

不同采摘时期的贵州碾茶主要品质成分分析

黄南欢¹, 徐代华², 郝建³, 陈玲², 龚雪⁴, 刘源⁴, 邓燕莉^{1*}

(1. 贵州大学茶学院, 贵州贵阳 550025) (2. 铜仁职业技术学院农学院, 贵州铜仁 554300)
(3. 湖南益阳茶厂有限公司, 湖南益阳 413046) (4. 贵阳市农业技术推广站, 贵州贵阳 550000)

摘要: 为探讨相同遮阴条件下不同采摘季的碾茶品质差异, 该研究以春末期、夏初期、夏中期的同等级福鼎大白茶鲜叶为对象, 以相同碾茶工艺加工后, 开展相关生化成分检测分析。结果表明, 随采摘时期的后移碾茶的水浸出物、茶多酚、叶绿素总量、叶绿素 b、TDF、IDF 及 SDF 含量、酚氨比及 IDF/SDF 比值呈显著增加 ($P<0.05$), 游离氨基酸总量、Vc 含量、叶绿素 a/叶绿素 b 比值呈显著降低 ($P<0.05$)。主成分分析表明, 游离氨基酸总量、水浸出物、SDF、叶绿素 a、可溶性糖和 GCG 含量的累积方差贡献率达 95.73%, 可作为碾茶品质的表征性成分。春末期采摘加工的碾茶 N1 的可溶性糖含量 (3.00%)、游离氨基酸总量 (4.40%)、咖啡碱含量 (2.57%)、Vc 含量 (5.25 mg/g)、没食子酸含量 (1.10%)、EGCG 含量 (6.74%)、酯型儿茶素总量 (9.02%) 和儿茶素总量 (10.40%) 最高, 茶多酚含量 (10.94%)、儿茶素苦涩味指数 (16.59)、酚氨比 (2.49) 及 IDF/SDF 比值 (4.84) 最低, 综合品质最佳。因此春末期加工的碾茶品质最佳, 夏初期、夏中期加工的碾茶品质相对较差。该研究可为贵州碾茶和抹茶的生产加工技术及品质提升提供科学的理论依据。

关键词: 碾茶; 品质成分; 相关性分析; 儿茶素; 叶绿素; 遮阴

文章编号: 1673-9078(2024)10-276-283

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2024.10.1084

Analysis of Main Quality Components of Guizhou Tencha Collected in Different Picking Periods

HUANG Nanhuan¹, XU Daihua², HAO Jian³, CHEN Lin², GONG Xue⁴, LIU Yuan⁴, DENG Yanli^{1*}

(1. Tea College of Guizhou University, Guiyang 550025, China) (2. Agricultural College of Tongren Vocational and Technical College, Tongren 554300, China) (3. Hu'nan Yiyang Tea Factory Co. Ltd., Yiyang 413046, China)
(4. Guiyang Agricultural Technique Popularization Station, Guiyang 550000, China)

Abstract: In order to investigate the quality difference of tencha collected in different picking seasons under the same shading conditions, the fresh leaves of the same grade Fuding Dabai tea collected in late spring, early summer and mid-summer were used as the objects in this study. Relevant biochemical components were detected and analyzed after the teas being processed by the same tencha process. The results showed that with the picking period being moved to a later time, the contents of water extract, tea polyphenols, total chlorophyll, chlorophyll b, TDF, IDF and SDF, the phenol-ammonia
引文格式:

黄南欢, 徐代华, 郝建, 等. 不同采摘时期的贵州碾茶主要品质成分分析[J]. 现代食品科技, 2024, 40(10): 276-283.

HUANG Nanhuan, XU Daihua, HAO Jian, et al. Analysis of main quality components of guizhou tencha collected in different picking periods [J]. Modern Food Science and Technology, 2024, 40(10): 276-283.

收稿日期: 2023-09-11

基金项目: 国家茶叶产业技术体系项目 (CARS-19); 贵州省科技计划项目 (黔科合基础 [2019]1077; 黔科合服企 [2020]4016; 剑科特派合 [2022]10)

作者简介: 黄南欢 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向: 茶叶品质化学研究, E-mail: 1979301081@qq.com

通讯作者: 邓燕莉 (1985-), 女, 博士, 副教授, 研究方向: 茶叶加工与功能成分化学研究, E-mail: dengyanli2011@sina.com

ratio and the IDF/SDF ratio increased significantly ($P<0.05$), and the total free amino acid content, Vc content and the chlorophyll a/chlorophyll b ratio decreased significantly ($P<0.05$). Principal component analysis showed that the cumulative variance contribution rate of total free amino acids, water extract, SDF, chlorophyll a, soluble sugar and GCG contents reached 95.73%, which could be used as a characteristic component of the quality of tencha. The soluble sugar content (3.00%), total free amino acid content (4.40%), caffeine content (2.57%), Vc content (5.25 mg/g), gallic acid content (1.10%), EGCG content (6.74%), content of total ester-type catechins (9.02%), and content of total catechins (10.40 %) of the tencha N1 harvested at the end of spring were the highest, whilst the tea's polyphenol content (10.94 %), catechin bitterness and astringency index (16.59), phenol-ammonia ratio (2.49) and IDF/SDF ratio (4.84) were the lowest, thus, the overall quality was the best. Therefore, the quality of tencha processed in late spring was the best, whilst the quality of tencha processed in early summer or mid-summer was relatively poor. This study can provide a scientific theoretical basis for the production and processing technology and quality improvement of Guizhou tencha and matcha.

Key words: tencha; quality component; correlation analysis; catechin; chlorophyll; shade

抹茶含有丰富的营养化学成分，随着抹茶保健功效的推广，食品、日化和医药等领域市场对优质高档抹茶的需求逐渐增加。以遮阴覆盖的茶鲜叶为原料，经摊放、筛分、蒸青、冷却、干燥、叶梗分离、复烘等工序加工所得的产品为碾茶，碾茶是抹茶研磨成粉之前的原料，其品质好坏直接决定抹茶的品质^[1,2]。遮阴是决定碾茶品质的关键茶园管理措施^[3]，目前主要从遮阴覆盖的材料、方式、时间及强度等方面开展了相关研究^[3-6]，发现受茶树品种、气候、土壤环境等因素的影响，不同遮阴措施对碾茶品质的影响作用不同。

研究发现，黑色遮阳网覆盖最有利于茶叶品质形成^[5]，对不同茶树品种^[7]进行相同遮阴处理及不同遮光率遮阴后碾茶的游离氨基酸总量增加、但春、夏及秋季三个季节的提高率不同^[5]，咖啡碱、茶多酚和儿茶素组分含量降低^[8,9]。王雪萍等^[6]发现不同遮光率覆盖的碾茶的8种儿茶素总量下降，且随遮光率的增大非酯型儿茶素含量占比降低、酯型儿茶素含量占比及儿茶素品质指数增加，75%遮光率更能提高游离氨基酸总量，90%遮光率反而降低游离氨基酸总量^[3,6,10]。80%遮光率比45%遮光率更能降低春茶的茶多酚含量、提高游离氨基酸总量且改变儿茶素组分的相对含量，如增加表没食子儿茶素没食子酸酯（Epigallocatechin Gallate, EGCG）含量，降低表儿茶素（Epicatechin, EC）和表没食子儿茶素（Epigallocatechin, EGC）的含量，增大儿茶素品质指数^[11]。单层黑色遮阳网能提高咖啡碱含量，双层黑色遮阳网的咖啡碱含量却呈下降趋势^[12,13]，但30%和50%遮光率下的茶树咖啡碱含量均极显著增加^[14]，而郭敏明等^[15]发现茶叶内含物质含量变化与

遮光度未呈现明显规律。不同季节遮阴后叶绿素总量及叶绿素 a、b 含量的增幅随遮光率的增大而增加，叶绿素 a/叶绿素 b 的比值降低^[8,9,16,17]，而不同遮光率处理组间叶绿素总量差异显著，当遮光度从70%提高至90%后反而会使茶叶中总叶绿素含量下降^[11]。而王雪萍等^[6,10]发现遮光率和遮阴高度对叶绿素总量及叶绿素 a、b 的含量无显著影响。

遮阴使茶园直射光减少、散射光增加，其中光照强度和光合有效辐射是影响碾茶品质的重要因素^[4]。目前尚未见在相同遮阴措施下，受自然光照强度不同的影响，不同采摘期碾茶品质的相关研究。本文以相同遮阴处理（即遮光率、覆盖高度与时间都相同）的同一茶园为对象，分别于三个不同采摘时期采摘一芽四五叶鲜叶，以相同碾茶工艺加工后，对碾茶样开展常规生化成分、儿茶素组分、膳食纤维、叶绿素总量、叶绿素 a、b 等的检测分析，结合主成分分析评价不同采摘季碾茶的品质成分差异，旨在为提升贵州碾茶的加工技术与品质提供科学理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

1.1.1 材料

碾茶样品均由贵州省德江众兴生态茶业有限公司（贵州铜仁）提供，分别于春末期（2023年4月27日，N1）、夏初期（2023年5月26日，N2）及夏中期（2023年6月24日，N3），采摘同一福鼎大白茶茶园相同遮阴措施下的一芽四五叶茶树鲜叶、经相同的碾茶加工方法制作而成。碾茶遮阴的覆盖

方式为棚式覆盖,即在离地面 180 cm 高处用竹子搭建棚架后,用遮光度为 85% 的黑色遮阳网直接覆盖于棚架顶部及四周垂直面,覆盖时间为 21 d,覆盖结束当天进行采摘,采摘结束后茶树冠面光照 7 d,然后进入下一轮遮阴覆盖试验。双人采茶机采摘鲜叶后,采用切叶、蒸汽杀青、冷却散茶、干燥、第一次梗叶分离、二次干燥、第二次梗叶分离、烘干、精制的方法加工成碾茶,生产线投叶量为 80~100 kg/h,杀青时间为 35 s,干燥时间为 35 min。

1.1.2 主要试剂

三羟甲基氨基甲烷、蒽酮、硼酸、氯化亚锡、福林酚、2-(N-吗啉代)乙烷磺酸、硫酸铜、2,6-二氯靛酚(2,6-二氯靛酚钠盐)、硫酸钾、茚三酮等试剂均购于上海麦克林生化科技有限公司;咖啡碱(Caffeine, CAF)、没食子酸(Gallic Acid, GA)、儿茶素没食子酸酯(Catechin Gallate, CG)、没食子儿茶素(Gallocatechin, GC)、EGC、儿茶素(Catechin, C)、EGCG、EC、没食子儿茶素没食子酸酯(Gallocatechin Gallate, GCG)及表儿茶素没食子酸酯(Epicatechin Gallate, ECG)等标准品(纯度≥98%),均购于美国 Sigma 公司。

1.2 仪器与设备

紫外分光光度计(UV-6000T),上海元析仪器有限公司生产;高效液相色谱仪(Agilent1100),安捷伦科技有限公司;全自动凯氏定氮仪(KT200),福斯华(北京)科贸有限公司。

1.3 试验方法

1.3.1 主要品质成分检测

碾茶中的品质成分检测参照国标 GB/T 8305-2013《茶水浸出物测定》测水浸出物,参照国标 GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》测茶多酚,参照国标 GB/T 8314-2013《茶游离氨基酸总量的测定》测游离氨基酸总量。抗坏血酸(Vc)含量测定参考 GB 5009.86-2016《食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定》,灰分含量测定参照 GB 5009.4-2016《食品安全国家标准食品中灰分的测定》,蛋白质含量测定参照 GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》,总膳食纤维(Total Dietary Fiber, TDF)、不可溶性膳食纤维(Insoluble Dietary Fiber, IDF)及可溶性膳食纤维(Soluble Dietary Fiber, SDF)测定参考 GB 5009.88-

2014《食品安全国家标准食品中膳食纤维的测定》。可溶性糖含量的测定采用蒽酮硫酸比色法,叶绿素含量的测定采用乙醇浸提法^[18]。没食子酸、咖啡碱及儿茶素组分含量参照杨金川等^[19]的方法略作修改:Agilent C18 色谱柱(4.6 mm×250 mm, 5 μm),柱温 35 °C,流量 1.0 mL/min,检测波长 280 nm,梯度洗脱条件为流动相 A(乙腈):流动相 B(甲醇):流动相 C(0.5% 乙酸)=5:10:85 (V/V/V),保持 5 min;10 min 内流动相改变为 A:B:C=10:20:70 (V/V/V);5 min 内流动相改变为 A:B:C=8:20:72 (V/V/V),并保持 2 min;最后 3 min 内改变流动相为 A:B:C=5:10:85 (V/V/V),保持 1 min,共 26 min。

1.3.2 儿茶素品质系数分析

儿茶素品质指数(Catechin Quality Index, CQI)及儿茶素苦涩味指数(Catechin Bitterness Index, CAI)是表征茶叶品质的关键指标。其中,CQI 的大小可反映茶样的持嫩度;而 CAI 值越大,茶样苦涩味越重。计算方法^[20]如下:

$$A = \frac{E_1 + E_2}{E_3} \quad (1)$$

$$B = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4}{E_5 + E_6} \quad (2)$$

式中:

A——儿茶素品质指数(CQI);

B——儿茶素苦涩味指数(CAI);

E_1 ——EGCG 含量, %;

E_2 ——ECG 含量, %;

E_3 ——EGC 含量, %;

E_4 ——GC 含量, %;

E_5 ——EC 含量, %;

E_6 ——C 含量, %。

1.4 数据处理

所有试验均做 3 次重复,采用 SPSS 23.0 对数据进行差异性分析,结果以平均值±标准差(X±S)表示, $P < 0.05$ 表示有显著性差异。

2 结果与分析

2.1 常规生化成分含量分析

茶叶水浸出物主要指茶叶中的可溶性化合物,是茶汤滋味的主要贡献者^[21]。由表 1 可知,3 个不同采摘季碾茶的水浸出物范围为 45.42%~48.03%,碾茶 N3 水浸出物含量(48.03%)显著高于碾茶

N1 及 N2 ($P < 0.05$)。可溶性糖是茶汤滋味甜醇的主要物质之一^[22], 3 个碾茶的可溶性糖含量范围为 2.69%~3.00%, 明显高于日本薮北种加工的碾茶的可溶性糖含量 (1.74%)^[21]。3 个碾茶的蛋白质含量无显著差异 ($P > 0.05$)。碾茶 N3 的灰分含量 (5.14%) 显著高于 ($P < 0.05$) 碾茶 N1 (4.20%) 和 N2 (4.19%) 的含量。碾茶 N1 的咖啡碱含量 (2.57%) 与 N3 的咖啡碱含量 (2.44%) 均显著高于 ($P < 0.05$) 碾茶 N2 含量 (2.22%)。3 个不同采摘时期碾茶随采摘时间的变化游离氨基酸总量显著降低 ($P < 0.05$), N1 (4.40%) > N2 (3.90%) > N3 (3.80%)。春季气温适中, 光照强度弱, 利于茶树体内氮代谢, 茶叶游离氨基酸总量较高, 而随着气温升高, 光照强度大, 茶树体内氨基酸分解速度快、其含量明显下降^[22]。3 个不同采摘季碾茶的茶多酚含量呈显著增加的趋势 ($P < 0.05$), N1 (10.94%) < N2 (11.93%) < N3 (13.02%), 顾辰辰等^[13]发现遮阴后茶叶中茶多酚含量下降, 尽管受遮阴处理茶树碳代谢减弱、碾茶中的茶多酚含量比不遮阴的偏低, 但随采摘时间推移、光照强度的增大后碾茶中的茶多酚含量呈上升趋势。可见, 在相同覆盖方式、覆盖时间等处理下, 3 个不同采摘时期的气温和光照强度主要影响茶蓬面气温的稳定和空气湿度, 春季气温适中、光照强度弱, 因此茶蓬面温度低、空气湿度高^[3]; 而夏季的高温和高照强度导致茶蓬面温度相对高、空气湿度相对低, 从而影响游离氨基酸总量和茶多酚等物质的积累^[3]。

表 1 3 个不同时期碾茶的生化成分含量

Table 1 The biochemical components content of tencha in three different periods

| 生化成分/% | N1 | N2 | N3 |
|---------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 水浸出物 | 45.58 ± 0.58 ^b | 45.42 ± 0.20 ^b | 48.03 ± 0.53 ^a |
| 可溶性糖 | 3.00 ± 0.09 ^a | 2.69 ± 0.14 ^b | 2.99 ± 0.34 ^a |
| 蛋白质 | 29.19 ± 0.53 ^a | 29.72 ± 0.58 ^a | 29.15 ± 0.39 ^a |
| 灰分 | 4.20 ± 0.01 ^b | 4.19 ± 0.01 ^b | 5.15 ± 0.01 ^a |
| 咖啡碱 | 2.57 ± 0.06 ^a | 2.22 ± 0.04 ^b | 2.44 ± 0.12 ^a |
| 游离氨基酸总量 | 4.40 ± 0.09 ^a | 3.90 ± 0.04 ^b | 3.80 ± 0.01 ^b |
| 茶多酚 | 10.94 ± 0.32 ^b | 11.93 ± 0.86 ^{ab} | 13.02 ± 0.80 ^a |

注: 表中同行不同小写英文字母表示差异显著 ($P < 0.05$), 下同。

2.2 没食子酸及儿茶素组分含量分析

由表 2 可知, 3 个不同时期碾茶的 GA 和儿茶素 CG、GC 及 EGC 含量差异显著 ($P < 0.05$)。碾

茶 N2 的 GA 含量为 0.77%, 显著低于 ($P < 0.05$) 碾茶 N1 (1.10%) 和 N3 (1.02%)。碾茶 N2 儿茶素 GC 含量为 0.37%, 显著高于 ($P < 0.05$) 碾茶 N1 (0.29%) 和碾茶 N3 (0.33%)。碾茶 N2 的 EGC 含量为 0.46%, 显著低于 ($P < 0.05$) 碾茶 N1 (0.52%) 和碾茶 N3 (0.51%)。3 个不同时期碾茶的儿茶素 C、表没食子儿茶素没食子酸酯、没食子儿茶素、没食子儿茶素没食子酸酯、表儿茶素没食子酸酯、酯型及非酯型儿茶素含量、儿茶素总量间无显著差异 ($P > 0.05$), 但碾茶 N2 的上述儿茶素中除 ECG 外其余儿茶素含量均低于 N1 和 N3, 可见在相同遮阴措施下自然光照强度等因素对儿茶素等组分无影响^[15]。3 个不同时期碾茶的没食子酸及儿茶素组分结果与顾辰辰^[13]的结果不同, 遮阴程度增加和遮阴时间延长, 儿茶素总量总体呈现下降趋势, ECG 和 EGC 含量总体上呈现升高的趋势, 而 EGC 和 EC 等非酯型儿茶素含量表现出不同程度的下降。遮阴可改善茶园微环境, 尤其是光环境, 即光照强度和光合有效辐射, 从而影响茶叶的色泽、香气和滋味等品质^[23,24]。因此推测, 在相同遮阴措施下, GA 和儿茶素 CG、GC 及 EGC 可能受光照强度和有效光合辐射强度的影响较大, 导致 3 个采摘时期的碾茶中上述儿茶素单体含量差异较大。

2.3 膳食纤维含量分析

膳食纤维是一种由失水 β -葡萄糖组成的非淀粉多糖, 难以被人体消化酶分解, 外源补充膳食纤维是预防肥胖、糖尿病及癌症等疾病发生的重要手段^[25]。由图 1 可知, 3 个不同时期碾茶的 TDF、IDF 及 SDF 含量差异显著 ($P < 0.05$), 且含量随采摘季节的后移呈增加的趋势, N3 > N2 > N1。碾茶 N1 的 TDF 含量为 30.55%, N2 为 32.84%, N3 为 35.86%。碾茶 N3 的 IDF 含量 30.22% 显著高于 ($P < 0.05$) N1 (26.06%) 及 N2 (27.74%), N1 和 N2 的 IDF 含量无显著差异 ($P > 0.05$)。碾茶 N3 的 SDF 含量 (5.64%) 显著高于 ($P < 0.05$) N1 (4.49%) 与 N2 (5.10%)。研究表明, 纤维素、半纤维素、木质素、果胶等物质是茶叶膳食纤维的主要成分, 粗老茶中总膳食纤维含量要高于一般名优茶, 而较老的夏秋茶高于春茶, 随采摘季节时间的推移, 茶树木质化程度会增加, 茶树木质化程度与茶叶膳食纤维含量呈显著相关, 越往夏秋季碾茶中的 IDF、TDF、SDF 都显著增加^[26]。

表 2 3个不同时期碾茶的没食子酸与儿茶素组分含量 (%)
Table 2 The contents of gallic acid and catechin components of tencha in three different periods

| 项目 | N1 | N2 | N3 |
|---------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 没食子酸 (GA) | 1.10 ± 0.03 ^a | 0.77 ± 0.03 ^c | 1.02 ± 0.06 ^a |
| 儿茶素没食子酸酯 (CG) | 0.0027 ± 0.00 ^b | 0.0033 ± 0.00 ^a | 0.0034 ± 0.00 ^a |
| 没食子儿茶素 (GC) | 0.29 ± 0.01 ^c | 0.37 ± 0.03 ^a | 0.33 ± 0.04 ^b |
| 表没食子儿茶素 (EGC) | 0.52 ± 0.03 ^a | 0.46 ± 0.01 ^b | 0.51 ± 0.03 ^{ab} |
| 儿茶素 (C) | 0.07 ± 0.02 ^a | 0.05 ± 0.00 ^a | 0.07 ± 0.00 ^a |
| 表没食子儿茶素没食子酸酯 (EGCG) | 6.74 ± 0.35 ^a | 6.04 ± 0.08 ^a | 6.70 ± 0.38 ^a |
| 没食子儿茶素 (EC) | 0.50 ± 0.04 ^a | 0.48 ± 0.02 ^a | 0.48 ± 0.04 ^a |
| 没食子儿茶素没食子酸酯 (GCG) | 0.33 ± 0.02 ^a | 0.32 ± 0.04 ^a | 0.35 ± 0.01 ^a |
| 表儿茶素没食子酸酯 (ECG) | 1.94 ± 0.12 ^a | 1.98 ± 0.02 ^a | 1.95 ± 0.02 ^a |
| 酯型儿茶素总量 | 9.02 ± 0.46 ^a | 8.34 ± 0.08 ^a | 9.00 ± 0.38 ^a |
| 非酯型儿茶素总量 | 1.39 ± 0.06 ^a | 1.36 ± 0.01 ^a | 1.39 ± 0.07 ^a |
| 儿茶素总量 | 10.40 ± 0.49 ^a | 9.71 ± 0.07 ^a | 10.38 ± 0.45 ^a |

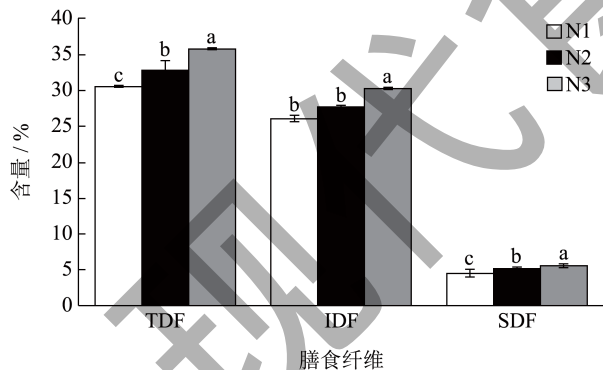


图 1 3个不同时期碾茶的膳食纤维含量
Fig.1 Three dietary fiber contents of tencha in three different periods

注：不同柱形图间不同小写英文字母表示差异显著 ($P < 0.05$)，下同。

2.4 叶绿素及Vc含量分析

遮阴措施对茶树鲜叶色泽影响最大的是叶绿素总量和叶绿素 b 含量的变化，且这两个指标是决定抹茶和碾茶等相关茶产品色泽品质的关键^[1,3,4]。由

图 2 可知碾茶的总叶绿素含量及叶绿素 b 的含量随采摘季节的后移显著增加 ($P < 0.05$)，而叶绿素 a 的含量均无显著差异 ($P > 0.05$)，碾茶 N3 的总叶绿素含量为 4.40 mg/g、叶绿素 b 为 2.41 mg/g，均显著高于 ($P < 0.05$) 碾茶 N1 的总叶绿素含量 (4.13 mg/g) 及叶绿素 b 含量 (2.12 mg/g)。春末 (4月27日) 光照相对较弱，叶绿素总量少，夏初 (5月26日) 和夏中 (6月24日) 总叶绿素及叶绿素 b 的含量较高。单层和双层黑色遮阳网处理的茶树新梢叶绿素总量比白色遮阳网增加明显，且夏秋季增加的量较多^[17]，当遮阴条件一致时，低强度光照下不利于叶绿素积累，适当强度光照下的遮阴更能提高茶树鲜叶的叶绿素 b 含量^[27]，夏季的自然光照要远高于春季，因此 N3 和 N2 的总叶绿素及叶绿素 b 含量高于 N1。茶叶中 Vc 含量高低对茶产品颜色品质的保持具有显著的积极作用^[19]，碾茶中 Vc 含量越高，制成的抹茶自身氧化劣变程度越低。如图 2 所示，随采摘季节时间的变化 3 个不同时期碾茶的 Vc 含量呈降低的趋势，碾茶 N1 的 Vc 含量 (5.25 mg/g) 与 N2 的 Vc 含量 (5.10 mg/g) 显著高于 N3 的 Vc 含量 (4.18 mg/g) ($P < 0.05$)。

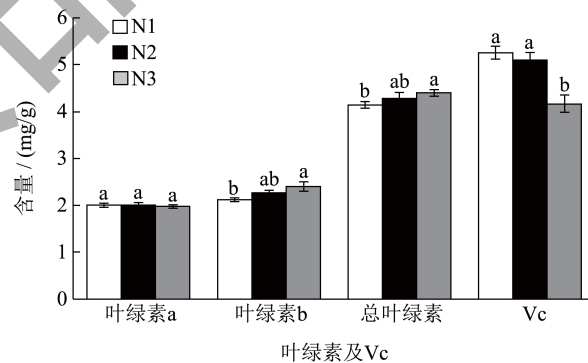


图 2 3个不同时期碾茶叶绿素及 Vc 含量
Fig.2 The Chlorophyll and Vc content of tencha in three different periods

2.5 碾茶品质系数分析

高含量的氨基酸是碾茶滋味甜醇的必要条件，高含量的叶绿素 b 是碾茶色泽翠绿的关键，而较低含量的茶多酚及高含量的非酯型儿茶素组分是碾茶滋味苦涩味低的关键^[4]。由表 3 可知，碾茶的 CQI 和 CAI 间无显著性差异 ($P > 0.05$)，碾茶 N2 的 CQI 最高 (17.36)，说明初夏遮阴对茶树鲜叶的嫩度影响较大；CAI 比值随季节的变化呈增加的趋势，碾茶 N3 的 CAI 最高 (17.41)。酚氨比是指茶叶中的茶多酚含量与游离氨基酸总量的比值，随

采摘季节时间的变化, 3个不同时期碾茶的酚氨比呈显著性增加的趋势 ($P < 0.05$), $N1 (2.49) < N2 (3.06) < N3 (3.43)$ 。随采摘季节时间的变化自然光照强度增强, 茶多酚及酯型儿茶素等苦涩味物质的含量增加, 即相同覆盖条件下, 遮光度越高, 茶多酚含量越低, 酚氨比也随之降低^[3]。在相同遮阴措施下, 春末期(4月27日)的自然光照强度和有效光合辐射强度要低于夏初(5月26日)和夏中期(6月24日), 因此碾茶N1的色泽和苦涩味方面品质要高于N2和N3^[19,28]。高品质膳食纤维在TDF含量一定的条件下, 若SDF占比高, 则膳食纤维产品的品质较好^[29], 3个不同时期碾茶的IDF/SDF比值间有显著性差异 ($P < 0.05$), IDF/SDF比值的变化随采摘季节时间的变化增加, $N1 (4.84) < N2 (5.73) < N3 (6.08)$, 表明春末期碾茶中能被人体吸收的可溶性膳食纤维更多, 品质更好。3个不同时期碾茶的叶绿素a/b的比值呈显著降低 ($P < 0.05$) 趋势^[5], 碾茶N1要高于碾茶N2和N3, 遮阴均可提高不同弄季节茶叶的叶绿素品质。而王雪萍等^[13]发现不同遮光率(55%、75%、90%)下叶绿素总量、叶绿素a、叶绿素b及叶绿素a/b的比值无显著变化。在同等遮阴措施下, 随季节时间变化光照强度越强, 茶树通过增加单位叶面积提高光能利用率, 从而提高茶叶的叶绿素品质, 增加叶绿素b占比^[2]。

表3 3个不同时期碾茶品质系数

Table 3 The quality coefficient of tencha in three different periods

| 品质系数 | N1 | N2 | N3 |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 儿茶素品质指数 (CQI) | 16.32 ± 1.43 ^a | 17.36 ± 0.24 ^a | 16.87 ± 0.17 ^a |
| 儿茶素苦涩味指数 (CAI) | 16.59 ± 0.53 ^a | 16.73 ± 0.56 ^a | 17.41 ± 0.83 ^a |
| 酚氨比 | 2.49 ± 0.12 ^b | 3.06 ± 0.24 ^a | 3.43 ± 0.21 ^a |
| IDF/SDF | 4.84 ± 0.97 ^c | 5.73 ± 0.20 ^b | 6.08 ± 1.04 ^a |
| 叶绿素 a/叶绿素 b | 0.94 ± 0.01 ^a | 0.88 ± 0.07 ^{ab} | 0.83 ± 0.03 ^b |

2.6 碾茶主要品质成分的主成分分析

利用 SPASS 23.0 对 3 个不同时期碾茶的 22 个主要品质成分进行主成分分析, 反映其在碾茶品质中的贡献作用。由表 4 可知, 特征值均大于 1 的主成分主要有 6 个, 累积方差贡献率达 95.730%。其中, 第一主成分 (PC1) 方差贡献率为 33.165%, 第二主成分 (PC2) 方差贡献率为 26.674%, 第三主成分

(PC3) 方差贡献率为 12.496%, 第四主成分 (PC4) 方差贡献率为 9.185%, 第五主成分 (PC5) 方差贡献率为 7.775%, 第六主成分 (PC6) 方差贡献率为 6.435%, 6 个主成分能全面解释全部变量信息。前 6 个主成分的累积贡献率为 95.730%, 即前 6 个主成分能集中反应碾茶的品质特征。

表4 3个不同时期碾茶主要品质成分的主成分分析特征值和方差贡献率

Table 4 The eigenvalue and variance contribution rate of principal component analysis of main quality components of tencha in three different periods

| 主成分 | 初始特征值 | | |
|-----|-------|---------|-----------|
| | 特征值 | 方差贡献率/% | 累积方差贡献率/% |
| PC1 | 7.296 | 33.165 | 33.165 |
| PC2 | 5.868 | 26.674 | 59.838 |
| PC3 | 2.749 | 12.496 | 72.334 |
| PC4 | 2.021 | 9.185 | 81.520 |
| PC5 | 1.711 | 7.775 | 89.295 |
| PC6 | 1.416 | 6.435 | 95.730 |

由表 5 可知, 游离氨基酸总量、咖啡碱、GC、CG 和 GA 对第一主成分贡献率较大, 其中, 游离氨基酸总量载荷值最大为 0.931, 咖啡碱的载荷值为 0.790。游离氨基酸总量是碾茶滋味中鲜味的主要来源, 其含量越高滋味越鲜甜; 咖啡碱是碾茶滋味中苦味的主要来源, 而氨基酸与咖啡碱的相互作用可降低碾茶苦味, 促进滋味和谐^[21], 因此第一主成分主要反应了碾茶的鲜爽滋味信息。水浸出物及 EGCG 对第二主成分贡献率较大, 水浸出物载荷值最大为 0.911, 其贡献率最高。水浸出物是反应碾茶可溶性物质的多少, 是碾茶茶汤浓厚及滋味浓强的主要体现, 表明碾茶具有高浸出率的特征^[1]。可溶性膳食纤维对第三主成分贡献率最大, 载荷值为 0.772, 可溶性膳食纤维占比越高, 则膳食纤维品质越好, 在改善人体肠道菌群、预防肠胃疾病及心血管疾病等方面具有显著的增益效果^[23]。对第四主成分贡献率较高的是叶绿素 a 和 ECG, 叶绿素 a 贡献率最大, 载荷值为 0.753。可溶性糖对第五主成分贡献率最大, 载荷值为 0.640, 可溶性糖是碾茶甜味的主要来源, 含量的高低与碾茶滋味呈显著正相关, 同时其对碾茶香气及汤色等也具有一定作用, 也是碾茶原料老嫩的鉴定指标之一。对第六主成分贡献最大的是 GCG, 载荷值为 -0.638, 酯型儿茶素含量越高, 儿茶素指数越大, 对碾茶品质较好。因

此, 游离氨基酸总量、水浸出物、咖啡碱、EGCG、可溶性膳食纤维、叶绿素 a、可溶性糖和 GCG 的含量可作为碾茶品质成分的代表性成分, 此 6 项指标基本可以反应碾茶的品质差异。由表 5 成分载荷值计算得到碾茶综合得分 F 的计算式为: $F=0.332F_1+0.267F_2+0.125F_3+0.092F_4+0.078F_5+0.064F_6$, 根据 6 个主成分的方差贡献率计算得到 3 个不同时期碾茶综合得分 (见表 6), 春末期碾茶品质要高于夏中期碾茶 (6 月 27 日) 和夏初 (5 月 26 日) 碾茶, 碾茶综合得分顺序为 $N1 > N3 > N2$ 。

表 5 3 个不同时期碾茶主要品质成分的主成分分析荷载矩阵
Table 5 Load matrix of principal component analysis of main quality components of tencha in three different periods

| 变量 | 品质成分 | 主成分荷载矩阵 | | | | | |
|----------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| X_1 | 叶绿素总量 | -0.666 | 0.590 | -0.250 | -0.040 | -0.128 | 0.321 |
| X_2 | 叶绿素 a | 0.064 | 0.047 | -0.157 | 0.753 | 0.462 | -0.348 |
| X_3 | 叶绿素 b | -0.651 | 0.563 | -0.225 | -0.165 | -0.188 | 0.359 |
| X_4 | 水浸出物 | -0.297 | 0.911 | -0.062 | -0.199 | 0.170 | -0.072 |
| X_5 | 可溶性糖 | 0.475 | 0.440 | -0.010 | -0.160 | 0.640 | 0.161 |
| X_6 | 咖啡碱 | 0.790 | 0.589 | 0.028 | 0.016 | -0.144 | 0.005 |
| X_7 | 蛋白质 | -0.230 | -0.638 | -0.531 | -0.212 | 0.110 | -0.016 |
| X_8 | 茶多酚 | -0.593 | 0.509 | -0.297 | -0.217 | 0.383 | 0.283 |
| X_9 | 游离氨基酸总量 | 0.931 | -0.288 | 0.198 | 0.086 | -0.059 | 0.020 |
| X_{10} | Vc | 0.520 | -0.627 | -0.027 | 0.421 | -0.042 | 0.369 |
| X_{11} | TDF | -0.637 | 0.319 | 0.535 | 0.167 | -0.291 | -0.286 |
| X_{12} | SDF | 0.301 | -0.373 | 0.772 | -0.344 | 0.181 | -0.002 |
| X_{13} | IDF | -0.694 | 0.401 | 0.331 | 0.246 | -0.326 | -0.277 |
| X_{14} | GA | 0.760 | 0.622 | 0.071 | -0.125 | -0.064 | -0.077 |
| X_{15} | CG | -0.777 | 0.281 | 0.326 | 0.140 | 0.270 | -0.100 |
| X_{16} | GC | -0.865 | -0.313 | 0.117 | 0.186 | -0.124 | -0.011 |
| X_{17} | EGC | 0.605 | 0.644 | -0.202 | 0.015 | -0.356 | -0.123 |
| X_{18} | C | 0.392 | 0.587 | 0.591 | -0.059 | 0.258 | 0.150 |
| X_{19} | EGCG | 0.491 | 0.796 | 0.214 | 0.093 | -0.206 | 0.070 |
| X_{20} | EC | 0.446 | 0.345 | -0.536 | 0.505 | -0.280 | 0.194 |
| X_{21} | GCG | 0.152 | 0.391 | -0.525 | 0.019 | 0.309 | -0.638 |
| X_{22} | ECG | -0.230 | 0.235 | 0.285 | 0.734 | 0.310 | 0.390 |

表 6 3 个不同时期碾茶综合得分

Table 6 Comprehensive score of tencha in three different periods

| 样品 | F_1 | F_2 | F_3 | F_4 | F_5 | F_6 | F | 排名 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
| N1 | 3.497 | -0.370 | 0.273 | 0.155 | -0.012 | -0.220 | 1.096 | 1 |
| N2 | -2.135 | -2.178 | -0.271 | 0.666 | -0.023 | 0.345 | -1.243 | 3 |
| N3 | -1.362 | 2.547 | -0.002 | -0.820 | 0.035 | -0.124 | 0.147 | 2 |

3 结论

随碾茶原料采摘时间的后移, 茶树生长环境的光照强度和光合有效辐射逐渐增强, 3 个采摘季碾茶水浸出物、茶多酚、TDF、IDF、SDF、叶绿素总量及叶绿素 b 含量显著增加 ($P < 0.05$), $N1 < N2 < N3$ 。游离氨基酸总量与 Vc 含量显著降低 ($P < 0.05$)。3 个采摘季碾茶的 C、EGCG、EC、GCG、ECG、酯型及非酯型儿茶素含量、儿茶素总量、CQI 和 CAI 间无显著差异 ($P > 0.05$), 酚氨比与 IDF/SDF 比值呈显著性增加的趋势 ($P < 0.05$), 叶绿素 a/叶绿素 b 比值间呈显著降低 ($P < 0.05$)。因此推测, 在相同遮阴措施条件下, GA 和儿茶素 CG、GC 及 EGC 可能受光照强度和有效光合辐射强度的影响较大, 夏季光照强度和有效光合辐射强度要高于春末, 导致 N2 和 N3 的茶多酚、儿茶素类物质积累较多。

游离氨基酸总量、咖啡碱、GC、CG 和 GA 对第一主成分贡献率较大, 其中游离氨基酸总量 (0.931) 和咖啡碱 (0.790) 贡献最大, 主要反应碾茶的鲜爽滋味信息。第二主成分主要反应碾茶的茶汤厚薄及滋味浓强信息, 水浸出物及 EGCG 贡献率 (0.911) 较大。第三主成分贡献率最大的是可溶性膳食纤维 (0.772), 说明膳食纤维品质是碾茶极为重要的功能成分。第四主成分贡献率较大的是叶绿素 a (0.753) 和 ECG (0.734)。第五主成分可溶性糖的贡献率最大 (0.640), 主要反应碾茶的甜味物质信息。第六主成分贡献最大的是 GCG (-0.638)。游离氨基酸总量、水浸出物、可溶性膳食纤维、叶绿素 a、可溶性糖和 GCG 的含量累积方差贡献率达 95.730%, 可作为碾茶品质成分的代表性成分。碾茶品质综合得分 F 的计算式为: $F=0.332F_1+0.267F_2+0.125F_3+0.092F_4+0.078F_5+0.064F_6$ 。3 个不同时期碾茶品质综合得分顺序为 $N1 > N3 > N2$, 即随采摘季节的变化受光照强度和有效光合辐射强度的影响, 春末期 (4 月 27 日) 碾茶品质要高于夏中期

碾茶(6月24日)和夏初(5月26日)碾茶。

本试验的不足之处在于没有跟进遮阴处理下的茶园气候因子观测,如对遮阴期的气候和茶蓬面的空气湿度、温度、光照强度和光合有效辐射进行观测记录,以便更精准的提供碾茶遮阴措施参数。通过本文的研究,今后可以增加茶园气候因子的观测、不同覆盖方式、覆盖时间对碾茶的品质影响,以期碾茶的遮阴处理提供更精准参数方案。同时也可以围绕遮阴处理下碾茶品质成分的特征性成分、香气成分开展深入研究,寻找成分指标模式为碾茶生产提供数字化茶园管理参数。

参考文献

- [1] KOCHMAN J, JAKUBCZYK K, ANTONIEWICZ J, et al. Health benefits and chemical composition of matcha green tea: A review [J]. *Molecules*, 2020, 26(1): 85.
- [2] 刘瑜,何卫中,娄艳华,等.不同覆盖处理对茶园小气候及碾茶品质的影响[J].*南方农业学报*,2021,52(3):711-721.
- [3] 郑亚楠,王锡洪,姚水滨.覆盖对碾茶品质影响的研究进展[J].*中国茶叶*,2020,42(8):12-16.
- [4] 陈家铭,吴淑华,曾兰亭,等.遮阴对茶叶品质和产量影响研究进展[J].*中国茶叶*,2021,43(5):1-10.
- [5] 秦志敏.遮光对丘陵茶园茶树产量指标及主要生化成分的影响[D].南京:南京农业大学,2011.
- [6] 王雪萍,马林龙,刘盼盼,等.夏秋季茶园覆盖遮阴的综合效应[J].*江苏农业科学*,2018,46(22):106-110.
- [7] 檀学敏,丁鑫,周建得,等.遮阴对7个茶树品种的抹茶适制性影响研究[J].*中国野生植物资源*,2021,40(7):28-33.
- [8] 肖润林,王久荣,单武雄,等.不同遮阴水平对茶树光合环境及茶叶品质的影响[J].*中国生态农业学报*,2007,6:6-11.
- [9] 金琦芳,孙威江,王仲.遮阴处理对茶叶色表型及生化成分的影响[J].*食品工业科技*,2018,39(23):1-6.
- [10] 胡永光,江丰,MAHMOOD ASHRAF,等.春茶采摘末期遮阴对其生长和品质的影响[J].*农业机械学报*,2018,49(1): 283-289.
- [11] 孙京京,朱小元,罗贤静丽,等.不同遮阴处理对绿茶品质的影响[J].*安徽农业大学学报*,2015,42(3):387-390.
- [12] 傅海平,黄静,周品谦,等.遮阴处理对“保靖黄金茶1号”茶树春梢生化成分的影响研究[J].*茶叶通讯*,2015,42(3): 29-31.
- [13] 顾辰辰,王荣秀,江丽娜,等.短期遮阴对茶树嘌呤碱、氨基酸和儿茶素生物合成的影响[J].*安徽农业大学学报*,2017,44(1):1-6.
- [14] 赵甜甜,蔡新,梁名志,等.苹果-茶间作对茶树叶片品质影响的研究[J].*湖南农业科学*,2011,7:35-37,41.
- [15] 郭敏明,余继忠,师大亮,等.夏秋季茶园覆盖遮阴比较试验[J].*茶叶*,2009,35(3):150-151,156.
- [16] 张文锦,林春莲,熊明民.茶树遮荫效应研究进展[J].*福建农业学报*,2007,4:457-460.
- [17] 刘建军,袁丁,司辉清,等.遮阴对不同季节茶树新梢的内含成分影响研究[J].*西南农业学报*,2013,26(1):115-118.
- [18] 向芬,李维,刘红艳,等.茶叶叶绿素测定方法的比较研究[J].*茶叶通讯*,2016,43(4):37-40.
- [19] 杨金川,白雪梅.HPLC法同时测定茶叶中儿茶素类和咖啡因的含量[J].*贵州农业科学*,2020,48(2):99-102.
- [20] 阮宇成,程启坤.茶儿茶素的组成与绿茶品质的关系[J].*园艺学报*,1964,3:287-300.
- [21] WAN X C, LI D X, ZHANG Z Z, et al. Research advance on tea biochemistry [J]. *Journal of Tea Science*, 2015, 35(1): 1-10.
- [22] 刘东娜,聂坤伦,杜晓,等.抹茶品质的感官审评与成分分析[J].*食品科学*,2014,35(2):168-172.
- [23] 叶禹彤,艾仄宜,李荣林,等.杀青方式对秋季黄金芽绿茶品质的影响[J].*现代食品科技*,2022,38(9):245-253.
- [24] 陈佩,杨知建,肖润林.遮阴对茶园生态环境及其茶树光合作用和产量的影响研究[J].*安徽农业科学*,2010,38(11): 5604-5605,5639.
- [25] CHEN J J, HUANG H R, CHEN Y, et al. Effects of fermentation on the structural characteristics and *in vitro* binding capacity of soluble dietary fiber from tea residues [J]. *LWT- Food Science and Technology*, 2020, 131(1): 109818.
- [26] 姚立虎,陈善书,邓小云,等.茶叶膳食纤维在冲泡过程中和模拟人胃环境下的溶出动态[J].*茶叶科学*,1993,13(1): 79-80.
- [27] OŠŤÁDALOVÁ M, TREMLOVÁ B, POKORNÁ J, et al. Chlorophyll as an indicator of green tea quality [J]. *Acta Veterinaria Brno*, 2015, 83(10): 103-109.
- [28] 王新超,马春雷,姚明哲,等.影响绿茶季节间品质差异的生化因子探析[J].*西北植物学报*,2011,31(6):1229-1237.
- [29] YAN L, LI T, LIU C H, et al. Effects of high hydrostatic pressure and superfine grinding treatment on Physicochemical/unctional properties of ear omace and chemical composition of its soluble dietary fibre [J]. *LWT- Food Science and Technology*, 2019, 107: 171-177.