

海拔与树龄对五峰县茶叶生化成分的影响

丁世宇¹, 刘金鑫¹, 李晓洁¹, 李建华², 谈亚丽³, 王 雪¹, 李 啸^{1,3*}

(1. 三峡大学生物与制药学院中国轻工业功能酵母重点实验室, 宜昌 443002;
2. 湖北安琪采花茶品科技有限公司, 宜昌 443413; 3. 安琪生物科技有限公司, 宜昌 443000)

摘 要: **目的** 探究海拔、树龄对湖北五峰县夏季茶树鲜叶中主要生化成分的影响。**方法** 以湖北五峰县海拔 217~934 m 之间采集的 14 份茶树一芽二叶鲜叶样本为研究对象, 对其茶多酚、游离氨基酸、咖啡因以及部分儿茶素单体含量进行测定, 并结合相关性分析和主成分分析来分析其变化规律。**结果** 茶多酚含量在海拔 217~820 m 范围内随海拔上升而升高, 树龄 10 年时含量最低; 咖啡因含量与海拔呈极显著正相关, 与树龄无显著相关性; 游离氨基酸含量在海拔 610 m 处达到最大值; 酚氨比结果显示, 树龄小于 15 年且海拔 610 m 以下的茶叶可能更适合制作绿茶, 710 m 以上的可能更适合制作发酵茶; 主成分分析结果显示, 提取出前 2 个主成分, 累计方差贡献率达 66.21%, 可以将 14 份茶树样本以 500 m 海拔为界限大致分为两类, 且 500 m 海拔以上的茶树鲜叶中表儿茶素没食子酸酯等儿茶素类物质的含量更高。**结论** 不同海拔和树龄的茶叶各生化成分之间有不同程度的差异, 研究不同条件下茶叶成分含量为五峰县夏季茶树鲜叶的利用和加工提供了一定的数据支持和理论依据。

关键词: 茶叶; 海拔; 树龄; 生化成分; 酚氨比; 相关性分析; 主成分分析

Effects of altitude and tree age on the biochemical composition of tea leaves in Wufeng County

DING Shi-Yu¹, LIU Jin-Xin¹, LI Xiao-Jie¹, LI Jian-Hua², TAN Ya-Li³, WANG Xue¹, LI Xiao^{1,3*}

(1. Key Laboratory of Functional Yeast of China National Light Industry, School of Biology & Pharmacy, China Three Gorges University, Yichang 443002, China; 2. Hubei Angel & Caihua Tea Processing Products Technology Co., Ltd., Yichang 443413, China; 3. Angel Biotechnology Co., Ltd., Yichang 443000, China)

ABSTRACT: Objective To study the effects of altitude and tree age on the major biochemical components in fresh summer tea leaves from Wufeng County, Hubei Province. **Methods** Fourteen samples of one bud and two leaves were collected from tea plants within the altitude range of 217 to 934 meters in Wufeng County. The content of tea polyphenols, free amino acids, caffeine, and selected catechin monomers was determined. Correlation analysis and principal component analysis were conducted to analyze the patterns of variation. **Results** The content of tea polyphenols was found to increase with altitude within the range of 217 to 820 meters, and the lowest content was observed in 10-year-old plants. The content of caffeine exhibited a significant positive correlation with altitude, while no significant correlation was observed with tree age. The content of free amino acids reached its maximum at an altitude of 610 meters. The ratio of polyphenols and amino acids results showed that tea leaves from tea trees younger

基金项目: 国家重点研发计划项目(2021YFC2101100)

Fund: Supported by the National Key Research and Development Program of China (2021YFC2101100)

*通信作者: 李啸, 博士, 教授, 主要研究方向为微生物反应过程的优化与控制。E-mail: lx_6910@163.com

*Corresponding author: LI Xiao, Ph.D, Professor, Key Laboratory of Functional Yeast of China National Light Industry, School of Biology & Pharmacy, China Three Gorges University, Yichang 443002, China. E-mail: lx_6910@163.com

than 15 years and below 610 meters in altitude might be more suitable for producing green tea, while those above 710 meters might be more suitable for fermented tea production; the results of principal component analysis showed that the first 2 principal components were extracted, with a cumulative variance contribution rate of 66.21%. The 14 tea tree samples could be roughly divided into 2 categories based on an altitude of 500 meters, and the content of epicatechin, gallate, and other catechin substances in fresh tea leaves above 500 meters was higher. **Conclusion** Tea leaves from different altitudes and tree ages exhibit varying degrees of differences in biochemical components. Studying the component content of tea leaves under different conditions provides certain data support and a theoretical basis for the utilization and processing of fresh tea leaves in the Wufeng County during the summer.

KEY WORDS: tea leaves; altitude; tree age; biochemical components; ratio of polyphenols and amino acids; correlation analysis; principal component analysis

0 引 言

五峰土家族自治县位于鄂西南边陲, 属武陵山支脉, 全境皆为山区, 地属亚热带温湿季风气候, 是中国著名的茶叶[*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]之乡。早在公元三世纪就被西晋人撰写的《荆州土地记》记载“武陵七县通出茶, 最好”, 七县其中之一就属于现在的五峰县内^[1]。从 1956 年至 2014 年, 茶树一直是五峰县种植面积最大且增长速度最快的经济作物^[2], 至 2022 年种植面积已达约 22 万亩, 干茶产量达 2.87 万 t。因此, 如何合理利用这些茶叶资源值得研究。

茶树鲜叶的适制性以及成茶的品质受多种因素的影响, 一般认为茶叶的品质为春茶>秋茶>夏茶, 而茶叶中的茶多酚(tea polyphenols, TPs)和咖啡因(caffeine, Caf)含量则相反^[3], 若夏季茶树鲜叶应用不合理可能导致夏茶难以发挥最大经济效益。近年来研究表明, 茶叶中作为构成 TPs 主要成分的儿茶素类物质在预防多种癌症^[4-6]、糖尿病^[7]、心血管^[8]和神经系统疾病^[9-10]等方面具有重要作用, 但目前人工大量合成儿茶素类物质较为困难, 因此从天然物质中提取儿茶素类物质具有广阔的市场前景^[11]; 茶叶中富含的 Caf 同样对人体健康方面也有一定的影响^[12], 同时也是一种广泛使用的食品添加剂。Caf 虽然人工合成路线众多, 但是存在原料残留、安全性小、环境污染等问题^[13], 所以天然提取的 Caf 仍具有不可替代的位置。这表明部分富含儿茶素类物质与 Caf 的五峰县夏茶也许可以成为儿茶素类物质与天然 Caf 提取的优质原料, 以此提高经济价值。

除季节因素外, 海拔(altitude)和树龄(tree age)也是影响茶树鲜叶的因素, 且表现出较强的地域性, 不同地区的海拔与树龄变化导致的茶树鲜叶中生化成分变化的规律并不一定相同^[14-17]。但目前, 针对五峰县茶树的报道仅有不同品种茶树之间的差异^[18], 而海拔与树龄对五峰县茶树鲜叶的影响未见报道, 使得不同海拔与树龄的茶树鲜叶的应用缺乏理论基础。故本研究以五峰县采集的 14 份海拔与树龄各不相同的夏季茶树鲜叶为实验材料, 探究五峰县夏季

茶树鲜叶中各生化成分的含量在不同海拔与树龄下的变化规律, 以期合理开发利用当地茶树资源提供理论依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

五峰 212 是五峰县经选育后的无性系繁殖品种, 本次实验所采集的 14 份茶树鲜叶样本全部为五峰 212 夏季茶树一芽二叶鲜叶, 全部来自于湖北五峰渔阳关镇地区(30°10'42.80"N, 111°04'59.03"E)茶农种植。所有样本分布在海拔 217~934 m 之间, 树龄年份在 2~25 年之间, 叶片采集后迅速置于液氮中冻存, 转移至-80℃冰箱保存备用。采摘样本的具体信息见表 1, 采样时间为 2022 年 7 月 28 日。

表 1 14 份五峰县茶树鲜叶样本信息
Table 1 Informations of 14 samples of fresh tea leaves from Wufeng County

序号	样本编号	海拔/m	树龄/年	采集地点
1	WF-217-10	217	10	三房坪村 1 组
2	WF-332-15	332	15	三房坪村 8 组
3	WF-369-2	369	2	三房坪村 8 组
4	WF-369-10	369	10	三房坪村 8 组
5	WF-450-10	450	10	三房坪村 8 组
6	WF-500-2	500	2	三房坪村 8 组
7	WF-500-10	500	10	三房坪村 8 组
8	WF-510-25	510	25	三房坪村 1 组
9	WF-610-2	610	2	枚二冲村 4 组
10	WF-610-10	610	10	枚二冲村 4 组
11	WF-610-15	610	15	枚二冲村 4 组
12	WF-710-10	710	10	枚二冲村 5 组
13	WF-820-15	820	15	王家坪村 2 组
14	WF-934-2	934	2	王家坪村 2 组

十二水磷酸氢二钠、磷酸二氢钾、磷酸氢二钠、碳酸钠(色谱纯, 西陇科学股份有限公司); 水合茚三酮、氯化亚锡(色谱纯)、茶氨酸、没食子酸(gallic acid, GA)、没食子儿茶素(gallocatechin, GC)、表没食子儿茶素(epigallocatechin, EGC)、儿茶素(catechin, C)、表没食子儿茶素没食子酸酯(epigallocatechin gallate, EGCG)、表儿茶素(epicatechin, EC)、没食子儿茶素没食子酸酯(gallocatechin gallate, GCG)、表儿茶素没食子酸酯(epicatechin gallate, ECG)标准品(纯度≥98%)(上海源叶生物科技有限公司); 甲醇、甲酸(色谱纯, 西格玛奥德里奇上海贸易有限公司); 福林酚(1 mol/L, 福州飞净生物科技有限公司)。

1.2 仪器与设备

ME204 电子天平(精度 0.0001 g)、FE28 pH 计、HE53 快速水分测定仪(瑞士 Mettler Toledo 公司); Chromaster 5000 高效液相色谱仪(日本 Hitachi 公司); 5910R 台式高速离心机(德国 Eppendorf 公司); Uvmini-1285 分光光度计(日本 Shimadzu 公司); Waters XBridge BEH C₁₈ 色谱柱(250 mm×4.6 mm, 5 μm)(美国 Waters 公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

茶叶鲜叶从-80℃冰箱取出后, 加入液氮在研钵中研磨粉碎, 研磨后的样本迅速称量(1.000±0.001) g 转入 50 mL 离心管中, 于-80℃冰箱中冻存。

1.3.2 理化指标测定

每种茶叶鲜叶研磨的茶粉取 3.0 g 使用梅特勒快速水分测定仪测量茶叶鲜叶中干物质含量, 用于计算以下各生化成分占茶树鲜叶干重的百分比, 以下简称含量。每种生化成分均检测 3 次用于计算均值与标准偏差。

游离氨基酸(free amino acid, FAA)的提取及测定参

考 GB/T 8314—2013《茶 游离氨基酸的测定》, 并作修改。修改部分为 1 g 干茶叶替换为研磨后的(1.0000±0.001) g 鲜茶叶样本, 300 mL 提取液改为 25 mL。经预实验得出, 同一样本在此方法下提取后检测得率最高且吸光值均在标准曲线内。

TPs 和儿茶素类物质的提取参考 ZHANG 等^[19]使用醇提法, 将上述醇提液稀释 50 倍后用于 TPs 含量的测定, TPs 的测定方法参考 GB/T 8313—2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》。

取 1 mL 上述醇提液, 用 70%甲醇水溶液定容到 2 mL 后, 用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)来检测儿茶素类物质和 Caf 的含量, 色谱条件参考董晨等^[20]。

1.4 数据处理

本研究实验数据均有 3 次重复, 结果用平均值±标准偏差表示, 数据采用 IBM SPSS Statistics 22.0 软件进行单因素方差分析, 采用最小显著差异法(least significant difference, LSD)进行多重比较($P<0.05$); 表格使用 Microsoft Office Excel 2016 制作; 折线图与柱状图使用 Origin 2018 完成; 相关性热图使用 R 语言 corplot 包进行绘制, 主成分分析(principal component analysis, PCA)使用 PCAtools 包进行分析, PCA 图使用 biplot 包绘制。

2 结果与分析

2.1 五峰县茶树鲜叶主要生化成分及酚氨比分析

对五峰县茶树鲜叶的生化成分进行测定, 不同海拔、树龄的茶树鲜叶的 TPs 含量为 23.11%~33.06%, FAA 含量为 2.89%~5.31%, Caf 含量为 2.88%~4.31%, 酚氨比(ratio of polyphenols and amino acids, RPA)为 5.00~11.28, 详见表 2。

表 2 五峰县茶树鲜叶主要生化成分及 RPA (n=3)
Table 2 Main biochemical components and RPA of fresh tea leaves from Wufeng County (n=3)

序号	样品编号	TPs/%	FAA/%	Caf/%	RPA
1	WF-217-10	23.11±0.20 ^f	4.06±0.04 ^{dc}	2.88±0.10 ^f	5.70
2	WF-332-15	28.81±0.60 ^d	4.60±0.09 ^c	3.11±0.23 ^e	6.26
3	WF-369-2	30.69±0.42 ^b	3.93±0.09 ^e	2.92±0.02 ^{ef}	7.82
4	WF-369-10	24.52±0.70 ^e	4.11±0.03 ^d	3.08±0.07 ^e	5.97
5	WF-450-10	24.76±0.25 ^e	4.95±0.20 ^b	3.09±0.10 ^e	5.00
6	WF-500-2	30.94±0.27 ^b	4.60±0.04 ^c	2.94±0.05 ^{ef}	6.72
7	WF-500-10	28.81±0.14 ^d	4.56±0.10 ^c	3.09±0.11 ^e	6.32
8	WF-510-25	32.54±0.49 ^a	2.89±0.05 ^h	3.61±0.03 ^{cd}	11.28
9	WF-610-2	31.15±0.20 ^b	5.27±0.06 ^a	3.48±0.05 ^d	5.91
10	WF-610-10	30.79±0.44 ^b	5.27±0.14 ^a	3.42±0.18 ^d	5.84
11	WF-610-15	31.42±0.11 ^b	5.31±0.03 ^a	3.51±0.04 ^{cd}	5.91
12	WF-710-10	33.06±0.62 ^a	3.19±0.07 ^g	3.88±0.10 ^b	10.35
13	WF-820-15	32.68±0.40 ^a	4.01±0.07 ^{dc}	3.67±0.08 ^c	8.15
14	WF-934-2	29.81±0.20 ^c	3.58±0.05 ^f	4.31±0.06 ^a	8.32

注: 同列不同小写字母表示组间具有显著性差异($P<0.05$), 下同。

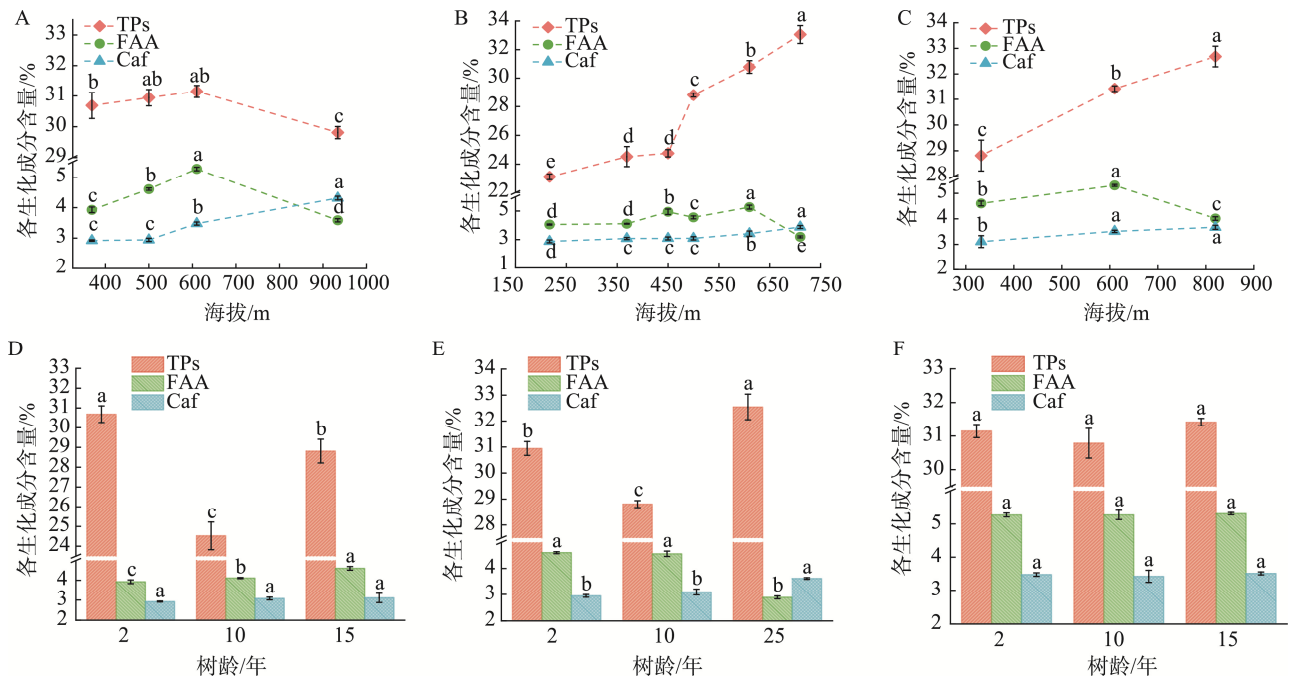
此 3 种生化成分在茶树鲜叶中的含量随海拔或树龄变化有一定的规律性, 为探究这种规律, 对数据进行分析, 结果如图 1 所示。

TPs 由儿茶素类、黄酮和黄酮醇类物质、花青素和花白素类、酚酸及缩酚酸类等组分构成^[21]。TPs 味苦, 对预防人体心血管疾病和抗癌方面具有良好效果^[22]。TPs 是茶叶中主要涩味来源之一^[23], 也是决定茶叶风味的主要因素之一。如图 1A~C 所示, 在 217~820 m 海拔范围内, 3 种树龄茶树的 TPs 含量都是随海拔上升而提高。仅在 934 m 海拔的 2 龄茶树处首次出现了下降, 这种先上升到一定高度海拔后再下降的变化规律在已有研究中均有报道^[15-16,24], 但是不同地区茶树中 TPs 含量随海拔升高而开始下降的拐点都有所差异, 这可能与当地气候以及茶树品种有关^[25]。从图 1D~F 中发现, 在 3 处不同海拔生长的茶树其鲜叶中的 TPs 含量都有随树龄增长先下降后上升的现象, 这与孙云南等^[26]研究结果相似。造成这种结果的原因可能是茶树在早期生长发育的过程中营养物质消耗在其他器官的生长从而影响 TPs 的积累。此外, 位于约 610 m 海拔处, 不同树龄鲜叶 TPs 含量无显著差异(图 1F), 这样的结果导致 15 年以下树龄茶树生长过程中 TPs 含量下降趋势比另外两处海拔(图 1D、E)的要缓, 这反映了适宜的海拔在一定程度上能降低 15 年树龄以下茶树生长过程中不利于 TPs 积累的因素影响。

茶叶中大多数 FAA 与鲜味和甜味有关, 有助于克服

茶中过多多酚引起的不良口感^[27]。一些文献研究中提及随着海拔上升气温降低, 有利于茶树的氮元素代谢^[16], 从而利于 FAA 含量的积累。但是在本次研究中的数据显示, 3 种不同树龄的茶树中 FAA 含量表现为随海拔升高先上升后降低(图 1A~C), 其中 FAA 积累的峰值都出现在 610 m 海拔, 此后含量开始迅速下降。造成这种现象的原因可能是五峰县夏季较高海拔位置并不适合 FAA 的积累, 推测影响 FAA 积累的原因可能还与光照强度有关。在海拔约 350 m 处(图 1D), 茶树生长的 2~15 年中, 茶树鲜叶的 FAA 含量随茶树生长而增多; 而在约 500 m 和 600 m 海拔处(图 1E、F), 除 25 年树龄茶树外同海拔下无显著差异。这表明 FAA 的含量与 TPs 类似同样受树龄与海拔的综合影响, 适宜的海拔能增加低龄茶树鲜叶中的 FAA 含量, 但是对于 25 年以上的茶树仍有待探究。

Caf 是茶饮料风味的重要组成之一, 也是茶叶中含量最高的生物碱, 一般占茶叶干重的 2%~5%左右^[28], 同时它还是一种强大的抗氧化剂, 增加了茶饮料的抗氧化潜力^[29]。Caf 含量在同树龄的茶树中(图 1A~C), 随海拔上升出现明显的上升趋势, 且峰值均出现在同树龄下最高海拔点的样本中, 推测最适合 Caf 积累的海拔可能在更高处。Caf 含量在同海拔下(图 1D~F), 茶树生长的 2~15 年中均无显著差异。仅在约 500 m 海拔处 25 年树龄出现显著增加。推测当茶树树龄到达一定的年份会利于茶树鲜叶中 Caf 的积累, 这需要进一步的探究。



注: A: 茶树树龄均为2年, 仅有海拔变化; B: 茶树树龄均为10年, 仅有海拔变化; C: 茶树树龄均为15年, 仅有海拔变化; D: 茶树栽种海拔为332~369 m, 仅有树龄变化; E: 茶树栽种海拔为500~510 m, 仅有树龄变化; F: 茶树栽种海拔均为610 m, 仅有树龄变化; 不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

图1 五峰县茶树鲜叶中主要生化成分随海拔与树龄的变化($n=3$)

Fig.1 Changes of major biochemical components in fresh tea leaves from Wufeng County with altitude and age ($n=3$)

RPA 是 TP_s 与 FAA 的比值, 是茶树鲜叶适制性的参考指标之一, 其中 RPA 小于 8 的可能适宜制绿茶, 而大于 8 的可能更适宜发酵茶类^[30-31], 例如红茶。在本次研究中 15 年树龄以下的五峰 212 品种茶树在 610 m 海拔以下 RPA 均小于 8, 可能更适宜制作绿茶; 海拔 710 m 以上 RPA 均大于 8, 可能适宜制作发酵茶类; 当树龄到达 25 年时, 海拔 510 m 的鲜叶中 RPA 为 11.28, 这说明较高树龄的五峰 212 茶树可能已不适宜制作绿茶。

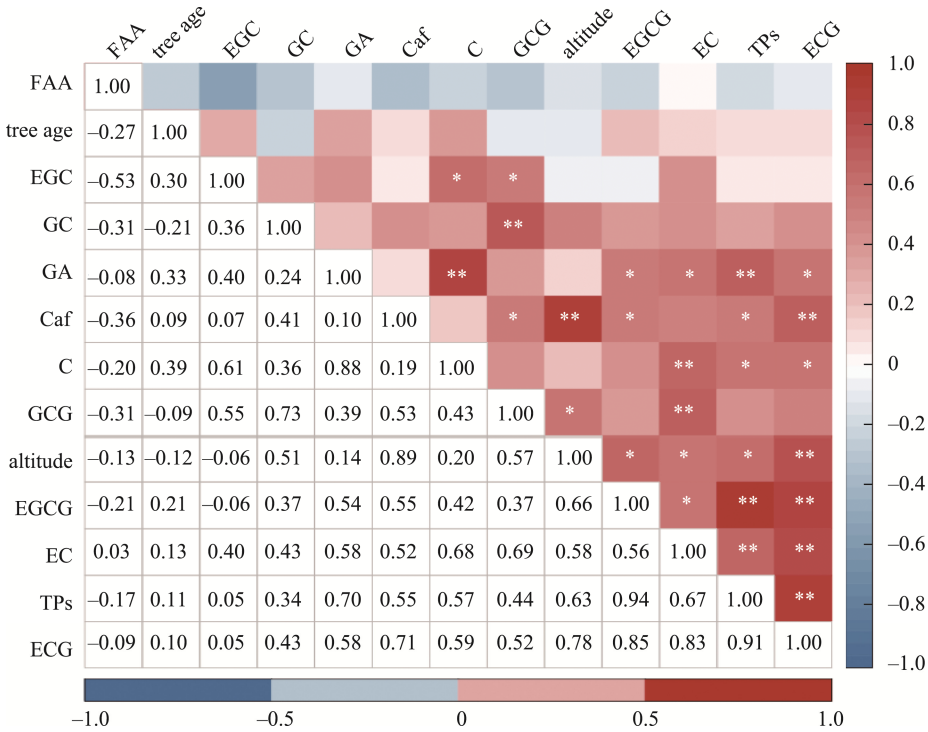
2.2 海拔和树龄与各生化成分相关性分析

本研究测定了茶树鲜叶中 GC、EGC、C、EGCG、EC、GCG、ECG 及 GA 含量, 如表 3 所示, 其含量从大到小依次为: EGCG>EGC>ECG>EC>C>GC>GA>GCG。

将茶树鲜叶各成分与鲜叶样本的树龄、海拔进行相关性分析, 结果如图 2 所示。树龄与其他因子之间均无显著相关性, 这说明树龄对茶树鲜叶的影响并非简单的线性关系, 例如部分海拔下不同树龄中 TP_s 变化(图 1D、E)与孙云南

表 3 五峰县茶树鲜叶没食子酸与各儿茶素含量(n=3)
Table 3 Content of gallic acid and catechins in fresh tea leaves from Wufeng County (n=3)

样本编号	GA/%	GC/%	EGC/%	C/%	EGCG/%	EC/%	GCG/%	ECG/%
WF-217-10	0.22±0.01 ^{ef}	0.42±0.01 ^{de}	4.91±0.23 ^a	0.55±0.01 ^{cde}	8.71±0.25 ^g	1.23±0.05 ^{bc}	0.20±0.01 ^{de}	1.81±0.09 ^d
WF-332-15	0.26±0.01 ^{bcd}	0.39±0.02 ^{fgh}	4.10±0.26 ^{bcd}	0.55±0.02 ^{cde}	11.27±0.76 ^e	0.87±0.10 ^{de}	0.18±0.01 ^{fg}	2.29±0.14 ^c
WF-369-2	0.24±0.00 ^{de}	0.41±0.01 ^{efg}	3.76±0.04 ^{efgh}	0.45±0.01 ^f	13.04±0.16 ^{cd}	0.72±0.19 ^e	0.17±0.03 ^{gh}	2.41±0.06 ^c
WF-369-10	0.18±0.03 ^g	0.41±0.01 ^{efg}	3.19±0.28 ⁱ	0.33±0.08 ^g	11.12±0.70 ^e	0.32±0.13 ^f	0.17±0.02 ^{gh}	1.74±0.14 ^d
WF-450-10	0.22±0.01 ^{ef}	0.37±0.01 ^h	3.56±0.30 ^{ghi}	0.48±0.01 ^{ef}	9.95±0.76 ^f	0.66±0.14 ^{ef}	0.16±0.02 ^h	1.99±0.14 ^d
WF-500-2	0.28±0.01 ^{ab}	0.48±0.01 ^{ab}	3.92±0.20 ^{defg}	0.66±0.05 ^{ab}	12.66±0.11 ^{cd}	1.29±0.28 ^{bc}	0.21±0.01 ^d	3.13±0.19 ^b
WF-500-10	0.27±0.01 ^{ab}	0.46±0.01 ^{bc}	4.42±0.21 ^{bc}	0.62±0.03 ^{bc}	12.28±0.32 ^d	1.12±0.11 ^{cd}	0.22±0.03 ^{bc}	2.46±0.09 ^c
WF-510-25	0.29±0.01 ^a	0.44±0.02 ^{cd}	4.44±0.16 ^b	0.71±0.04 ^a	14.23±0.11 ^{ab}	1.32±0.15 ^{abc}	0.19±0.01 ^{ef}	3.46±0.09 ^a
WF-610-2	0.25±0.02 ^{cd}	0.42±0.03 ^{de}	3.63±0.26 ^{fgh}	0.53±0.09 ^{cdef}	12.7±0.65 ^{cd}	1.58±0.36 ^{ab}	0.21±0.02 ^{cd}	3.43±0.21 ^a
WF-610-10	0.24±0.02 ^{de}	0.39±0.01 ^{gh}	3.48±0.36 ^{hi}	0.58±0.10 ^{bcd}	13.09±0.58 ^{cd}	1.30±0.37 ^{bc}	0.16±0.01 ^h	3.3±0.36 ^{ab}
WF-610-15	0.26±0.00 ^{bc}	0.44±0.01 ^{cde}	3.64±0.07 ^{fgh}	0.55±0.03 ^{cde}	13.54±0.07 ^{bc}	1.56±0.08 ^{ab}	0.21±0.01 ^{cd}	3.36±0.06 ^{ab}
WF-710-10	0.27±0.01 ^{ab}	0.42±0.02 ^{efg}	4.32±0.11 ^{bc}	0.61±0.05 ^{bc}	13.50±0.21 ^{bc}	1.48±0.14 ^{abc}	0.24±0.02 ^a	3.44±0.07 ^a
WF-820-15	0.25±0.01 ^{cd}	0.45±0.00 ^c	4.27±0.14 ^{bcd}	0.58±0.04 ^{bcd}	14.99±0.70 ^a	1.68±0.13 ^a	0.22±0.01 ^{bc}	3.55±0.08 ^a
WF-934-2	0.21±0.01 ^f	0.49±0.01 ^a	4.03±0.14 ^{cdef}	0.50±0.07 ^{def}	12.55±0.21 ^d	1.22±0.21 ^{bcd}	0.23±0.01 ^{ab}	3.27±0.03 ^{ab}



注: *和**分别表示在P<0.05和P<0.01水平下差异显著。

图2 五峰县茶树的海拔、树龄与茶树鲜叶各生化成分之间的相关性热图

Fig.2 Correlation heatmap between altitude, age of tea trees, and various biochemical components in fresh tea leaves from Wufeng County

等^[26]的研究结果类似, 为先下降后上升; FAA 同样与其他因子之间无显著相关性, 与树龄和海拔也非线性相关, 在海拔 350 m 左右处(图 1D)结果与叶江华等^[17]和孙云南等^[26]研究结果相似, 但 15 年树龄并不一定达到了五峰 212 茶树的 FAA 积累的最高点; 海拔则与 TPs 以及儿茶素单体 GCG、EGCG、EC、ECG 之间呈显著正相关, 与 Caf 和 ECG 之间呈极显著正相关, 即一定海拔范围内海拔越高以上物质在茶树鲜叶中含量越高。

2.3 主成分分析

PCA 是一种多元降维分析方法, 通过重新构建一组新的较少的无关联的综合指标来反映原始指标, 其目的在于减少数据集的维数^[32-34]。

将五峰县采集的 14 个茶树鲜叶样本生化成分数据标准化后进行 PCA。提取出前 2 个特征值的主成分, 方差贡献率依次为 49.60%、16.61%, 累计方差贡献率达到 66.21%, 即这 2 个主成分能反映茶树鲜叶的大部分信息(表 4)。

表 4 各主成分的特征值、贡献率和累计贡献率

Table 4 Eigenvalues of principal component and their contributions and cumulative contributions to total variance

PC	特征值	贡献率/%	累计贡献率/%
1	4.96	49.60	49.60
2	1.66	16.61	66.21

在 2 个主成分中各生化成分的载荷如表 5 所示, 载荷的高低代表着该成分对此主成分中的贡献程度。主成分 1 (PC1)主要综合了 ECG、EC 等儿茶素类含量; 主成分 2 (PC2)则主要以 FAA 和 EGCG 含量为主。

表 5 主成分的特征向量与载荷矩阵

Table 5 Principal component eigenvectors and loading matrix

因子	PC1		PC2	
	载荷	特征向量	载荷	特征向量
FAA (Z ₁)	-0.35	-0.16	0.53	0.41
Caf (Z ₂)	0.64	0.29	0.30	0.24
GA (Z ₃)	0.71	0.32	-0.06	-0.04
GC (Z ₄)	0.66	0.29	-0.19	-0.15
EGC (Z ₅)	0.50	0.22	-0.81	-0.63
C (Z ₆)	0.78	0.35	-0.23	-0.18
EGCG (Z ₇)	0.72	0.33	0.49	0.38
EC (Z ₈)	0.86	0.39	0.16	0.12
GCG (Z ₉)	0.79	0.35	-0.20	-0.16
ECG (Z ₁₀)	0.87	0.39	0.47	0.37

根据各生化成分的载荷的得分与其对应的主成分特征值可以计算出相应的特征向量(表 5), 按照公式(1)计算。

特征向量=

$$\frac{\text{载荷}}{\sqrt{\text{特征值}}}$$

(1)

各主成分的得分公式中的因子 Z₁~Z₁₀ 与表 5 对应, PC1、PC2 的得分与公式 F₁、F₂ 相对应, 具体公式如(2)~(3)所示。

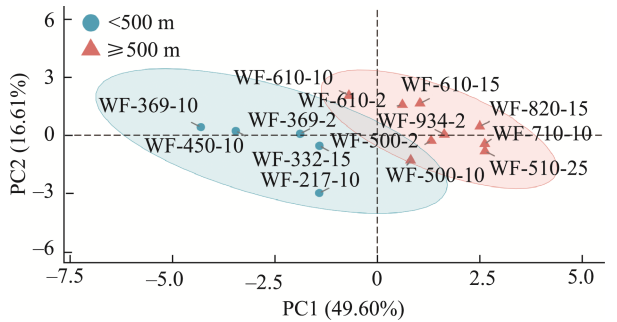
$$F_1=-0.16Z_1+0.29Z_2+0.32Z_3+0.29Z_4+0.22Z_5+0.35Z_6+0.33Z_7+0.39Z_8+0.35Z_9+0.39Z_{10}$$

(2)

$$F_2=0.41Z_1+0.24Z_2-0.04Z_3-0.15Z_4-0.63Z_5-0.18Z_6+0.38Z_7+0.12Z_8-0.16Z_9+0.37Z_{10}$$

(3)

将各个样本与表 5 中因子所对应的生化成分含量分别代入(2)、(3)公式得到每个样本的 PC1 和 PC2 得分, 利用这 2 个主成分的得分情况为坐标, 计算各个样本在各个坐标轴的得分情况则可以看到各个样本在二维空间的分布情况。500 m 海拔上下的样本可以较为明显地被分成两个区域(图 3), 即利用 PCA 可以大致判别五峰县 217~934 m 海拔范围内茶叶产地的海拔高低。同时海拔 500 m 以上的茶树鲜叶中以 ECG、EC 为主的儿茶素类物质含量更高, 可能更适合用于此类儿茶素类物质提取。



注: 蓝色椭圆为<500 m海拔样本的95%置信椭圆, 红色椭圆为 >500 m海拔样本的95%置信椭圆。

图3 14个茶叶样本的PCA图
Fig.3 PCA plot of 14 tea leaves samples

3 结 论

本研究显示在五峰县 217~934 m 海拔间, 海拔和树龄均对茶树鲜叶中的成分有着不同程度的影响。在五峰县 217~820 m 海拔范围内, 五峰 212 茶树鲜叶中 TPs 含量随着海拔升高而升高, 超过此海拔后随海拔上升而降低; 3 种树龄的五峰 212 茶树鲜叶中 FAA 含量均在海拔 610 m 左右出现峰值; RPA 结果显示低于 15 年树龄且位于海拔 610 m 以下的五峰 212 茶树可能更适合制作绿茶。Caf 含量在海拔 217~934 m 内与海拔呈极显著正相关, 在同海拔下 2~15 年内的树龄变化对 Caf 含量无显著影响, 这意味着海拔越高可能越适合 Caf 的积累。610 m 海拔处的茶树各生化成分稳定, 几乎不受茶树树龄变化的影响, 此处茶叶品质可能最为稳定。通过 PCA 将该地区的茶树鲜叶资源以 500 m 海拔为界限分为了两类, 其中 500 m 海拔以上的茶树鲜叶中以 ECG、EC 等为主的儿茶素单体含量相对更高, 可能适宜儿茶素类物质的提取。

总的来说,影响茶叶代谢的是多因素共同作用的结果,本研究对茶树鲜叶中主要生化成分进行的测定和分析对五峰县一定范围内的夏季茶树鲜叶利用和加工提供了一定的数据支持和理论依据,后续研究应该关注更高海拔与树龄或其他因素对茶树鲜叶的影响,探究其变化规律以达到充分利用五峰县不同区域的茶树资源。

参考文献

- [1] 刘晓航. 五峰渔洋关是万里茶道湖北段与羊楼洞并列的重要支点[J]. 农业考古, 2016, (5): 161–167.
- LIU XH. Yuyangguan Town in Wufeng: An important junction along the Hubei Section of the Great Tea Road, alongside Yanglou Cave [J]. Agric Archaeol, 2016, (5): 161–167.
- [2] 马林龙, 曹丹, 刘艳丽, 等. 五峰县农作物种质资源普查现状与分析[J]. 湖北农业科学, 2019, 58(22): 114–119.
- MA LL, CAO D, LIU YL, *et al.* General survey and analysis of crop germplasm resources in Wufeng County [J]. Hubei Agric Sci, 2019, 58(22): 114–119.
- [3] 王叶. 不同生境茶叶产量与品质形成的光合生理生态机制[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2018.
- WANG Y. Eco-physiological photosynthetic mechanism of the tea yield and quality in different habitats [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2018.
- [4] FILIPPINI T, MALAVOLTI M, BORRELLI F, *et al.* Green tea (*Camellia sinensis*) for the prevention of cancer [J]. Cochrane Db Syst Rev, 2020, 3(3): CD005004.
- [5] MIYATA Y, SHIDA Y, HAKARIYA T, *et al.* Anti-cancer effects of green tea polyphenols against prostate cancer [J]. Molecules, 2019, 24(1): 193.
- [6] SHARMA P, MONTES DOMK, ALKESWANI AR, *et al.* Tea polyphenols for the prevention of UVB-induced skin cancer [J]. Photodermatol Photo, 2018, 34(1): 50–59.
- [7] KIM Y, KEOGH JB, CLIFTON PM. Polyphenols and glycemic control [J]. Nutrients, 2016, 8(1): 17.
- [8] CHENG YC, SHEEN JM, HU WL, *et al.* Polyphenols and oxidative stress in atherosclerosis-related ischemic heart disease and stroke [J]. Oxid Med Cell Longev, 2017, 2017: 8526438.
- [9] ZHANG Z, ZHANG Y, LI J, *et al.* The neuroprotective effect of tea polyphenols on the regulation of intestinal flora [J]. Molecules, 2021, 26(12): 3692.
- [10] SERGI CM. Epigallocatechin gallate for Parkinson's disease [J]. Clin Exp Pharmacol, 2022, 49(10): 1029–1041.
- [11] YAN Z, ZHONG Y, DUAN Y, *et al.* Antioxidant mechanism of tea polyphenols and its impact on health benefits [J]. Anim Nutr, 2020, 6(2): 115–123.
- [12] NIEBER K. The impact of coffee on health [J]. Planta Med, 2017, 83(16): 1256–1263.
- [13] 李海霞, 陈榕, 周丹, 等. 咖啡因的合成及其药理作用的研究进展[J]. 华西药学杂志, 2011, 26(2): 182–187.
- LI HX, CHEN R, ZHOU D, *et al.* Research progress in the synthesis and pharmacological effects of caffeine [J]. West China J Pharm Sci, 2011, 26(2): 182–187.
- [14] 肖健, 刘慧, 郑福维, 等. 不同海拔保靖黄金茶品质形成的气象因子初探[J]. 农学学报, 2021, 11(3): 68–73.
- XIAO J, LIU H, ZHENG FW, *et al.* Meteorological factors of quality formation of Baojing Gold Tea at different altitudes: A preliminary study [J]. J Agric, 2021, 11(3): 68–73.
- [15] 李琛, 江新风, 张贱根, 等. 基于不同海拔分布的庐山茶树资源品质成分变化研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2022, 13(9): 2886–2891.
- LI C, JIANG XF, ZHANG JG, *et al.* Research on quality component changes of tea resource based on different altitude ranges in Lushan [J]. J Food Saf Qual, 2022, 13(9): 2886–2891.
- [16] 方洪生, 周迎春, 苏有健. 海拔高度对茶园环境及茶叶品质的影响[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(20): 6573–6575.
- FANG HS, ZHOU YC, SU YJ. Effects of different elevations of tea gardens on environment and tea quality [J]. J Anhui Agric Sci, 2014, 42(20): 6573–6575.
- [17] 叶江华, 王海斌, 贾小丽, 等. 不同树龄茶树叶片氨基酸含量变化分析[J]. 湖北农业科学, 2016, 55(20): 5355–5358.
- YE JH, WANG HB, JIA XL, *et al.* Analysis of the changes of amino acid content in leaves of different age tea [J]. Hubei Agric Sci, 2016, 55(20): 5355–5358.
- [18] 仇方方, 王友海, 郝晴晴, 等. 宜昌地区不同茶树品种夏秋季鲜叶主要理化指标研究[J]. 中国茶叶加工, 2019, (3): 63–69.
- QIU FF, WANG YH, HAO QQ, *et al.* Study on main chemical components of different tea varieties in summer and autumn in Yichang area [J]. China Tea Process, 2019, (3): 63–69.
- [19] ZHANG Y, WEI K, LI H, *et al.* Identification of key genes involved in catechin metabolism in tea seedlings based on transcriptomic and HPLC analysis [J]. Plant Physiol Bioch, 2018, 133: 107–115.
- [20] 董晨, 曲凤凤, 艾仄宜, 等. 鄂茶 10 号优质鲜叶杀青方式研究[J]. 中国茶叶加工, 2018, (1): 5–12.
- DONG C, QU FF, AI ZY, *et al.* Study on de-enzyming methods of E-Cha No.10 high quality fresh leaves [J]. China Tea Process, 2018, (1): 5–12.
- [21] 宛晓春. 茶叶生物化学(第三版).[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003.
- WAN XC. Tea biochemistry (Third Edition) [M]. Beijing: China Agric Press, 2003.
- [22] 单治国, 张春花, 满红平, 等. 古树茶与台地茶多酚种类与含量差异及在贮藏中物质变化的分析研究[J]. 现代园艺, 2022, 45(19): 58–60.
- SHAN ZG, ZHANG CH, MAN HP, *et al.* Analysis and study of

- differences in types and contents of tea polyphenols between ancient tree tea and tableland tea, and their subsequent changes during storage [J]. *Contemp Hortic*, 2022, 45(19): 58–60.
- [23] 童华荣, 金孝芳, 龚雪莲. 茶多酚感官性质及其对茶叶涩味的影响[J]. *茶叶科学*, 2006, (2): 79–86.
- TONG HR, JIN XF, GONG XL. Sensory characteristics of tea polyphenols and its effects on astringency of tea [J]. *J Tea Sci*, 2006, (2): 79–86.
- [24] 罗杰, 金立鑫, 韩吟文, 等. 四川省蒙山茶区海拔高度与茶叶品质关系[J]. *西南师范大学学报(自然科学版)*, 2009, 34(4): 122–127.
- LUO J, JIN LX, HAN YW, *et al.* Relationship between altitude in Mengshan tea region of Sichuan Province and tea quality [J]. *J Southwest Chin Norm Univ (Nat Sci Ed)*, 2009, 34(04): 122–127.
- [25] WANG M, YANG J, LI J, *et al.* Effects of temperature and light on quality-related metabolites in tea [*Camellia sinensis* (L.) Kuntze] leaves [J]. *Food Res Int*, 2022, 161: 111882.
- [26] 孙云南, 殷丽琼, 夏丽飞, 等. 不同树龄紫娟品种茶多酚、氨基酸差异探析[J]. *山西农业科学*, 2015, 43(10): 1243–1246.
- SUN YN, YIN LQ, XIA LF, *et al.* Study on the differences of tea polyphenols and amino acids in Zijuan tea with different age [J]. *J Shanxi Agric Sci*, 2015, 43(10): 1243–1246.
- [27] 刘忠英, 杨婷, 戴宇樵, 等. 基于分子感官科学的茶叶滋味研究进展[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(4): 337–343, 355.
- LIU ZY, YANG T, DAI YQ, *et al.* Research progress of tea taste based on molecular sensory science [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(4): 337–343, 355.
- [28] MENG XH, LI N, ZHU HT, *et al.* Plant resources, chemical constituents, and bioactivities of tea plants from the genus *Camellia* section *thea* [J]. *J Agric Food Chem*, 2019, 67(19): 5318–5349.
- [29] KOLÁČKOVÁ T, KOLOFIKOVÁ K, SYTAŘOVÁ I, *et al.* Matcha tea: Analysis of nutritional composition, phenolics and antioxidant activity [J]. *Plant Food Hum Nutr*, 2020, 75(1): 48–53.
- [30] 肖涵, 申亮, 杨婉秋. 云南普洱地区大叶种茶酚氨比研究[J]. *昆明学院学报*, 2017, 39(3): 34–39.
- XIAO H, SHEN L, YANG WQ, *et al.* Analysis of phenolic/amino acids in large-leaf species tea from Yunnan Puer area [J]. *J Kunming Univ*, 2017, 39(3): 34–39.
- [31] 吴全金, 陈瑜, 彭良清, 等. 海拔对茶树鲜叶物质代谢和茶叶品质成分的影响[J]. *福建开放大学学报*, 2021, (6): 31–35.
- WU QJ, CHEN Y, PENG LQ, *et al.* The impact of altitude on the metabolic processes of fresh tea leaves and the composition of tea quality components [J]. *J Open Univ Fujian*, 2021, (6): 31–35.
- [32] 李晨, 张秀玲, 李凤凤, 等. 五种小浆果抗氧化活性和相关营养物质的测定及主成分分析[J]. *食品与发酵工业*, 2022, 48(14): 226–234.
- LI C, ZHANG XL, LI FF, *et al.* Determination of antioxidant activity, nutrients and quality evaluation using principal component analysis of five kinds of small berries [J]. *Food Ferment Ind*, 2022, 48(14): 226–234.
- [33] LI Z, ZHAO L, XIE F, *et al.* Study of assessment of green tea' grades in GC-MS determination of aromatic components based on principal component analysis (PCA) [J]. *J Food Proc Pres*, 2021, 45(1): e15047.
- [34] 杨雪梅, 刘莹亮, 李家华, 等. 基于 PCA 和聚类分析方法对云南不同茶区晒青毛茶生化成分分析[J]. *食品工业科技*, 2021, 42(3): 236–240.
- YANG XM, LIU YL, LI JH, *et al.* Research for biochemical components of sun-dried green tea in different tea areas of Yunnan by using PCA and cluster analysis methods [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2021, 42(3): 236–240.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介

丁世宇, 硕士研究生, 主要研究方向为生物化学与分子生物学。
E-mail: 1780174079@qq.com

李 啸, 博士, 教授, 主要研究方向为微生物反应过程的优化与控制。
E-mail: lx_6910@163.com