

茶树鲜叶色泽和化学成分与红茶适制性的关系

曹挥华, 江新风*, 李琛, 张贱根, 王礼献, 童忠飞

(江西省经济作物研究所, 江西南昌 330202)

摘要: 该研究以白叶1号、紫娟、黄金菊、福鼎大白茶4个茶树品种为材料, 观察茶树芽叶性状, 测定其鲜叶生化成分含量, 分析不同色素含量与生化成分含量间的相关性, 并制成红茶进行审评检验。结果显示, 叶绿素a含量最高的为紫娟(1.21 mg/g), 花青素含量最高的为紫娟(8.86 mg/g), 分别为白叶1号、黄金菊和福鼎大白茶的29.53、6.47和4.32倍。相关性分析表明, 色素含量与氨基酸含量呈显著负相关, 与水浸出物、茶多酚和咖啡碱含量呈显著正相关; 对茶树鲜叶色素含量、生化成分含量进行主成分分析发现, 代表“色素因子”、“生化因子”、“滋味因子”前3个主成分累计贡献率为96.90%, 可以很好地分析不同颜色(品种)鲜叶制成的红茶质量, 鲜叶品质得分从高到低依次为紫鹃(T2) > 黄金菊(T3) > 福鼎大白茶(T4) > 白叶1号(T1), 与制成的红茶感官审评结果一致。紫鹃茶树品种具有高绿叶绿素a、叶绿素b、类胡萝卜素、花青素含量及高酚氨比, 适合加工红茶, 适制红茶品种能通过鲜叶的色素含量、生化成分含量的高低来判断。综合分析, 该研究能为不同色泽茶树新梢的适制性提供数据支撑。

关键词: 茶树品种; 茶鲜叶; 色泽; 相关性; 主成分分析

文章编号: 1673-9078(2024)06-149-157

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.6.0556

The Relationship between the Color and Chemical Composition of Fresh Tea Leaves and Their Suitability for Making Black Tea

CAO Huihua, JIANG Xinfeng*, LI Chen, ZHANG Jiagen, WANG Lixian, TONG Zhongfei

(Jiangxi Cash Crops Research Institute, Nanchang 330202, China)

Abstract: Four tea varieties, namely Baiye No.1, Zijuan, Huangjinju and FudingDabai, were used as the research materials, the characteristics of tea buds and leaves were examined, the contents of biochemical components in the fresh leaves were determined, the correlation between the contents of different pigments and the contents of biochemical components was analyzed, and black tea was prepared for evaluation and verification. The results showed that Zijuan had the highest contents of chlorophyll a (1.21 mg/g) and anthocyanins (8.86 mg/g), which were 29.53, 6.47 and 4.32 times those of Baiye No.1, Huangjinju and Fuding Dabai, respectively. Correlation analysis revealed that the content of pigments was negatively correlated with the content of amino acids, and positively correlated with the contents of water extract, tea polyphenols and caffeine. The principal component analyses of the contents of pigments and biochemical components of

引文格式:

曹挥华,江新风,李琛,等.茶树鲜叶色泽和化学成分与红茶适制性的关系[J].现代食品科技,2024,40(6):149-157.

CAO Huihua, JIANG Xinfeng, LI Chen, et al. The relationship between the color and chemical composition of fresh tea leaves and their suitability for making black tea [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(6): 149-157.

收稿日期: 2023-05-12

基金项目: 特色果树茶叶种植与高值利用江西省重点实验室(20241ZDD02045); 江西省中央引导地方科技发展资金科技成果转化项目(20241ZDF02094); 江西省技术创新引导类科技合作专项重点项目(20212BDH80011); 吉安市科技计划项目经费资助(20233-127611)

作者简介: 曹挥华(1971-), 男, 研究员, 研究方向: 茶叶加工, E-mail: 63048076@qq.com

通讯作者: 江新风(1985-), 男, 博士, 副研究员, 研究方向: 茶叶加工与茶树资源利用, E-mail: jiangxinyue003@163.com

the new tea leaves revealed that the cumulative contribution rate of the first 3 principal components representing “Pigment Factor”, “Biochemical Factor” and “Taste Factor” was 96.90%, which could well distinguish the quality of black tea made with the fresh leaves of different colors (varieties). The quality scores of fresh leaves from high to low were Zijuan (T2) > Huangjinju (T3) > Fuding Dabai (T4) > Baiye No1 (T1), which was consistent with the black tea sensory evaluation results. Zijuan with high contents of chlorophyll a, chlorophyll b, carotenoid and anthocyanins, as well as high phenol-ammonia ratio, was more suitable for making black tea, indicating that the suitability of a tea variety for making black tea can be judged by the pigment content and biochemical component content of its fresh leaves. Taken together, this study can provide data support for the suitability of tea tree shoots with different colors.

Key words: tea variety; fresh tea leaf; color; correlation; principal component analysis

茶树种质资源是茶树育种、遗传和生产利用的物质基础,在茶叶生产过程中,人们比较注重茶树叶色的变化^[1,2]。茶树鲜叶的色泽是茶树表型性状之一,也与茶树鲜叶适制性、制茶品质密切相关^[3,4]。目前,代表性的白化茶树品种有白叶1号,紫色茶树品种有紫娟,黄色品种有黄金芽、黄金菊等。有研究者对紫化茶树鲜叶加工的绿茶品质成分进行分析,而用这些茶树鲜叶制成的红茶产品及鲜叶色泽与红茶品质的关系研究甚少^[5-7]。

“白叶1号”是光照敏感型茶树,在江西省种植的白化品种中比例为最高。生产实践过程中发现,光量过高、过低都不利于其白化茶树芽叶的形成;“黄金菊”是温度敏感型茶树,是江西省本土茶树特异性(黄化)茶树品种,温度可影响“黄金菊”黄化的形成^[8]。白化茶树品种“白叶1号”、黄化茶树品种“黄金菊”均具备氨基酸含量高、外形独特、滋味鲜爽等特色,深受消费者喜爱。紫芽茶“紫娟”因富含抗氧化、抗癌、保护视力的花青素也深受到市场追捧^[9,10]。Huang等^[11]和Han等^[12]研究了不同颜色茶树品种加工的绿茶的化学成分变化差异,说明绿茶品质由其生化成分含量高低决定,同时茶树品种也是决定茶树鲜叶适制性的基础。江新凤等^[13-15]研究了不同季节黄金菊加工成绿茶、红茶后,进行了相关样品的品质成分分析,说明了黄色茶树品种不仅仅能制成绿茶,也能制成红茶。杨培迪等^[15]分析了不同茶树品种绿茶色泽及香气,证明了茶树鲜叶中色素含量与绿茶色泽息息相关。

本研究以白叶1号、紫娟、黄金菊、福鼎大白茶4个茶树品种为材料观察各品种茶树芽叶性状,测定不同颜色茶树鲜叶色素含量及品质成分含量,分析不同色素含量与成茶生化成分含量间的相关性,并利用主成分分析法基于分析不同茶树间的品质成分差异,探究茶树鲜叶色泽与成品红茶品质之

间的关系及不同茶树品种的红茶适制性,为红茶的生产实践提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

参试茶树品种为白叶1号(新梢白化茶树品种, T1)、紫娟(新梢紫化茶树品种, T2)、黄金菊(新梢黄化茶树品种, T3),设置福鼎大白茶(绿色茶树品种, T4)为对照茶树品种。试验茶树种植区域位于E115°59'45.3”, N28°22'3.4”,海拔50 m~55 m。该区域茶园土壤为红壤土,茶树按当地茶园管理习惯^[14,17,18]。2020年采摘春季一芽二叶鲜叶,微波固样,重复3次。

乙腈、甲醇、氯仿、乙酸乙酯、甲醇、碳酸氢钠、碳酸钠、草酸、正丁醇、茚三酮、磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、浓硫酸、氯化亚锡、三氯化铝(分析纯)、福林酚试剂(生物试剂),国药集团化学试剂有限公司;儿茶素组分标准品、氨基酸组分标准品(纯度≥98%),上海纯优生物科技有限公司;纯水,屈臣氏集团(香港)有限公司。

1.2 仪器与设备

ME104电子天平(精度0.01 g),赛多利斯科学仪器(上海)有限公司;UV-2550紫外可见分光光度计,日本岛津仪器有限公司;TG16-WS离心机,常州金坛良友仪器有限公司;1100VL高效液相色谱仪、G1314B可变波长探测器(Variable Wavelength Detector, VWD)检测器,美国安捷伦有限公司;Hypersul BDS C₁₈色谱柱(250 nm×4.6 nm, 5 μm),美国赛默飞世尔公司;Nova-Pak TM C₁₈(150 nm×4.6 nm, 4 μm)色谱柱,美国沃特世公司;6CWD-6茶叶萎凋槽,浙江上洋机械有限公司;6CR-25型揉捻机,福建永兴农业机械厂;YX-6CFJ-

10B 型全自动红茶发酵机, 福建安溪永兴茶叶机械厂; 6CTH 型烘干机, 浙江上洋机械有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 鲜叶固样

2021 年春季于天气晴朗时采摘茶树第一轮一芽二叶新梢, 微波杀青 (频率 2 450 MHz, 连续 3 次, 每次 3 min)、烘干 (取出样品混匀 80 °C 烘至含水率 3% 左右)。样品设置 3 次生物学重复, -20 °C 冰箱保存。

1.3.2 鲜叶生化成分测定

水浸出物的测定参照 GB/T 8305-2013 《茶水浸出物测定》; 茶多酚总量、咖啡碱含量的测定参照 GB/T 8313-2018 《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》; 游离氨基酸总量的测定参照 GB/T 8314-2013 《茶游离氨基酸总量的测定》。

1.3.3 鲜叶色素成分测定

叶绿素含量测定。称取 0.2 g 茶树鲜叶 (去梗去主脉), 剪碎放入研钵中, 加少量石英砂和碳酸钙粉, 3 mL $\varphi=95\%$ 乙醇, 充分研磨成匀浆, 再加入 10 mL 乙醇, 充分研磨直至组织变白。避光, 静置 5 min。过滤到 25 mL 棕色容量瓶中, 用乙醇定容至 25 mL, 摇匀。以 $\varphi=95\%$ 乙醇为空白, 在波长 663、645 和 470 nm 下测定吸光度^[19-21]。叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素含量按照公式 (1)~(3) 计算:

$$C_a = \frac{(12.7 \times D_{663} - 2.69 \times D_{645}) \times 10}{M} \quad (1)$$

$$C_b = \frac{(22.9 \times D_{652} - 4.68 \times D_{663}) \times 10}{M} \quad (2)$$

$$C_{类} = \frac{\frac{(10000 \times D_{470})}{M} - 3.27 \times C_a - 104 \times C_b}{198} \quad (3)$$

式中:

C_a ——叶绿素 a (Chlorophyll a) 含量, mg/g;

C_b ——叶绿素 b (Chlorophyll b) 含量, mg/g;

$C_{类}$ ——类胡萝卜素 (Carotenoid) 含量, mg/g;

D_i —— i 吸光度下对应标准曲线上的浓度, mg/g;

M ——样品干物重量, mg。

花青素含量测定参照 Zhang 等^[22]、吉庆勇等^[23]的检测方法。

1.3.4 鲜叶品质指数计算

儿茶素品质指数 (Catechin Quality Index, CQI)

是衡量茶叶品质和选育高表没食子儿茶素没食子酸酯 (Epigallocatechin Gallate, EGCG) 茶树品种及评价茶叶功效指标之一, 是表达茶叶品质的经验参数, CQI 越大说明嫩度和品质越好, 茶叶质量越好^[24,25]。计算公式为:

$$B = \frac{E_1 + E_2}{E_3} \times 100 \quad (4)$$

式中:

B ——儿茶素品质指数 (CQI);

E_1 ——表没食子儿茶素没食子酸酯 (Epigallocatechin Gallate, EGCG) 含量, %;

E_2 ——表儿茶素没食子酸酯 (Epicatechin Gallate, ECG) 含量, %;

E_3 ——表没食子儿茶素 (Epigallocatechin, EGC) 含量, %。

儿茶素苦涩味指数 (Catechin Astringent Index, CAI) 是指酯型儿茶素与简单儿茶素的比值, 指数越大, 苦涩味越重^[26,27]。计算公式为:

$$H = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4}{E_5 + E_6} \quad (5)$$

式中:

H ——儿茶素苦涩味指数 (CAI);

E_4 ——没食子儿茶素 (Gallocatechin, GC) 含量, %;

E_5 ——表儿茶素 (Epicatechin, EC) 含量, %;

E_6 ——儿茶素 (Catechin, C) 含量, %。

1.3.5 红茶制作

采摘春季第一轮茶树新梢按以下程序加工成红茶用于感官审评。加工程序为:

一芽二叶鲜叶 → 萎凋 (6 h) → 揉捻 (1.5 h) → 解块 → 发酵 (30 °C, 4 h) → 烘干 (80 °C, 120 min) → 回潮 (15 min) → 提香 (90 °C, 60 min)。

1.3.6 红茶感官审评

感官审评根据 GB/T 23776-2018 《茶叶感官审评方法》方法进行。

1.4 统计分析

试验中的数据采用 Microsoft Excel 2016 统计相关数据, 利用 SPSS Statistics 26.0 软件进行单因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 不同茶树品种鲜叶色素含量分析

色泽是茶树中相关化学成分的综合体现, 脂溶

性的叶绿素和类胡萝卜素是其主要色素。由于茶树基因型差异,叶绿素 a、叶绿素 b 等含量均有不同^[28]。4 种不同颜色茶树鲜叶白叶 1 号 (T1)、紫娟 (T2)、黄金菊 (T3)、福鼎大白茶 (T4) 加工红茶前测定其鲜叶 (芽下第二叶) 的色素含量, 结果见表 1 所示, 叶绿素 a 含量最高的为 T2, 为 1.21 mg/g, 其次是 T4、T3, 含量最低的是 T1 白叶 1 号, 仅为 T2 的 46.28%, 4 种茶树鲜叶叶绿素 a 含量差异显著 ($P<0.05$); 叶绿素 b 含量为 0.35~0.59 mg/g, 平均含量 0.44 mg/g, 最高的为 T2 显著高于 T4, 显著高于 T1 和 T3。类胡萝卜素含量为 4.18~7.36 mg/g, 平均值为 5.28%, 组间差异性与叶绿素 a 一致。花青素含量为 0.03~8.86 mg/g, 平均值 3.08 mg/g, 含量最高的为 T2 8.86 mg/g, 最低的为 T1 0.03 mg/g, T2 的花青素含量为 T1 的 29.53 倍, 为 T3 的 6.47 倍, 为 T4 的 4.32 倍, 4 种茶树鲜叶花青素含量组间差异显著 ($P<0.05$)。红茶加工过程中叶绿素是显著降低的, 叶绿素含量越高的茶树鲜叶越能够形成红茶红汤红叶的品质特征^[29,30]。鲜叶中叶绿素、花青素等在红茶加工过程中可与多酚类物质成分发生氧化反应, 形成多酚类氧化物, 类胡萝卜素在红茶加工过程中也能与其他物质发生反应, 从而促进红茶香气的形成^[30]。所以高色素含量的茶树鲜叶可能具备与多酚类物质发生反应的物质基础, 能为优质红茶的加工提供必要基础。

鉴定茶叶品质尤其是红茶品质, 历来都是直接把茶树鲜叶制成红茶后进行品质评审, 这是一套简单有效且全面的早期品种鉴定的方法^[31]。此种方法有很多的弊端, 比如优异的茶树资源种植数量少, 采摘的鲜叶量过少, 一定程度上不能按红茶制作工序完成红茶的发酵, 再者制成红茶工序复杂, 每一道关键工序都影响着红茶成品的品质。陈国本^[31]上世纪 70 年代便开始了红茶品种品质鉴定研究, 发现芽叶颜色与红茶发酵程度呈显著正相关, 相关系数为 0.719, 一般认为, 深绿色茶树叶片中叶绿素含量较高, 黄色、白色叶片中叶绿素含量就较低, 而紫色芽叶中往往含有大量的花青素, 制成绿茶不但色枯、叶底靛青而且味苦, 紫色芽叶是苦涩味的标志^[32]。另外, 氨基酸含量以白色芽叶含量最高, 色绿鲜叶茶含量稍高, 黄绿叶次之, 紫色芽叶含量较低。本研究结果也显示, 4 个茶树品种鲜叶叶绿素 a、叶绿素 b、类胡萝卜素等色素含量差异很大, 其中紫娟色素含量显著高于其他茶树品种。鲜叶氨基酸含量最高的为白叶 1 号, 茶多酚、咖啡碱及酚氨比最高为紫娟, 说明紫娟品种作为云南引进的大叶种茶与江浙、福建地区中小叶茶树品种白叶 1 号、黄金菊、福鼎大白茶内含物成分有很大的区别, 由本研究鲜叶品质成分含量分析及感官审评结果表明, 该品种更适合制红茶。

表 1 不同茶树鲜叶色素含量

Table 1 Pigment content of fresh leaves of different tea plants

鲜叶	叶绿素 a/(mg/g)	叶绿素 b/(mg/g)	类胡萝卜素/(mg/g)	花青素/(mg/g)	SPAD 值
T1	0.56 ± 0.02 ^d	0.35 ± 0.04 ^c	4.18 ± 0.01 ^d	0.03 ± 0.01 ^d	25.50 ± 2.95 ^b
T2	1.21 ± 0.02 ^a	0.59 ± 0.01 ^a	7.36 ± 0.04 ^a	8.86 ± 0.18 ^a	55.97 ± 4.74 ^a
T3	0.60 ± 0.01 ^c	0.35 ± 0.02 ^c	4.26 ± 0.03 ^c	1.37 ± 0.26 ^c	27.76 ± 2.58 ^b
T4	0.70 ± 0.02 ^b	0.44 ± 0.04 ^b	5.33 ± 0.02 ^b	2.05 ± 0.06 ^b	56.07 ± 4.14 ^a

注: 同一列用不同小写字母标记 (a~d) 的值表示差异显著 ($P<0.05$), 下同。

表 2 不同品种鲜叶生化成分含量

Table 2 Contents of biochemical components in different samples

品种	水浸出物/%	氨基酸/%	茶多酚/%	咖啡碱/%	酚氨比	CQI	CAI
T1	38.92 ± 0.18 ^b	4.56 ± 0.30 ^a	10.38 ± 0.49 ^d	3.42 ± 0.20 ^c	2.29 ± 0.25 ^c	300.68 ± 3.32 ^d	12.75 ± 0.32 ^c
T2	42.85 ± 0.51 ^a	1.86 ± 0.07 ^c	22.00 ± 0.13 ^a	4.35 ± 0.21 ^a	11.84 ± 0.56 ^a	363.91 ± 17.21 ^c	15.45 ± 0.85 ^a
T3	37.65 ± 0.24 ^c	3.51 ± 0.16 ^b	18.22 ± 0.20 ^b	3.72 ± 0.12 ^b	5.19 ± 0.25 ^b	867.03 ± 120.00 ^a	14.24 ± 0.49 ^b
T4	35.69 ± 0.19 ^d	3.23 ± 0.05 ^b	17.45 ± 0.10 ^c	3.84 ± 0.05 ^b	5.39 ± 0.10 ^b	675.76 ± 33.55 ^b	9.10 ± 0.47 ^d

2.2 不同茶树鲜叶生化成分分析

水浸出物含量高低一般反应的是茶叶中可溶性物质（可提供营养物质）的多少，茶叶审评过程中，一般认为水浸出物含量的高低直接影响茶汤厚、薄、醇、浓等，茶叶中水浸出物含量的高低是茶叶品质评价的重要指标之一^[29]。由表2可以看出，4种不同芽叶颜色的茶树鲜叶水浸出物含量为35.69%~42.85%，各组之间差异显著（ $P<0.05$ ），T2水浸出物含量最高（42.85%），T4水浸出物含量最低（35.69%），含量多少顺序为：T2>T1>T3>T4；游离氨基酸含量为1.86%~4.56%，最高的为T1，其次是T3、T4（两者组间无显著性差异），最小的为T2紫娟的1.86%，T1氨基酸含量是T2的2.45倍。红茶加工过程中，多种的蛋白质会水解形成各种游离氨基酸，游离氨基酸不仅是茶汤鲜爽滋味的主要物质基础，还是香气组成、变化的重要指标^[30-32]。因此，鲜叶中游离氨基酸含量最高的T1制成的红茶鲜爽度最好，而T2的鲜爽度最差，这也是分析红茶品质好坏的关键因素之一。茶多酚含量为10.38%~22.00%，含量最高为T2，含量最低为T1，T3、T4间相差1个百分点，组间有显著性差异（ $P<0.05$ ）。咖啡碱含量为3.42%~4.35%，酚氨比为5.19~11.84，咖啡碱、酚氨比间变化趋势相同，最高茶树品种均为T2，最低的均为T1。红茶与绿茶加工不同，绿茶是通过杀青来钝化酶的活性，而红茶是通过萎凋来增强酶的活性，经过揉捻、发酵等工艺，以茶多酚的酶促氧化为中心发生系列的变化，因此，红茶加工一般要求有高茶多酚含量。咖啡碱能与某些酚类化合物结合成酸性咖啡碱化合物，同时有抑制蛋白质凝固的局部作用，利于茶汤滋味的形成。因此高茶多酚含量、高咖啡碱含量、高酚氨比的茶树品种在加工红茶的过程中更具优势。

CQI为300.68~867.03，最大的为T3，其次依次为T4、T2、T1，4个品种CQI值组间差异显著（ $P<0.05$ ），说明T3茶树嫩度和品质更好，制茶叶质量最好，CQI能较为确切的反应出茶叶的嫩度与茶叶品质情况，芽叶越幼嫩，品质指数越大，随着芽叶的老化、品质的下降，指数逐渐缩小。这也间接说明了黄金菊茶树鲜叶持嫩性强，体内物质代谢丰富。儿茶素苦涩味指数（Catechin Astringent

Index, CAI）为9.10~15.45，最大的为T2，最小的为T4，4个茶样组间差异显著，说明茶叶苦涩程度T2>T3>T1>T4，CAI是表达绿茶滋味的经验参数，值越大，苦涩味越重，红茶加工过程中CAI指数高，是制红茶品质优良的表现。

2.3 相关性分析

由表3可知，4种不同颜色的茶树鲜叶色素水平与生化成分间存在显著相关性，水浸出物、氨基酸、茶多酚和咖啡碱均与色素含量呈正相关。儿茶素单体中，除儿茶素（Catechin, C）外，也均与色素含量呈正相关（ $P<0.01$ ）。这与前文结果一致（表1~2），高水浸物含量的茶树具备更高色素含量，也即色素含量高的T2的水浸出物、茶多酚、咖啡碱含量也很高，具备加工优质红茶的物质基础，这也提示高叶绿素a、叶绿素b、花青素的茶树鲜叶可能具备更丰富的内含物质成分，可用于加工优质红茶。

本研究结果显示，色素含量与氨基酸含量呈显著负相关，与茶多酚、咖啡碱及大部分儿茶素含量呈显著正相关。这些成分是红茶制作过程中茶黄素形成的关键前体物质，对红茶品质形成至关重要。事实上，试验中茶多酚、咖啡碱、EGCG、ECG对红茶滋味贡献较大，而且茶多酚、咖啡碱、EGCG、ECG等物质之间具有协同增效作用，促使高品质红茶的形成。研究表明，茶多酚与红碎茶品质相关系数高达0.92，茶多酚与茶黄素的相关系数高达0.88^[31]。EGCG、ECG是儿茶素的重要组成成分，茶多酚、咖啡碱、EGCG、ECG存在是红茶中茶黄素形成的前体物质之一，对预测该品种是否高茶黄素是一个较为可靠的生化指标^[32]，而茶黄素是衡量红茶品质最关键的指标^[30]。

2.4 主成分分析

对4个不同颜色茶树鲜叶化学成分及鲜叶色素成分进行主成分分析（见表4），第1主成分贡献率为65.30%，第2主成分贡献率为22.32%，第3主成分贡献率为9.29%，其中前3个主成分累计贡献率为96.90%。说明这3个主成分基本包含了全部变量具备的信息，能解释不同颜色茶树色素、内含物质含量变异的96.90%。

表 3 不同样品主要化合物相关性矩阵

Table 3 Correlation coefficient matrix of quality components in different samples

成分	水浸出物	氨基酸	茶多酚	咖啡碱	EGC	C	EC	EGCG	ECG	叶绿素 a	叶绿素 b	类胡萝卜素	花青素	酚氨比	CQI	CAI
水浸出物	1.00															
氨基酸	-0.56	1.00														
茶多酚	-0.38	-0.94**	1.00													
咖啡碱	0.57	-0.91**	0.85**	1.00												
EGC	0.94**	-0.63*	0.40	0.64*	1.00											
C	-0.56	-0.07	0.37	-0.02	-0.66*	1.00										
EC	0.39	-0.74**	0.55	0.73**	0.63*	-0.34	1.00									
EGCG	0.62*	-0.92**	0.94**	0.87**	0.61*	0.16	0.52	1.00								
ECG	0.52	-0.97**	0.98**	0.89**	0.54	0.23	0.59	0.97**	1.00							
叶绿素 a	0.79**	-0.91**	0.76**	0.89**	0.88**	-0.30	0.81**	0.85**	0.84**	1.00						
叶绿素 b	0.67*	-0.89**	0.73**	0.85**	0.80**	-0.28	0.87**	0.78**	0.79**	0.95**	1.00					
类胡萝卜素	0.69*	-0.92**	0.76**	0.89**	0.83**	-0.29	0.89**	0.81**	0.83**	0.98**	0.97**	1.00				
花青素	0.79**	-0.93**	0.81**	0.90**	0.86**	-0.23	0.77**	0.90**	0.88**	0.99**	0.94**	0.97**	1.00			
酚氨比	0.71**	-0.98**	0.89**	0.93**	0.76**	-0.07	0.72**	0.94**	0.95**	0.97**	0.91**	0.95**	0.98**	1.00		
CQI	-0.63*	0.00	0.29	-0.05	-0.73**	0.95**	-0.39	0.08	0.15	-0.37	-0.34	-0.36	-0.31	-0.15	1.00	
CAI	0.79**	-0.35	0.33	0.34	0.60*	-0.18	-0.13	0.59*	0.43	0.46	0.28	0.31	0.50	0.48	-0.21	1.00

注: **表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关; *表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。绝对值 ≤ 0.5 为弱相关,绝对值 > 0.5 且 < 0.8 为相关,绝对值 ≥ 0.8 为强相关。

表 4 不同颜色茶树主成分的特征值和贡献率

Table 4 Eigenvalue and variance contribution rate of principal components in different tea plants

序号	初始特征值			提取平方和载入		
	合计	方差的/%	累积/%	合计	方差的/%	累积/%
1	10.45	65.30	65.30	10.45	65.30	65.30
2	3.57	22.32	87.62	3.57	22.32	87.62
3	1.49	9.29	96.90	1.49	9.29	96.90
4	0.22	1.35	98.25			
5	0.13	0.84	99.09			
6	0.06	0.39	99.48			
7	0.04	0.26	99.74			
8	0.02	0.15	99.88			
9	0.01	0.06	99.94			
10	0.01	0.04	99.98			
11	0.00	0.02	100.00			

表 5 成分矩阵

Table 5 Component matrix

品质成分	成份		
	1	2	3
花青素 (χ_1)	0.99	-0.04	0.11
叶绿素 a (χ_2)	0.99	-0.10	0.05
类胡萝卜素 (χ_3)	0.99	-0.07	-0.11
叶绿素 b (χ_4)	0.96	-0.07	-0.13
氨基酸 (χ_5)	-0.95	-0.28	-0.02
咖啡碱 (χ_6)	0.92	0.19	0.03
茶多酚 (χ_7)	0.82	0.55	0.11
SPAD (χ_8)	0.76	0.20	-0.58
水浸出物 (χ_9)	0.72	-0.48	0.49

由表 5 可知, 第 1 主成分中花青素、叶绿素 a、类胡萝卜素具有较大的正载荷量为 0.99, 叶绿素 b、咖啡碱、茶多酚也为正载荷量, 且均大于 0.80; 水浸出物具有较大的正载荷量, 且在 0.70 以上。鲜叶色素含量水平与茶叶生化成分密切相关, 决定了不同颜色鲜叶的化学品质。通过花青素、叶绿素 a、类胡萝卜素荷载作用, 形成的不同特色茶叶的品质特征, 第 1 主成分为不同颜色茶树颜色因子, 因此也可将该主成分定义为“色素因子”。从而得到的第 1 主成分回归方程为:

$$Y_1=0.095\chi_1+0.095\chi_2+0.095\chi_3-0.092\chi_4-0.091\chi_5+0.088\chi_6+0.079\chi_7+0.073\chi_8+0.069\chi_9。$$

对第 2 主成分贡献度分析发现, 茶多酚有较大

的荷载量, 这些成分对茶汤的滋味、味道、厚薄影响均较大, 影响茶汤的滋味和口感, 一般可确定为“生化因子”, 其计算公式为:

$$Y_2=-0.011\chi_1-0.028\chi_2+-0.019\chi_3-0.019\chi_4-0.077\chi_5+0.053\chi_6+0.153\chi_7+0.057\chi_8-0.135\chi_9。$$

对第 3 主成分贡献值进行分析, 水浸出物具有较大的正荷载量, 成分主要表现在茶叶茶汤滋味方面, 因此, 将该主成分定义为“滋味因子”, 其回归方程为:

$$Y_3=0.074\chi_1+0.036\chi_2-0.076\chi_3-0.084\chi_4-0.012\chi_5+0.018\chi_6+0.074\chi_7-0.393\chi_8+0.331\chi_9。$$

采用 Z-score 标准化法对茶树鲜叶色素值、鲜叶生化成分无量纲化处理后, 利用主成分分析提取因子, 计算各茶树鲜叶色素值、生化成分数据的特征值以及方差贡献率 (表 5)。计算得到不同茶样品的颜色程度及生化成分含量等方面的综合得分。计算主成分综合得分 Y 的计算公式为: $Y=0.653Y_1+0.223Y_2+0.093Y_3$ 。计算结果见表 6, 茶样综合得分最高的 T2, 其次是 T3, 二者的得分 ≥ 0 , 其余 T4, T1 均小于 0, 综合排名是 $T2>T3>T4>T1$ 。说明紫娟茶色素因子、生化因子、滋味因子的综合协同作用最好, 也是这几个品种中制茶效果最好的茶树品种, 其次是黄金菊, 二者制茶的效果均优于福鼎大白茶, 白叶 1 号。

表 6 茶样综合得分

Table 6 Composite score of tea samples

品种	Y_1	Y_2	Y_3	Y	排名
T1	-0.66	-0.85	0.09	-0.61	4
T2	1.12	-0.64	0.29	0.62	1
T3	-0.40	0.88	0.72	0.00	2
T4	-0.07	0.61	-1.11	-0.01	3

主成分分析结果显示, 代表“色素因子”、“生化因子”、“滋味因子”的前 3 个主成分累计贡献率为 96.90%, 能很好的解析不同颜色鲜叶制红茶品质主成分, 通过计算茶树鲜叶色素值、生化成分数据的特征值以及方差贡献率, 鲜叶品质得分从高到低依次为紫鹃 (T2) > 黄金菊 (T3) > 福鼎大白茶 (T4) > 白叶 1 号 (T1), 与该品种制成的红茶感官审评结果一致, 说明适制红茶品种的筛选能通过观察早期茶树鲜叶的颜色变化、测定色素含量、生化成分含量来判断, 但是色素含量、生化成分含量的阈值有待进一步研究。

表 7 不同红茶样品感官审评结果

Table 7 Sensory evaluation results of black teas

品种	外形 (25%)		香气 (10%)		汤色 (25%)		滋味 (30%)		叶底 (10%)		总分
	评语	评分	评语	评分	评语	评分	评语	评分	评语	评分	
T1	紧结, 乌黑尚润	87	嫩甜香	92	橙红尚明亮	91	鲜醇	93	红嫩亮	91	90.7
T2	紧细, 匀整, 乌润	93	花果香	93	红亮	90	醇厚	92	红嫩亮	91	91.75
T3	紧结, 乌黑	89	甜香浓郁	91	橙红明亮	93	鲜醇	93	红尚亮	90	91.50
T4	紧细, 有金毫	92	嫩甜香	90	橙黄尚亮	89	醇厚	92	红嫩亮	91	90.95

2.5 感官审评

不同茶树品种的生化成分差异是决定红茶品质的物质基础, 茶树鲜叶中的水浸出物、茶多酚、咖啡碱、EGCG、ECG 含量已证明了是形成茶黄素的主体物质, 直接影响着红茶制品的色泽、香气、滋味等感官品质指标^[30]。本研究 4 个品种茶树鲜叶所制红茶的感官审评结果见表 7。从干茶外形来看, 加工成的红茶均为针形, 条索均较紧实, 匀整, 干茶外形最高分为 T2 (紫娟), 紧细, 匀整, 乌润; 最低分为 T1 (白叶 1 号), 干茶外形紧结, 乌黑尚润。滋味方面, T1 和 T3 鲜醇得分最高为 93 分, T2、T4 醇厚得 92 分。香气最高的茶样为 T2, 其香气呈花果香; 得分最低的为 T4, 其香气呈嫩甜香。审评汤色得分最高的为 T3, 其汤色橙红明亮, 最低得分为 T4 汤色橙黄尚亮。综上, 4 种不同颜色茶树制成红茶感官品质综合得分由高到低排序为: T2>T3>T4>T1, 也即感官审评红茶茶样的优劣次序为: “紫娟”>“黄金菊”>“福鼎大白”>“白叶 1 号”。

3 结论

本研究以白叶 1 号、紫娟、黄金菊、福鼎大白茶 4 个茶树品种为材料观察芽叶性状, 高色素含量的茶树鲜叶具备与多酚类物质发生反应的物质基础, 能为优质红茶的制作提供必要基础。因此从叶色可判断出紫娟、黄金菊等茶树更适合制作成红茶。测定了不同颜色茶树鲜叶品质成分含量, 分析不同色素含量与成茶生化成分含量间的相关性, 发现高花青素的紫鹃具备更丰富的内含物质成分, 可用于制作优质红茶。探究了茶树鲜叶色泽与成品红茶品质之间的关系及不同茶树品种的红茶适制性, 鲜叶品质及红茶品质审评得分从高到低依次为紫鹃 (T2)>黄金菊 (T3)>福鼎大白茶 (T4)>白叶 1 号 (T1)。说明了制红茶的评判指标可以根据茶树

鲜叶色泽、鲜叶内含物成分高低进行早期鉴定。本研究能为不同色泽茶树新梢的适制性提供数据支撑。

参考文献

- [1] 张雪寒, 潘波旭, 宋勤飞, 等. 7 种贵州名优绿茶品质化学成分分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(16): 5105-5111.
- [2] 娄艳华, 何卫中, 郑生宏, 等. 65 份紫芽茶树资源芽叶特性及花青素含量分析[J]. 茶叶, 2019, 45(3): 131-135.
- [3] 尹明雨, 柳泽琢也, 松冈亮辅, 等. 香甜味沙拉酱脂肪酸差异与品质相关性研究[J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(14): 70-75.
- [4] 王治会, 彭华, 岳翠男, 等. 基于生化成分的铅山群体种茶树鲜叶品质分析[J]. 食品研究与开发, 2021, 42(14): 8-13.
- [5] ZHAO T T, LI C, WANG S, et al. A review of its phytochemistry pharmacology and toxicology [J]. Molecules, 2022, 27: 3909.
- [6] 江新风, 孙永明, 童忠飞, 等. 菜籽饼肥施用深度对茶叶产量、品质和氮素利用的影响[J]. 中国农业科技导报, 2021, 23(12): 172-178.
- [7] LIU Y, CHEN Q C, LIU D C, et al. Multi-omics and enzyme activity analysis of flavour substances formation: Major metabolic pathways alteration during Congou black tea processing [J]. Food Chem, 2023, 403(1): 134263.
- [8] ROMIT S, ABHISHEK B, RAJNI P, et al. Global transcriptional insights of pollen-pistil interactions commencing self-incompatibility and fertilization in tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] [J]. International Journal of Molecular Sciences, 2019, 20: 539.
- [9] SHIN Y H, YANG R, SHI Y L, et al. Light-sensitive albino tea plants and their characterization [J]. Horticultural Science, 2018, 53(2): 144-147.
- [10] LI M W, SHEN Y, LING T J, et al. Analysis of differentiated chemical components between Zijuan purple tea and Yunkang green tea by UHPLC-orbitrap-MS/MS combined with chemometrics [J]. Foods, 2021, 10: 1070.
- [11] HUANG F Y, DUAN J H, LEI Y, et al. Metabolomic and transcriptomic analyses reveal a MYB gene, *CsANI*,

- involved in anthocyanins accumulation separation in F1 between 'Zijuan' and 'Fudingdabaicha' tea plants [J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 1008588.
- [12] HAN Z S, WEN M C, ZHANG H W, et al. LC-MS based metabolomics and sensory evaluation reveal the critical compounds of different grades of Huangshan Maofeng green tea [J]. *Food Chemistry*, 2022, 374: 131796.
- [13] 江新风,李琛,石旭平,等.高效液相色谱法对“黄金菊”茶中儿茶素和氨基酸组分含量的测定[J].*食品研究与开发*,2021,42(5): 172-176.
- [14] 江新风,李延升,石旭平,等.茶树资源“黄金菊”适制性研究[J].*食品安全质量检测学报*,2019,10(13):4217-4221.
- [15] 杨培迪,刘振,赵洋,等.不同茶树品种绿茶干茶色泽及香气分析[J].*分子植物育种*,2020,18(15):5115-5126.
- [16] 蔡华君,丁玕,涂津鹏,等.冲泡用水对茶汤感官品质与理化指标的影响[J].*中国茶叶*,2022,44(1):62-65.
- [17] 江新风,李琛,曹挥华,等.黄化茶树黄金菊的叶绿体结构透射电镜观察[J].*江西农业学报*,2022,34(6):52-57.
- [18] 张贱根,刘均华,刘知远,等.基于相关性和主成分分析的上犹名优绿茶品质评价[J].*食品安全质量检测学报*, 2022,14(3):285-292.
- [19] 尹军峰,闵航,许勇泉,等.摊放环境对名优绿茶鲜叶茶多酚及儿茶素组成的影响[J].*茶叶科学*,2008,28(1):22-27.
- [20] 王治会,岳翠楠,李琛,等.江西省茶树种质化学特性多样性分析与鉴定评价[J].*江苏农业学报*,2020,36(1):172-179.
- [21] JIANG XF, ZHAO H, GUO F, et al. Transcriptomic analysis reveals mechanism of light-sensitive albinism in tea plant *Camellia sinensis* 'Huangjinju' [J]. *BMC Plant Biology*, 2020, 20(1): 216.
- [22] ZHANG L, HO C T, ZHOU J Z, et al. Chemistry and biological activities of processed *Camellia sinensis* teas: A comprehensive review [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2019, 18(5): 1474-1495.
- [23] 吉庆勇,娄艳华,何卫中,等.65份叶色紫化茶树种质资源生化成分分析[J].*茶叶通讯*,2021,48(1):20-27.
- [24] 莫岚,黄亚辉,赵文芳,等.金秀野生茶树群体中儿茶素和氨基酸组分含量分析[J].*云南农业大学学报(自然科学)*,2018,33(4):122-127.
- [25] ZHANG L, CAO Q Q, DANIEL G, et al. Association between chemistry and taste of tea: A review [J]. *Trends in Food Science and Technology*, 2020, 101: 139-149.
- [26] 施兆鹏,刘仲华.夏秋苦涩味化学实质的数学模型探讨[J].*茶叶科学*.1987,7(2):7-12.
- [27] 江新风,杨普香,李延升,等.不同时期茶树鲜叶活性成分研究[J].*食品研究与开发*,2015,36(18):15-18.
- [28] ZHOU B X, WANG ZH, YIN P, et al. Impact of prolonged withering on phenolic compounds and antioxidant capability in white tea using LC-MS-based metabolomics and HPLC analysis: Comparison with green tea [J]. *Food Chemistry*, 2022, 368: 130855.
- [29] 雷亚兰,周志梅,李瑾,等.基于主成分分析和聚类分析方法评价宝庆桂丁绿茶品质特性[J].*食品工业科技*,2022, 43(6):269-277.
- [30] 范捷,王秋霜,秦丹丹,等.红茶品质及其相关生化因子研究进展[J].*食品科学*,2020,41(3):246-253.
- [31] 陈国本.红茶品种品质早期鉴定研究[J].*湖南农学院学报*,1980,3:53-59.
- [32] 仝佳音,夏丽飞,杨方慧,等.不同加工工艺对紫娟红茶香气成分的影响[J].*湖北农业科学*,2019,58(20):133-136, 142.