酸态氮、还原糖和总糖含量见表 3。

在总酚方面,各样品的总酚含量范围为 128.84 $\mu\text{g GAE/mL}$ (罗汉果花茶)~954.64 $\mu\text{g GAE/mL}$ (黄金芽)。除西湖龙井,金坛雀舌与信阳毛尖、苦丁茶与普洱(熟)等样品间无显著差异($P > 0.05$)外,其余各样品间均有显著差异($P < 0.05$)。陈金娥等^[9]研究了不同茶叶中多酚的含量,发现不同茶叶的多酚含量介于 1.71%~9.75%之间,且绿茶>半发酵乌龙茶>红茶。将本研究所测总酚含量进行换算,发现 16 种茶汤样品的总酚含量范围为 1.29%~9.55%,且绿茶的总酚含量最高,研究结果基本一致。

在总黄酮方面,各样品的总黄酮含量范围为 21.25 $\mu\text{g RE/mL}$ (罗汉果花茶)~208.02 $\mu\text{g RE/mL}$ (苦丁茶)。除普洱(熟)与金坛雀舌、金坛雀舌与信阳毛尖、白毫银针与安吉富硒茶等样品间无显著差异($P > 0.05$)外,其余各样品间均有显著差异($P < 0.05$)。吕海鹏等^[20]测定了用不同工艺制备的“紫娟”绿茶、红茶和乌龙茶等产品的黄酮含量,发现黄酮含量介于 0.37%~0.63%之间,而将本研究所测黄酮含量进行换算,发现 16 种茶汤样品的黄酮含量范围为 0.21%~2.08%,研究结果差异较大,且苦丁茶作为黑茶的一种,黄酮含量达 208.02 $\mu\text{g RE/mL}$,是第 2 名黄金芽的 1.91 倍,是最后一名罗汉果花茶的 9.79 倍。其原因可能在于不同茶树种及不同的茶叶加工工艺导致茶叶产品所含黄酮量不尽相同,而且本研究所选茶叶样品涵盖面更为

丰富,这可能是导致研究结果差异较大的主因。当然,Gao等^[21]也指出黄酮在长时间暴露在高温和光下,趋于不稳定,进而失活或者降解,而茶叶的加工几乎都涉及光和热,可能造成茶叶中黄酮不同程度的损失,进而使检测结果不同。

在氨基酸态氮方面,各样品的氨基酸态氮含量范围为0.85 mg/100 mL(苦丁茶)~6.85 mg/100 mL(南京黄龙岙)。除信阳毛尖,南京云雾茶与黄山毛峰、南京云雾茶,黄山毛峰,西湖龙井,白毫银针与普洱(熟)、武夷岩茶与安化黑茶、安吉富硒茶与罗汉果花茶等样品间无显著差异($P>0.05$)外,其余各样品间均有显著差异($P<0.05$)。Lv等^[30]研究了3种中国黑茶(普洱茶、茯砖茶、六堡茶)茶汤中总氨基酸含量,发现游离氨基酸含量介于1.02%~1.32%之间,根据1 g氮 \approx 6.25 g氨基酸,将本研究所测氨基酸态氮量进行换算,发现16种茶汤样品的氨基酸态氮含量范围为0.53%~4.20%。相比之下,本研究所测样品的氨基酸含量范围更广。

在还原糖方面,各样品的还原糖含量范围为

16.81 mg/100 mL(普洱(熟))~79.02 mg/100 mL(南京云雾茶)。除黄山毛峰与武夷岩茶、安化黑茶与白毫银针、苦丁茶与铁观音等样品间无显著差异($P>0.05$)外,其余样品间均有显著差异($P<0.05$)。在总糖方面,各样品的总糖含量范围为24.50 mg/100 mL(苦丁茶)~84.70 mg/100 mL(南京云雾茶)。除南京云雾茶与西湖龙井、信阳毛尖与南京黄龙岙、南京黄龙岙与黄金芽、金坛雀舌,铁观音,手工碧螺春与罗汉果花茶、安化黑茶与白毫银针、安吉富硒茶与普洱(熟)等样品间无显著差异($P>0.05$)外,其余样品间均有显著差异($P<0.05$)。陈金娥等^[19]测定了不同茶叶提取液中茶多糖的含量,发现茶多糖含量介于2.19%~2.89%之间,而将本研究所测还原糖及总糖含量进行换算,发现16种茶汤样品的还原糖含量范围为1.68%~7.90%,总糖含量范围为2.45%~8.47%,研究结果差异较大,其原因可能在于所测方法不一样。前者采用硫酸-苯酚法,而本研究采用直接滴定法,这是导致所测数据不同的原因之一,同时不同的茶叶浸泡方式及茶叶品种也是导致研究结果差异较大的因素。

表3 16种茶汤抗氧化物质的比较

Table 3 Comparison of antioxidant substances in sixteen kinds of tea infusions

样品名称	总酚/ $\mu\text{g GAE}\cdot\text{mL}^{-1}$	总黄酮/ $\mu\text{g RE}\cdot\text{mL}^{-1}$	氨基酸态氮/ $\text{mg}\cdot(100\text{ mL})^{-1}$	还原糖/ $\text{mg}\cdot(100\text{ mL})^{-1}$	总糖/ $\text{mg}\cdot(100\text{ mL})^{-1}$
南京云雾茶	588.01 \pm 8.23 ^c	66.87 \pm 1.16 ^e	3.67 \pm 0.16 ^{e,f}	79.02 \pm 1.89 ^a	84.70 \pm 3.98 ^a
信阳毛尖	811.40 \pm 8.94 ^e	92.64 \pm 1.49 ^d	3.80 \pm 0.08 ^e	71.06 \pm 2.06 ^b	77.35 \pm 3.10 ^b
安吉富硒茶	302.12 \pm 3.35 ^k	48.08 \pm 0.41 ⁱ	1.12 \pm 0.03 ⁱ	33.41 \pm 0.71 ⁱ	36.71 \pm 0.83 ^b
西湖龙井	815.22 \pm 4.60 ^e	84.77 \pm 0.95 ^e	3.53 \pm 0.16 ^f	68.37 \pm 1.42 ^c	81.38 \pm 1.72 ^a
南京黄龙岙	900.62 \pm 7.31 ^b	28.69 \pm 1.01 ^m	6.85 \pm 0.24 ^a	61.09 \pm 1.24 ^d	74.03 \pm 1.48 ^{b,c}
罗汉果花茶	128.84 \pm 1.79 ^m	21.25 \pm 0.70 ⁿ	1.08 \pm 0.04 ⁱ	39.11 \pm 0.90 ^b	59.50 \pm 2.40 ^d
苦丁茶	419.43 \pm 3.61 ^b	208.02 \pm 3.31 ^a	0.85 \pm 0.02 ^j	20.94 \pm 0.88 ^l	24.50 \pm 0.59 ⁱ
黄山毛峰	490.68 \pm 4.30 ^f	52.41 \pm 0.78 ⁱ	3.58 \pm 0.11 ^{e,f}	31.38 \pm 0.63 ^j	40.25 \pm 0.81 ^e
白毫银针	386.99 \pm 2.99 ^j	49.47 \pm 0.68 ^l	3.49 \pm 0.08 ^f	23.52 \pm 0.56 ^k	48.33 \pm 1.54 ^f
武夷岩茶	450.60 \pm 3.86 ^e	56.25 \pm 0.93 ^h	3.06 \pm 0.10 ^e	31.25 \pm 0.78 ^j	53.77 \pm 2.44 ^c
铁观音	292.53 \pm 3.97 ^l	33.69 \pm 0.77 ^l	1.77 \pm 0.06 ^h	20.53 \pm 0.41 ^l	61.75 \pm 1.85 ^d
普洱(熟)	413.39 \pm 5.83 ^b	96.25 \pm 1.20 ^e	3.46 \pm 0.10 ^f	16.81 \pm 0.51 ^m	35.06 \pm 0.71 ^h
安化黑茶	336.10 \pm 6.06 ^j	43.00 \pm 0.75 ^k	2.85 \pm 0.10 ^e	24.29 \pm 0.50 ^k	49.01 \pm 1.67 ^f
金坛雀舌	814.69 \pm 5.05 ^e	94.50 \pm 1.60 ^{c,d}	4.85 \pm 0.20 ^d	45.87 \pm 0.98 ^f	62.85 \pm 2.85 ^d
黄金芽	954.64 \pm 6.20 ^a	108.68 \pm 2.03 ^b	6.08 \pm 0.17 ^b	51.84 \pm 1.14 ^c	71.08 \pm 1.43 ^c
手工碧螺春	660.85 \pm 4.46 ^d	74.06 \pm 0.89 ^f	5.52 \pm 0.20 ^c	42.83 \pm 0.94 ^e	61.02 \pm 2.04 ^d

注:结果为“平均值 \pm 标准差”(n=3);同列小写字母不同表示同一列数据的差异性显著($P<0.05$)。

2.2 抗氧化活性分析

选取 DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、还原力和金属离子螯合能力等指标来衡量不同茶叶所浸泡出的茶汤的抗氧化活性强弱,同时以抗坏血酸为阳性对照,根据中国居民膳食指南中对正常成年人推荐最适宜的抗坏血酸日摄入量为 100 mg,试验过程中各种茶汤的定容体积为 100 mL。为便于后续各样品间抗氧化活性的比较分析,将阳性对照抗坏血酸质量浓度设为 100 mg/100 mL,即 1 mg/mL。16 种市售不同茶叶的茶汤及抗坏血酸的抗氧化活性测定结果见表 4。

在所有茶汤样品和阳性对照抗坏血酸均稀释 200 倍的情况下,DPPH 自由基的清除能力在 2.37%(罗汉果花茶)~77.59%(金坛雀舌)之间,阳性对照抗坏血酸的 DPPH 自由基清除能力为 21.21%,其中仅有罗汉果花茶和苦丁茶的 DPPH 自由基清除能力弱于阳性对照。除金坛雀舌与黄金芽、西湖龙井与信阳毛尖、安化黑茶、铁观音与普洱(熟)、普洱(熟)与安吉富硒茶等样品间无显著差异($P>0.05$)外,其余各样品间均有显著差异($P<0.05$)。吕海鹏等^[20]研究了“紫娟”不同茶产品茶汤清除 DPPH 自由基的活性,结果表明 DPPH 自由基的清除率在 59.52%~95.61%之间,研究结果有所差异,原因可能在于样品稀释倍数不同。

在 ABTS 自由基清除能力方面,如表 4 所示,各样品的 ABTS 自由基清除能力的范围为 1.15 $\mu\text{mol TE/mL}$ (罗汉果花茶)~16.35 $\mu\text{mol TE/mL}$ (西湖龙井),阳性对照抗坏血酸的 ABTS 自由基清除能力为 5.21 $\mu\text{mol TE/mL}$,只有 3 种茶叶(安吉富硒茶、罗汉果花茶和苦丁茶)的 ABTS 自由基清除能力低于阳性对照。除黄金芽与金坛雀舌、南京黄龙岙与信阳毛尖、南京云雾茶与手工碧螺春、黄山毛峰与武夷岩茶、安化黑茶,白毫银针与普洱(熟)等样品间无显著差异($P>0.05$)外,其余各样品间均有显著差异($P<0.05$)。Cardoso 等^[31]测定了绿茶康普茶和红茶康普茶对 ABTS 自由基清除能力,结果显示:绿茶康普茶对 ABTS 自由基清除能力为 (8.22 ± 0.86) $\mu\text{mol TE/mL}$,而红茶康普茶对 ABTS 自由基清除能力为 (13.59 ± 1.43) $\mu\text{mol TE/mL}$,约为绿茶康普茶的 1.65 倍,尽管由于浸泡方式及茶的品种不同,绿茶康普茶对 ABTS 自由基

清除能力低于本研究中绿茶的,然而,两者对 ABTS 自由基清除能力在本研究所测 ABTS 自由基清除能力的范围内。

在还原力方面,各样品的还原力的范围为 297.04 $\mu\text{g AAE/mL}$ (罗汉果花茶)~1 659.72 $\mu\text{g AAE/mL}$ (黄金芽),有一半茶叶(安吉富硒茶、罗汉果花茶、苦丁茶、白毫银针、武夷岩茶、铁观音、普洱(熟)、安化黑茶)的还原力低于阳性对照。除金坛雀舌与南京黄龙岙、信阳毛尖与西湖龙井、手工碧螺春与黄山毛峰、白毫银针与武夷岩茶、安化黑茶与普洱(熟)等样品间无显著差异($P>0.05$)外,其余各样品间均有显著差异($P<0.05$)。Gulua 等^[32]测定了绿茶、黑长叶茶、茉莉花绿茶、芙蓉花红茶以及水果红茶的还原力,结果显示:绿茶、黑长叶茶、茉莉花绿茶、芙蓉花红茶以及水果红茶的还原力分别为 2.35,0.96,2.31,0.35,0.53 mg AAE/mL,可以看出绿茶的还原力最高,与本研究结果相符,而测定结果基本都高于本研究,原因可能是本研究的茶水比为 1:100,而 Gulua 等^[32]研究的茶水比为 1:50,更多的水会稀释茶汤,从而降低茶汤的还原力。

在金属螯合能力方面,如表 4 所示,各样品的金属螯合能力的范围为 1.69 $\mu\text{g EE/mL}$ (安吉富硒茶)~54.99 $\mu\text{g EE/mL}$ (南京黄龙岙),未检测到阳性对照抗坏血酸的金属螯合能力,这意味着本研究所选 16 种市售茶叶在金属螯合能力方面均显著优于阳性对照。除黄山毛峰与白毫银针、白毫银针与黄金芽、铁观音与安化黑茶等样品间无显著差异($P>0.05$)外,其余各样品间均有显著差异($P<0.05$)。Carlioni 等^[4]测定了白茶、绿茶、低咖啡因绿茶、红茶和切碎红茶的金属螯合能力,结果表明:白茶、绿茶、低咖啡因绿茶、红茶和切碎红茶的金属螯合能力分别为 0.477,0.178,0.147,0.449,0.249 mmol EE/L,金属螯合能力强弱排序为白茶>红茶>绿茶。将本研究所测金属螯合能力进行换算,发现金属螯合能力范围为 0.0058~0.188 mmol EE/L,结果差异较大。其原因:一方面可能由于两研究对茶叶浸泡方式的不同(本研究的茶水比为 1:100,而 Carlioni 等^[4]研究的茶水比为 1:40;本研究所用冲泡水为沸水,Carlioni 等^[4]研究所用冲泡水温度为 90 $^{\circ}\text{C}$ 等),另一方面,Carlioni 等^[4]

研究的茶叶是从同一茶树品种中获得，而本研究研究的茶叶来源更为广泛，这可能导致结果差异较大。

表 4 16 种茶汤及阳性对照抗氧化活性的比较

Table 4 Comparison of antioxidant activities in sixteen kinds of tea infusions and positive control

样品名称	DPPH 自由基清除能力/%	ABTS 自由基清除能力/ $\mu\text{mol TE}\cdot\text{mL}^{-1}$	还原力/ $\mu\text{g AAE}\cdot\text{mL}^{-1}$	金属螯合能力/ $\mu\text{g EE}\cdot\text{mL}^{-1}$
南京云雾茶	54.92 ± 1.60 ^e	11.33 ± 0.28 ^d	1 073.05 ± 36.95 ^e	25.95 ± 1.27 ^e
信阳毛尖	68.86 ± 1.82 ^e	13.20 ± 0.34 ^e	1 392.11 ± 51.27 ^e	34.99 ± 1.06 ^e
安吉富硒茶	25.92 ± 0.76 ^j	3.96 ± 0.14 ⁱ	397.79 ± 9.54 ^k	1.69 ± 0.05 ⁿ
西湖龙井	69.79 ± 1.40 ^e	16.35 ± 0.48 ^a	1 370.14 ± 39.76 ^e	38.70 ± 1.77 ^d
南京黄龙岷	73.50 ± 2.74 ^b	13.32 ± 0.58 ^e	1 545.31 ± 58.86 ^b	54.99 ± 1.88 ^a
罗汉果花茶	2.37 ± 0.10 ^m	1.15 ± 0.03 ^k	297.04 ± 10.02 ^l	50.89 ± 1.69 ^b
苦丁茶	14.12 ± 0.54 ^l	3.01 ± 0.14 ^j	806.38 ± 24.30 ^e	8.88 ± 0.24 ^k
黄山毛峰	47.45 ± 1.45 ^f	8.35 ± 0.28 ^e	1 149.72 ± 48.45 ^d	20.98 ± 0.60 ^h
白毫银针	38.30 ± 1.36 ^h	6.72 ± 0.26 ^f	740.19 ± 23.54 ^h	19.62 ± 0.66 ^{h,i}
武夷岩茶	43.84 ± 0.95 ^g	8.12 ± 0.18 ^e	727.04 ± 34.23 ^h	6.51 ± 0.28 ^l
铁观音	28.69 ± 1.07 ⁱ	5.80 ± 0.24 ^g	495.12 ± 9.98 ^j	4.75 ± 0.10 ^m
普洱(熟)	27.94 ± 0.63 ^{i,j}	6.48 ± 0.18 ^f	577.75 ± 17.84 ⁱ	14.16 ± 0.82 ^j
安化黑茶	30.40 ± 0.91 ⁱ	6.76 ± 0.14 ^f	611.55 ± 22.44 ⁱ	4.16 ± 0.13 ^m
金坛雀舌	77.59 ± 1.98 ^a	14.65 ± 0.30 ^b	1 556.43 ± 58.76 ^b	40.92 ± 1.79 ^c
黄金芽	76.83 ± 2.23 ^a	15.02 ± 0.51 ^b	1 659.72 ± 54.91 ^a	18.08 ± 0.52 ^j
手工碧螺春	64.58 ± 2.74 ^d	11.10 ± 0.34 ^d	1 200.56 ± 38.45 ^d	27.71 ± 0.60 ^f
抗坏血酸	21.21 ± 0.42 ^k	5.21 ± 0.19 ^h	1 000.00 ^f	-

注:结果为“平均值±标准差”(n=3);同列小写字母不同表示同一列数据的差异性显著(P<0.05);“-”是未检出。

2.3 相关性分析结果

对不同茶汤的抗氧化活性 (DPPH 自由基清除能力、ABTS 自由基清除能力、还原力和金属离

子螯合能力)与成分(总酚、总黄酮、还原糖、总糖和氨基酸态氮)进行相关性分析,结果见表 5。

表 5 茶汤中活性成分与抗氧化活性之间的相关性

Table 5 Correlation between active ingredients and antioxidant activities in tea infusions

相关系数	DPPH 自由基清除能力	ABTS 自由基清除能力	还原力	金属离子螯合能力	总酚	总黄酮	还原糖	总糖	氨基酸态氮
DPPH 自由基清除能力	1	0.974**	0.936**	0.423	0.947**	0.039	0.862**	0.682**	0.676**
ABTS 自由基清除能力		1	0.918**	0.438	0.943**	0.078	0.805**	0.723**	0.731**
还原力			1	0.505*	0.972**	0.258	0.823**	0.666**	0.581*
金属离子螯合能力				1	0.467	-0.189	0.459	0.622*	0.588*
总酚					1	0.257	0.830**	0.692**	0.616*
总黄酮						1	-0.088	-0.047	-0.291
还原糖							1	0.471	0.526*
总糖								1	0.868**
氨基酸态氮									1

注:*. 在 P<0.05 水平下显著相关, **. 在 P<0.01 水平下极显著相关。

由表5可知,16种市售茶叶样品茶汤中总酚含量与DPPH自由基清除能力、ABTS自由基清除能力和还原力呈极显著性正相关($P<0.01$),相关系数分别为0.947,0.943和0.972。还原糖含量与DPPH自由基清除能力、ABTS自由基清除能力和还原力呈极显著性正相关($P<0.01$),相关系数分别为0.862,0.805,0.823。总糖含量与DPPH自由基清除能力、ABTS自由基清除能力和还原力呈极显著性正相关($P<0.01$),相关系数分别为0.682,0.723,0.666。氨基酸态氮含量与DPPH自由基清除能力和ABTS自由基清除能力呈极显著性正相关($P<0.01$),相关系数分别为0.676,0.731;与还原力呈显著性正相关($P<0.05$),相关系数为0.581。总糖含量和氨基酸态氮含量与金属离子螯合能力均呈显著性正相关($P<0.05$),相关系数分别为0.622,0.588,并且仅总黄酮与金属离子螯合能力呈负相关,相关系数为-0.189。茶叶中总酚、还原糖、总糖和氨基酸态氮是影响茶叶中抗氧化活性大小的重要活性物质。表5结果表明影响16种市售茶叶样品茶汤抗氧化活性的抗氧化物质排序为总酚>还原糖>总糖>氨基酸态氮>黄酮。

2.4 聚类分析结果

对16种茶叶样本的4种抗氧化活性进行系统的聚类分析,采用平方Euclidean距离为度量准则,得到聚类分析如图1所示。

当距离大于20时,样品可分为2类;当距离大于5小于10时,可将16种样品很好地分为3大类,其中信阳毛尖、西湖龙井、南京黄龙岷、金坛雀舌和黄金芽为第1类,南京云雾茶、黄山毛峰和手工碧螺春为第2类,白毫银针、武夷岩茶、普洱(熟)、安化黑茶、苦丁茶、安吉富硒茶、铁观音和罗汉果花茶为第3类。结合具体数据与分析可知,根据综合的抗氧化能力排序为:第1类>第2类>第3类,即信阳毛尖、西湖龙井、南京黄龙岷、金坛雀舌和黄金芽5种茶叶的综合抗氧化能力较好。

2.5 主成分分析结果

对测定所得包括抗氧化活性(DPPH自由基清除能力、ABTS自由基清除能力、还原力和金属离子螯合能力)和抗氧化物质(总酚、总黄酮、氨基酸态氮、还原糖和总糖)这9个变量的原始数据进行主成分分析。为保证信息的完整性和可靠性,累

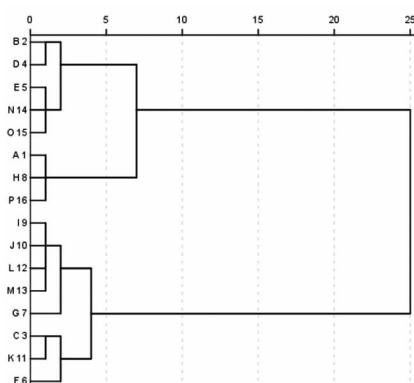


图1 16种茶叶样品的聚类分析树状图

Fig.1 Tree diagram of cluster analysis of sixteen tea samples

计方差贡献率应达到80%以上,结果见表6、表7和表8。

由表6可知,因前两个主成分的特征值均大于1,累计方差贡献率为82.846%,故提取前两个主成分。其中,第1主成分(PC1)的特征值是6.021,是最重要的,解释66.897%的变异,如表7所示,DPPH自由基清除能力、ABTS自由基清除能力、还原力、金属离子螯合能力、总酚、氨基酸态氮、还原糖和总糖在PC1上有较高的载荷,说明第1主成分基本反映这些指标的信息。第2主成分(PC2)的特征值是1.435,解释15.949%的变异,如表7所示,总黄酮在PC2上有较高的载荷,说明第2主成分基本反映了总黄酮的信息。由于提取前两个主成分可以基本反映全部指标的信息,因此决定用2个新变量(PC1和PC2)来代替原来的9个变量。通过计算得出PC1得分、PC2得分和综合得分(如表8所示),结果表明,黄金芽综合得分排名第1,其次是南京黄龙岷、金坛雀舌、西湖龙井、信阳毛尖、手工碧螺春、南京云雾茶、黄山毛峰、武夷岩茶、白毫银针、普洱(熟)、安化黑茶、苦丁茶、铁观音、安吉富硒茶以及罗汉果花茶。

3 结论

通过测定16种市售茶叶样品茶汤的抗氧化物质和抗氧化活性,发现除少数茶汤样品间无显著性差异($P>0.05$)外,其余不同茶汤样品间的抗氧化物质含量和抗氧化活性差异显著($P<0.05$);

表 6 主成分的初始特征值及累积方差贡献率

Table 6 Initial eigenvalue and cumulative variance contribution rate of principal components

主成分	特征值	方差 贡献率/%	累计方差 贡献率/%
1	6.021	66.897	66.897
2	1.435	15.948	82.846
3	0.749	8.325	91.171
4	0.528	5.870	97.041
5	0.105	1.164	98.205
6	0.096	1.071	99.276
7	0.034	0.374	99.650
8	0.020	0.217	99.868
9	0.012	0.132	100.000

表 7 前 2 个主成分的变异来源

Table 7 Source of variation for two principal components (PC)

项目	第 1 主成分 PC1	第 2 主成分 PC2
DPPH 自由基清除能力	0.956	0.134
ABTS 自由基清除能力	0.960	0.121
还原力	0.940	0.281
金属离子螯合能力	0.618	-0.438
总酚	0.952	0.279
总黄酮	0.028	0.876
氨基酸态氮	0.845	0.068
还原糖	0.817	-0.272
总糖	0.795	-0.457

表 8 茶叶主成分得分和综合得分

Table 8 Main component score and comprehensive score of tea

编号	样品名称	PC1 得分 F1	F1 排名	PC2 得分 F2	F2 排名	综合得分	综合得分排名
A1	南京云雾茶	1.68076	6	-0.97886	14	1.16888	7
B2	信阳毛尖	2.56108	5	-0.02242	8	2.06385	5
C3	安吉富硒茶	-2.95260	15	-0.20634	9	-2.42405	15
D4	西湖龙井	2.88473	3	-0.22624	11	2.28598	3
E5	南京黄龙岷	3.59674	1	-1.02386	15	2.70745	2
F6	罗汉果花茶	-2.70114	14	-2.65305	16	-2.69188	16
G7	苦丁茶	-3.03311	16	2.89420	1	-1.89232	13
H8	黄山毛峰	-0.48783	8	0.24004	6	-0.34775	8
I9	白毫银针	-1.31071	10	-0.25452	12	-1.10743	10
J10	武夷岩茶	-1.06280	9	0.02982	7	-0.85251	9
K11	铁观音	-2.27207	13	-0.78177	13	-1.98524	14
L12	普洱(熟)	-2.02954	12	0.87465	3	-1.47059	11
M13	安化黑茶	-1.95875	11	-0.22084	10	-1.62427	12
N14	金坛雀舌	2.60586	4	0.68012	4	2.23522	4
O15	黄金芽	3.08601	2	1.38965	2	2.75953	1
P16	手工碧螺春	1.39335	7	0.25942	5	1.17511	6

金坛雀舌和黄金芽的 DPPH 自由基清除能力最强,且有 14 种茶叶茶汤的 DPPH 自由基清除能力高于抗坏血酸;西湖龙井的 ABTS 自由基清除能力最强,且有 13 种茶叶茶汤的 ABTS 自由基清除能力高于抗坏血酸;黄金芽的还原力最强,且有 8 种茶叶茶汤的还原力高于抗坏血酸;南京黄龙岷的金属螯合力最强,且所有茶叶茶汤的金属螯合力均高于抗坏血酸(未检出);相关性分析结果表

明总酚、还原糖、总糖和氨基酸态氮是影响茶叶茶汤抗氧化活性的重要抗氧化物质,并且对茶叶茶汤抗氧化活性影响排序为总酚>氨基酸态氮>还原糖>总糖>黄酮;聚类分析结果表明信阳毛尖、西湖龙井、南京黄龙岷、金坛雀舌和黄金芽 5 种茶叶茶汤的综合抗氧化能力较好;主成分分析结果表明黄金芽综合得分排名第 1,其次是南京黄龙岷、金坛雀舌、西湖龙井、信阳毛尖,与聚类分析结果基

本保持一致。本研究揭示了16种市售茶叶样品茶汤的抗氧化物质与抗氧化活性之间的复杂关系,为茶叶抗氧化机制研究奠定了数据基础,同时也为消费者有针对性地选择茶叶提供了参考。

参 考 文 献

- [1] ZHAO C N, TANG G Y, CAO S Y, et al. Phenolic profiles and antioxidant activities of 30 tea infusions from green, black, oolong, white, yellow and dark Teas[J]. *Antioxidants*, 2019, 8(7): 1-14.
- [2] 韩延超, 陈杭君, 郜海燕, 等. 冲泡条件对西湖龙井抗氧化特性的影响及相关性分析[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(10): 128-136.
- HAN Y C, CHEN H J, GAO H Y, et al. Effects of brewing conditions on antioxidant properties of Xihu Longjing and correlation analysis[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(10): 128-136.
- [3] 盛敏. 中国茶文化对外传播与茶叶出口贸易发展研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2017.
- SHENG M. The study on international communication of Chinese tea culture and development of tea exportation in China[D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2017.
- [4] CARLONI P, TIANO L, PADELLA L, et al. Antioxidant activity of white, green and black tea obtained from the same tea cultivar[J]. *Food Research International*, 2013, 53(2): 900-908.
- [5] SAMADI S, FARD F R. Phytochemical properties, antioxidant activity and mineral content (Fe, Zn and Cu) in Iranian produced black tea, green tea and roselle calyces[J]. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2020, 23: 101472.
- [6] WANG H S, CHEN J R, REN P F, et al. Ultrasound irradiation alters the spatial structure and improves the antioxidant activity of the yellow tea polysaccharide[J]. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2021, 70: 105355.
- [7] LIU Y, LUO L Y, LIAO C X. 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.
- [8] DONLAO N, OGAWA Y. Impacts of processing conditions on digestive recovery of polyphenolic compounds and stability of the antioxidant activity of green tea infusion during *in vitro* gastrointestinal digestion[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 89: 648-656.
- [9] 操璐婷. 霍山黄大茶加工过程中主要化学成分变化规律研究[D]. 合肥: 安徽农业大学, 2018.
- CAO L T. Study on the changes of main chemical components during the processing of Huoshan large yellow tea[D]. Hefei: Anhui Agricultural University, 2018.
- [10] 齐红革, 尹华涛, 廖振宇, 等. ICP-MS法测定不同产地绿茶中矿物质和微量元素[J]. *食品研究与开发*, 2015, 36(8): 65-67.
- QI H G, YIN H T, LIAO Z Y, et al. Determination of minerals and trace elements of green tea from four different areas by ICP-MS with microwave digestion[J]. *Food Research and Development*, 2015, 36(8): 65-67.
- [11] 戴申, 鹿颜, 余鹏辉, 等. 茶叶预防衰老及衰老相关疾病研究进展[J]. *茶叶科学*, 2019, 39(1): 23-33.
- DAI S, LU Y, YU P H, et al. Research progress of the preventing effects of tea on aging and aged-related pathologies[J]. *Journal of Tea Science*, 2019, 39(1): 23-33.
- [12] 饮茶有助抗病毒[J]. *中国食品学报*, 2018, 18(4): 210.
- Drinking tea helps to prevent virus[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(4): 210.
- [13] 孙世利, 刘雅琼, 刘瑾, 等. 不同年份普洱茶体外降糖降脂作用及其物质基础[J]. *食品研究与开发*, 2018, 39(9): 152-158.
- SUN S L, LIU Y Q, LIU J, et al. Study on the effects of Pu'er tea stored at different years in relieving diabetes mellitus and hyperlipidemia *in vitro* and its material basis[J]. *Food Research and Development*, 2018, 39(9): 152-158.
- [14] 顾莹婕, 金恩惠, 李博, 等. 茶叶药理成分抑制口腔致病菌的作用及机制[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(8): 303-311.
- GU Y J, JIN E H, LI B, et al. The effect and mechanism of tea pharmacological components on oral pathogenic bacteria[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19

- (8): 303-311.
- [15] 方允中. 茶叶抗氧化作用的抗癌机制[J]. 中国肿瘤, 2000(1): 21-22.
FANG Y Z. Anticancer mechanism of antioxidation of tea[J]. Cancer in China, 2000(1): 21-22.
- [16] 白亚欣, 侯彩云. 几种茶叶生化成分及其抗氧化活性分析[J]. 中国食物与营养, 2020, 26(1): 31-36.
BAI Y X, HOU C Y. Analysis of biochemical components and antioxidant activities in several kinds of tea[J]. Food and Nutrition in China, 2020, 26(1): 31-36.
- [17] 蔺明焯. 茶叶及茶多酚单体 EGCG 的抗焦虑作用及机制探讨[D]. 北京: 北京中医药大学, 2019.
LIN M X. Anti-anxiety effect and mechanism of tea and tea polyphenol monomer EGCG [D]. Beijing: Beijing University of Chinese Medicine, 2019.
- [18] 杨丽霞, 吴殿辉, 鲁振东, 等. 远安黄茶啤酒抗氧化物质的分离与鉴定[J/OL]. 食品科学, 2021: 1-15. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210323.1626.054.html>.
YANG L X, WU D H, LU Z D, et al. Isolation and identification of antioxidative compounds in beer with Yuan'an yellow tea[J/OL]. Journal of Food Science, 2021: 1-15. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210323.1626.054.html>.
- [19] 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]. Journal of Food Science, 2009, 30(3): 62-66.
- [20] 吕海鹏, 梁名志, 张悦, 等. 特异茶树品种“紫娟”不同茶产品主要化学成分及其抗氧化活性分析[J]. 食品科学, 2016, 37(12): 122-127.
LV H P, LIANG M Z, ZHANG Y, et al. Major chemical components and antioxidant activity in tea infusion of tea products obtained from the special tea germplasm 'Zijuan' using different processing technologies[J]. Journal of Food Science, 2016, 37(12): 122-127.
- [21] GAO X L, LIU E M, ZHANG J K, et al. Effects of sonication during moromi fermentation on antioxidant activities of compounds in raw soy sauce[J]. LWT-Food Science and Technology, 2019, 116: 108605.
- [22] ZHANG C, SUEN C L, YANG C, et al. Antioxidant capacity and major polyphenol composition of teas as affected by geographical location, plantation elevation and leaf grade[J]. Food Chemistry, 2018, 244: 109-119.
- [23] XU L, DU B, XU B J. A systematic, comparative study on the beneficial health components and antioxidant activities of commercially fermented soy products marketed in China [J]. Food Chemistry, 2015, 174: 202-213.
- [24] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中氨基酸态氮的测定: GB 5009.235-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 1-3.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of amino acid nitrogen in foods: GB 5009.235-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2017: 1-3.
- [25] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 食品中还原糖的测定: GB 5009.7-2016[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017: 7-9.
National Health and Family Planning Commission of the People's Republic of China. Determination of reducing sugar in foods: GB 5009.7-2016[S]. Beijing: China Standards Press, 2017: 7-9.
- [26] BRAND-WILLIAMS W, CUVELIER M E, BERSET C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity[J]. LWT-Food Science and Technology, 1995, 28(1): 25-30.
- [27] LEE J H, HWANG C E, SON K S, et al. Comparisons of nutritional constituents in soybeans during solid state fermentation times and screening for their glucosidase enzymes and antioxidant properties [J]. Food Chemistry, 2019, 272: 362-371.
- [28] TCHABO W, MA Y K, KWAW E, et al. Effects of ultrasound, high pressure, and manosonication processes on phenolic profile and antioxidant properties of a sulfur dioxide-free mulberry (*Morus nigra*) wine[J]. Food and Bioprocess Technology, 2017, 10(7): 1210-1223.
- [29] ZHENG L, ZHAO Y J, DONG H Z, et al. Structure-activity relationship of antioxidant dipeptides: Dominant role of Tyr, Trp, Cys and Met residues[J]. Journal of Functional Foods, 2016, 21: 485-496.
- [30] LV H P, ZHANG Y, SHI J, et al. Phytochemical

- profiles and antioxidant activities of Chinese dark teas obtained by different processing technologies[J]. *Food Research International*, 2017, 100(3): 486–493.
- [31] CARDOSO R R, NETO R O, D'ALMEIDA C T D S, et al. Kombuchas from green and black teas have different phenolic profile, which impacts their antioxidant capacities, antibacterial and antiproliferative activities[J]. *Food Research International*, 2020, 128: 108782.
- [32] GULUA L, NIKOLAISHVILI L, JGENTI M, et al. Polyphenol content, anti-lipase and antioxidant activity of teas made in Georgia[J]. *Annals of Agrarian Science*, 2018, 16(3): 357–361.

Analysis of Antioxidant Activities and Antioxidant Substances of Sixteen Kinds of Commercial Tea

Feng Tuo, Shan Pei, Zhang Zhankai, Gao Xianli*, Ma Haile, Wang Bo

(*School of Food and Biological Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, Jiangsu*)

Abstract In this study, 16 kinds of teas with good sales were selected as the representative, the contents of total phenols, total flavonoids, amino acid nitrogen, reducing sugar and total sugar in different tea samples were compared, and ascorbic acid was used as the positive control, scavenging activity against DPPH radical, scavenging activity against ABTS radical, reducing power and metal ion chelating activity were used to evaluate the antioxidant activity of different tea samples; in addition, correlation analysis, cluster analysis and principal component analysis were used to reveal the complex relationship between antioxidant substances and antioxidant activities of 16 kinds of tea samples. The results showed that there were significant differences in the contents of antioxidant substances and antioxidant activities among different tea samples except a few tea samples, the scavenging activity against DPPH radical of the Buxus jintan tea and Golden sprout tea were the strongest, the scavenging activity against ABTS radical of West Lake Longjing tea was the strongest, the reducing power of Golden sprout tea was the strongest, the metal ion chelating activity of Nanjing Huanglongxian tea was the strongest. Golden sprout tea, Nanjing Huanglongxian tea, Buxus jintan tea, West Lake Longjing tea and Xinyang Maojian tea had higher comprehensive scores. In this study, the antioxidant activities and antioxidant substance of commercially available teas were evaluated comprehensively, which can lay data foundation for the study of antioxidant mechanism of teas and provide reference for consumers to select tea.

Keywords tea; antioxidant activities; antioxidant substances; cluster analysis; principal component analysis