

7个不同茶树品种碾茶的主要品质成分分析

李园莉¹, 马圣洲², 刘雨晴³, 汤茶琴^{1*}

(1. 江苏农林职业技术学院, 江苏句容 212400) (2. 江苏丘陵地区镇江农业科学研究所, 江苏句容 212400)

(3. 句容市张庙茶场有限公司, 江苏句容 212432)

摘要: 为筛选江苏地区适制碾茶的茶树品种, 通过品质成分检测、儿茶素品质系数与主成分相关性分析, 该研究比较了7个碾茶的品质差异。结果表明: 在相同遮阴管理措施和加工条件下, 7个茶树品种碾茶的品质成分含量与儿茶素品质系数差异显著 ($P<0.05$)。其中茅麓群体种的蛋白质 (31.74%)、茶多酚 (14.10%)、SDF (4.28%)、总叶绿素 ($4.89 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)、叶绿素 b ($2.82 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$)、维生素 C ($5.72 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$) 与 GA (2.32%) 等质量浓度及 CAI 值均最高 (15.69), IDF/SDF 最低 (7.58)。主成分分析表明, 水浸出物、可溶性糖、儿茶素组分、维生素 C、SDF 和 IDF 是碾茶品质的表征性成分, 反应不同茶树品种加工碾茶的品质差异。茅麓群体种的主成分综合得分最高为 1.17, 表明品质综合特性较好。综上, 江苏地区的茅麓群体种加工碾茶的品质较好。该研究为筛选适制碾茶的茶树品种提供重要的理论依据。

关键词: 碾茶; 茶树品种; 品质成分; 主成分分析

文章编号: 1673-9078(2026)4-226-232

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.4.0127

Analysis of the Main Quality Components of Tencha Processed from Seven Different Tea Cultivars

LI Yuanli¹, MA Shengzhou², LIU Yuqing³, TANG Chaqin^{1*}

(1. Jiangsu Vocational College of Agriculture and Forestry, Jurong 212400, China)

(2. Zhenjiang Institute of Agricultural Sciences in Hill Area of Jiangsu Province, Jurong 212400, China)

(3. Jurong Zhangmiao Tea Farm Co. Ltd., Jurong 212432, China)

Abstract: To screen tea cultivars suitable for tencha production in the area of Jiangsu, quality differences of seven tencha varieties were compared through the detection of quality components, analysis of catechin quality index, and correlation analysis of principal components. The results showed significant differences ($P<0.05$) in the content of quality components and catechin quality index among seven tencha varieties produced from seven tea cultivars that underwent the same shading management and processing conditions. Among the samples, the Maolu landrace exhibited the highest mass concentrations of proteins (31.74%), tea polyphenols (14.10%), SDF (4.28%), total chlorophyll ($4.89 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), chlorophyll b ($2.82 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), vitamin C ($5.72 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$), and GA (2.32%) as well as the highest CAI (15.69), whereas its IDF/SDF ratio was minimum (7.58). Principal component analysis showed that water extract, soluble sugar, catechin components, vitamin C, SDF, and IDF were the characteristic components of tencha quality, reflecting

引文格式:

李园莉, 马圣洲, 刘雨晴, 等. 7个不同茶树品种碾茶的主要品质成分分析[J]. 现代食品科技, 2026, 42(4): 226-232.

LI Yuanli, MA Shengzhou, LIU Yuqing, et al. Analysis of the main quality components of tencha processed from seven different tea cultivars [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(4): 226-232.

收稿日期: 2025-01-27; 修回日期: 2025-04-07; 接受日期: 2025-04-09

基金项目: 江苏省种业振兴揭榜挂帅项目 (JBGS (2021) 081); 江苏农林职业技术学院科技项目 (2020kj048); 江苏省教育厅首批职业教育技艺技能传承创新平台

作者简介: 李园莉 (1982-), 女, 硕士, 讲师, 研究方向: 茶叶加工与品质化学、茶文化, E-mail: 155255940@qq.com

通讯作者: 汤茶琴 (1980-), 女, 硕士, 高级农艺师, 研究方向: 茶叶加工与品质化学、茶叶审评, E-mail: 35259985@qq.com

the quality differences of tencha produced from different tea cultivars. The Maolu landrace had the highest comprehensive score of 1.17, indicating the superior quality of tencha produced from the Maolu landrace in Jiangsu. This study provides a significant theoretical basis for screening tea cultivars suitable for tencha production.

Key words: tencha; tea cultivars; quality components; principal component analysis

抹茶含有丰富的营养物质和活性成分,因独特的香气、口感和健康功效,被广泛应用于食品、饮料、日化及保健品等领域^[1-3]。抹茶由碾茶研磨后制成,对碾茶品质的要求较高^[4-6],而茶树品种是碾茶品质的基础^[7,8]。汪素琴等^[9-11]对19个茶树品种加工的碾茶进行分析,发现茶多酚、酯型儿茶素、非酯型儿茶素和氨基酸等品质成分的含量随品种不同而不同,且龙井43碾茶品质表现最佳,外观色泽墨绿、有海苔香、滋味鲜爽、游离氨基酸总量大于5%、茶氨酸含量大于1.89%。郭倩文^[7]、檀学敏等^[12]及胡芝^[13]认为,藪北种的游离氨基酸含量较高、咖啡碱含量较低,是适制抹茶的品种。孙达等^[14]提出龙井43、翠峰、福鼎大白茶及藪北种等品种适制超微绿茶粉。袁丽萍等^[15]评估了同一茶园内36个茶树品种加工抹茶的适制性,发现中茶102、台茶12、中茶108、福鼎大毫、梅占等加工抹茶的品质较好。郭刚等^[16]发现国内茶树品种加工抹茶的水浸出物、茶氨酸、茶多酚等成分的含量远高于国外品种,尤其是龙井43抹茶不仅内含化学成分有特色且抗氧化指数得分率为99.61%。除游离氨基酸、茶多酚等品质成分外,膳食纤维组分与决定茶汤滋味苦涩的儿茶素组分也是影响抹茶品质的关键因子^[17,18]。

可见,茶树品种的品质成分如茶多酚、氨基酸、膳食纤维与儿茶素的含量,是影响抹茶品质的主要因素。本研究以江苏常州茶园的7个茶树品种为对象,统一遮阴措施、采摘规格和加工方法,制备成碾茶,检测游离氨基酸、茶多酚、咖啡碱、可溶性糖、维生素C、蛋白质、膳食纤维组分及儿茶素组分等品质成分,通过儿茶素品质系数及主成分相关性分析,比较不同茶树品种碾茶的品质差异,为江苏地区适制碾茶茶树品种的筛选及我国抹茶产业的发展提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

藪北种、茅麓群体种、龙井长叶、茂绿、舒茶早、鸠坑1号和鸠坑2号加工的一级碾茶均由江苏鑫品茶业有限公司提供。7个茶树品种在相同生产管理方式下,当茶芽长至一芽二叶比例70%以上时,于2024年5月15日用遮光率90%的黑色遮阳网离地约180 cm架空覆盖24 d,于2024年6月7日分别采摘一芽四五叶,

按照“鲜叶采摘→储青→切断→蒸汽杀青→散茶→干燥→第一次梗叶分离→二次干燥→第二次梗叶分离→精制”的方法加工成碾茶。

三羟甲基氨基甲烷、 α -淀粉酶、淀粉葡萄糖苷酶、中性蛋白酶,购于北京索莱宝科技有限公司;蒽酮、福林酚、茚三酮等分析纯,购于上海麦克林生化科技有限公司。甲酸溶液(质量浓度49%~51%)及HPLC级甲醇,购于上海阿拉丁生化科技股份有限公司。咖啡碱(CAF)、没食子酸(GA)、儿茶素没食子酸酯(CG)、没食子儿茶素(GC)、表没食子儿茶素(EGC)、儿茶素(C)、表没食子儿茶素没食子酸酯(EGCG)、表儿茶素(EC)、没食子儿茶素没食子酸酯(GCG)及表儿茶素没食子酸酯(EEG)等标准品(质量浓度 $\geq 98\%$),购于上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

ES1035A型分析天平,上海舜宇恒平科学仪器有限公司;HH-6型数显恒温水浴锅,金坛市医疗仪器厂;UV-6000T型紫外分光光度计,上海元析仪器有限公司;KT200型全自动凯氏定氮仪,福斯华(北京)科贸有限公司;LET140K1BN型马弗炉,费舍罗热能技术有限公司;Agilent 1100型高效液相色谱仪,安捷伦科技有限公司。

1.3 实验方法

水浸出物用国标GB/T 8305-2013《茶水浸出物测定》测定;茶多酚用国标GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》测定;游离氨基酸用国标GB/T 8314-2013《茶游离氨基酸总量的测定》测定。维生素C用国标GB 5009.86-2016《食品安全国家标准食品中抗坏血酸的测定》测定,蛋白质用国标GB 5009.5-2016《食品安全国家标准食品中蛋白质的测定》测定。总膳食纤维(TDF)、不溶性膳食纤维(IDF)及可溶性膳食纤维(SDF)根据国标GB 5009.88-2014《食品安全国家标准食品中膳食纤维的测定》测定。灰分根据国标GB 5009.4-2016法测定,可溶性糖用蒽酮硫酸比色法测定,叶绿素测定参考乙醇浸提法^[10]。没食子酸、咖啡碱及儿茶素组分参照王丽丽等^[19]的方法:TSKgel ODS-100Z(4.6 mm $\times$ 150 mm, 5 μ m, 日本 Tosoh)色谱柱,柱温为40 $^{\circ}$ C,流量为

1.0 mL·min⁻¹, 检测波长为 280 nm, 流动相 A 为 2% (体积分数 *V/V*) 的甲酸水溶液, 流动相 B 为甲醇溶液, 梯度洗脱方式为 83% (*V/V*) A 相 (0 min)→ 75% (*V/V*) A 相 (5 min)→ 73% (*V/V*) A 相 (7 min)→ 58% (*V/V*) A 相 (16 min)→ 83% (*V/V*) A 相 (18 min)。

儿茶素品质指数 (CQI) 与儿茶素苦涩味指数 (CAI) 的计算参考^[20], CQI 值反映茶样的持嫩度, CAI 值反应茶样的苦涩味程度。计算方法如下:

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

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

式中:

A——儿茶素品质指数 (CQI);

B——儿茶素苦涩味指数 (CAI);

*E*₁——EGCG 质量分数, %;

*E*₂——ECG 质量分数, %;

*E*₃——EGC 质量分数, %;

*E*₄——GC 质量分数, %;

*E*₅——EC 质量分数, %;

*E*₆——C 质量分数, %。

1.4 数据分析

采用 SPASS 23.0 对所有数据进行显著性 ($P < 0.05$) 分析, 采用 Origin 2021 绘制图表, 品质成分进行 3 次平行重复测定, 结果以“平均值 ± 标准差”表示。

2 结果与分析

2.1 7个不同茶树品种碾茶的品质成分分析

2.1.1 常规品质成分分析

7 个不同茶树品种碾茶的常规品质成分含量如表 1 所示, 水浸出物和灰分的质量浓度间有差异 ($P < 0.05$), 薮北种的水浸出物质量浓度最高为 47.99%, 说明可溶性物质含量高^[21]; 茅麓群体种的水浸出物质量浓度较高为 46.51%, 而灰分的质量浓度为 5.47%, 表明茅麓群体种的嫩度及净度最好。龙井长叶的可溶性糖质量浓度 4.03%, 显著高于 ($P < 0.05$) 其他品种, 可溶性糖是茶叶甜味的主要来源。茅麓群体种的蛋白质质量浓度 (31.74%) 显著高于 ($P < 0.05$) 其他 6 个品种碾茶, 茶叶中的蛋白质含量高, 茶汤滋味的浓稠感越强烈^[17]。7 个茶树品种碾茶间的游离氨基酸和咖啡碱有差异 ($P < 0.05$), 茂绿的游离氨基酸质量浓度最高 4.96%, 舒茶早的咖啡碱质量浓度最高 3.18%。不同茶树品种的遗传背景不同, 导致糖代

谢、氨基酸代谢和咖啡碱代谢的能力及蛋白质合成效率不同, 因此对糖分、氨基酸种类及含量、咖啡碱和蛋白质积累的作用不同^[22,23], 因此相同管理和加工条件下, 7 个茶树品种碾茶的上述品质成分含量也会不同。茅麓群体种的茶多酚质量分数最高 14.10%, 与茂绿 (11.47%) 和薮北种 (12.32%) 之间有差异 ($P > 0.05$)。茶多酚含量范围为 20%~30% 时, 绿茶呈现较好的品质, 茶多酚含量大于 30% 时, 若氨基酸不足, 会导致苦涩过重; 而茶多酚小于 20% 时可能滋味淡薄^[24]。

7 个品种碾茶 TDF 和 SDF 的质量浓度间有差异 ($P < 0.05$), 薮北种的 TDF 质量浓度最高为 30.84%, 茅麓群体种的 SDF 质量浓度最高 4.28%。龙井长叶 (24.77%) 和鸠坑 2 号 (24.77%) 的 IDF 质量浓度显著低于 ($P < 0.05$) 其他 5 个茶树品种碾茶。叶绿素 a、叶绿素 b 及总叶绿素是决定碾茶色泽品质的关键^[25,26]。舒茶早的叶绿素 a 质量浓度最高 2.09 mg·g⁻¹, 不同碾茶的叶绿素 b 与总叶绿素含量变化一致、质量浓度间存在显著性差异 ($P < 0.05$), 茅麓群体种 > 茂绿、舒茶早 > 薮北种 > 龙井长叶、鸠坑 1 号 > 鸠坑 2 号, 茅麓群体种最高分别为 2.82 mg·g⁻¹ 和 4.89 mg·g⁻¹。碾茶经过遮阴处理, 叶绿素总量以及叶绿素 a 和叶绿素 b 的含量均显著上升, 叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值会降低, 这对抹茶颜色品质的形成具有重要意义^[26]。茅麓群体种碾茶的维生素 C 质量浓度最高为 5.72 mg·g⁻¹, 表明其加工的抹茶品质色泽好, 且能有效抑制抹茶的氧化, 防止抹茶品质的劣变^[20]。

2.1.2 没食子酸及儿茶素组分含量分析

儿茶素类化合物是碾茶中的主要功能成分^[27], 儿茶素组分含量与茶汤的苦涩味呈正相关, 决定其品质, 其中 EGCG、ECG 和 EGC 主要与涩味紧密相关, EGCE 和 ECG 主要与苦味紧密相关^[15]。由表 2 可知, 茅麓群体种的没食子酸质量浓度为 2.32%, 显著高于 ($P < 0.05$) 其他碾茶。舒茶早的非酯型儿茶素总质量浓度最高 2.23%, 其次为薮北种 (2.06%), 且薮北种的 EGC (0.70%) 和 GC (0.64%) 最高。不同碾茶的酯型儿茶素总质量浓度差异显著 ($P < 0.05$), 从高到低为龙井长叶 (11.00%) > 舒茶早 (10.80%) > 鸠坑 2 号 (10.50%) > 鸠坑 1 号 (10.20%) > 茅麓群体种 (9.90%) > 茂绿 (9.33%) > 薮北种 (8.18%), 且薮北种的 EGCG 质量浓度最低为 5.95%。与苦涩味相关的 ECG 的质量浓度茅麓群体种 (2.46%) 和薮北种 (1.98%) 均较低。茂绿碾茶的 GCG 质量浓度最高为 0.38%。7 个碾茶的儿茶素总质量浓度差异

显著 ($P<0.05$), 从高到低为舒茶早 (13.03%)> 龙井长叶 (12.72%)> 鸠坑 2 号 (12.50%)> 鸠坑 1 号 (11.77%)> 茅麓群体种 (11.45%)> 茂绿 (10.71%)> 蕺北种 (10.24%)。不同茶树品种的儿茶素合成关键酶活性有差异, 导致 7 个茶树品种碾茶的儿茶素含量有差异, 决定其苦涩味的程度^[28]。

表 1 7 个不同品种碾茶的常规品质成分含量

Table 1 The content of conventional quality components of seven different varieties of tencha							
品质成分	水浸出物/%	可溶性糖/%	灰分/%	蛋白质/%	游离氨基酸总量/%	咖啡碱/%	茶多酚/%
蕺北种	47.99 ± 0.95 ^a	2.59 ± 0.43 ^d	6.09 ± 0.25 ^{cd}	29.42 ± 0.14 ^d	3.03 ± 0.23 ^{cd}	2.39 ± 0.02 ^c	12.32 ± 0.18 ^{bc}
茅麓群体种	4.35 ± 0.15 ^{bc}	2.99 ± 0.03 ^{cd}	5.47 ± 0.36 ^d	31.74 ± 0.38 ^a	3.10 ± 0.15 ^{cd}	2.48 ± 0.09 ^{bc}	14.10 ± 0.62 ^a
龙井长叶	41.00 ± 0.87 ^{cd}	4.03 ± 0.10 ^a	7.00 ± 0.32 ^{ab}	28.31 ± 0.10 ^{ef}	4.07 ± 0.30 ^b	2.58 ± 0.11 ^b	13.95 ± 1.00 ^a
茂绿	43.62 ± 1.15 ^{bc}	3.14 ± 0.09 ^{bc}	6.65 ± 0.32 ^{abc}	30.89 ± 0.80 ^b	4.96 ± 0.28 ^a	2.59 ± 0.06 ^b	11.47 ± 0.84 ^c
舒茶早	45.27 ± 0.18 ^{ab}	2.78 ± 0.03 ^{cd}	6.32 ± 0.43 ^{bc}	30.13 ± 0.21 ^c	2.69 ± 0.21 ^d	3.18 ± 0.06 ^a	13.70 ± 0.13 ^{ab}
鸠坑 1 号	39.54 ± 0.06 ^d	3.11 ± 0.36 ^{bc}	7.01 ± 0.75 ^{ab}	28.84 ± 0.26 ^{de}	3.47 ± 0.26 ^c	2.57 ± 0.13 ^b	12.98 ± 0.63 ^{ab}
鸠坑 2 号	42.00 ± 1.62 ^{cd}	3.57 ± 0.38 ^b	7.30 ± 0.40 ^a	28.08 ± 0.23 ^f	2.11 ± 0.29 ^e	2.47 ± 0.05 ^{bc}	13.84 ± 1.30 ^a
品质成分	TDF/%	SDF/%	IDF/%	叶绿素 a/(mg·g ⁻¹)	叶绿素 b/(mg·g ⁻¹)	总叶绿素/(mg·g ⁻¹)	维生 C/(mg·g ⁻¹)
蕺北种	30.84 ± 1.14 ^a	4.00 ± 0.24 ^{ab}	26.84 ± 0.94 ^{ab}	2.04 ± 0.02 ^{ab}	2.31 ± 0.13 ^{bc}	4.35 ± 0.15 ^{bc}	4.35 ± 0.15 ^{bc}
茅麓群体种	29.93 ± 0.95 ^{ab}	4.28 ± 0.51 ^a	25.65 ± 0.62 ^{ab}	2.07 ± 0.02 ^{ab}	2.82 ± 0.11 ^a	4.89 ± 0.13 ^a	5.72 ± 0.17 ^a
龙井长叶	28.22 ± 0.30 ^{bc}	3.46 ± 0.72 ^{bc}	24.77 ± 1.01 ^b	1.99 ± 0.03 ^{bc}	1.97 ± 0.04 ^c	3.97 ± 0.07 ^c	4.36 ± 0.15 ^c
茂绿	29.86 ± 0.29 ^{ab}	3.71 ± 0.21 ^{abc}	26.15 ± 0.50 ^{ab}	2.06 ± 0.03 ^{ab}	2.56 ± 0.14 ^{ab}	4.62 ± 0.13 ^{ab}	3.25 ± 0.13 ^s
舒茶早	29.22 ± 0.90 ^{abc}	3.69 ± 0.35 ^{abc}	25.53 ± 0.70 ^{ab}	2.09 ± 0.03 ^a	2.49 ± 0.13 ^{ab}	4.58 ± 0.12 ^{ab}	3.78 ± 0.12 ^c
鸠坑 1 号	29.22 ± 0.54 ^{abc}	2.97 ± 0.15 ^c	26.24 ± 0.43 ^{ab}	2.00 ± 0.07 ^{bc}	1.94 ± 0.31 ^c	3.94 ± 0.59 ^c	4.60 ± 0.16 ^b
鸠坑 2 号	28.06 ± 1.46	3.37 ± 0.27 ^{bc}	24.69 ± 1.39 ^b	1.92 ± 0.08 ^c	1.43 ± 0.15 ^d	3.45 ± 0.23 ^d	3.50 ± 0.11 ^f

注: 表中同行不同小写英文字母表示差异显著 ($P<0.05$); 表中所有百分含量 (%) 与 mg·g⁻¹ 均为质量分数, 下同。

表 2 7 个不同品种碾茶的儿茶素组分含量

Table 2 The content of catechins components of seven different varieties of tencha						
品质成分/%	GA	GC	EGC	C	EC	非酯型儿茶素总量
蕺北种	0.65 ± 0.05 ^c	0.64 ± 0.08 ^a	0.70 ± 0.02 ^a	0.10 ± 0.02 ^{bc}	0.63 ± 0.02 ^c	2.06 ± 0.05 ^b
茅麓群体种	2.32 ± 0.18 ^a	0.35 ± 0.03 ^c	0.54 ± 0.02 ^c	0.12 ± 0.02 ^b	0.54 ± 0.02 ^{de}	1.56 ± 0.06 ^d
龙井长叶	1.95 ± 0.12 ^b	0.47 ± 0.04 ^b	0.47 ± 0.02 ^d	0.18 ± 0.02 ^a	0.62 ± 0.04 ^c	1.73 ± 0.09 ^c
茂绿	1.86 ± 0.07 ^b	0.37 ± 0.02 ^c	0.39 ± 0.01 ^f	0.12 ± 0.01 ^b	0.51 ± 0.03 ^c	1.38 ± 0.05 ^e
舒茶早	1.47 ± 0.05 ^{cd}	0.58 ± 0.02 ^a	0.69 ± 0.02 ^a	0.09 ± 0.02 ^c	0.87 ± 0.02 ^a	2.23 ± 0.05 ^a
鸠坑 1 号	1.38 ± 0.10 ^d	0.40 ± 0.01 ^{bc}	0.43 ± 0.03 ^e	0.16 ± 0.02 ^a	0.57 ± 0.02 ^{cd}	1.57 ± 0.10 ^d
坑 2 号	1.59 ± 0.04 ^c	0.46 ± 0.02 ^b	0.64 ± 0.02 ^b	0.16 ± 0.00 ^a	0.74 ± 0.02 ^b	2.00 ± 0.02 ^b
品质成分/%	EGCG	GCG	ECG	CG	酯型儿茶素总量	儿茶素总量
蕺北种	5.95 ± 0.07 ^c	0.25 ± 0.04 ^d	1.98 ± 0.02 ^d	0.006 ± 0.00 ^b	8.18 ± 0.08 ^e	10.24 ± 0.12 ^c
茅麓群体种	7.12 ± 0.28 ^a	0.31 ± 0.02 ^{bcd}	2.46 ± 0.10 ^c	0.005 ± 0.00 ^c	9.90 ± 0.39 ^c	11.45 ± 0.44 ^b
龙井长叶	7.13 ± 0.19 ^a	0.35 ± 0.02 ^{abc}	3.51 ± 0.21 ^a	0.001 ± 0.000 ^c	11.00 ± 0.38 ^a	12.72 ± 0.48 ^a
茂绿	6.38 ± 0.07 ^b	0.38 ± 0.03 ^a	2.57 ± 0.02 ^c	0.003 ± 0.00 ^d	9.33 ± 0.10 ^d	10.71 ± 0.15 ^c
舒茶早	7.03 ± 0.13 ^a	0.16 ± 0.02 ^c	3.61 ± 0.08 ^a	0.008 ± 0.00 ^a	10.80 ± 0.20 ^a	13.03 ± 0.23 ^a
鸠坑 1 号	6.93 ± 0.39 ^a	0.37 ± 0.08 ^{ab}	2.89 ± 0.09 ^b	0.008 ± 0.00 ^a	10.20 ± 0.47 ^{bc}	11.77 ± 0.58 ^b
鸠坑 2 号	7.15 ± 0.22 ^a	0.29 ± 0.02 ^{cd}	3.05 ± 0.11 ^b	0.003 ± 0.00 ^d	10.50 ± 0.35 ^{ab}	12.50 ± 0.37 ^a

表 3 7个不同品种碾茶的儿茶素品质系数分析

Table 3 The analysis of catechins quality coefficient of seven different varieties of tencha					
品种	CQI	CAI	酚氨比	IDF/SDF	叶绿素 a/b
薮北种	11.37 ± 0.20 ^f	12.84 ± 0.50 ^c	4.06 ± 0.37 ^{cd}	8.85 ± 0.44 ^{bc}	0.88 ± 0.04 ^{cd}
茅麓群体种	17.85 ± 0.09 ^c	15.69 ± 0.72 ^a	4.54 ± 0.26 ^c	7.58 ± 1.12 ^c	0.73 ± 0.03 ^d
龙井长叶	22.81 ± 0.30 ^b	14.49 ± 0.29 ^b	3.43 ± 0.41 ^e	8.68 ± 1.42 ^{bc}	1.01 ± 0.02 ^{bc}
茂绿	23.29 ± 0.43 ^a	15.53 ± 0.56 ^a	2.31 ± 0.14 ^f	9.54 ± 0.54 ^b	0.81 ± 0.05 ^d
舒茶早	15.38 ± 0.21 ^c	12.46 ± 0.11 ^c	5.09 ± 0.23 ^b	9.05 ± 1.01 ^{bc}	0.84 ± 0.05 ^{cd}
鸠坑 1 号	22.64 ± 0.15 ^b	14.55 ± 0.79 ^b	3.74 ± 0.13 ^{de}	12.05 ± 0.82 ^a	1.07 ± 0.23 ^b
鸠坑 2 号	15.91 ± 0.16 ^d	12.65 ± 0.11 ^c	6.57 ± 0.17 ^a	9.74 ± 0.90 ^b	1.35 ± 0.09 ^a

注：表中同列不同小写英文字母表示差异显著（ $P<0.05$ ）。

2.2 儿茶素品质系数分析

儿茶素品质指数（CQI）能反映茶叶原料的嫩度，CQI 值越大表示原料越嫩；而儿茶素苦涩味指数（CAI）是评价茶叶苦涩味的直接参数，CAI 值越大，表示茶叶滋味的苦涩味越重^[20]。由表 3 可知，7 个碾茶的 CQI 值差异显著（ $P<0.05$ ），茂绿的 CQI 值为 23.29 最高，说明茂绿品种在同等级原料下的持嫩性较好；而薮北种的 CQI 值最低 11.37，说明薮北种的嫩度较差。7 个碾茶的 CAI 值差异显著（ $P<0.05$ ），茅麓群体种和茂绿的 CAI 值最高，分别为 15.69 和 15.53，说明从 CAI 值看，这 2 个品种的碾茶滋味相对比较苦涩。同时，酚氨比即茶多酚含量与游离氨基酸总量的比值，一定程度也能反映茶叶滋味的浓度与鲜度^[17,18]，酚氨比小于 8 时茶叶综合品质较好^[29]。7 个碾茶的酚氨比范围为 2.31 至 6.57，均低于 8，且由表 3 可知龙井长叶的茶多酚和游离氨基酸含量都高、酚氨比值低（3.43），反映其碾茶的茶汤滋味呈浓而鲜爽；鸠坑 2 号茶多酚含量高，游离氨基酸含量低，酚氨比值最高（6.57），反映其碾茶的茶汤滋味呈现浓而苦涩；茂绿的茶多酚含量最低，游离氨基酸含量最高，酚氨比值最低（2.31），反映其碾茶的茶汤滋味呈现淡而鲜爽^[9-15]。茶叶膳食纤维本质上是一种难以被人体消化的非淀粉多糖，其生理功能的发挥与其 IDF/SDF 比值密切相关，高含量的 SDF 对机体的防癌、抗焦虑、及抗氧化等方面的作用更加显著^[30]。7 个碾茶中，茅麓群体种的 IDF/SDF 比值最低 7.58，表明其 SDF 的含量较高，膳食纤维的营养价值较好。叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值是评价碾茶与抹茶叶绿素品质的重要指标，茅麓群体种的比值为 0.73，说明碾茶色泽品质绿色较好^[29]。

2.3 主要品质成分的主成分分析

利用 SPSS 23.0 对 7 个碾茶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，提取出

5 个特征值均大于 1 的主成分因子，结果见表 4，第一主成分贡献率为 32.595%，第二主成分贡献率为 23.111%，第三主成分贡献率为 16.192%，第四主成分贡献率为 8.451%，第五主成分贡献率为 6.091%，5 个主成分的累积方差贡献率达 86.367%，超过 85%，能全面解释全部变量信息，反应 7 个品种碾茶的品质特征。

由表 5 可知，第一主成分贡献率较大的主要是水浸出物、儿茶素 C 和可溶性糖，此外，叶绿素含量、总膳食纤维和蛋白质等的贡献率也较高。水浸出物的载荷值为 0.860，水浸出物是形成碾茶茶汤厚薄及滋味浓强的主要品质成分。儿茶素 C 是形成碾茶滋味收敛性的主要品质因子，可溶性糖是影响甜味的重要因素，其含量的高低与碾茶滋味呈正比，同时也反映碾茶原料的老嫩，二者的载荷值分别为 -0.863 和 -0.848。可见，第一主成分主要体现了不同品种间碾茶的品质特征主要是高浸出率、收敛性与茶汤回甘的品质特征。第二主成分的最大贡献率是 EC，载荷值为 -0.922，其次为 EGC（-0.807）、游离氨基酸（0.765）和 GCG（0.739）。儿茶素组分含量与茶汤的苦涩味呈正相关^[18]，EC 主要与滋味收敛性和浓度相关，表没食子儿茶素 EGC 主要与涩味紧密相关^[15]，可见，第二主成分主要反映了不同品种间碾茶的品质特征在浓度上。第三主成分贡献率较大的是 EGCG（0.735）和 GA（0.732）。表没食子儿茶素没食子酸酯 EGCG 既与茶汤的涩味又与苦味紧密相关^[15]，可见第三主成分展示了不同品种间碾茶的品质特征体现在苦涩滋味上，同时也体现了不同品种加工成碾茶的保健作用强度^[31,32]。第四主成分贡献率最大的是维生素 C（-0.650），第五主成分贡献率较大的是 CG（0.646）与 SDF（-0.474）、维生素 C（0.392）和 IDF（0.390）。可见第四和第五主成分表明了不同茶树品种加工的碾茶品质特征主要体现在品质色泽和营养成分^[33]。通过上述各主成分的分析，表明不同品种加工碾茶的品质受其品质成分种类和含量的影响，主

要体现在茶汤的高浸出率、收敛性与回甘上,水浸出物、可溶性糖、儿茶素组分、维生素 C、SDF 和 IDF 可作为不同茶树品种加工碾茶品质的表征性成分,这些指标基本可以反应不同茶树品种加工碾茶的品质差异。

表 4 主成分的特征值和贡献率
Table 4 Characteristic values and contribution rates of principal components

主成分	初始特征值		
	特征值	方差贡献率/%	累积方差贡献率/%
第一主成分	7.171	32.595	32.595
第二主成分	5.084	23.111	55.706
第三主成分	3.562	16.192	71.897
第四主成分	1.859	8.451	80.349
第五主成分	1.324	6.019	86.367

表 5 7 个不同品种碾茶主要品质成分的主成分分析荷载矩阵
Table 5 The principal component analysis load matrix of main quality components of seven different varieties of tencha

变量	品质成分	主成分荷载矩阵				
		1	2	3	4	5
X ₁	水浸出物	0.860	-0.169	0.135	-0.215	-0.319
X ₂	游离氨基酸总量	-0.012	0.765	-0.025	0.544	-0.141
X ₃	咖啡碱	0.225	-0.468	0.571	0.597	0.104
X ₄	茶多酚	-0.231	-0.319	0.593	-0.420	0.173
X ₅	可溶性糖	-0.848	0.100	0.042	-0.017	-0.204
X ₆	叶绿素 a	0.750	0.199	0.390	0.271	0.105
X ₇	叶绿素 b	0.729	0.435	0.460	0.099	-0.015
X ₈	总叶绿素	0.746	0.410	0.457	0.122	-0.002
X ₉	维生素 C	0.080	0.322	0.399	-0.650	0.392
X ₁₀	蛋白质	0.658	0.496	0.405	-0.040	-0.036
X ₁₁	TDF	0.739	0.271	-0.291	-0.103	0.129
X ₁₂	SDF	0.576	0.164	0.291	-0.308	-0.474
X ₁₃	IDF	0.563	0.230	-0.482	0.038	0.390
X ₁₄	GA	-0.342	0.493	0.732	-0.076	-0.122
X ₁₅	GC	0.408	-0.709	-0.273	0.085	-0.186
X ₁₆	EGC	0.417	-0.807	-0.018	-0.324	-0.193
X ₁₇	C	-0.863	0.160	0.039	-0.103	0.091
X ₁₈	EGCG	-0.541	-0.186	0.735	-0.117	0.196
X ₁₉	EC	0.067	-0.922	0.279	0.166	-0.058
X ₂₀	GCG	-0.505	0.739	-0.152	0.078	0.063
X ₂₁	ECG	-0.508	-0.451	0.557	0.415	0.044
X ₂₂	CG	0.556	-0.429	-0.058	0.090	0.646

根据表 5 中 5 个主成分的特征值,获得主成分综合得分 F 的计算式为: $F=0.326F_1+0.231F_2+0.162 F_3+$

$0.085F_4+0.060F_5$ 。根据 5 个主成分的方差贡献率计算得到 7 个碾茶的综合得分(表 6),得分 F 越高的品种,表明其加工碾茶的品质越好。由表 6 可知,茅麓群体种(1.17)>茂绿(0.82)>舒茶早(0.71)>蕻北种(0.37)>鸠坑 1 号(-0.44)>龙井长叶(-0.91)>鸠坑 2 号(-1.72)。可见,在江苏种植的相同管理遮阴措施和加工条件下的 7 个茶树品种中,茅麓群体种、茂绿及舒茶早在各个品质指标上表现出较好的综合特征,与各项品质指标的变化趋势相符,较适合加工碾茶和抹茶。

表 6 7 个不同品种碾茶的综合得分
Table 6 The comprehensive scores of seven different varieties of tencha

品种	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F	排名
蕻北种	3.51	-1.05	-2.62	-0.85	-0.52	0.37	4
茅麓群体种	1.62	1.96	2.20	-2.14	0.21	1.17	1
龙井长叶	-3.45	0.44	0.81	0.30	-0.69	-0.91	6
茂绿	0.71	2.67	-0.81	1.92	-0.89	0.82	2
舒茶早	2.41	-2.50	2.22	1.39	0.28	0.71	3
鸠坑 1 号	-1.59	0.38	-1.12	0.36	2.32	-0.44	5
鸠坑 2 号	-3.22	-1.90	-0.68	-0.98	-0.71	-1.72	7

3 结论

本研究利用蕻北种、茅麓群体种、龙井长叶、茂绿、舒茶早、鸠坑 1 号和鸠坑 2 号等 7 个茶树品种加工碾茶,通过品质成分检测,儿茶素品质系数与主成分相关性分析,发现茶树品种不同,碾茶品质特征不同。茅麓群体种的蛋白质、茶多酚、SDF、总叶绿素、叶绿素 b 及维生素 C 的质量浓度均最高,分别为 31.74%、14.10%、4.28%、4.89、2.82 和 5.72 mg·g⁻¹。同时,茅麓群体种的没食子酸 GA 质量浓度最高 2.32%,CAI 值最高 15.69,而 IDF/SDF 比值最低 7.58、表明其 SDF 的含量较高,叶绿素 a 与叶绿素 b 的比值小于 1、表明碾茶色泽品质较好。研究发现水浸出物、可溶性糖、儿茶素组分、维生素 C、SDF 和 IDF 是不同茶树品种加工碾茶品质的表征性成分,可反映不同碾茶的品质差异。茅麓群体种主成分综合得分最高 1.17,说明在各个品质指标上表现出较好的特征。本研究结论,为江苏地区适制抹茶的品种筛选及我国抹茶产业的发展提供理论支撑。

参考文献

[1] NAJMAN K, SADOWSKA A, WOLINSKA M, et al. The content of bioactive compounds and technological properties of matcha green tea and its application in the design of functional beverages [J]. Molecules,

- 2023, 28(20): 7018.
- [2] 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.
- [3] YE J H, FANG Q T, ZENG L, et al. A comprehensive review of matcha: production, food application, potential health benefits, and gastrointestinal fate of main phenolics [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024, 64(22): 7959-7980.
- [4] REZAEIAN F M, ZIMMERMANN B F. Simplified analysis of flavanols in matcha tea [J]. *Food Chemistry*, 2022, 373: 131628.
- [5] MAO Y L, WANG J Q, WANG F. Effect of different drying temperature settings on the color characteristics of Tencha [J]. *Food Chemistry-X*, 2024, 24: 101963.
- [6] 徐海霞,蒋玉兰.碾茶及其粉碎方式对抹茶品质的影响[J].*中国茶叶加工*,2024,2:27-32.
- [7] 郭倩文.抹茶适制的茶叶品种及其品质提升技术研究[D].宁波:宁波大学,2020.
- [8] DEVKOTA H P, GAIRE B P, HORI K, et al. The science of matcha: Bioactive compounds, analytical techniques and biological properties [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2021, 118: 735-743.
- [9] 汪素琴,王卓琴,吕闰强,等.碾茶适制品种的筛选[J].*中国茶叶*, 2020,42(9):22-25.
- [10] HUANG D J, CHEN X, TAN R R, et al. A comprehensive metabolomics analysis of volatile and non-volatile compounds in matcha processed from different tea varieties [J]. *Food Chemistry-X*, 2024, 21: 101234.
- [11] 毛雅琳,汪芳,尹军峰,等.不同茶树品种碾茶的品质分析[J].*茶叶科学*,2020,40(6):782-794.
- [12] 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.
- [13] 胡芝.不同遮荫条件对碾茶品质成分影响的研究[D].贵阳:贵州大学,2023.
- [14] 孙达,龚恕,崔宏春,等.不同品种茶树春秋鲜叶超微绿茶粉适制性研究[J].*浙江农业学报*,2021,33(3):437-446.
- [15] 袁丽萍,雷震东,王欢欢,等.基于多元统计分析的抹茶适制品种综合评价[J].*食品科学*,2023,44(24):229-234.
- [16] 邬刚,马云龙,徐铭辰.不同品种抹茶营养物质和抗氧化活性的测定及主成分分析[J].*食品与发酵工业*,2024,50(2):239-246.
- [17] KIKI J, JAKUBCZYK K, LIGENZA A, et al. Matcha green tea: chemical composition, phenolic acids, caffeine and fatty acid profile [J]. *Foods*, 2024, 13(8): 1167.
- [18] ZHANG L, CAO Q Q, GRANATO D, et al. Association between chemistry and taste of tea: A review [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, 101: 139-149.
- [19] 王丽丽,陈键,宋振硕,等.茶叶中没食子酸、儿茶素类和生物碱的HPLC检测方法研究[J].*福建农业学报*,2014,29(10):987-994.
- [20] 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.
- [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] LUO X L, SUN C J, HE Y, et al. Cross-cultivar prediction of quality indicators of tea based on VIS-NIR hyperspectral imaging [J]. *Industrial Crops & Products*, 2023, 202: 117009.
- [23] HUANG D J, MAO Y X, GUO G Y, et al. Genome-wide identification of PME gene family and expression of candidate genes associated with aluminum tolerance in tea plant (*Camellia sinensis*) [J]. *BMC Plant Biol*, 2022, 22(1): 306.
- [24] ZHONG N, ZHAO X, YU P H, et al. Characterization of the sensory properties and quality components of Huangjin green tea based on molecular sensory-omics [J]. *Foods*, 2023, 12(17): 3234.
- [25] SUZUKI Y, SHIOI Y. Identification of chlorophylls and carotenoids in major teas by high-performance liquid chromatography with photodiode array detection [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(18): 5307-5314.
- [26] 申瑞寒,黄伟红,杨向德,等.影响抹茶鲜叶原料产量与品质的关键因素研究[J].*中国茶叶*,2022,44(2):30-34,38.
- [27] JAKUBCZYK K, KOCHMAN J, KWIATKOWSKA A, et al. Antioxidant properties and nutritional composition of matcha green tea [J]. *Foods*, 2020, 9(4): 483.
- [28] YU S W, LI P H, ZHAO X C, et al. CsTCPs regulate shoot tip development and catechin biosynthesis in tea plant (*Camellia sinensis*) [J]. *Horticulture Research*, 2021, 8(1): 104.
- [29] 武蓓琪,路建林,王闪,等.不同产地抹茶儿茶素测定及感官评审对比解析[J].*中国茶叶*,2023,45(10):14-24.
- [30] 王越鹏,耿战辉,郑志强,等.抹茶研究热点的可视化分析及其功效研究进展[J].*食品科学*,2024,45(23):367-376.
- [31] MUSIAL C, KUBAN-J A, GORSKA P M. Beneficial properties of green tea catechins [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(5): 1744.
- [32] NAKAYAMA T, ISHII T, UEKUSA Y, et al. Interaction of tea catechins with phospholipids-roles in their tastes and biological activities [J]. *Journal of Food & Drug Analysis*, 2012, 20 (1): 305-308.
- [33] 冉清连,伍庆.HPLC指纹图谱和多成分定量结合化学模式识别法评价不同产地抹茶质量[J].*中草药*,2024,55(5):1699-1708.