

骏眉工艺红茶化学成分及其抗氧化活性研究

王伟伟¹, 乐 婷^{1,2}, 杨刘艳³, 王 蔚^{1,2}, 江和源^{1*}

(1. 中国农业科学院茶叶研究所, 农业部茶树生物学与资源利用重点实验室, 浙江省茶叶加工工程重点实验室, 杭州 310008;
2. 中国农业科学院研究生院, 北京 100081; 3. 福建正山堂茶业有限责任公司, 南平 354399)

摘 要: **目的** 探索骏眉工艺加工的红茶化学成分特点和抗氧化活性。**方法** 搜集了不同产区和嫩度的骏眉工艺红茶样, 以及全国各产茶区的对照红茶产品, 分析了茶叶中茶多酚、儿茶素、茶黄素和聚酯型儿茶素 A 成分的含量及其总抗氧化活性。**结果** 骏眉工艺红茶具有较高的茶多酚、儿茶素、茶黄素、聚酯型儿茶素 A (theasinensins A, TSA) 含量, 19 个骏眉工艺红茶的茶多酚、儿茶素、茶黄素、TSA 含量的均值分别为 15.67%、4.50%、0.75% 和 0.38%, 高于 24 个对照红茶的 10.95%、1.75%、0.59% 和 0.21%。骏眉工艺红茶具有较高的抗氧化活性, 19 个骏眉工艺红茶的抗氧化活性均值比 24 个对照红茶均值高 57.0%。**结论** 骏眉工艺红茶较好地保留了茶叶中的茶多酚和儿茶素含量, 并通过发酵过程形成了较多的茶黄素和聚酯型儿茶素 A, 抗氧化活性有一定优势, 为后续的产品品质提升提供了理论基础。

关键词: 骏眉工艺; 茶多酚; 儿茶素; 茶黄素; 聚酯型儿茶素 A; 抗氧化活性

Study on the chemical constituents and antioxidant activity of black tea with Junmei technology

WANG Wei-Wei¹, LE Ting^{1,2}, YANG Liu-Yan³, WANG Wei^{1,2}, JIANG He-Yuan^{1*}

(1. Key Laboratory of Tea Plants Biology and Resources Utilization of Agriculture Ministry, Key Laboratory of Tea Processing Engineering of Zhejiang Province, Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China;
2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 3. China Fujian Zheng Shan Tang Tea Industry Co., Ltd., Nanping 354399, China)

ABSTRACT: Objective To explore the characteristics of chemical composition and antioxidant activity of Junmei technology black tea. **Methods** The samples of Junmei technology black tea from different producing areas and tenderness were collected, as well as the control black tea products from all tea producing areas in China, the content of tea polyphenols, catechins, theaflavins, theasinesin and total antioxidant activity were analyzed. **Results** Junmei technology black tea had high tea polyphenols, catechins, theaflavins and theasinensins A (TSA) content, the average values of tea polyphenols, catechins, theaflavins, and TSA content of 19 Junmei technology black tea were 15.67%, 4.50%, 0.75%, and 0.38%, which were higher than 24 comparison of black tea (10.95%, 1.75%, 0.59% and 0.21%). Junmei technology black tea had high antioxidant activity, the average value of antioxidant activities of 19 Junmei technology black tea were 57.0% higher than the average value of 24 comparisons of black tea. **Conclusion** Junmei

基金项目: 中国农业科学院基本科研业务费专项(Y2021GH06)、中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2021-TRICAAS)

Fund: Supported by the Special Funds for Basic Scientific Research of Chinese Academy of Agricultural Sciences (Y2021GH06), and the Science and Technology Innovation Project of Chinese Academy of Agricultural Sciences (CAAS-ASTIP-2021-TRICAAS)

*通信作者: 江和源, 博士, 研究员, 主要研究方向为茶叶化学与加工。E-mail: jianghy@tricaas.com

*Corresponding author: JIANG He-Yuan, Ph.D, Professor, Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Hangzhou 310008, China. E-mail: jianghy@tricaas.com

technology black tea well retains the content of tea polyphenols and catechins in tea, and forms more theaflavins and theasinensins A through the fermentation process. It has certain advantages in antioxidant activity, which provides a theoretical basis for the subsequent improvement of product quality.

KEY WORDS: Junmei technology; tea polyphenols; catechins; theaflavins; theasinensins A; antioxidant activity

0 引言

工夫红茶是我国特有的红茶产品,由萎凋、揉捻、发酵和干燥 4 个工序加工而成。我国传统工夫红茶的加工过程,萎凋程度一般为含水率降至 60%左右,揉捻采用“轻重轻”原则揉捻 1 h 左右,发酵温度为 24~30 °C,发酵时间 4 h 左右,干燥为毛火和足火两步^[1-2]。红茶同样具有较强的抗氧化活性,能有效抑制 1,1-二苯基-2-三硝基苯肼(1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, DPPH)自由基和 2,2'-联氮双(3-乙基苯并噻唑啉-6-磺酸)二铵盐[2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) ammonium salt], ABTS]自由基的形成,其抗氧化作用主要是通过茶多酚、儿茶素及儿茶素聚合物实现的。茶多酚是茶叶中主要的保健功能成分,在食品、日化用品和保健品中也有应用^[3-6]。儿茶素的氧化聚合是红茶发酵过程中主要的化学反应,儿茶素类先通过苯骈化和歧化反应氧化聚合形成茶黄素和聚酯型儿茶素 A (theasinensins A, TSA)等二聚物,然后继续氧化聚合形成茶红素和茶褐素等高聚物^[7-10]。

骏眉红茶采用单芽、一芽一叶、一芽二三叶及同等嫩度的对夹叶为原料,与传统工夫红茶加工工序相同,区别是骏眉工艺红茶通过适度降低萎凋和揉捻程度的方式达到轻发酵目的,使得茶叶具有香甜、鲜活、甘醇的品质特点。骏眉工艺红茶投放市场后迅速得到了消费者的认可,并且在贵州普安、四川广元、湖南古丈、湖北巴东和河南信阳等地实践应用^[11]。但骏眉工艺红茶的化学成分和抗氧化活性特点与其他产地红茶的差异尚未有报道。因此本研究搜集了不同产区和原料嫩度的红茶样品 19 个和 9 个产茶省不同品牌和嫩度的茶样 24 个,分析了茶多酚、儿茶素、茶黄素、聚酯型儿茶素 A 含量,以及抗氧化活性,为进一步凝练骏眉工艺红茶的产品特色和其后续工艺的提升与技术应用提供基础。

1 材料与方法

1.1 实验材料

骏眉工艺红茶按照萎凋、揉捻、发酵和干燥 4 个工序加工而成,其中均是春季采摘,萎凋采用室内加温萎凋,结合日光萎凋,叶含水率高于 62%左右,揉捻时间少于 1 h,且不加重压揉捻,发酵采用发酵房增氧加温发酵,干燥采用毛火和足火两段式干燥。

各产区骏眉工艺红茶:骏眉中国·A、骏眉中国·B、骏眉中国·D、普安红·A、普安红·B、普安红·C、普安红·D、广元红·A、广元红·B、广元红·D、巴东红·A、巴东红·B、

巴东红·C、巴东红·D、巴东红·E、古丈红·A、古丈红·B、古丈红·D、信阳红·A,由福建武夷山国家自然保护区正山茶业有限公司提供。其中,A 代表单芽、B 代表一芽一叶、C 代表一芽二叶、D 代表一芽多叶。

24 个对照红茶样,分别来自于全国 9 个产茶省的不同品牌和等级,均是春茶,分别购自京东商城。对照茶样的编号中,数字代表不同产地,a、b、c 代表茶样的等级,其中,a 代表特级茶、b 代表一级茶、c 代表二级茶,数字代表不同品牌的红茶。

1.2 仪器与试剂

LC-20AD 高效液相色谱仪、UV-3600 型分光光度计(日本岛津公司);3K15 离心机(德国 Sigma 公司);BSA124S-CW 万分之一天平(德国赛多利斯科学仪器有限公司);5C18-AR-II 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)(日本 Cosmosil 公司)。

乙腈(色谱纯,德国默克公司);福林酚、甲醇、碳酸钠、蒽酮、硫酸、考马斯亮蓝、磷酸(分析纯,上海麦克林生化科技有限公司);总抗氧化能力试剂盒(南京建成科技有限公司);表儿茶素没食子酸酯等 8 种儿茶素标品(纯度 98%,美国 Sigma 公司);聚酯型儿茶素 A(纯度 98%,日本长崎大学);4 种茶黄素标品(纯度 98%,日本和光纯药工业株式会社)。

1.3 实验方法

1.3.1 常规成分测定

含水率测定参照 GB 5009.3—2016《食品安全国家标准 食品中水分的测定》,茶多酚含量测定参照 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》中的福林酚法。

1.3.2 儿茶素、茶黄素、聚酯型儿茶素 A 测定

样品前处理:参照 GB/T 8313—2018 中“3 茶叶中儿茶素类的检测—HPLC 法”的母液制备方法。

测定方法:参照薛金金等^[12]的研究方法并修改,色谱柱 5C18-AR-II (250 mm×4.6 mm, 5 μm);进样量 10 μL;检测波长 278 nm;流速 0.8 mL/min;柱温 35 °C;流动相 A-50 mmol/L 磷酸, B-100%乙腈;洗脱梯度为 0~39 min, A 由 96%降至 70%, 39~54 min, A 由 70%降至 25%, 54~55 min, A 由 25%升至 96%。

1.3.3 抗氧化能力测定

样品前处理:参照 GB/T 8313—2018 中“3 茶叶中儿

茶素类的检测—HPLC 法”的母液制备方法,母液稀释 50 倍为待测液。

测定方法:采用试剂盒方法检测,依次加入试剂一 1 mL,样本 0.2 mL,试剂二 2 mL,试剂三 0.5 mL,涡旋混匀器混匀,37 ℃水浴 30 min,然后加入试剂四 0.1 mL,涡旋混匀器混匀,放置 10 min 后在波长 520 nm 下进行检测,对照管样品添加顺序改为试剂四混匀后加入。计算公式如式(1):

总抗氧化能力

$$\frac{\text{测定OD值}-\text{对照OD值}}{0.01} \times \frac{3.8}{0.2}$$

(1)

1.4 数据处理

采用 SAS 9.2 进行显著性分析,采用 Excel 2016 整理实验数据、作图。

2 结果与分析

2.1 骏眉工艺红茶和传统红茶化学成分含量比较

骏眉工艺红茶采用轻萎凋、轻揉捻和轻发酵方法加工制得,茶汤呈金黄色。红茶发酵过程中伴随着茶多酚(主要是儿茶素)氧化形成茶黄素和聚酯型儿茶素 A,这两类二聚氧化产物均不稳定,又被逐渐氧化形成茶红素和茶褐素等高聚物。茶黄素和聚酯型儿茶素 A 在红茶发酵过程中均呈现先升高后降低的变化趋势^[13],茶黄素与红茶品质呈正相关,是红茶品质评价的重要指标,近几年,有不少文献和专利报道高茶黄素红茶的加工方法,通过原料筛选、萎凋、发酵条件控制,在加工过程中加入冷冻、光源照射、引入摇青工艺等,以及添加外源酶和儿茶素的方法提高红茶茶黄素含量^[14-15]。可见,红茶中茶多酚、儿茶素、茶黄素和聚酯型儿茶素 A 的含量高低极为重要。

本研究搜集的 6 个产区不同嫩度骏眉工艺红茶样 19 个,与市场上购买的 9 个产茶省不同等级的 24 个红茶对照样相比,结果如表 1 所示。骏眉工艺红茶的茶多酚、儿茶素、茶黄素和聚酯型儿茶素 A 含量均高于对照红茶的平均值,且 4 个成分含量呈现极显著差异($P<0.01$),尤其是儿茶素总量,骏眉工艺红茶的平均值是对照红茶均值的 2.76 倍。可见,骏眉工艺红茶的茶多酚、儿茶素及其二聚氧化产物含量均表现出了含量高的特点。

2.1.1 茶多酚含量比较

茶多酚是茶叶中重要的功效成分之一,具有较好的抗氧化、抑菌、抗辐射、降脂降血糖、调节肠道微生物、抗癌、防龋齿、增强免疫力等功能,是一种天然的抗氧化剂^[16-19]。茶多酚在红茶发酵过程中起到尤为重要的作用,其酶促氧化反应程度是红茶发酵适度判断的重要指标。

骏眉工艺红茶是轻发酵红茶,具有独特的风格品质,骏眉工艺红茶的茶多酚含量如图 1 所示。整体来看,普安红茶多酚含量较高,4 个不同嫩度的普安红茶多酚含量均值为 19.26%,巴东红茶茶多酚含量较低,5 个不同嫩度的巴东红茶多酚含量均值为 13.98%,产区间差异也较明显。不同产区各嫩度骏眉红茶的茶多酚含量没有表现出完全一致的规律。

不同产区 19 个骏眉系列红茶的茶多酚含量平均值为 15.67%,高于其他 24 个对照系列红茶的平均值(10.95%),可见骏眉工艺相对保留了更多的茶多酚。对照系列红茶中,总的来看特级茶茶多酚含量高于低等级的红茶,茶多酚含量最高的 5 个茶样均为特级茶。

2.1.2 儿茶素总量比较

儿茶素是茶多酚的主体成分,是工夫红茶发酵过程中茶多酚氧化的主要参与成分,是形成茶黄素和聚酯型儿茶素 A 的底物,也是评判红茶发酵程度的重要成分^[20-21],部分传统红茶经过红茶工艺加工后儿茶素含量不足鲜叶的 10%,因此,儿茶素对红茶品质形成具有重要作用^[22]。

骏眉工艺红茶的 8 种主要儿茶素总量,如图 2 所示。骏眉工艺红茶的儿茶素总量较高,不同产区骏眉工艺红茶比较,普安红儿茶素总量较高,4 个不同嫩度的普安红儿茶素总量均值为 6.42%,这与茶多酚含量表现一致。骏眉系列不同原料嫩度比较,骏眉中国、普安红和广元红随着嫩度降低,儿茶素总量也降低,巴东红和古丈红该规律并不突出,但多叶茶儿茶素含量也同样低于嫩度高的茶叶。

不同产区 19 个骏眉系列红茶的儿茶素总量平均值为 4.50%,显著高于其他 24 个系列红茶的平均值 1.75%,骏眉系列红茶和对照系列红茶的儿茶素含量差值占两个系列茶多酚含量差值的 58.26%,可见,儿茶素是两个系列红茶茶多酚差异的主要成分。对照系列红茶中,总的来看特级茶儿茶素含量高于低等级的红茶。

表 1 骏眉工艺红茶和市场上红茶的化学成分含量比较(% , n=3)

Table 1 Comparison of chemical composition content between Junmei technology black tea and black tea on the market (% , n=3)

成分	含量范围		平均值		骏眉工艺红茶和对照红茶 显著性差异
	骏眉工艺红茶	对照红茶	骏眉工艺红茶	对照红茶	
茶多酚	11.89~21.00	4.74~17.29	15.91 ^f	11.06 ^g	$P<0.01$
儿茶素总量	2.63~8.49	0.89~4.37	4.86 ^f	1.76 ^g	$P<0.01$
茶黄素总量	0.38~0.65	0.11~0.47	0.49 ^f	0.26 ^g	$P<0.01$
聚酯型儿茶素 A	0.19~0.49	0.04~0.38	0.37 ^f	0.21 ^g	$P<0.01$

注:同行不同小写字母表示具有极显著性差异。

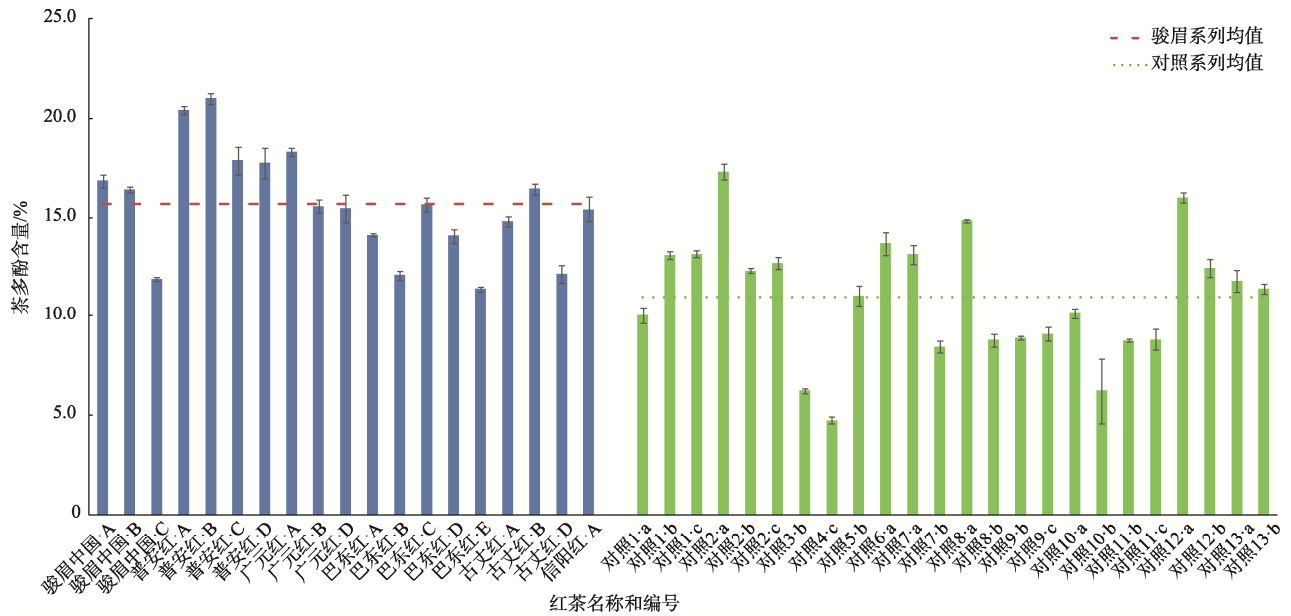


图 1 骏眉系列和对照系列红茶茶多酚含量比较(n=3)

Fig.1 Comparison of tea polyphenol content between Junmei series black tea and control series black tea (n=3)

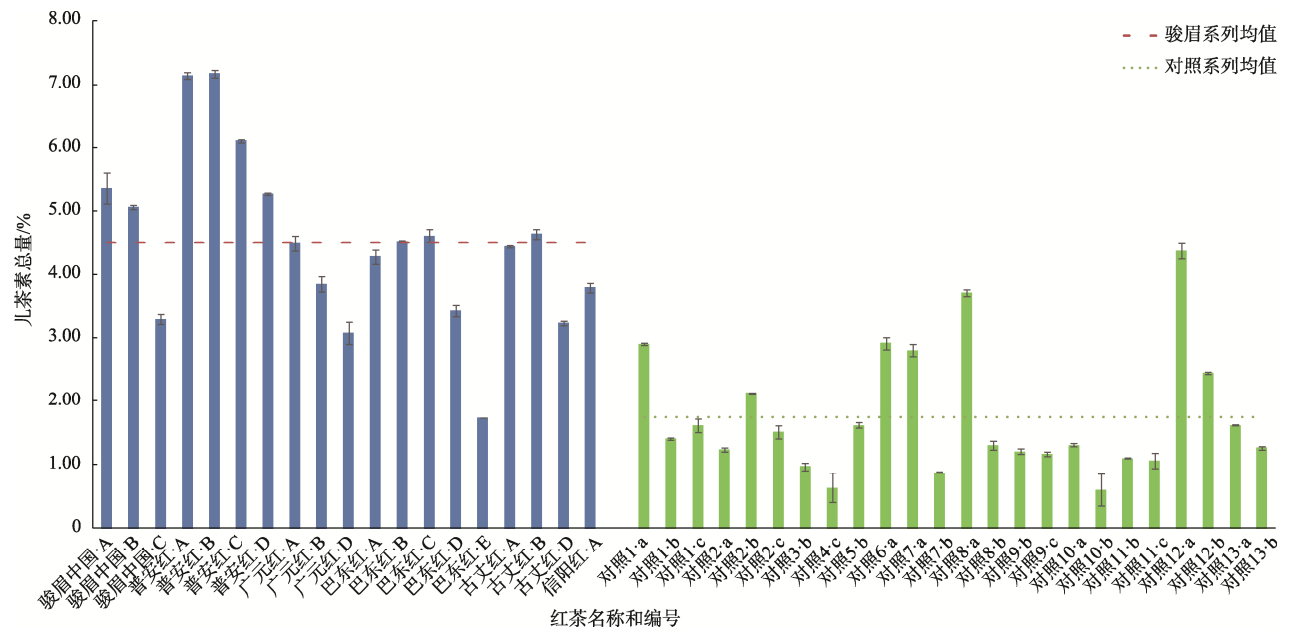


图 2 骏眉系列和对照系列红茶儿茶素总量比较(n=3)

Fig.2 Comparison of total catechins content between Junmei series black tea and control series black tea (n=3)

2.1.3 聚酯型儿茶素 A 含量比较

聚酯型儿茶素 A (TSA) 是儿茶素二聚物, 在红茶和乌龙茶中均有较高的含量, 甚至红茶中的聚酯型儿茶素含量不低于茶黄素^[23]。聚酯型儿茶素和儿茶素基团相似, 也具有较强的抗氧化、抗肿瘤、抗病毒、消炎、杀菌、降血糖等作用, 茶叶中的聚酯型儿茶素以 TSA 为主, TSA 是由 2 个表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)氧化聚合形成, 红茶发酵过程中 TSA 的形成与茶黄素存在底物竞争关系^[24-26]。

骏眉工艺红茶的 TSA 含量如图 3 所示。骏眉工艺红

茶的 TSA 含量较高, 不同产区骏眉红茶比较, 古丈红 TSA 含量较高, 3 个不同嫩度的古丈红 TSA 含量均值为 0.45%, 尤其是古丈红的单芽和一芽一叶中 TSA 含量均高于 0.55%。此外, 整体来看, 骏眉工艺红茶的 TSA 含量和茶叶原料嫩度相关, 原料嫩度越高, TSA 含量也越高。

不同产区 19 个骏眉系列红茶的 TSA 含量平均值为 0.38%, 显著高于其他 24 个系列红茶的平均值 0.21%。不同产区的红茶中 TSA 含量表现为: 高等级>低等级, 这个规律在骏眉系列红茶表现的比对照系列更突出, 对照系列的红茶部分产品规律不一致, 对照系列 TSA 含量较高的 6

个茶样中有 4 个为特级或单芽茶,2 个为一级茶。由此可见,工艺对不同等级红茶中化学成分的表现规律尤为重要。

2.1.4 茶黄素总量比较

茶黄素是红茶中重要化学成分,是红茶汤色亮和金圈的重要成分,与红茶的品质呈正相关。茶黄素被称为“茶叶中的软黄金”,具有抗氧化、抗炎、抗代谢综合征、预防心血管疾病、保护肌肉和骨骼健康、抗肿瘤、调血脂、降尿酸、抗病毒和抑菌等功能^[27-28]。

骏眉工艺红茶 4 种主要茶黄素的总量,如图 4 所示。骏眉工艺红茶的茶黄素含量整体较高,不同产区骏眉红

茶中比较,古丈红单芽的茶黄素总量较高,为 0.97%,普安红茶黄素含量次之,4 种嫩度原料的普安红茶黄素均值达到 0.83%。并且骏眉中国、普安红、广元红和古丈红呈现出原料越嫩茶黄素含量越高趋势。不同产区 19 个骏眉系列红茶的茶黄素总量平均值为 0.75%,高于其他 24 个系列红茶的平均值 0.59%。整体来看,茶黄素含量和原料嫩度、等级的关系没有 TSA、儿茶素表现的突出。对照系列红茶虽然平均值略低与骏眉红茶,但个别产区的样品茶黄素含量较高,如对照 13·b、对照 8·a 高于所有骏眉系列红茶。

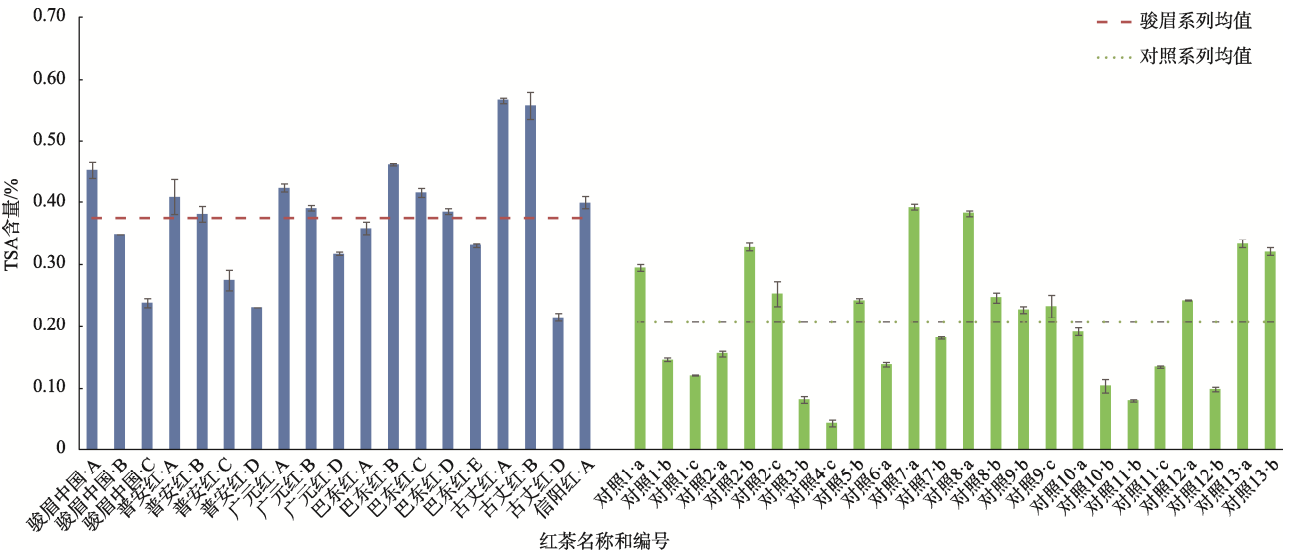


图 3 骏眉系列和对照系列红茶 TSA 含量比较(n=3)

Fig.3 Comparison of TSA content between Junmei series black tea and control series black tea (n=3)

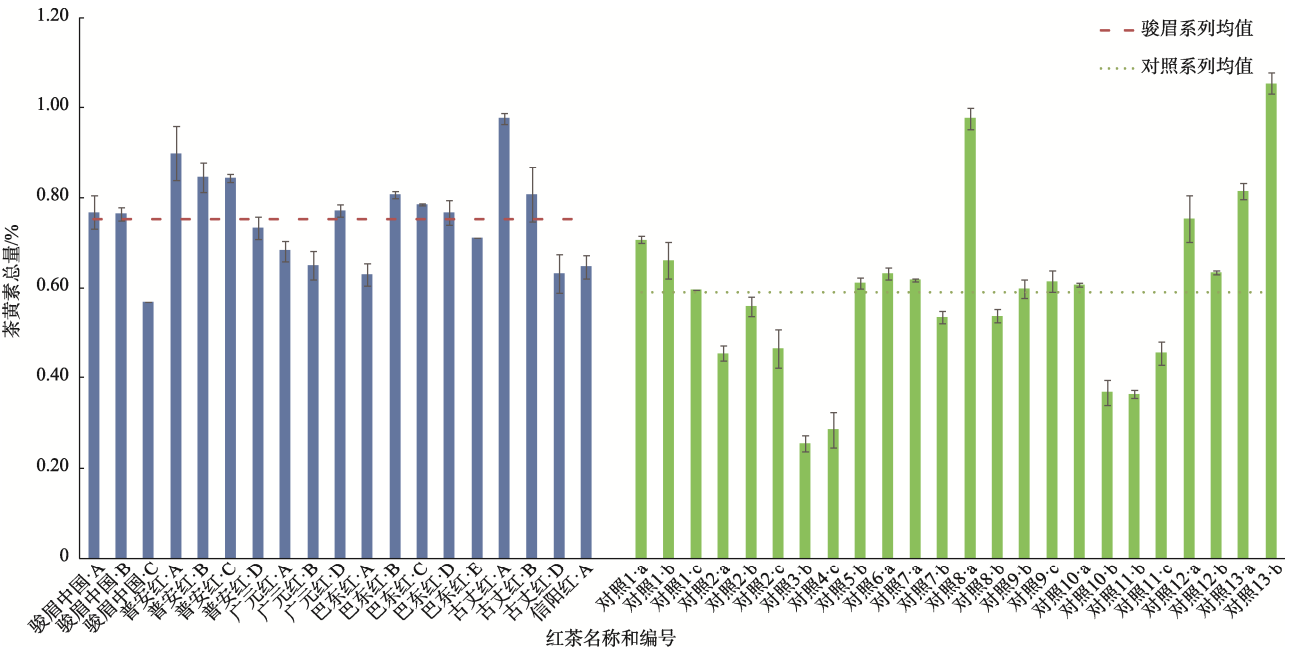


图 4 骏眉系列和对照系列红茶茶黄素总量比较(n=3)

Fig.4 Comparison of theaflavins content between Junmei series black tea and control series black tea (n=3)

2.2 骏眉工艺红茶和传统红茶的抗氧化活性比较

抗氧化是茶叶的重要功能之一, 是任何以低浓度存在就能有效抑制自由基的氧化反应, 也是预防衰老的重要步骤。不同产地和加工工艺对红茶抗氧化活性均有影响, 红茶抗氧化活性成分主要是儿茶素、茶黄素、茶红素等^[29-30]。

骏眉工艺红茶的总抗氧化活性, 如图 5 所示。骏眉红茶具有较高的总抗氧化活性, 不同产区 19 个骏眉系列红

茶的总抗氧化活性平均值为 24.8 U, 高于其他 24 个系列红茶的平均值 15.7 U, 可见, 骏眉工艺红茶的总抗氧化活性在全国各产区红茶中有一定优势。不同产区比较, 普安红的总抗氧化活性最高, 广元红、巴东红、古丈红及骏眉中国相近。整体来看, 不同产区骏眉系列红茶的总抗氧化活性表现为原料嫩度越好, 抗氧化活性越高, 这个规律与 TSA 含量、儿茶素总量、茶多酚含量相似。对照系列红茶中总抗氧化活性最高的 5 个茶样均是特级茶。

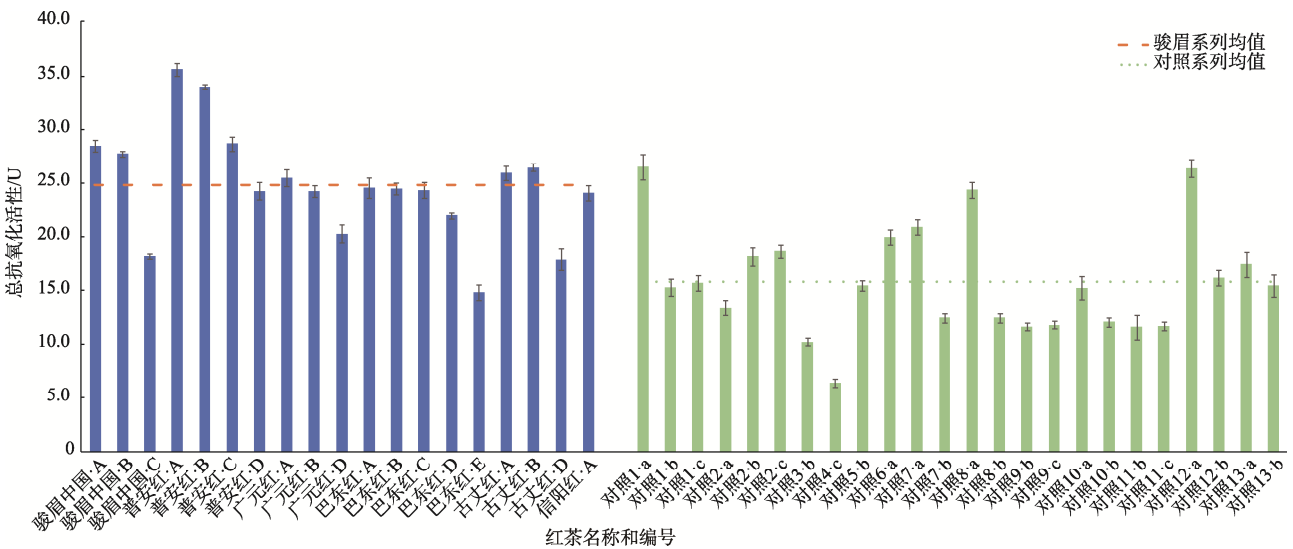


图 5 骏眉系列和对照系列红茶抗氧化活性比较(n=3)

Fig.5 Comparison of antioxidant activities between Junmei series black tea and control series black tea (n=3)

3 讨论与结论

整体来看, 骏眉工艺红茶表现出含量较高的茶多酚含量、儿茶素总量、茶黄素总量和 TSA 含量, 并且多数产区的茶样中 TSA 含量、儿茶素总量、茶多酚含量与原料嫩度呈现出了随着原料嫩度提高或等级提高含量也越高的关系, 且这个规律在骏眉工艺红茶中表现更加突出。骏眉工艺红茶产区间比较, 普安红和古丈红的茶多酚及其氧化二聚物含量较高, 其中普安红的茶多酚、儿茶素和茶黄素总量较高; 古丈红的 TSA 含量和茶黄素总量较高。骏眉工艺红茶同样表现出较强的总抗氧化能力, 有研究表明, 儿茶酚和邻苯三酚是影响红茶抗氧化活性的关键成分^[31]。儿茶素组成、不同酶源等因素均对儿茶素氧化形成茶黄素和聚酯型儿茶素 A 有影响^[32]。骏眉工艺红茶虽然表现出儿茶素及其氧化产物、抗氧化活性等方面的优势, 但聚酯型儿茶素 A 对红茶品质的影响, 及其加工过程中的变化规律等研究尚浅, 进一步探明骏眉工艺的成分和抗氧化活性机制是挖掘骏眉红茶特点

的重要方向。

参考文献

[1] 杨延, 陆多林, 查银娟. 红茶品质影响因素研究进展[J]. 农业技术与装备, 2020, (2): 12-13.
YANG Y, LU DL, ZHA YJ. Research progress on influence factors of black tea quality [J]. Agric Technol Equip, 2020, (2): 12-13.

[2] 杨娟, 王杰, 王奕, 等. 萎凋叶含水量对四川中小叶群体种工夫红茶品质形成的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(13): 8.
YANG J, WANG J, WANG Y, et al. Effect of water content of withered leaves on the quality of Congou black tea processed by Sichuan small and medium leaf group species [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(13): 4379-4386.

[3] 徐燕, 朱创, 邵玲玲, 等. 红茶化学成分及生理活性的研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2020, 47(5): 687-696.
XU Y, ZHU C, TAI LL, et al. Research advance on chemical components and biological activities of black tea [J]. J Anhui Agric Univ, 2020, 47(5): 687-696.

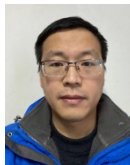
[4] 张建勇, 王伟伟, 王蔚, 等. 茶多酚保健及药理功能的应用[J]. 中国茶

- 叶, 2020, (12): 31–37.
- ZHANG JY, WANG WW, WANG W, *et al.* Application of tea polyphenols in health care and pharmacological functions [J]. *China Tea*, 2020, 42(12): 31–37.
- [5] 王伟伟, 陈琳, 张建勇, 等. 茶多酚的特性及其在食品中的应用[J]. *中国茶叶*, 2020, 42(11): 1–7.
- WANG WW, CHEN L, ZHANG JY, *et al.* Characteristics of tea polyphenols and its application in food [J]. *China Tea*, 2020, 42(11): 1–7.
- [6] 王蔚, 陈琳, 王伟伟, 等. 茶多酚在日化产品中的应用[J]. *中国茶叶*, 2021, 43(1): 1–8.
- WANG W, CHEN L, WANG WW, *et al.* Application of tea polyphenols in daily chemical products [J]. *China Tea*, 2021, 43(1): 1–8.
- [7] ZHAO YL, LAI WY, XU AA, *et al.* Characterizing relationships among chemicals, sensory attributes and *in vitro* bioactivities of black tea made from an anthocyanins-enriched tea cultivar [J]. *LWT Food Sci Technol*, 2020. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109814
- [8] HUA JJ, XU Q, YUAN HB, *et al.* Effects of novel fermentation method on the biochemical components change and quality formation of Congou black tea [J]. *J Food Comp Anal*, 2021, 96(3): 1–11.
- [9] TANAKA T, YASUMATSU M, HIROTANI M, *et al.* New degradation mechanism of black tea pigment theaflavin involving condensation with epigallocatechin-3-O-gallate [J]. *Food Chem*, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131326
- [10] 付静, 江和源, 张建勇, 等. 外源多酚氧化酶催化合成儿茶素二聚体氧化产物的研究进展[J]. *食品科学*, 2019, 40(7): 274–280.
- FU J, JIANG HY, ZHANG JY, *et al.* Recent progress in synthesis of oxidized dimeric catechin catalyzed by exogenous polyphenol oxidase [J]. *Food Sci*, 2019, 40(7): 274–280.
- [11] 江志东. “骏眉中国”助力脱贫攻坚的探索与实践[J]. *中国茶叶加工*, 2021, (1): 44–47.
- JIANG ZD. The exploration and practice of “Junmei China” in helping poverty alleviation [J]. *Chin Tea Process*, 2021, (1): 44–47.
- [12] 薛金金, 江和源, 龙丹, 等. HPLC 法同时测定茶叶中聚酯型儿茶素和茶黄素[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(5): 237–243.
- XUE JJ, JIANG HY, LONG D, *et al.* Simultaneous multiresidue determination of theasinensins and theaflavins in tea using high performance liquid chromatography [J]. *J Chin Inst Food Sci Technol*, 2014, 14(5): 237–243.
- [13] 苏威, 王伟伟, 江和源, 等. 红茶萎凋对歧化和苯骈化反应的作用及机制[J]. *食品科技*, 2019, 44(7): 82–87.
- SU W, WANG WW, JIANG HY, *et al.* Analysis of withering on disproportionation reaction and benzoquinone reaction influence and mechanism during processing of black tea [J]. *Food Sci Technol*, 2019, 44(7): 82–87.
- [14] 宫连瑾, 薄佳慧, 杜哲儒, 等. 提高中小叶种红茶茶黄素含量研究进展[J]. *茶叶通讯*, 2020, 47(3): 375–381.
- GONG LJ, BO JH, DU ZR, *et al.* Research progress in increasing the content of theaflavin in black tea of middle and small leaves [J]. *Tea Commu*, 2020, 47(3): 375–381.
- [15] 王雨鑫, 刘学声, 刘建军, 等. 添加外源儿茶素制备高茶黄素红茶的工艺优化[J]. *贵州农业科学*, 2020, 48(12): 114–118.
- WANG YX, LIU XS, LIU JJ, *et al.* Optimization of adding exogenous catechins prepared for high-theaflavins black tea [J]. *Guizhou Agric Sci*, 2020, 48(12): 114–118.
- [16] YAN ZM, ZHONG YZ, DUAN YH, *et al.* Antioxidant mechanism of tea polyphenols and its impact on health benefits [J]. *Anim Nutr*, 2020, 6(2): 115–123.
- [17] 蔡静, 叶润, 贾凯, 等. 茶多酚的提取及抑菌活性研究综述[J]. *化学试剂*, 2020, (2): 105–114.
- CAI J, YE R, JIA K, *et al.* Review on extraction and antibacterial activity of tea polyphenols [J]. *Chem Reagents*, 2020, (2): 105–114.
- [18] 周方, 欧阳建, 黄建安, 等. 茶多酚对肠道微生物的调节作用研究进展[J]. *茶叶科学*, 2019, 39(6): 619–630.
- ZHOU F, OUYANG J, HUANG JAN, *et al.* Advances in research on the regulation of tea polyphenols and effects on intestinal flora [J]. *Tea Sci*, 2019, 39(6): 619–630.
- [19] KAN L, CAPUANO E, FOGLIANO V, *et al.* Inhibition of α -glucosidases by tea polyphenols in rat intestinal extract and Caco-2 cells grown on Transwell [J]. *Food Chem*, 2021, 361(11): 1–8.
- [20] 徐斌. 不同体系条件下聚酯型儿茶素的形成特性及其与茶黄素的竞争性形成[D]. 北京: 中国农业科学院, 2015.
- XU B. Formation characteristics of theasinensins and competition between theasinensins and theaflavins under various conditions [D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences Dissertation, 2015.
- [21] CHEN SM, WANG CY, TSAI CY, *et al.* Fermentation quality evaluation of tea by estimating total catechins and theanine using near-infrared spectroscopy [J]. *Vib Spectrosc*, 2021, 15: 1–12.
- [22] 宁井铭, 方骏婷, 朱小元, 等. 基于代谢谱分析的祁门红茶加工过程中儿茶素及芳香类物质变化[J]. *食品工业科技*, 2016, 37(9): 127–138.
- NING JM, FANG JT, ZHU XY, *et al.* Analysis of catechins and aromatic of Keemun black tea during processing based on metabolic spectrum technology [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2016, 37(9): 127–138.
- [23] 徐斌, 薛金金, 江和源, 等. 茶叶中聚酯型儿茶素研究进展[J]. *茶叶科学*, 2014, 34(4): 315–323.
- XU B, XUE JJ, JIANG HY, *et al.* Review on theasinensins in tea [J]. *Tea Sci*, 2014, 34(4): 315–323.
- [24] 施莉婷, 江和源, 张建勇, 等. 茶叶中聚酯型儿茶素酶促合成机制和生物学活性研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(2): 223–228.
- SHI LT, JIANG HY, ZHANG JY, *et al.* Review on enzymatic synthesis mechanism and functional activity of theasinensins [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(2): 223–228.
- [25] WEERAWATANA KORN M, HUANG WL, PAN MH, *et al.* Chemistry and health beneficial effects of oolong tea and theasinensins [J]. *Food Sci Hum Well*, 2015, 4(4): 133–146.
- [26] ZHANG H, QI R, MINE Y, *et al.* The impact of oolong and black tea

- polyphenols on human health [J]. Food Biosci, 2019, 29: 55–61.
- [27] 刘昌伟, 张梓莹, 王俊懿. 茶黄素生物学活性研究进展[J/OL]. 食品科学: 1-17. [2021-07-28]. DOI: 11.2206.ts.20210726.1739.022.html
LIU CW, ZHANG ZY, WANG JY. Research progress on bioactivity of theaflavins [J/OL]. Food Sci: 1-17. [2021-07-28]. DOI:11.2206.ts.20210726.1739.022.html
- [28] TAIL L, LIU Z H, SUN MH, *et al.* Anti-hyperuricemic effects of three theaflavins isolated from black tea in hyperuricemic mice [J]. J Funct Foods, 2020, 66: 1–9.
- [29] DIAS PM, CHANGARATH J, DAMODARAN A, *et al.* Compositional variation among black tea across geographies and their potential influence on endothelial nitric oxide and antioxidant activity [J]. Agric Food Chem, 2014, 62: 6655–6668.
- [30] CAMARGO L, PEDROSO LS, VENDARME S, *et al.* Antioxidant and antifungal activities of *Camellia sinensis* (L.) Kuntze leaves obtained by different forms of production [J]. Braz J Biol, 2016, 76(2): 428–434.
- [31] HE Y, LIN Y, LI Q, *et al.* The contribution ratio of various characteristic tea compounds in antioxidant capacity by DPPH assay [J]. J Food Biochem, 2020, 3: 1–10.
- [32] 薛金金, 尹鹏, 张建勇, 等. 植物源多酚氧化酶氧化儿茶素形成茶黄素和聚酯型儿茶素的研究[J]. 食品工业科技, 2019, 40(20): 76–81.
XUE JJ, YIN P, ZHANG JY, *et al.* Screening of plant-derived polyphenol oxidase for the formation of theaflavins and theasinensins from the oxidation of catechins [J]. Sci Technol Food Ind, 2019, 40(20): 76–81.

(责任编辑: 于梦娇 郑 丽)

作者简介



王伟伟, 硕士, 主要研究方向为茶叶加工与质量控制。
E-mail: wangwei11211@tricaas.com



江和源, 博士, 研究员, 主要研究方向为茶叶化学与加工。
E-mail: jianghy@tricaas.com