

保山市代表性古茶树资源表型 与生化组分多样性研究

宁功伟¹, 陈晓明², 成雅蓉², 段学良², 杨旭², 孙超¹, 李友勇¹,
邵金良³, 刘本英¹, 王洪斌⁴

(¹云南省农业科学院茶叶研究所/云南省茶学重点实验室, 昆明 650205; ²保山市农业技术推广中心, 云南保山 678000; ³云南省农业科学院质量标准与检测技术研究所, 昆明 650205; ⁴昌宁县茶叶产业发展中心, 云南昌宁 678100)

摘要: 保山市地处世界茶树发源的中心地带, 古茶树资源极为丰富, 是普洱茶和滇红茶的核心产区, 研究该地区古茶树资源表型和生化组分多样性, 对于优异茶树种质资源充分挖掘利用、古茶树资源整合与保护, 以及茶树核心种质构建和优良茶树新品种选育具有重要意义。通过变异系数、遗传多样性指数 (H')、差异性分析、相关性分析、主成分分析和聚类分析, 系统分析了保山市 73 份代表性古茶树资源数量性状和质量性状的多样性水平。结果显示: 23 个质量性状多样性指数 (H') 介于 4.135~4.277 之间, 平均多样性指数为 4.234, 27 个数量性状多样性指数介于 3.545~4.287 之间, 平均多样性指数为 4.187, 变异系数介于 7.88%~153.13% 之间, 大部分性状间表现出极为丰富的遗传变异; 27 个数量性状相关性分析表明: 大部分性状间呈现显著或极显著相关性, 各性状间不是相互独立, 而是彼此相互关联; 主成分分析结果显示, 6 个主成分累积贡献率为 68.42%, 其中, 生化组分、叶片性状和茶树花性状是茶树变异的主要因素; 保山市不同区域茶树 21 个数量性状差异显著性分析表明: 不同区域间茶树叶长、叶面积、叶脉对数、氨基酸、表儿茶素没食子酸酯、表没食子儿茶素没食子酸酯、非酯型儿茶素和儿茶素总量 8 个性状差异最显著, 叶片长宽比和水浸出物 2 个性状间差异最小, 这些差异可能与保山市海拔、地形地貌、土壤和气候等因素有关; 以 27 个数量性状为基础的聚类分析将 73 份古茶树资源聚为 5 类。优异茶树种质资源筛选结果显示: 73 份古茶树资源中, 有特异资源 36 份, 其中高茶多酚 ($\geq 25\%$) 资源 6 份、高氨基酸 ($\geq 5\%$) 资源 29 份、低咖啡碱 ($\leq 1.5\%$) 资源 1 份。本研究为保山市优异茶树种质资源的充分挖掘与利用、古茶树种质资源整合与保护, 以及茶树核心种质构建和优良茶树新品种选育提供了科学参考。

关键词: 保山市; 古茶树资源; 多样性

Study on Phenotype and Biochemical Components Diversity of Representative Ancient Tea Germplasm Resources in Baoshan

NING Gongwei¹, CHEN Xiaoming², CHENG Yarong², DUAN Xueliang², YANG Xu², SUN Chao¹, LI Youyong¹,
SHAO Jinliang³, LIU Benying¹, WANG Hongbin⁴

(¹Tea Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences / Yunnan Key Laboratory of Tea Sciences, Kunming 650205; ²Baoshan Agricultural Technology Promotion Center, Baoshan 678000, Yunnan; ³Quality Standards and Testing Technology Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205; ⁴Changning Tea Industry Development Center, Changning 678100, Yunnan)

Abstract: Baoshan Municipality is located in the center of the origin of tea plants in the world, where the ancient tea plant resources are extremely rich, the city is also the core production area of Pu'er tea and Yunnan black tea, the study on the phenotype and biochemical component diversity of ancient tea plant resources in this area is of great significance for the full exploitation and utilization of excellent tea plant germplasm resources, the integration and protection of ancient tea plant resources, the construction of tea plant core germplasms and the breeding of new varieties of excellent tea plants. Through coefficient of variation, genetic diversity index (H'), difference analysis, correlation analysis, principal component analysis and cluster analysis, the diversity level of

quantitative and quality traits of 73 representative ancient tea tree resources in Baoshan was analyzed. The results showed that the diversity index (H') of 23 quality traits is 4.135 - 4.277, the average diversity index(H') is 4.234, the diversity index(H') of 27 quantitative traits is 3.545 - 4.287, the average diversity index(H') is 4.187, and 27 quantitative traits had the coefficient of variation of 7.88 % - 153.13 %, most of the traits showed extremely rich genetic variation; Correlation analysis of 27 quantitative traits showed that most of the traits showed significant or extremely significant correlation, and the traits were not independent of each other, but correlated with each other; Principal components analysis showed that the cumulative contribution of six principal components is 68.42 %, among them, biochemical components, leaf and flower traits were the main factors of tea plant variation. The significance analysis of 21 quantitative differences of tea plants in different regions of Baoshan showed that 8 characteristics of tea leaf length, leaf area, number of vein pairs, amino acid, epicatechin gallate, epigallocatechin gallate, non-ester catechin and total catechin had the most significant differences, the ratio of leaf length and width and Water extract had the least difference, These differences may be related to the elevation, landform, soil and climate of Baoshan. Clustering analysis revealed that 73 ancient tea plant resources were divided into 5 clusters based on 27 quantitative traits. The screening results of rare tea germplasm resources showed that: Among 73 accession representative ancient tea germplasm resources, there were 36 accession rare tea germplasms resources, among them, 6 accessions were selected for high tea polyphenol germplasm resources (>25 %), 29 accessions were selected for high amino acid germplasm resources (>5 %) and 1 accession was selected for low caffeine germplasm resource (<1.5). This study provided a scientific reference for the full exploitation and utilization of rare tea germplasm resources, the integration and protection of ancient tea germplasm resources, the construction of tea core germplasms and the breeding of new varieties of rare tea trees in Baoshan.

Key Words: Baoshan Municipality; ancient tea germplasm resources; diversity

茶树[*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze]属山茶科山茶属多年生常绿木本植物, 由于自交不亲和、长期的异花授粉和人工选择, 使茶树具有较高的异质性和广泛的遗传变异^[1], 形成了许多生态型, 其遗传变异非常大, 茶树分类研究至今尚无定论^[2-6]。保山市地处云南西部 (98°.05'~100°.27' E, 24°07'~25°52' N), 位于横断山脉滇西纵谷南端, 高耸的高黎贡山和怒山山脉与深邃的世界第二大峡谷-怒江大峡谷东西相望、南北相守。由于地处低纬高原地区, 境内海拔地形差异较大, 气温年变化小、日变化大, 光、热、水在时空分布上呈明显差异, 干湿季节分明, 气候垂直分层较明显, 形成了“一山分四季, 十里不同天”的高海拔立体气候, 成为唯一同时拥有北热带、南亚热带、中亚热带、北亚热带、南温带、中温带和高原气候七种气候类型的“极边之地”。独特的地理条件和复杂多样的自然生态环境孕育了保山极为丰富的茶树种质资源, 被茶叶专家誉为“茶树品种资源宝库”, 是云南省古茶树主要产地, 同时是普洱茶和滇红茶的核心产区之一。在目前世界山茶属茶组植物 32 个种、3 个变种及云南 30 个种和 3 个变种^[7]中, 保山市分布有 6 个种和 3 个变种^[8-12], 分别是茶[*Camellia sinensis* (L.) O.Kuntze]、普洱茶[*Camellia sinensis* var. *assamica* (Mast) Kitamura]、大理茶[*Camellia taliensis* (W.W.Smith) Melchior]、德宏茶 (*Camellia sinensis* var. *dehungensis* H.T.Chang & B.H.Chen)、勐腊茶 (*Camellia manglaensis* Chang et Wang)、大苞茶 (*Camellia Grandibracteata* Chang et Yu)、普洱茶变种[*Camellia sinensis* (L.) O.Kuntze Var.*assamica* (Maters) Kitamura]、普洱茶杂交变种 (*Camellia taliensis* X *C.sinensis*) 和白毛茶变种[*Camellia sinensis*(L.)O.Kuntze var. *pubilimba* H.T.Chang]。

保山是云南古茶树资源较为丰富的地区, 现存古茶园 1.07 万公顷, 树龄百年以上的古茶树 500565 株,

古茶树居群 100 余个^[12] (图 1), 丰富的古茶树资源不仅是保山作为茶树原产地、茶树驯化和当地茶叶农耕文明的历史见证和活化石, 也是文化的根和源, 具有巨大的生态、经济和文化价值, 对茶树起源与进化机制、茶叶种质创新、茶叶抗性和多样性等有着无法替代的研究价值, 是茶树培育极为重要的种质资源库^[13-16]。目前, 已有较多关注于云南古茶树资源群落结构与种群分布格局^[17]、农艺性状^[18-19]、生化组分及遗传多样性^[20-23]等方面的研究, 而对保山市古茶树资源表型及生化组分的系统研究鲜有报道, 严重制约了保山市古茶树资源的开发利用进程。因此, 本研究拟以保山市境内 73 份代表性古茶树资源为研究对象, 通过其表型和生化组分分析, 探明保山市古茶树资源表型和主要生化组分多样性特点, 并对生化组分特异资源进行筛选, 以期保山市优异茶树种质资源充分挖掘与利用、古茶树种质资源整合与保护, 以及茶树核心种质构建和优良茶树新品种选育提供科学参考。

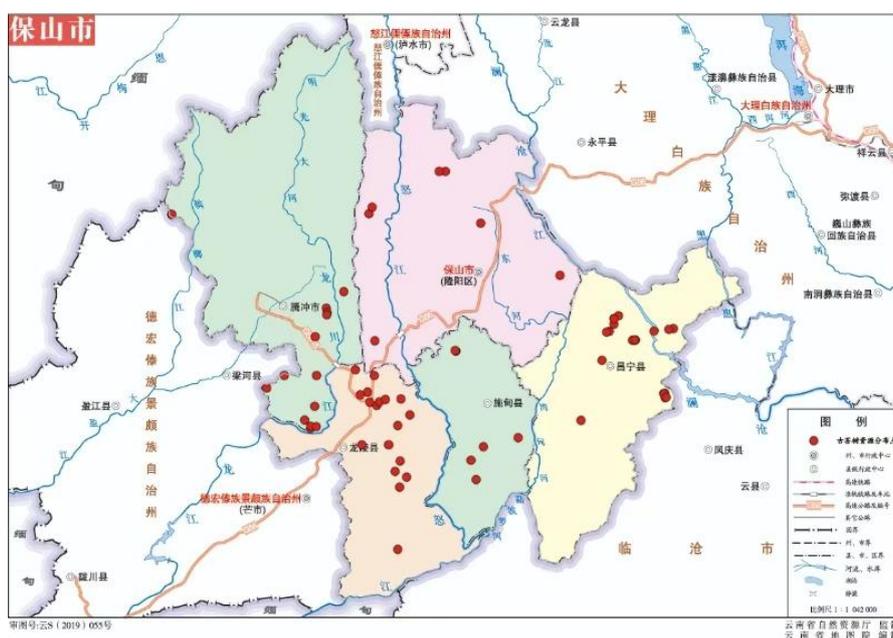


图 1 保山市古茶树资源分布图

Fig.1 The distribution map of ancient tea plant resources in Baoshan

1 材料与方法

1.1 试验材料

本研究选取的 73 份古茶树种质资源均来自保山市境内, 其中隆阳区 8 份, 施甸县 6 份, 腾冲市 18 份, 龙陵县 17 份, 昌宁县 24 份。73 份资源中, 除隆阳区 1 份资源树型为灌木, 其他均为乔木 (表 1)。

表 1 保山市代表性古茶树资源信息

Table 1 Representative ancient tea plants information in Baoshan

资源编号	资源名称	种质类型	来源	树型	海拔
Accession code	Accession name	Germplasm type	Origin	Tree type	Altitude
LYGCS01	上梨树古茶树	普洱茶	隆阳区	乔木	2322
LYGCS02	水源古茶树	普洱茶	隆阳区	乔木	2208
LYGCS03	大出水古茶树	普洱茶	隆阳区	乔木	2067
LYGCS04	松坡古茶树	普洱茶	隆阳区	乔木	1840
LYGCS05	德昂 1 号古茶树	待定	隆阳区	乔木	1966
LYGCS06	德昂 3 号古茶树	大理茶	隆阳区	乔木	1974

LYGCS07	旧街古茶树	茶种	隆阳区	灌木	1977
LYGCS08	杨桥古茶树	大理茶	隆阳区	乔木	2212
SDGCS01	尖山古茶树	普洱茶	施甸县	乔木	1906
SDGCS02	一碗水古茶树	普洱茶	施甸县	乔木	1987
SDGCS03	蒲草塘古茶树	普洱茶	施甸县	乔木	2036
SDGCS04	新寨古茶树	普洱茶	施甸县	乔木	1870
SDGCS05	西山头1号古茶树	普洱茶	施甸县	乔木	1874
SDGCS06	西山头2号古茶树	普洱茶	施甸县	乔木	1895
TCGCS01	桫木窝古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1567
TCGCS02	龙塘古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1710
TCGCS03	黄井园古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1660
TCGCS04	燕寺闷家沟1号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1645
TCGCS05	燕寺闷家沟2号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1645
TCGCS06	小田坝古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1744
TCGCS07	茅草地1号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1908
TCGCS08	坝外3号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1587
TCGCS09	坝外窝子园古树茶	普洱茶	腾冲市	乔木	1587
TCGCS10	文家塘1号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1844
TCGCS11	文家塘4号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1832
TCGCS12	平地1号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1744
TCGCS13	劳家山1号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1738
TCGCS14	淀元1号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1770
TCGCS15	土厓1号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	2004
TCGCS16	猴桥村1号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	1998
TCGCS17	猴桥村2号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	2034
TCGCS18	黄梨坡1号古茶树	普洱茶	腾冲市	乔木	2011
LLGCS01	三台山古茶树	普洱茶	龙陵县	乔木	1869
LLGCS02	硝塘古茶树	普洱茶	龙陵县	乔木	2069
LLGCS03	镇北古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	1808
LLGCS04	镇东古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	2040
LLGCS05	大水沟古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	1920
LLGCS06	淘金河古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	2056
LLGCS07	小田坝7号古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	2040
LLGCS08	中岭岗古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	2145
LLGCS09	大垭口古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	1862
LLGCS10	小立色10号古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	1946
LLGCS11	雪山11号古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	1980
LLGCS12	绕廊1号古茶树	待定	龙陵县	乔木	2184
LLGCS13	莱子地古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	2080
LLGCS14	芹菜塘古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	2040
LLGCS15	安乐古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	1920
LLGCS16	坡古茶树	大理茶	龙陵县	乔木	2006
LLGCS17	绕廊2号古茶树	普洱茶	龙陵县	乔木	2158

CNGCS01	黄家寨 1 号古茶树	普洱茶	昌宁县	乔木	1872
CNGCS02	茶山河 2 号古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2380
CNGCS03	芭蕉林 1 号古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2100
CNGCS04	乌土塘古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2243
CNGCS05	芭蕉林 2 号古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2140
CNGCS06	破石头古茶树	普洱茶	昌宁县	乔木	1990
CNGCS07	老纸厂古茶树	待定	昌宁县	乔木	1977
CNGCS08	石佛山 1 号古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2243
CNGCS09	黄家寨 2 号古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	1845
CNGCS10	芭蕉林 3 号古茶树	普洱茶	昌宁县	乔木	2067
CNGCS11	羊圈坡古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2349
CNGCS12	背阴山古茶树	待定	昌宁县	乔木	2065
CNGCS13	芭蕉林 4 号古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2100
CNGCS14	芭蕉林 5 号古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2100
CNGCS15	芭蕉林 6 号古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2100
CNGCS16	黄家寨 3 号古茶树	普洱茶	昌宁县	乔木	1848
CNGCS17	黄家寨 4 号古茶树	普洱茶	昌宁县	乔木	1880
CNGCS18	石佛山 2 号古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2152
CNGCS19	黑松坡古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2243
CNGCS20	岩子脚古茶树	普洱茶	昌宁县	乔木	1808
CNGCS21	茶山河 3 号古茶树	普洱茶	昌宁县	乔木	2390
CNGCS22	黄家寨 5 号古茶树	普洱茶	昌宁县	乔木	1868
CNGCS23	梁山河 1 号古茶树	大理茶	昌宁县	乔木	2348
CNGCS24	团山古茶树	普洱茶	昌宁县	乔木	1990

1.2 形态学性状测定

选取具有代表性的 23 个质量性状（树型、树姿、生长势、分枝密度、芽叶色泽、芽叶茸毛、叶片大小、叶形、叶色、叶缘、叶面、叶质、叶尖、叶基、叶齿密度、花萼色泽、花萼茸毛、花瓣色泽、花瓣质地、花柱裂位、雌雄蕊相对高度、子房茸毛、种皮色泽）和 27 个数量性状（叶长、叶宽、叶片长宽比、叶面积、叶脉对数、萼片数、花冠直径、花瓣数、花瓣长、花瓣宽、花柱长度、柱头开裂数、果皮厚度、水浸出物、茶多酚、氨基酸、咖啡碱、简单儿茶素、表儿茶素、表没食子儿茶素、表儿茶素没食子酸酯、表没食子儿茶素没食子酸酯、儿茶素总量、酚氨比、酯型儿茶素、非酯型儿茶素和儿茶素品质指数），分析 73 份茶树种质资源质量性状和数量性状的遗传多样性。所有质量性状和数量性状均按照陈亮等^[24-25]编著的《茶树种质资源描述规范和数据标准》和《农作物种质资源鉴定技术规程 茶树（NY/T 1312-2007）》进行观测与测定，对每份材料新梢芽叶、成熟叶片、花部和果实质量性状重复观测 10 次，参照《植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 茶树》（NY/T 2422-2013）^[26]对质量性状进行赋值将其转化为数值型性状，对数量性状重复测量 3 次，取 3 次测定值的平均值为结果。

1.3 生化成分测定

春季 3 - 4 月采摘第一轮新梢一芽二叶平展 200 g，制成烘青绿茶样品，并将样品密封于-20 °C 冰箱保存待测。水分、茶多酚、游离氨基酸和水浸出物分别按照国标法《GBT 8304-2013 茶水分测定》、《GB/T 8313-2018 茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》、《GBT8314-2013 茶游离氨基酸总量的测定》和《GBT8314-2013 茶水浸出物测定》测定；儿茶素类和咖啡碱采用高效液相色谱法（HPLC）测定，HPLC 条件：A 项为 0.05 M 磷酸 - 5 乙腈；B 项为 0.05 M 磷酸 - 80 % 乙腈；B 相线性梯度洗脱从 5 %（0 min）- 34.5 %（22 min），34.5 %（22min）-100 %（22.5 min），100 %（22.5%）- 5 %（28.0 min）；流速 1mL / min；28 min 内完成；检测波长 280 nm；柱温 40 °C；进样量 5 UL，每次完成后系统平衡 6 min 后再进样，同一样品测定两次，取两次测定值的算术平均值为结果，保留小数点后两位。

1.4 儿茶素类指标计算

酯型儿茶素=表没食子儿茶素没食子酸酯+表儿茶素没食子酸酯；非酯型儿茶素=表没食子儿茶素+表儿茶素+儿茶素；儿茶素总量=表没食子儿茶素+表儿茶素+儿茶素+表没食子儿茶素没食子酸酯+没食子儿茶素没食子酸酯+表儿茶素没食子酸酯。

$$\text{儿茶素品质指数} = \frac{\text{表没食子儿茶素没食子酸酯} + \text{表儿茶素没食子酸酯}}{\text{表儿茶素没食子酸酯}} \times 100\%$$

1.5 资源评价

按照农业行业标准《农作物优异种质资源评价规范 茶树》(NY/T2031-2011)^[27]对 73 份古茶树资源进行评价。特异种质资源的几个主要生化指标：茶多酚总量≥25%，氨基酸总量≥5%，咖啡碱含量≤1.5%。

1.6 统计分析

应用 Excel 2010 和 SPSS 29.0 (IBM company, New York, USA) 进行数据整理、统计和分析，应用 Origin 2021 软件进行相关分析、主成分分析和聚类分析并绘图。遗传多样性指数 (H') 采用香浓-维纳指数 (Shannon-Wiener index) 计算。计算公式如下：式中 P_i 为某一性状第 i 个级别出现的频率， \ln 为自然对数。

$$H' = -\sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$$

2 结果与分析

2.1 保山市代表性古茶树质量性状分布及遗传多样性

73 份资源质量性状各指标变异范围较大 (表 2)，23 个质量性状统计分析表明，各性状在其表型级别上均有分布，但不均匀。树型有乔木和灌木 2 种表型，98.63% 的树型为乔木型；树姿有 3 种表型，以半开张所占比例较高 (58.90%)；生长势有 3 种表型，生长势强所占比例最高 (69.86%)；分枝密度有 3 种表型，以分枝密所占比例较高 (53.42%)；芽叶色泽有 3 种表型，以芽叶黄绿色所占比例最高 (78.08%)；芽叶茸毛有 4 种表型，以无茸毛所占比例较高 (41.10%)；叶片大小有 4 种表型，以大叶所占比例最高 (42.47%)；叶形有 3 种表型，以椭圆形所占比例最高 (53.42%)；叶色有 3 种表型，以黄绿色和深绿色所占比例较高 (34.25%)；叶缘有 3 种表型，以微波所占比例最高 (60.27%)；叶面有 3 种表型，以微隆所占比例较高 (47.95%)；叶质有 3 种表型，以叶质中所占比例最高 (89.04%)；叶尖有 4 种表型，以渐尖所占比例最高 (60.27%)；叶基有 2 种表型，以楔形所占比例最大 (80.82%)；叶齿密度有 3 种表型，以叶齿密度中所占比例最高 (86.30%)；花萼色泽有 4 种表型，以绿色所占比例最高 (89.04%)；花萼茸毛有 2 种表型，以无茸毛所占比例较高 (63.01%)；花瓣色泽有 2 种表型，以白色所占比例最高 (72.60%)；花瓣质地有 3 种表型，以花瓣质地中占比最高 (79.45%)；花柱裂位有 3 种表型，裂位低占比较高 (47.95%)；雌雄蕊等高比有 3 种表型，以雌蕊低占比较高 (49.32%)；子房茸毛有 2 种表型，子房有茸毛占比较大 (53.42%)；种皮色泽有 3 种表型，种皮棕褐色占比最大 (60.27%)，可见 23 个质量性状均表现出一定的集中性。质量性状多样性指数大小能够体现材料的变异程度和多样性水平^[28]，其多样性指数反映了性状在不同级别上的分布情况。从表 2 可以看出，23 个质量性状遗传多样性水平均较高，其遗传多样性水平在 4.135~4.277 之间，均值为 4.234，其大小总体表现为叶质 (4.277) > 树型 (4.274) > 叶齿密度 (4.272) > 种皮色泽 (4.265) > 萼片色泽 (4.264) > 花瓣质地 (4.259) > 叶片大小 (4.251) > 树姿 (4.247) > 叶缘 (4.246) > 叶基 (4.245) > 叶尖 (4.243) > 子房茸毛 (4.237) > 花瓣色泽 (4.235) > 分枝密度 (4.234) > 叶面 (4.234) > 萼片茸毛 (4.231) > 叶形 (4.228) > 生长势 (4.227) > 花柱裂位 (4.214) > 叶色 (4.198) > 雌雄蕊等高比 (4.189) > 芽叶颜色 (4.169) > 芽叶茸毛 (4.135)。本研究结果在一定程度上表明，保山市古茶树资源质量性状变异极为丰富，基于质量性状对优异种质资源筛选潜力巨大。

表 2 保山市代表性古茶树资源质量性状分布及多样性

Table 2 Quality traits distribution and diversity in Baoshan representative ancient tea plants

质量性状	性状描述级别	赋值标准	资源份数	分布频率	多样性指数
Quality traits	Character	Assignment	Germplasm	Distribution	(H')

	description level	criterion	accessions	frequency	
树型	乔木	1	72	98.63	4.274
Tree type	灌木	3	1	1.37	
树姿	直立	1	9	12.33	4.247
Growth habit	半开张	2	43	58.90	
	开张	3	21	28.77	
生长势	强	1	1	69.86	4.227
Growth vigor	较强	2	12	28.77	
	弱	3	22	1.37	
分枝密度	稀	1	39	16.44	4.234
Branching density	中	2	57	30.14	
	密	3	4	53.42	
芽叶色泽	黄绿色	1	12	78.08	4.169
Young shoot colour	紫绿色	2	39	5.48	
	绿色	3	57	16.44	
芽叶茸毛	无	1	4	41.10	4.135
Young shoot pubescence	少	2	12	19.18	
	中	3	30	13.70	
	多	4	14	26.03	
叶片大小	小叶	1	10	2.74	4.251
Leaf size	中叶	2	19	26.03	
	大叶	3	31	42.47	
	特大叶	4	21	28.77	
叶形	椭圆形	1	39	53.42	4.228
Leaf shape	长椭圆形	2	33	45.21	
	近圆形	3	1	1.37	
叶色	黄绿色	1	25	34.25	4.198
Leaf colour	绿色	2	23	31.51	
	深绿色	3	25	34.25	
叶缘	平	1	10	13.70	4.246
Leaf margin undulation	微波	2	44	60.27	
	波	3	19	26.03	
	平	1	13	17.81	4.234
叶面	微隆起	2	35	47.95	
Leaf upper surface	隆起	3	22	30.14	
	强隆起	4	3	4.11	
叶质	柔软	1	3	4.11	4.277
Leaf texture	中	2	65	89.04	
	硬	3	5	6.85	
叶尖	急尖	1	10	13.70	4.243
Leaf apex shape	渐尖	2	44	60.27	
	钝尖	3	18	24.66	
	圆尖	4	1	1.37	

叶基	楔形	1	59	80.82	4.245
Leaf base shape	近圆形	2	14	19.18	
	稀	1	6	8.22	4.272
叶齿密度	中	2	63	86.30	
Density of leaf-saw tooth	密	3	4	5.48	
	绿色	1	65	89.04	4.264
花萼色泽	淡绿色	2	2	2.74	
Calyxs colour	紫绿色	3	4	5.48	
	紫色	4	2	2.74	
花萼茸毛	有	1	27	36.99	4.231
Calyxs pubescence	无	2	46	63.01	
花瓣色泽	白色	1	53	72.60	4.235
Petal colour	淡绿色	2	20	27.40	
	薄	1	14	19.18	4.259
花瓣质地	中	2	58	79.45	
Petal colour	厚	3	1	1.37	
	低	1	35	47.95	4.189
花柱裂位	中	2	32	43.84	
Position of style splittings	高	3	6	8.22	
雌雄蕊相对高度	雌蕊低	1	36	49.32	4.214
Relative height between	等高	2	22	30.14	
gynoecium an androecium	雌蕊高	3	15	20.55	
子房茸毛	无	1	34	46.58	4.237
Ovary pubescence	有	2	39	53.42	
	棕色	1	2	2.74	4.265
种皮色泽	棕褐色	2	44	60.27	
Seed colour	褐色	2	27	36.99	

2.2 保山市代表性古茶树资源数量性状统计分析

变异系数 (CV) 与多样性指数 (H') 是植物多样性分析最常用的两个指标, 变异系数越大, 说明性状离散程度越大, 变异幅度越大; 多样性指数越高, 说明多样性程度越丰富, 种类越多^[29-30]。本研究中, 27 个数量型性状变异系数变幅均较大, 范围在 7.88% ~ 153.13% 之间, 均值为 41.05%, 除水浸出物 (7.88%) 和叶片长宽比 (8.86%) 2 个性状变异系数小于 10%, 其它性状变异系数均大于 10%, 其中, 简单儿茶素和酚氨比变异系数最大, 分别为 153.13% 和 109.66%, 其次是果皮厚度、表儿茶素、表没食子茶素和儿茶素品质指数, 变异系数分别为 85%、77.03%、65.84% 和 62.38%; 27 个数量性状遗传多样性指数 (H') 范围在 3.545 ~ 4.287 之间 (表 3), 均值为 4.187, 其中水浸出物和叶片长宽比遗传多样性指数最大, 分别为 4.287 和 4.286, 其次是茶多酚和萼片数, 遗传多样性指数分别为 4.277 和 4.275, 其余 17 个数量性状遗传多样性指数介于 3.545 ~ 4.271 之间。从表 3 还可以看出, 除叶片长宽比、萼片数、柱头开裂数、氨基酸、咖啡碱和儿茶素总量 6 个数量性状偏度值为负, 其它性状偏度值均大于 0; 27 个数量性状峰度值范围在 -1.76 ~ 54.28 之间, 其中酚氨比、果皮厚度 2 个性状峰度值较大, 分别为 54.28 和 24.96, 以上结果表明, 保山市代表性古茶树资源具有极为丰富的表型变异和多样性。

表 3 保山市代表性古茶树资源数量性状变异和多样性

Table 3 Variation and diversity of quantitative traits for Baoshan representative ancient tea plant resources

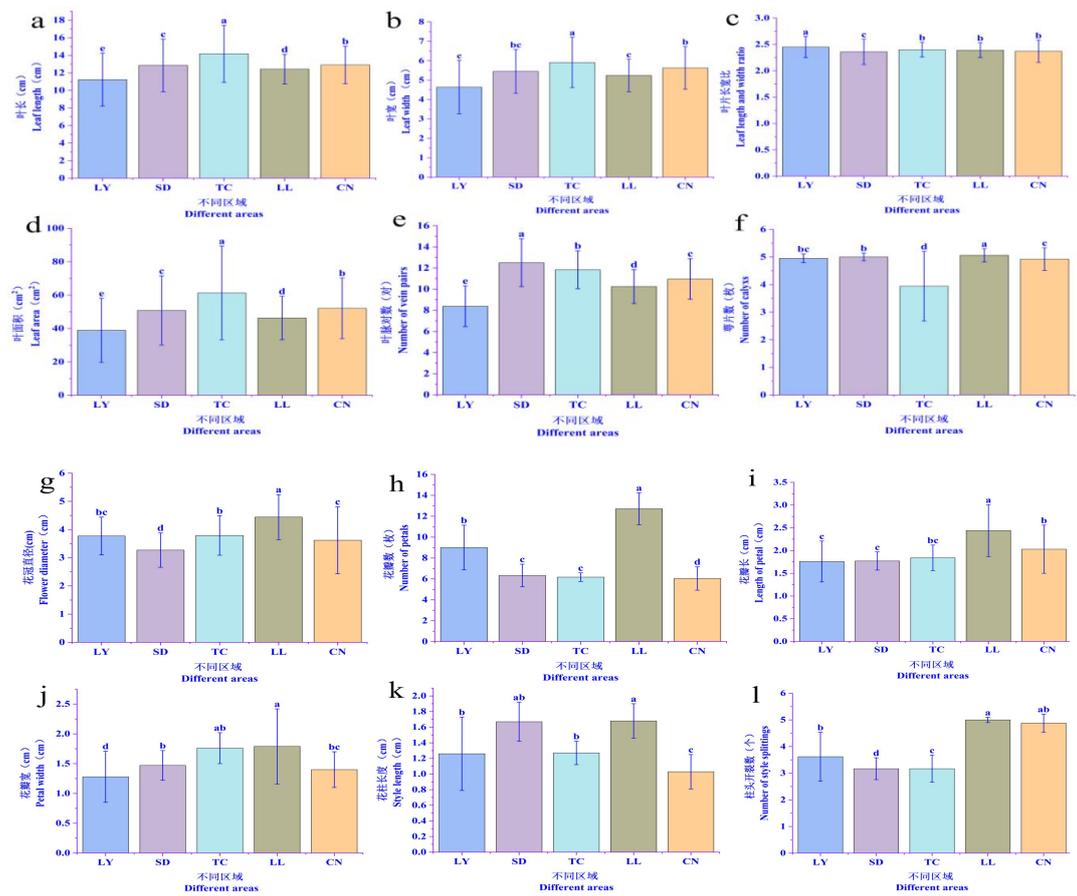
性状 Characteristic	最小值 Min.	最大值 Max.	变异幅度 Range	平均值±标准差 Mean ± SD	偏度 Skewness	锋度 Kurosis	变异系数 (%) CV	遗传多样性指数 H'
叶长 (cm) Leaf length	6.31	21.60	15.29	12.91±2.62	0.64	1.52	20.29	4.270
叶宽 (cm) Leaf width	2.65	8.90	6.25	5.48±1.17	1.36	0.72	21.35	4.268
叶片长宽比 Ratio of leaf length to width	1.69	2.77	1.69	2.37±0.21	-0.31	0.52	8.86	4.286
叶面积 (cm ²) leaf area	11.71	134.57	122.86	51.46±21.06	1.24	2.81	40.92	4.213
叶脉对数 Number of vein pairs	5.00	16.00	11.00	10.85±2.11	0.20	0.47	19.45	4.271
萼片数 (枚) Number of calyxes	3.00	7.00	4.00	4.73±0.80	-1.11	1.59	16.91	4.275
花冠直径 (cm) Flower diameter	2.00	5.80	3.80	3.88±0.83	0.38	0.10	21.39	4.268
花瓣数 (枚) Number of petals	5.00	15.00	10.00	8.00±3.04	0.99	-0.32	38.00	4.225
花瓣长 (cm) Petal length	1.28	4.10	2.82	2.03±0.51	1.65	4.10	25.12	4.261
花瓣宽 (cm) Petal width	0.68	2.90	2.22	1.57±0.44	0.88	1.34	28.03	4.252
花柱长度 (cm) Style length	0.60	2.20	1.60	1.32±0.36	0.28	-0.36	27.27	4.254
柱头开裂数(个) Number of style splittings	3.00	5.00	2.00	4.20±0.94	-0.43	-1.76	22.38	4.264
果皮厚度 (cm) Thickness of carpodermis	0.10	1.30	1.20	0.20±0.17	4.59	24.96	85.00	4.111
水浸出物 (%) Water extract	42.61	58.33	15.72	49.12±3.87	0.34	-0.57	7.88	4.287
茶多酚 (%) Tea polyphenols	13.39	36.87	23.48	20.84±3.53	1.22	4.71	16.94	4.277
氨基酸 (mg/g) Amino acid	0.39	8.17	7.78	4.59±1.54	-0.07	-0.29	33.55	4.230
咖啡碱 (mg/g) Caffeine	0.81	4.63	3.82	3.42±0.66	-0.91	2.43	19.30	4.270
简单儿茶素(mg/g) Simple catechin	0.00	53.68	53.68	4.95±7.58	4.23	24.08	153.13	3.545
表儿茶素 (mg/g) Epi-catechin	2.80	96.62	93.82	21.51±16.57	2.18	6.00	77.03	4.057
表没食子儿茶素 (mg/g) Epi-gallo-catechin	0.00	98.31	98.31	34.25±22.55	0.52	-0.54	65.84	4.065
In 6 表儿茶素没食子酸酯(mg/g) Epi-catechin-gallo	2.26	74.65	72.39	35.83±15.35	0.16	-0.58	42.84	4.194
表没食子儿茶素没食子酸酯 (mg/g) Epi-gallo-catechin-gallate	1.43	129.23	127.80	51.05±15.35	1.05	0.85	48.15	4.181
儿茶素总量 (%) Total catechins	6.69	23.45	16.76	14.72±3.53	-0.15	-0.23	23.98	4.261
酚氨比 (%) Ratio of polyphenol to amino acid	2.24	55.77	53.53	5.80±6.36	6.93	54.28	109.66	4.047
酯型儿茶素(mg/g) Ester catechins	26.48	154.09	127.61	86.88±23.25	0.21	0.39	26.76	4.183
非酯型儿茶素(mg/g) Non-ester catechins	6.64	140.62	133.98	60.72±27.95	0.49	-0.29	46.03	4.254
儿茶素品质指数 Catechins quality index	1.03	11.72	10.69	3.03±1.89	2.11	5.84	62.38	3.978

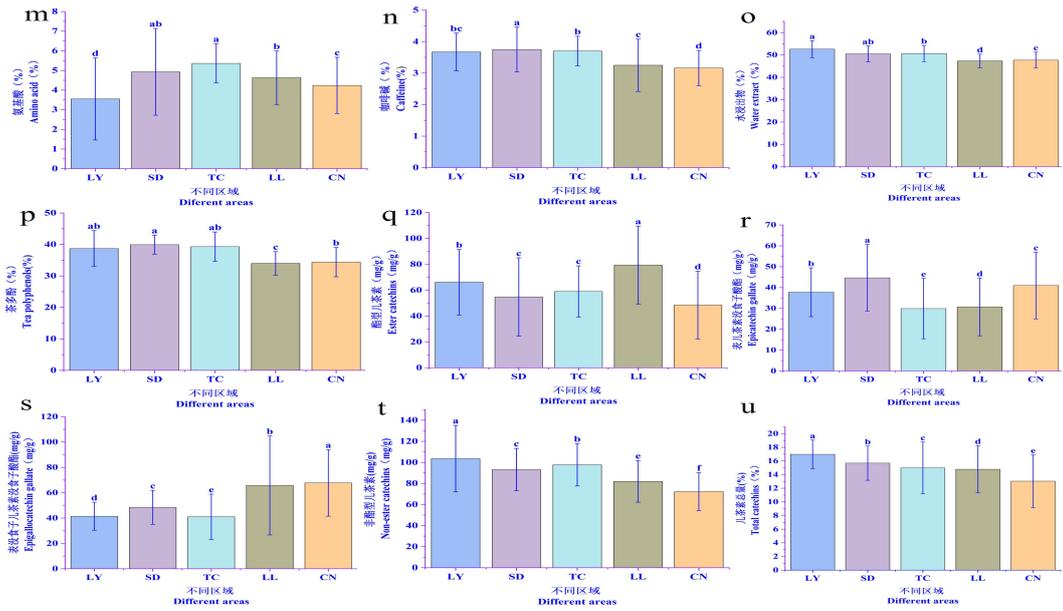
2.3 保山市不同区域代表性古茶树数量性状比较分析

图 2 列出了保山市 73 份代表性古茶树资源区域间有差异的 21 个数量性状, 从图 2 可看出, 21 个数量性状间, 不同区域代表性古茶树叶长、叶面积、叶脉对数、氨基酸、表儿茶素没食子酸酯、表没食子儿茶素没食子酸酯、非酯型儿茶素和儿茶素总量 8 个性状差异最显著, 各性状区域间差异总体表现为: 叶长和叶面积区域间差异相同, 总体表现为 TC>CN>SD>LL>LY, 可以看出, 是叶长因子起了决定性作用; 其余 6 个性状区域间差异总体表现为: 叶脉对数 SD>TC>CN>LL>LY, 氨基酸 TC>SD>LL>CN>LY, 表儿茶素没食子酸酯 SD>LY>CN>LL>TC, 表没食子儿茶素没食子酸酯 CN>LL>SD>LY>TC, 非酯型儿茶素

LY>TC>SD>LL>CN, 儿茶素总量 LY>SD>TC>LL>CN; 其次是叶宽、萼片数、花冠直径、花瓣长、柱头开裂数和咖啡碱 6 个性状, 各性状区域间差异总体表现为: 叶宽 TC>CN>SD>>LL>LY, 萼片数 LL>SD>LY>CN>TC, 花冠直径 LL>TC>LY>CN>SD, 花瓣长 LL>CN>TC>LY>SD, 柱头开裂数 LL>CN>LY>SD>TC, 咖啡碱 SD>TC>LY>LL>CN; 花瓣数、花瓣宽、花柱长度、茶多酚和酯型儿茶素 5 个性状区域间差异相对较小, 各性状区域间差异总体表现为花瓣数 LL>LY>CN>SD>TC, 花瓣宽 LL>TC>SD>CN>LY, 花柱长度 SD>LL>TC>LY>CN, 茶多酚 LY>SD>CN>LL>TC, 酯型儿茶素 LL>LY>TC>SD>CN; 叶片长宽比和水浸出物 2 个性状区域间差异最小, 各性状区域间差异总体表现为: 叶片长宽比 LY>TC>LL>CN>SD, 水浸出物 LY>SD>TC>CN>LL。

以上研究结果表明, 可能是受地理环境(海拔、气候等因素)、茶树品种和种质适应性选择变异的影响, 保山市不同区域茶树资源表型性状和生化组分存在一定差异。





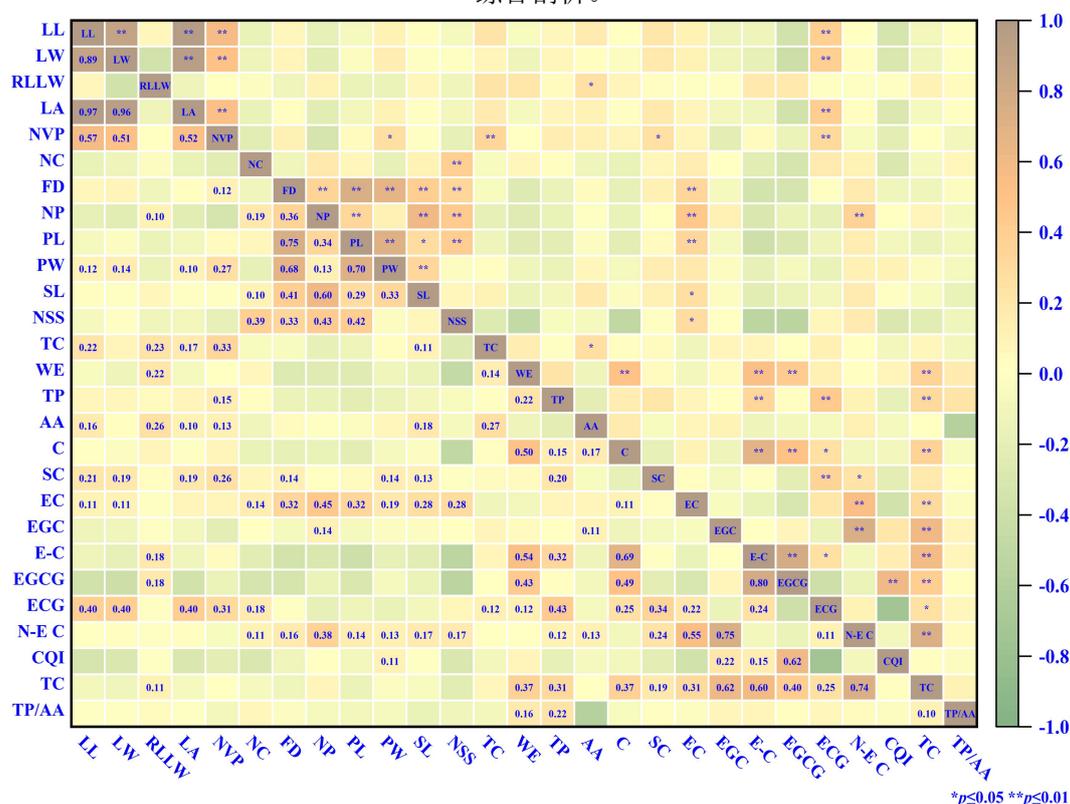
Y: 隆阳区; SD: 施甸县; TC: 腾冲市; LL: 龙陵县; CN: 昌宁县; 不同字母表示在 $P < 0.5$ 水平上差异显著, 字母相同表示相互差异不显著
 LY: Longyang District; SD: Shidian county; TC: Tengchong City; LL: Longling County; CN: Changning County; Different letters on the top of the histogram represent significantly different at $P < 0.5$ level, the difference among populations with same letter is not significant

图 2 保山市不同区域代表性古茶树数量性状比较分析

Fig. 2 Comparative analysis of quantitative traits of representative ancient tea plants in different regions in Baosha

2.4 保山市代表性古茶树资源数量性状的相关性分析

性状的相关性可以通过对一种性状的选择间接达到选择另一种性状的效果,从而可以提高选择效率,加快育种进程^[31]。73份古茶树资源数量性状相关性分析显示(图3),27个数量性状间大多存在显著或极显著关系,其中呈显著相关($P \leq 0.05$)的有82对,呈极显著相关($P \leq 0.01$)的有65对。呈显著正相关的有46对,呈显著负相关的有36对;呈极显著正相关的有31对,呈极显著负相关的有34对。各性状间正相关性系数排名前十的为叶长*叶面积(0.97) > 叶宽*叶面积(0.96) > 叶长*叶宽(0.89) > 表没食子儿茶素没食子酸酯*酯型儿茶素(0.80) > 花瓣长*花冠直径(0.75) > 儿茶素总量*非酯型儿茶素(0.74) > 花瓣长*花瓣宽(0.70) > 咖啡碱*酯型儿茶素(0.69) > 花瓣宽*花冠直径*(0.68) > 儿茶素品质指数*表没食子儿茶素没食子酸酯(0.62),负相关性系数排名前十的为儿茶素品质指数*表没食子儿茶素(-0.75)、氨基酸*氮氮比(-0.59)、表没食子儿茶素没食子酸酯*柱头开裂数(-0.55)、酯型儿茶素*柱头开裂数(-0.53)、咖啡碱*柱头开裂数(-0.49)、水浸出物*柱头开裂数(-0.48)、叶宽*表没食子儿茶素没食子酸酯(-0.42)、表儿茶素没食子酸酯*表没食子儿茶素没食子酸酯(-0.40)、花瓣长*酯型儿茶素(-0.39)、叶长*表没食子儿茶素没食子酸酯(-0.38)。可以看出,大部分性状间呈现显著或极显著相关性,各性状间关系密切且复杂,并且一些表型性状与生化组分间也表现出一定的相关性。以上分析可以说明保山市代表性古茶树资源各性状间是相互影响、相互制约的,在种质创新利用时应进行综合剖析。



LL: 叶长; LW: 叶宽; RLLW: 叶片长宽比; LA: 叶面积; NVP: 叶脉对数; NC: 萼片数; FD: 花冠直径; NP: 花瓣数; PL: 花瓣长; PW: 花瓣宽; SL: 花柱长度; NSS: 柱头开裂数; TC: 果皮厚度; WE: 水浸出物; TP: 茶多酚; AA: 氨基酸; C: 咖啡碱; SC: 简单儿茶素; EC: 表儿茶素; EGC: 表没食子儿茶素; E-C: 酯型儿茶素; EGCG: 表没食子儿茶素没食子酸酯; ECG: 表儿茶素没食子酸酯; N-EC: 非酯型儿茶素; CQI: 儿茶素品质指数; TC: 儿茶素总量; TP/AA: 酚氮比; *: 在 $P \leq 0.05$ 水平上显著相关, **: 在 $p \leq 0.01$ 水平上极显著相关

LL: Leaf length; LW: Leaf width; RLLW: Ratio of leaf length to width; LA: leaf area; NVP: Number of vein pairs; NC: Number of calyxes; FD: Flower diameter; NP: Number of petals; PL: Petal length; PW: Petal width; SL: Style length; NSS: Number of style splittings; TC: Thickness of carpodermis; WE: Water extract; TP: Tea polyphenols; AA: Amino acid; C: Caffeine; SC: Simple catechin; EC: Epi-catechin; EGC: Epi-gallo-catechin; ECG: Epi-catechin-gallo; EGCG: Epi-gallo-catechin-gallate; TC: Total catechins; TP/AA: Ratio of polyphenol to amino acid; E-C: Ester catechins; N-EC: Non-ester catechins; CQI: Catechins quality index; *: Significantly correlated

at the $P \leq 0.05$ level, **: Extremely significantly correlated at the $P \leq 0.01$ level

图3 保山市代表性古茶树资源数量性状的相关分析

Fig. 3 Quantitative traits correlation analysis of representative ancient tea plant resources in Baoshan

2.5 保山市代表性古茶树资源主成分分析

主成分分析能够将多个变量化为少数几个指标,从而简化分析过程,更好地描述总体变异构成特征^[32-33]。按照 95 %置信区间对 73 份资源的 27 个数量性状进行主成分分析,以特征值大于 1 为标准提取主成分显示,27 个主成分中前 6 个主成分累积贡献率达 68.42 % (表 4),代表了原始变量三分之二以上的信息,各主成分较好地体现了性状间的关系。第一主成分特征值和方差贡献率最大,分别为 4.962 %和 18.379 %,占主导地位,但累计贡献率最低,可能的原因是 27 个数量性状包含了叶片因子、茶树花因子、果实因子和生化组分因子,这些因子间差异较大,线性关系较少(图 4)。

第一主成分特征值为 4.962,方差贡献率为 18.379,表没食子儿茶素没食子酸酯(0.384)、花冠直径(0.283)、柱头开裂数(0.274)和花瓣长(0.267)有相对较高的正向载荷、酯型儿茶素有相对较高的负向载荷(-0.350),说明第一主成分是酯型儿茶素和茶树花的综合反映,第一主成分为生化组分因子和茶树花因子;第二主成分特征值为 4.221,方差贡献率为 15.634 %,叶面积(0.382)、叶长(0.380)、叶宽(0.427)、表儿茶素没食子酸酯(0.326)和叶脉对数(0.317)绝对值均大于其它性状,说明第二主成分由叶面积、叶长、叶宽、表儿茶素没食子酸酯和叶脉对数组成,第二主成分为茶树叶片因子和生化组分因子;第三主成分特征值为 3.041,方差贡献率为 11.263 %,儿茶素总量(0.499)、非酯型儿茶素(0.495)和表儿茶素(0.334)系数明显大于其它性状,第三主成分为儿茶素组分因子;第四主成分特征值为 2.539,方差贡献率为 9.405 %,花瓣宽(0.406)正向载荷值明显高于其他性状,萼片数(-0.364)负向载荷值明显高于其他形状,说明第四主成分是花瓣和萼片数的综合反映,第四主成分为茶树花因子;第五主成分特征值为 1.883,方差贡献率为 6.974 %,主要性状为花瓣长(0.309)、花瓣宽(0.305)载荷值明显高于其他性状,氨基酸(-0.464)和表没食子儿茶素(-0.329)具有相对较高的负向载荷值,第五主成分主要反映的是茶树花因子和生化组分因子;第六主成分特征值为 1.827,方差贡献率为 6.765 %,叶片长宽比(0.312)和儿茶素(0.316)有相对较高的正向载荷,表没食子儿茶素(-0.412)和儿茶素品质指数(-0.312)具有相对较高的负向载荷,说明第六主成分是叶片长宽比、表没食子儿茶素和儿茶素品质指数的综合反应,第六主成分为叶片因子和儿茶素组分因子。

表 4 73 份古茶树资源数量性状主成分分析

Table 4 Principal components analysis of quantitative traits in 73 accession ancient tea plants resources

性状 Traits	主成分特征向量 Eigenvector of the principal component					
	PC ₁	PC ₂	PC ₃	PC ₄	PC ₅	PC ₆
	叶长 Leaf length	0.19	0.38	-0.053	0.104	-0.101
叶宽 Leaf width	0.215	0.355	-0.074	0.055	-0.018	-0.229
叶片长宽比 Ratio of leaf length to width	-0.106	0.004	0.081	0.056	-0.179	0.312
叶面积 leaf area	0.184	0.382	-0.055	0.083	-0.086	-0.173
叶脉对数 Number of vein pairs	0.107	0.317	-0.319	0.207	0.071	0.017
萼片数 Number of calyxes	0.088	0.091	0.084	-0.364	-0.059	0.175
花冠直径 Flower diameter	0.283	0.11	0.095	0.242	0.286	0.033
花瓣数 Number of petals	0.163	0.264	0.237	0.02	-0.027	0.115
花瓣长 Petal length	0.267	-0.179	0.07	0.188	0.31	0.028
花瓣宽 Petal width	0.187	-0.053	0.061	0.406	0.305	-0.083
花柱长度 Style length	0.17	-0.111	0.149	0.214	0.004	0.219

柱头开裂数 Number of style splittings	0.274	-0.181	0.029	-0.266	-0.046	0.034
果皮厚度 Thickness of carpodermis	-0.021	0.156	0.022	0.182	-0.246	0.115
水浸出物 Water extrac	-0.256	0.128	0.147	0.015	0.143	0.096
茶多酚 Tea polyphenols	-0.074	0.181	0.188	-0.204	0.192	0.001
氨基酸 Amino acid	0.054	0.031	0.026	0.284	-0.464	0.284
咖啡碱 Caffein	-0.225	0.164	0.136	0.146	0.146	0.316
简单儿茶素 Caffein	0.104	0.138	0.151	-0.037	0.106	-0.048
表儿茶素 Epi-catechin	0.196	-0.002	0.334	-0.002	0.067	0.176
表没食子儿茶素 Epi-gallo-catechin	-0.061	-0.087	0.317	0.027	-0.329	-0.412
表儿茶素没食子酸酯 Epi-catechin-gallo	0.084	0.326	0.177	-0.254	0.098	0.198
表没食子儿茶素没食子酸酯 Epi-gallo-catechin-gallate	0.384	-0.06	0.036	0.222	0.111	-0.03
儿茶素总量 Total catechins	-0.163	0.075	0.499	0.05	-0.033	-0.134
酚氨比 Ratio of polyphenol to amino acid	-0.067	0.031	0.06	-0.227	0.305	-0.284
酯型儿茶素 Ester catechins	-0.35	152	0.155	0.067	0.182	0.099
非酯型儿茶素 Non-ester catechins	0.095	-0.034	0.495	0.01	-0.197	-0.241
儿茶素品质指数 Catechins quality index	-0.202	-0.207	-0.112	0.27	-0.02	-0.312
特征值 Eigenvalue	4.962	4.221	3.041	2.539	1.883	1.827
方差贡献率 Variance contribution rate	18.379	15.634	11.263	9.405	6.974	6.765
累计贡献率 Accumulative contribution	18.379	34.013	45.275	54.681	61.654	68.419

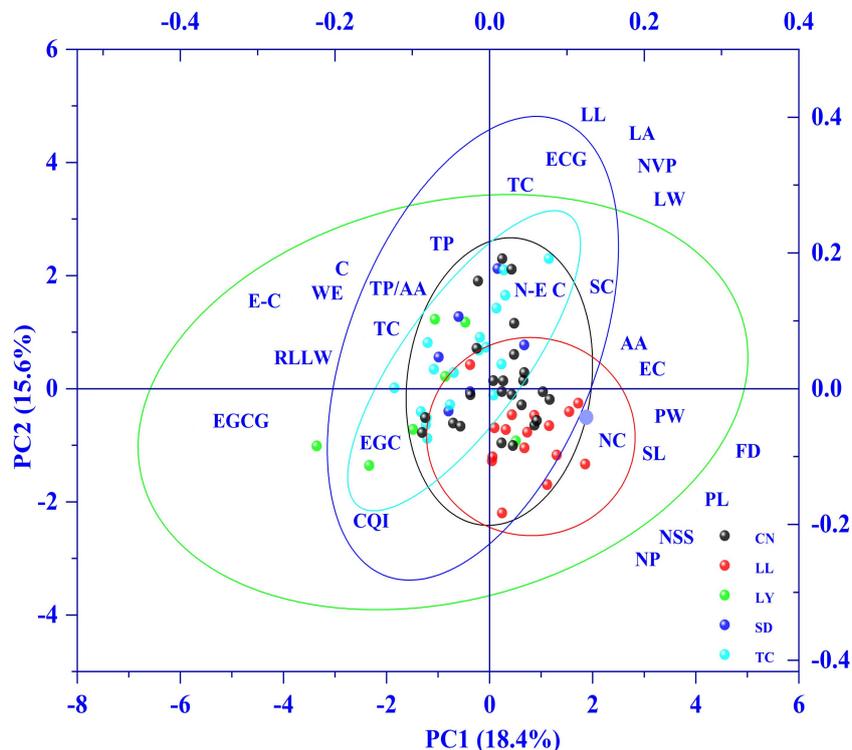


图4 保山市代表性古茶树资源数量性状主成分分析双标图

Fig. 4 Double plot of Principal component analysis of quantitative traits of representative ancient tea plants resources in Baoshan

2.6 保山市代表性古茶树资源聚类分析

聚类分析是研究作物种质资源亲缘关系及起源的常用手段,可以直观体现种质个体间相

关性的分类^[34]。本研究基于 27 个数量性状进行聚类分析，73 份代表性古茶树资源被分为 5 类（图 5），同时对不同类群资源数量型性状做了比较分析（表 5）。

第I类群包含 51 份资源，占样本总量的 69.86%，主要特点是茶多酚总体含量较高，平均值为 21.00，各性状遗传多样性指数均较高（均值为 3.84），酚氨比均值为 6.12，属适制绿茶类型资源。

第II类群包含 14 份资源，占样本总量的 19.18%，主要特点是咖啡碱、表没食子儿茶素没食子酸酯（EGCG）和酯型儿茶素含量普遍较高，平均值分别为 3.90、92.85 和 115.18，叶宽、萼片数、简单儿茶素指数总体偏低，平均值分别为 4.50、4.14 和 2.17，酚氨比均值为 4.92，属适制绿茶类型资源。

第III类群包含 24 号、25 号、26 号和 71 号 4 份资源，占样本总量的 5.48%，主要特点是叶长、叶宽、叶面积、叶脉对数、果皮厚度、表儿茶素没食子酸酯、儿茶素总量指数普遍较高，平均值分别为 18.33、8.15、104.72、12.50、0.28、54.25、18.62，花瓣数、花瓣长、花瓣宽、花柱长度总体偏低，平均值分别为 5.50、1.70、1.50、1.22，酚氨比（TP/AA）均值为 8.56，属红茶和绿茶兼制型资源。

第IV类群包含 8 号、35 号和 39 号 3 份资源，占样本总量的 4.11%，主要特点是花冠直径、花瓣数、花瓣长、花瓣宽、花柱长度、氨基酸、表儿茶素、表没食子儿茶素和非酯型儿茶素指数普遍较高，平均值分别为 5.37、12.33、2.90、1.95、1.83、5.60、75.58、12.99、95.28，酚氨比均值为 3.86，属适制绿茶类型资源。

第V类群包含 46 号 1 份资源，占样本总量的 1.37%，主要特点是简单儿茶素（2.8 mg/g）、表儿茶素没食子酸酯（2.26 mg/g）和酯型儿茶素（26.48 mg/g）含量偏低，儿茶素品质指数最高（11.72），酚氨比均值为 8.56，属红茶和绿茶兼制型资源。

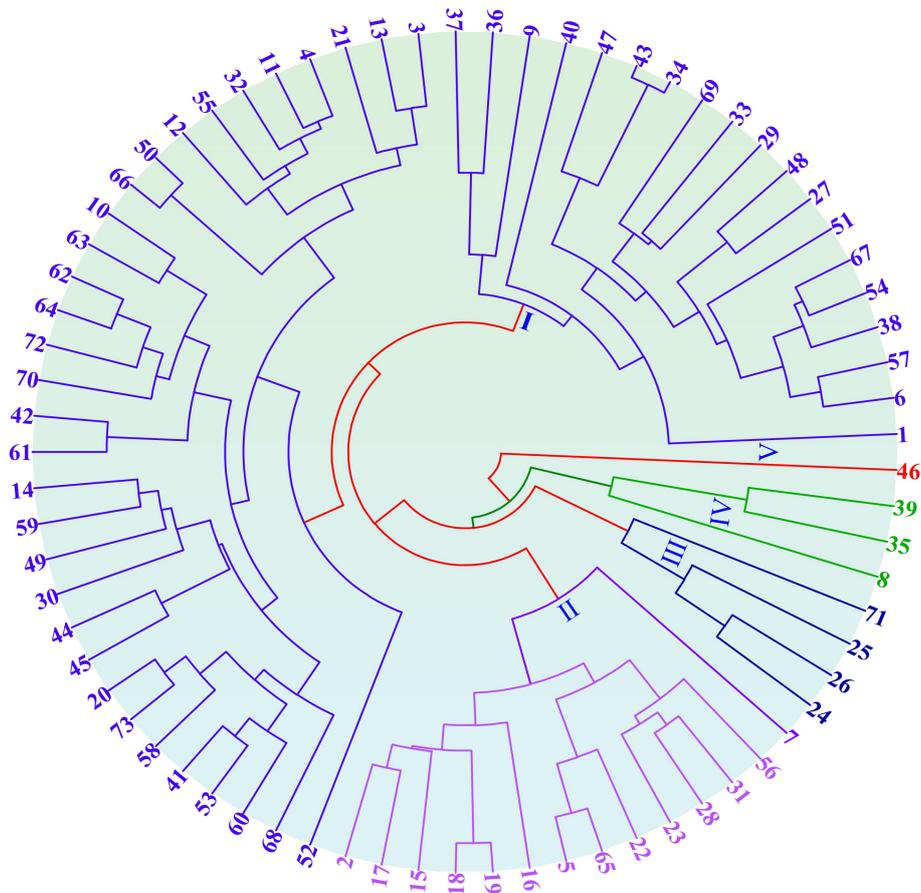


图 5 73 份古茶树资源数量性状聚类分析图

Fig. 5 Clustering analysis of quantitative traits of 73 representative ancient tea plant resources

表 5 保山市代表性古茶树不同类群数量形状的变异和多样性

Table 5 Variation and diversity of quantitative traits of different groups of representative ancient tea plants in Baoshan

性状 Traits	项目 Items	种质类群 Germplasm group				
		I	II	III	IV	V
叶长 (cm) LL	最大值 max.	19.10	14.60	21.60	13.85	13.40
	最小值 min.	9.00	6.31	14.20	12.16	13.40
	平均值 mean	13.07	10.73	18.33	13.14	13.40
	变异系数 (%) CV	0.16	0.21	0.17	0.07	—
	多样性指数 (H')	3.92	2.62	1.38	1.10	—
叶宽 (cm) LW	最大值 max.	7.60	6.10	8.90	5.78	6.59
	最小值 min.	3.90	2.65	7.30	5.28	6.59
	平均值 mean	5.52	4.50	8.15	5.51	6.59
	变异系数 (%) CV	0.16	0.23	0.08	0.05	—
	多样性指数 (H')	3.92	2.61	1.38	1.10	—
叶面积 (cm ²) LA	最大值 max.	94.93	62.34	134.57	56.04	61.81
	最小值 min.	25.52	11.71	83.50	44.94	61.81
	平均值 mean	51.57	35.28	104.72	50.76	61.81
	变异系数 (%) CV	0.31	0.42	0.21	0.11	—
	多样性指数 (H')	3.89	2.56	1.37	1.09	—
叶脉对数 NVP	最大值 max.	16.00	13.00	16.00	13.00	9.00
	最小值 min.	7.00	5.00	11.00	9.00	9.00
	平均值 mean	11.00	10.00	12.50	10.67	9.00
	变异系数 (%) CV	0.18	0.23	0.19	0.20	—
	多样性指数 (H')	3.92	2.61	1.37	1.09	—
萼片数 NC	最大值 max.	6.00	7.00	5.00	5.00	5.00
	最小值 min.	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00
	平均值 mean	4.90	4.14	4.25	5.00	5.00
	变异系数 (%) CV	0.11	0.31	0.23	0.00	—
	多样性指数 (H')	3.93	2.60	1.37	1.10	—
花冠直径 (cm) FD	最大值 max.	5.80	5.30	3.80	5.80	4.00
	最小值 min.	2.40	2.00	2.83	4.80	4.00
	平均值 mean	3.93	3.48	3.43	5.37	4.00
	变异系数 (%) CV	0.19	0.27	0.12	0.10	—
	多样性指数 (H')	3.91	2.61	1.38	1.10	—
花瓣数 NP	最大值 max.	15.00	10.00	7.00	13.00	11.00
	最小值 min.	5.00	5.00	5.00	12.00	11.00
	平均值 mean	8.18	6.93	5.50	12.33	11.00
	变异系数 (%) CV	0.40	0.20	0.18	0.05	—
	多样性指数 (H')	3.86	2.62	1.37	1.10	—
花瓣长 (cm) PL	最大值 max.	4.10	2.30	2.00	3.80	2.30
	最小值 min.	4.10	2.30	2.00	3.80	2.30

	平均值 mean	2.08	1.73	1.70	2.90	2.30
	变异系数 (%) CV	0.24	0.18	0.14	0.28	—
	多样性指数 (H')	3.91	2.62	1.38	1.07	—
	最大值 max.	2.90	2.20	1.80	2.90	1.70
	最小值 min.	0.90	0.68	1.10	1.06	1.70
花瓣宽 (cm)	平均值 mean	1.56	1.55	1.50	1.95	1.70
PW	变异系数 (%) CV	0.27	0.30	0.20	0.47	—
	多样性指数 (H')	3.90	2.59	1.37	1.02	—
	最大值 max.	2.20	1.50	1.30	2.00	1.60
	最小值 min.	0.60	0.90	0.97	1.50	1.60
花柱长度 (cm)	平均值 mean	1.32	1.23	1.22	1.83	1.60
SL	变异系数 (%) CV	0.29	0.15	0.14	0.16	—
	多样性指数 (H')	3.89	2.63	1.38	1.09	—
	最大值 max.	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
	最小值 min.	3.00	3.00	3.00	5.00	5.00
柱头开裂数	平均值 mean	4.43	3.29	3.75	5.00	5.00
NSS	变异系数 (%) CV	0.20	0.19	0.26	0.00	—
	多样性指数 (H')	3.91	2.62	1.36	1.10	—
	最大值 max.	1.30	0.33	0.40	0.18	0.11
	最小值 min.	0.10	0.10	0.10	0.15	0.11
果皮厚度(cm)	平均值 mean	0.23	0.22	0.28	0.16	0.11
TC	变异系数 (%) CV	0.87	0.37	0.46	0.11	—
	多样性指数 (H')	3.71	2.57	1.29	1.09	—
	最大值 max.	36.87	23.95	24.97	22.71	20.28
	最小值 min.	13.39	16.04	18.68	17.53	20.28
茶多酚 (%)	平均值 mean	21.00	20.51	20.94	19.79	20.28
TP	变异系数 (%) CV	0.19	0.13	0.13	0.13	—
	多样性指数 (H')	3.92	2.63	1.38	1.09	—
	最大值 max.	8.17	6.56	7.09	7.84	2.37
	最小值 min.	0.39	2.10	2.20	4.38	2.37
氨基酸 (mg/g)	平均值 mean	4.47	4.79	5.16	5.60	2.37
AA	变异系数 (%) CV	0.33	0.32	0.41	0.35	—
	多样性指数 (H')	3.87	2.59	1.31	1.06	—
	最大值 max.	4.63	4.37	4.29	4.10	0.81
	最小值 min.	1.73	3.16	3.18	3.21	0.81
咖啡碱(mg/g)	平均值 mean	3.30	3.90	3.70	3.59	0.81
C	变异系数 (%) CV	0.18	0.09	0.14	0.13	—
	多样性指数 (H')	3.92	2.64	1.38	1.09	—
	最大值 max.	53.68	4.79	8.19	20.10	9.92
	最小值 min.	0.00	0.00	5.34	0.00	9.92
简单儿茶素(mg/g)	平均值 mean	5.37	2.17	6.67	6.70	9.92
SC	变异系数 (%) CV	1.59	0.76	0.18	1.73	—
	多样性指数 (H')	3.14	2.25	1.37	0.00	—
表儿茶素(mg/g)	最大值 max.	64.31	14.64	27.20	96.62	2.80

EC	最小值 min.	4.19	7.66	17.67	62.35	2.80
	平均值 mean	21.60	10.72	22.28	75.58	2.80
	变异系数 (%) CV	0.59	0.21	0.22	0.24	—
	多样性指数 (H')	3.77	2.62	1.37	1.08	—
	最大值 max.	98.31	53.93	73.75	35.09	78.24
表没食子儿茶素 (mg/g)	最小值 min.	0.00	14.89	42.86	0.00	78.24
	平均值 mean	31.90	36.43	61.54	12.99	78.24
EGC	变异系数 (%) CV	0.72	0.38	0.22	1.48	—
	多样性指数 (H')	3.68	2.57	1.37	0.32	—
	最大值 max.	116.34	154.09	125.37	79.13	26.48
酯型儿茶素(mg/g)	最小值 min.	36.89	88.82	80.52	44.75	26.48
	平均值 mean	80.76	115.18	95.74	67.09	26.48
E-C	变异系数 (%) CV	0.21	0.16	0.22	0.29	—
	多样性指数 (H')	3.91	2.63	1.37	1.07	—
	最大值 max.	71.91	129.23	54.30	41.69	24.22
表没食子儿茶素没食 子酸酯(mg/g)	最小值 min.	18.25	72.73	30.08	1.43	24.22
	平均值 mean	42.25	92.85	41.48	27.19	24.22
EGCG	变异系数 (%) CV	0.29	0.17	0.31	0.82	—
	多样性指数 (H')	3.89	2.63	1.35	0.77	—
	最大值 max.	67.32	31.74	74.65	43.32	2.26
表儿茶素没食子酸酯 (mg/g)	最小值 min.	10.51	12.19	41.85	37.44	2.26
	平均值 mean	38.51	22.33	54.25	39.90	2.26
ECG	变异系数 (%) CV	0.38	0.24	0.26	0.08	—
	多样性指数 (H')	3.86	2.61	1.36	1.10	—
	最大值 max.	140.62	71.88	109.14	117.54	90.96
非酯型儿茶素(mg/g)	最小值 min.	6.64	25.87	75.39	71.67	90.96
	平均值 mean	58.88	49.32	90.48	95.28	90.96
N-E-C	变异系数(%) CV	0.49	0.30	0.16	0.24	—
	多样性指数 (H')	3.81	2.59	1.38	1.08	—
	最大值 max.	5.70	8.07	2.30	2.11	11.72
儿茶素品质指数 CQI	最小值 min.	1.35	4.29	1.60	1.03	11.72
	平均值 mean	2.38	5.40	1.80	1.71	11.72
儿茶素总量 (%)	变异系数 (%) CV	0.40	0.25	0.19	0.35	—
	多样性指数 (H')	3.86	2.61	1.37	1.06	—
	最大值 max.	20.97	21.63	23.45	17.40	11.74
TC	最小值 min.	6.69	12.46	15.59	15.08	11.74
	平均值 mean	13.90	16.45	18.62	16.24	11.74
TC	变异系数(%) CV	0.25	0.16	0.19	0.07	—
	多样性指数 (H')	3.90	2.63	1.37	1.10	—

—表示对应位置无数据

— Indicates that there is no data at the corresponding location

2.7 优异茶树种质资源筛选

生化成分含量和组成是决定茶叶品质的物质基础,携带优异基因的生物资源能带来巨大的经济和社会效益。随着消费的日益多元化和茶叶功能性成分保健功效研究的不断深入,茶多酚、氨基酸等生化组分含量特异的茶树种质资源越来越受到人们的关注,具有广阔的市场

应用前景。因此，发掘和保护优异茶树种质资源的重要性日益凸显。

茶多酚 (Tea Polyphenols) 是茶叶酚类物质及其衍生物的总称，茶叶中多酚类化合物含量一般为干物质总量的 18%~36%^[35]，表现为茶叶的涩味，茶多酚与茶树的生长发育、新陈代谢和茶叶品质密切相关，对人体具有重要的生理活性，具有抗癌、抗衰老、抗辐射、清除人体自由基、降低血糖血脂等一系列药理功能^[36]，在食品加工、医药保健、日用化工等领域应用广泛。一般认为，春茶一芽二叶茶多酚高于 25% 的资源为高茶多酚特异资源^[37-38]，由表 6 可以看出，茶多酚≥25% 的资源有 6 份，为高茶多酚特异茶树资源。

氨基酸 (Amino acid) 是茶叶中一类重要的化学物质，氨基酸总量对茶叶汤色、香气、滋味和叶底等具有重要影响，与茶叶品质成显著正相关^[39-40]。大量研究表明，茶氨酸具有镇静、安神、保护神经、降血压、降血脂、抗肿瘤、肝保护、增强免疫等功能^[41-43]，一般认为茶树一芽二叶氨基酸总量大于 5% 的资源为高氨基酸特异资源^[44]。本研究中，氨基酸含量高于 5% 的资源有 29 份 (表 6)，可作为高氨基酸特异茶树资源开发利用。

咖啡碱 (Caffeine) 是茶叶的重要呈味物质和特征物之一，约占茶叶干物质含量的 3%~5%，是影响茶叶品质的一个重要因素^[45]。人们通过饮茶能够摄取较多的咖啡碱^[46]，其具有兴奋神经、祛除疲劳和增加心血管系统疾病等功效^[47]。但是对咖啡碱 (150 mL) 敏感的人群一次性摄取 10 mg 咖啡碱便会引起某些不适症状，因此许多国家已对饮料和食品中的咖啡碱制定了限量规定，中国、日本等将咖啡碱含量低于 1.5% 的茶叶定义为低咖啡碱茶叶^[48-49]。本研究中，咖啡碱含量低于 1.5% 的资源有 1 份 (0.81)，为低咖啡碱特异茶树资源。这些生化成分特异的茶树资源是遗传研究与种质创新的基础，有待进一步跟踪鉴定。

表 6 主要生化成分特异的茶树资源

Table 6 Main biochemical components of rare tea plant germplasm resources

类型	种质名称		
Type	Germplasm name		
高茶多酚资源 (TP > 25%)	大出水古茶树 (26.95%)	德昂 3 好古茶树 (25.50%)	黄家寨 1 号古茶树 (26.49%)
High tea polyphenols resources	松坡古茶树 (25.39%)	镇东古茶树 (36.87%)	黄家寨 2 号古茶树 (25.00%)
	杨桥古茶树 (5.02%)	绕廊 1 号古茶树 (5.97%)	文家塘 4 号古茶树 (6.09%)
	蒲草塘古茶树 (5.69%)	绕廊 2 号古茶树 (5.99%)	劳家山 1 号古茶树 (5.05%)
	桤木窝古茶树 (5.42%)	芭蕉林 1 号古茶树 (5.83%)	猴桥村 2 号古茶树 (5.6%)
	燕寺闷家沟 2 号古茶树 (5.32%)	石佛山 1 号古茶树 (5.88%)	镇东古茶树 (5.29%)
高氨基酸资源 (AA > 5%)	坝外 3 号古茶树 (5.56%)	茶山河 3 号古茶树 (6.49%)	雪山 11 号古茶树 (6.14%)
	文家塘 1 号古茶树 (5.23%)	尖山古茶树 (5.06%)	坡古茶树 (5.14%)
	平地 1 号古茶树 (6.12%)	西山头 2 号古茶树 (6.16%)	茶山河 2 号古茶树 (5.33%)
	淀元 1 号古茶树 (6.05%)	黄井园古茶树 (5.13%)	老纸厂古茶树 (5.26%)
	硝塘古茶树 (5.44%)	茅草地 1 号古茶树 (6.13%)	黄家寨 2 号古茶树 (6.19%)
低咖啡碱资源 (C < 1.5%)	小立色 10 号古茶树 (5.44%)	坝外窝子园古树茶 (5.39%)	
	Low 芹菜塘古茶树 (0.81%)		

caffeine resources

TP: 茶多酚; AA: 氨基酸; C: 咖啡碱; 括号内对应数据分别为茶多酚、氨基酸和咖啡碱含量

TP: Tea Polyphenols; AA: Amino acid; C: Caffeine; The corresponding data in brackets are tea polyphenol content, amino acid content and caffeine content, respectively

3 讨论

种质资源是作物遗传改良和相关基础研究的物质基础,对茶树种质资源表型和生化组分进行调查研究与鉴定评价,既是种质资源研究的首要工作,也是茶树育种的基础性工作。本研究以保山市不同区域的73份代表性古茶树资源为对象,从表型和生化组分视角对73份资源进行了系统分析和评价,为保山市现有古茶树资源的有效开发利用及科学保护提供了理论依据。

3.1 保山市代表性古茶树资源质量性状与数量性状的多样性分析

植物表型受到了植物自身基因型与生长环境的共同作用,是植物生长最直观的表现与植物遗传物质多样性的具体体现,植物表型(质量)性状的描述与鉴定是种质资源研究最基本的方法与途径。对茶树种质资源表型和生化组分进行调查和多样性分析,是种质资源研究的重要手段,也是筛选特异茶树种质资源作为育种材料的前提。变异系数和遗传多样性指数均作为反映作物遗传多样性的重要指标,遗传多样性指数被广泛应用于植物表型与生化成分多样性评价,不仅可以反应变异范围的大小,还能反应基因频率的分布,多样性指数越高,表型性状和生化成分多样性越丰富。变异系数(Coefficient of variation)作为衡量各项观测值变异程度的一个统计量^[50],常用于分析性状的遗传变异程度,一般认为,变异系数大于10%可以代表个体间差异较大^[51]。本研究应用遗传多样性指数和变异系数对73份古茶树资源的23个质量性状和27个数量性状进行综合分析,结果显示,23个质量性状遗传多样性指数变幅在4.135~4.277之间,均值为4.234,远高于黔中地区大茶树15个质量性状的遗传多样性指数^[52](0.42)、广西柳州九万山古茶树13个质量性状的遗传多样性指数^[53](1.06)、贵定鸟王种^[54](1.01)、贵州乔木型茶树^[55](0.67)和陕南茶区群体种^[56](1.1059),说明保山市古茶树质量(表型)性状存在极为广泛的遗传多样性;27个数量性状变异系数介于7.88%~153.13%之间,平均变异系数为41.05%,除水浸出物(7.88%)和叶片长宽比(8.86%)遗传多样性指数小于10%,其它性状变异系数均大于10%,其中简单儿茶素(153.13%)和酚氨比(109.66%)变异系数较大,表明这些性状变异极为丰富。27个数量性状遗传多样性指数(H')范围在3.545~4.287之间,均值为4.187,其中水浸出物(4.287)和叶片长宽比(4.286)遗传多样性指数最大,对保山古茶树资源的表型性状及生化组分进行多样性分析,可以了解不同性状间的遗传差异,有助于筛选出性状优异的茶树种质资源。

3.2 保山市代表性古茶树种质资源数量性状的相关性分析、比较分析、主成分分析与聚类分析

作物农艺性状间往往存在错综复杂的相互关系,相关性分析可以对不同数量性状两组变量间进行相关性研究,实现通过一种性状的选择达到改良另一种性状的效果,这对于不容易鉴定的数量性状显得极为重要,可以为多个数量性状综合选择提供参考。本研究对73份古茶树资源的27个数量性状进行了相关性分析,结果显示:27个数量性状间存在不同程度相关性且绝大部分为显著或极显著相关,其中呈极显著相关($P < 0.01$)的有65对,呈显著相关($P < 0.05$)的有82对,呈极显著正相关的有31对,呈极显著负相关的有34对,呈显著正相关的有46对,呈显著负相关的有36对,并且茶树资源的生化组分与某些表型性状间存在极显著或显著相关性,这与丁帅涛等^[56-57]的研究结果相似,可能是因为不同地理环境和气候条件影响到茶树叶片、芽叶和花果等相关表型性状,并最终在一定程度上影响到水浸出物、氨基酸和咖啡碱等生化组分,该结果说明保山市古茶树资源各性状间相互影响、相互制约,关系密切且复杂,在种质创新利用时应相互考虑、综合剖析。

茶学界普遍认为,云贵高原地区可能是茶树生态演化区域,茶树分布受气候环境、茶树品种和种质适应性选择变异等因素影响,形成了不同分布格局、不同形态性状和不同种质类型的茶树群落^[58-59]。保山市是云南四大茶区之一,气候类型多样,境内分布有7种气候类型,降雨充沛(年均降雨量1000 mm),地形地貌复杂,有山间盆地(坝子)、中低山丘陵、火山熔岩台地、高中山宽谷和中低山峡谷五大主体类型,土壤分布有亚高山草甸土、暗棕壤、

棕壤、黄棕壤、黄壤、红壤、赤红壤、石灰（岩）土、紫色土、冲积土、火山灰土和水稻土 12 种，并具有垂直分布、区域分布和水平分布的特点。本研究对来源于保山市不同区域且海拔介于 1567~2380 m（表 1）的 73 份古茶树资源数量性状比较分析，结果表明：73 份古茶树资源在叶片性状、茶树花性状和生化组分含量间存在一定差异，可能与保山市海拔、地形地貌、土壤和气候等因素有关^[60-62]，有待后续进一步研究。

主成分分析可以用少量的指标最大程度地代表所有指标，同时能够排除由于原指标间的相关关系对分析结果产生的干扰。本研究将 27 个数量性状进行主成分分析，得出前 6 个主成分累计贡献率达 68.42%，说明这 6 个综合指标基本可以代表原始变量的绝大部分信息。第一主成分主要是生化组分因子和茶树花因子，第二主成分主要是叶片相关因子和生化组分因子，第三主成分主要是儿茶素类生化组分因子，前 3 个主成分累积贡献率已达 45.28%，可作为保山市古茶树资源多样性的决定性因素，后续可重点针对性地开展研究，从中选取一些优异资源作为品种改良材料。

聚类分析能较好地实现茶树种质资源间的区分与整理，可以直接体现种质个体间相关性的分类，为保山市古茶树资源的有效利用及优异茶树种质资源的筛选提供依据。本研究基于 27 个数量性状并综合酚氨比值将 73 份古茶树资源聚为五大类，第 I 类群主要特征是茶多酚总体含量较高（均值为 21.00），遗传多样性指数均较高（均值为 3.84），酚氨比值为 6.12，属适制绿茶类型资源；第 II 类群主要特征是咖啡碱、表没食子儿茶素没食子酸酯和酯型儿茶素含量普遍较高，叶宽、萼片数、简单儿茶素指数总体偏低，酚氨比均值为 4.92，属适制绿茶型资源；第 III 类群主要特征是叶长、叶宽、叶面积、叶脉对数、果皮厚度、表儿茶素没食子酸酯儿茶素总量指数普遍较大，花瓣数、花瓣长、花瓣宽和花柱长度指数普遍偏低、酚氨比均值为 8.56，属红绿茶兼制型资源；第 IV 类群主要特征花冠直径、花瓣数、花瓣长、花瓣宽、花柱长度、氨基酸、表儿茶素、表没食子儿茶素和非酯型儿茶素指数普遍较高酚氨比均值为 3.86，属适制绿茶类型资源；第 V 类群主要特征是简单儿茶素、表儿茶素没食子酸酯和酯型儿茶素指数偏低，酚氨比均值为 8.56，属红绿茶兼制型资源。

3.3 保山市代表性古茶树资源鉴定评价与优异种质资源筛选

古茶树种质资源作为国家重要的茶树基因资源库，是西南山区具有标志性的文化特征植物，在上百年的自然生长过程中，逐渐适应了当地特定的自然生态环境，形成了某些特定的优异性状。生化组分含量特异的种质资源是优异茶树新品种选育的重要基础性材料，开展野生资源和稀有资源等基础调查工作，从已有种质资源中筛选挖掘具有某些生化组分含量特异的资源，能够满足生产和育种需求，有助于完善资源交流平台，实现部分茶树种质资源信息共享，提高茶产品高附加值^[63]。

对表型及生化组分特异茶树种质资源的开发利用是培育优良茶树新品种的关键，同时也是解决当前茶树品种同质化严重、地方特色品种缺乏的重要路径。本研究通过综合筛选得到高茶多酚资源 6 份，高氨基酸资源 29 份，低咖啡碱资源 1 份。目前对这些资源的发掘、研究与利用尚有不足之处，与特异茶树相关的主导基因研究力度还不够大，应加强对高 EGCG、高茶氨酸、高茶多糖、高花青素、高 γ -氨基丁酸和低咖啡碱等生化组分特异茶树种质资源的挖掘，开发与之相关的茶叶精深加工新产品，提升其应用价值，降低生产成本，以更好地满足茶产业发展需求。

4 结论

明确了保山市古茶树种质资源表型和生化组分遗传多样性特点，筛选出一批生化成分特异的茶树种质资源，为保山市古茶树资源的充分挖掘与利用、古茶树资源整合与保护，以及茶树核心种质的构建和优良茶树新品种选育提供了科学参考。

参考文献

- [1] Liang Chen, Qi K G, Da M C, Chang J C. The use of RAPD markers for detecting genetic diversity, relationship and molecular identification of Chinese elite tea genetic resources [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] preserved in a tea germplasm repository.

- Biodiversity & Conservation, 2005, 14: 1433-1444.
- [2] Sealy J R. A revision of the genus *Camellia*. London: The Royal Horticultural Society, 1958. 1-239.
- [3] 闵天禄.山茶属茶组植物的订正.云南植物研究, 1992, (02): 115-132.
Min T L. A revision of *Camellia* sect. *Thea*. *Acta Botanica Yunnanica*, 1992(02): 115-132.
- [4] 张宏达.茶叶植物资源的订正.中山大学学报: 自然科学版, 1984(01): 3-14.
Chang H T. A revision of the tea resources plants. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 1984(01): 3-14
- [5] 陈亮,虞富莲,童启庆.关于茶组植物分类与演化的讨论.茶叶科学, 2000(02): 89-94.
Chen L, Yu F L, Tong Q Q. Discussions on Phylogenetic Classification and Evolution of Sect. *Thea*. *Journal of Tea Science*, 2000(02): 89-94
- [6] Wight W. Nomenclature and classification of tea plant. *Nature*, 1959, 183: 1726-1728.
- [7] 宁功伟,杨盛美,宋维希,李友勇,唐一春,赵红艳,刘本英.云南茶树种质资源研究 60 年[J].植物遗传资源学报, 2023, 24(03): 587-598.
Ning G W, Yang S M, Song W X, Li Y Y, Tang Y C, Zhao H Y, Liu B Y. Tea Germplasm Resources Research in Yunnan for 60 Years. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(03): 587-598.
- [8] 张宏达,任善湘.中国植物志.第 49 卷第 3 分册.北京:科学出版社, 1998: 48-91.
Chang H T, Ren S X. *Flora of China*. Volume 49, Part 3. Beijing: Science Press, 1998: 48-91.
- [9] 许玫,王平盛,唐一春,宋维希,矣兵,陈玫.中国云南古茶树群落的分布和多样性.西南农业学报, 2006(01): 123-126.
Xu M, Wang P S, Tang Y C, Song W X, Yi B, Chen M. Studied on the distribution and diversity about ancient tea trees ceno species in Yunan China. *Southwest China. Journal of Agricultural Sciences*, 2006(01): 123-126.
- [10] 何露,闵庆文,袁正.澜沧江中下游古茶树资源、价值及农业文化遗产特征.资源科学, 2011, 33(06): 1060-1065.
He L, Min Q W, Yuan ZH. Resources, Value and Agricultural Heritage Characteristics of the Ancient Tea Plant in the Middle and Lower Reaches of the Lancang River. *Resources Science*, 2011, 33(06): 1060-1065.
- [11] 蒋会兵,唐一春,陈林波,王平盛,蔡新,王兴华,李崇兴,江鸿键,王本忠,段学良,李静,何月波,王东,李少峰,卜保国.云南省古茶树资源调查与分析.植物遗传资源学报, 2020, 21(02): 296-307.
Jiang H B, Tang Y C, Chen L B, Wang P S, Cai X, Yu F L, Yang L X, Wang X H, Li Ch X, Jiang H J, Wang B Z, Duan X L, Li J, He Y B, Wang D, Li S F, Bu B G. Survey and Analysis of Ancient Tea Plant Resources in Yunnan Province. *China. Journal of Plant Genetic Resources*, 2020, 21(02): 296-307.
- [12] 段学良.保山古茶树资源.昆明:云南科技出版社, 2015: 18-19
Duan X L. Bao Shan ancient tea tree resources. Kunming: Yunnan Science and Technology Publishing Press, 2015: 18-19
- [13] Li tang Lu, Hu fang Chen, Xiaojing Wang, Yichen Zhao, Xin zhuan Yao, Biao Xiong, Yan li Deng, De gang Zhao. Notes Genome-level diversification of eight ancient tea populations in the Guizhou and Yunnan regions identifies candidate genes for core agronomic traits. *Horticulture research*, 2021, 8
- [14] Ya Jun Liu, Gui Fu Zhao, Xin Li, Qiang Shen, Qiong Wu, Ju hua Zhuang, Xiaoqin Zhang, En hua Xia, Zheng zhu Zhang, Yu mei Qian, Liping Gao, Tao Xia. Comparative analysis of phenolic compound metabolism among tea plants in the section *Thea* of the genus *Camellia*. *Food research international*, 2020, 135: 109276.
- [15] 何环珠,林文雄,闵庆文,范水生,陈志丹.闽南古茶树资源价值与保护策略探讨.生态与农村环境学报, 2022, 38(12): 1508-1513.
He H Z, Lin W X, Min Q W, Fan S S, Chen Z D. Discussion on the Conservation and Utilization of Ancient Tea Tree Resources in Southern Fujian *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2022, 38(12): 1508-1513.
- [16] 自海云,姜永雷,程小毛,王鸿东,黄晓霞.千家寨不同海拔野生古茶树根际土壤微生物胞外酶活性特征.应用与环境生物学报, 2020, 26(05): 1087-1095.
Zi H Y, Jiang Y L, Cheng X M, Wang H D, Huang X X. Microbial extracellular enzyme activity in rhizosphere soil of ancient wild tea trees at different altitudes in the Qian jia zhai Reserve *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2020, 26 (5): 1087-1095.
- [17] 唐杰,杨焯禹,李绍华,刘晓慧,梁名志,刘丹丹.沧源佤族自治县古茶树资源多样性分析.农学学报, 2023, 13(09): 67-73.
Tang J, Yang X Y, Li S H, Liu X H, Liang M Z, Liu D D. Diversity Analysis of Ancient Tea Trees in Wa Autonomous County of Cang yuan. *Journal of Agriculture*, 2023, 13(09): 67-73.
- [18] 杨朝彬,石明,蓝增全,马福仙.澜沧江中下游流域古茶树叶片表型性状形态多样性分析.西南农业学报, 2020, 33(08): 1632-1637.
Yang C B, Shi M, Lan Z Q, Ma F X. Morphological Diversity Analysis of Ancient Tea Plant in Middle and Lower Reaches of

- Lancang River. Southwest China Journal of Agricultural Sciences,2020,33(08): 1632-1637.
- [19] 陶萍,宋焱,张晴晖,李俊菽,戴杨,蓝增全.云南普洱茶种古茶树资源表型性状数据分析研究.西部林业科学,2020,49(06): 144-151+157.
- Tao P, Song Y, Zhang Q H, Li J Q, Dai Y, Lan Z Q, Data Analysis of Phenotypic Characteristics of Ancient Tea Resources of Yunnan Pu'er Tea Species. Journal of West China Forestry Science,2020,49(06): 144-151+157.
- [20] Fawad Zaman, E. Zhang, Li Xia, Xie long Deng, Muhammad Ilyas, Ahmad Ali, Fei Guo, Pu Wang, Mingle Wang, Yu Wang, De jiang Ni, Hua Zhao, Natural variation of main biochemical components, morphological and yield traits among a panel of 87 tea,2023: 563-576.
- [21] 唐璐,李长乐,葛悦,王璞,赵华,王明乐,王郁,郭飞,倪德江.茶树地方群体种资源叶片表型及生化组分多样性分析.茶叶科学,2023,43(04): 473-488.
- Tang L, Li C L, Ge Y, Wang P, Zhao H, Wang M L, Wang Y, Guo F, Ni D J, Diversity Analysis of Leaf Phenotype and Biochemical Components in Tea Local Population Resources. Journal of Tea Science,2023,43(04): 473-488.
- [22] 杨金玲.西双版纳地区古茶树种质资源的遗传多样性分析.云南:云南大学,2020: 27-55.
- Yang J L. Genetic Diversity Analysis of Ancient Tea plant in Xishuangbanna Area. Yunnan: Yunnan University,2020: 27-55.
- [23] Fei Wang, Xiao mao Chen, Shou meng Cheng, Wanting Li, Xiaoxia Huang. Genetic diversity of the wild ancient tea tree (*Camellia taliensis*) populations at different altitudes in Qianjianghai. PlosS One, 2023, 18(4): e0283189.
- [24] 陈亮,杨亚军,虞富莲.茶树种质资源描述规范和数据标准.北京:中国农业出版社,2005: 7-72.
- Chen L, Yang Y J, Yu F L. Descriptors and Data Standard for Tea (*Camellia* spp.) Shanghai: China Agriculture Press,2005: 7-72
- [25] 陈亮,虞富莲,杨亚军,姚明哲,王新超,赵丽萍,王平盛,许玫,钱永忠. NY/T312-2007 农作物种质资源鉴定技术规程 茶树.北京:中国农业出版社,2007.
- Chen L, Yu F L, Yang Y J, Yao M Z, Wang X C, Zhao L P, Wang P S, Xu M, Qian Y Z. NY/T312-2007 Technical Code for Evaluating Crop Germplasm Tea Plant (*Camellia sinensis*). Bei jing: China Agriculture Press,2007.
- [26] 陈亮,吕波,虞富莲,杨亚军,徐岩,堵苑苑,姚明哲,许玫,王新超,赵丽萍. NY/T 2422-2013 植物新品种特异性、一致性和稳定性测试指南 茶树 2014.
- Chen L, Lv B, Yu F L, Yang Y J, Xu Y, Du Y Y, Yao M Z, Xu M, Wang X C, Zhao L P. NY/T 2422-2013 Guidelines for the conduct of tests for distinctness, uniformity and stability-Tea (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) 2014.
- [27] 陈亮,姚明哲,王新超,马春雷,金基强,杨亚军,江用文,熊兴平,王平盛. NY/T2031-2011 农作物优异种质资源评价规范.茶树.北京:中国农业出版社,2011.
- Chen L, Yao M Z, Wang X C, Ma C L, Jin J Q, Yang Y J, Jiang Y W, Xiong X P, Wang P S. NY/T2031-2011 Evaluating standards for elite and rare germplasm resources—Tea plant(*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze) Bei jing: China Agriculture Press,2011.
- [28] 岳庆春,刘桐,章辰飞,吴月燕.‘醉金香’葡萄变异单株表型遗传多样性分析.分子植物育种,2019,17(07): 2412-2422.
- Yue Q C, Liu T, Zhang C F, Wu Y Y, Genetic Diversity Analysis of the Mutant Plants Phenotypes of 'Zui Jin xiang' Grape, Molecular Plant Breeding 2019,17(07): 2412-2422.
- [29] 冯章丽,于文全,顾广军,刘畅,卜海东,程显敏,刘延杰,董雪梅,邢星.东北部分地区山荆子种质资源表型多样性及聚类分析.植物遗传资源学报,2016,17(06): 984-992.
- Feng Z L, Yu W Q, Gu G J, Liu C, Bu H D, Chen X M, Liu Y J, Dong X M, Xing X. Journal of Plant Genetic Resources,2016,17(06): 984-992.
- [30] Diederichsen A, Raney J P, Duguid S D. Variation of mucilage in flax seed and its relationship with other seed characters. Crop Science, 2006, 46(1): 365-371. 2.2.
- [31] 周瑜,李泽碧,黄娟,吴毓,张亚勤,张志良,张晓春.高粱种质资源表型性状的遗传多样性分析.植物遗传资源学报.2021, 22(3): 654-664.
- Zhou Y, Li Z B, Huang J, Wu Y, Zhang Y Q, Zhang Z L, Zhang X C. Genetic diversity analysis of phenotypic traits of sorghum germplasm resources. Journal of Plant Genetic Resources,2021, 22(3): 654-664.
- [32] 韩海波,师文贵,王晓娜,李志勇,李鸿雁,李兴西,刘磊.内蒙古扁蓿豆野生资源形态特征研究.植物遗传资源学报,2011,12(05): 721-726.
- Han H B, Shi W G, Wang X N, Li Z Y, Li H Y, Li X Y, Liu L. Morphological Properties of Wild Resources in *Medicago ruthenica*

- in Inner Mongolia. *Journal of Plant Genetic Resources*,2011,12(05): 721-726.
- [33] 张莹,曹玉芬,霍宏亮,徐家玉,田路明,董星光,齐丹,张小双,刘超,王立东.基于枝条和叶片表型性状的梨种质资源多样性. *中国农业科学*,2018,51(17): 3353-3369
- Zhang Y, Cao Y F, Huo H L, Xu J Y, Tian L M, Dong X G, Qi D, Zhang X S, Liu C, Wang L D. Diversity of Pear Germplasm Resources Based on Twig and Leaf Phenotypic Traits, *Scientia Agricultura Sinica*,2018,51(17): 3353-3369.
- [34] 李颖,张树航,郭燕,张馨方,王广鹏.211份板栗种质资源花序表型多样性和聚类分析. *中国农业科学*.2020,53(22): 4667-4682.
- Li Y, Zhang S H, Guo Y, Zhang X F, Wang G P. Catkin Phenotypic Diversity and Cluster Analysis of 211 Chinese Chestnut Germplasms. *Scientia Agricultura Sinica*,2020,53(22): 4667-4682.
- [35] 宛晓春.茶叶生物化学.北京:中国农业出版社,2003.8-9.
- Wan X C. *Tea Biochemistry*. Beijing: China Agriculture Press,2003. 8-9.
- [36] 张晓梦,倪艳,李先荣.茶多酚的药理作用研究进展. *药物评价研究*,2013,36(02): 157-160.
- Zhang X M, Ni Y, Li X R. Advances in study on pharmacological effects of tea polyphenol. *Drug Evaluation Research*,2013,36(02):157-160.
- [37] 唐一春,宋维希,季鹏章,矣兵,马玲,王平盛,汪云刚.高茶多酚茶树种质资源的鉴定及评价. *西南农业学报*,2009,22(05): 1271-1273.
- Tang Y C, Song W X, Ji P Z, Yi B, Ma L, Wang P S, Wang Y G, Identification and evaluation on tea germplasm with high Polyphenols. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*,2009,22(05): 1271-1273.
- [38] 宋维希,刘本英,矣兵,蒋会兵,马玲,段志芬,孙雪梅,汪云刚,王平盛.云南茶树优异种质资源的鉴定评价与筛选. *茶叶科学*,2011,31(01): 45-52.
- Song W X, Liu B Y, Yi B, Jiang H B, Ma L, Identification, Evaluation and Screening on Elite and Rare Tea Germplasms from Yunnan Province, *Journal of Tea Science*,2011,31(01): 45-52.
- [39] 闫好.高 EGCG、高茶氨酸和高咖啡碱茶树种质资源筛选的研究.湖南:湖南农业大学,2022: 3-45
- Yan H. Screening of tea germplasm resources with high EGCG content, high theanine content and high caffeine content. Hunan: Hunan Agricultural University,2022: 3-45.
- [40] Li M Y, Liu H Y, Wu D T, Kenaan A, Geng F, Li H B, Gunaratne A, Li H, Gan R Y. L-theanine: A unique functional amino acid in tea (*Camellia sinensis* L.) with multiple health benefits and food applications. *Frontiers in Nutrition*, 2022, 9: 853846.
- [41] Kahathuduwa C N, Dassanayake T L, Amarakoon A M T, Weerasinghe V S. Acute effects of theanine, caffeine and theanine-caffeine combination on attention[J]. *Nutritional neuroscience*, 2017, 20(6): 369-377.
- [42] Sumathi T, Asha D, Nagarajan G, Sreenivas A, Nivedha R. L-Theanine alleviates the neuropathological changes induced by PCB (Aroclor 1254) via inhibiting upregulation of inflammatory cytokines and oxidative stress in rat brain. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 2016, 42: 99-117.
- [43] 揭红东,韩奇鹏,谭支良,周传社,孔志伟,陈亮,任傲.茶氨酸代谢及其细胞生物学功能研究与应用. *基因组学与应用生物学*,2017,36(12): 5302-5308.
- Jie H D, Han Q P, Tan Z L, Zhou C S, Kong Z W, Chen L, Ren A. Research and Application of Theanine in Metabolism and Biological Function of Cells. *Genomics and Applied Biology*,2017,36(12): 5302-5308.
- [44] 杜琪珍,李名君,刘维华,王海思.茶组植物的化学分类及数值分类. *茶叶科学*,1990,(02): 1-12.
- Du Q Z, Li M J, Liu W H, Wang H S. Chemical and Numerical taxonomies of Plants Thea Section Plants. *Journal of Tea Science*,1990, (02): 1-12.
- [45] 梁少茹,王晓,党永超,付群英,赵丰华.低咖啡碱茶树育种研究进展[J]. *山东农业科学*,2021,53(01): 130-136.
- Lia S R, Wang X, Dang Y C, Fu Q Y, Zhao F H. Research Progress of Low-Caffeine Tea Breeding. *Shandong Agricultural Sciences*, 2021,53(01): 130-136.
- [46] Hiroshi Ashihara, Hisayo Shimizu, Yoshiyuki Takeda, Takeo Suzuki, Fiona M. Gillies and Alan Crozier Caffeine Metabolism in High and Low Caffeine Containing Cultivars of *Camellia sinensis*. *Zeitschrift für Naturforschung C*, 1995, 50(9-10): 602-607.
- [47] Carol D. Frary MS, RD, Rachel K. Johnson PhD, MPH, RD, Min Qi Wang PhD. Food sources and intakes of caffeine in the diets of persons in the United States. *Journal of the American dietetic association*, 2005, 105(1): 110-113.
- [48] 赵卉,杜晓.低咖啡碱茶的研究进展[J]. *华中农业大学学报*,2008,(04): 564-568.

- Zhao H, Du X. The Research Progress of the Decaffeinated Tea. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2008, (04):564-568.
- [49] 唐一春,宋维希,矣兵,王平盛,张俊.低咖啡碱茶树种质资源的鉴定及评价[J].西南农业学报,2010,23(04): 1051-1054.
Tang Y C, Song W X, Yi B, Wang P S, Zhang J. Identification and evaluation of low caffeine tea germplasms, Southwest China *Journal of Agricultural Sciences*, 2010,23(04): 1051-1054.
- [50] 王治会,岳翠男,李琛,蔡海兰,彭华,李文金,胡瑶根,杨普香.江西省茶树种质化学特性多样性分析与鉴定评价.江苏农业学报,2020,36(01): 172-179.
Wang Z H, Yue C N, Li C, Cai H L, Peng H, Li W J, Hu Y G, Yang P X. Diversity analysis and evaluation of chemical characteristics of tea germplasms in Jiangxi province, *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*,2020,36(01): 172-179.
- [51] 张龙进,李桂双,白成科,文苗苗,张志勤.山茱萸种质资源数量性状评价及相关性分析.植物遗传资源学报,2012,13(04): 655-659.
Zhang L J, Li G S, Bai C K, Ai M M, Zhang Z Q. Evaluation and Correlation Analysis on Quantitative Traits of *Cornus officinalis* Germplasm Resources. *Journal of Plant Genetic Resources*,2012,13(04): 655-659.
- [52] 黄政,宋勤飞,尹杰,李芳,牛素贞.黔中地区大茶树种质资源基于形态性状的遗传多样性分析.分子植物育种,2021,19(15): 5189-5203.
Huang Z, Song Q F, Yin J, Li F, Niu S Z. Genetic Diversity of Tea Germplasm in Central Guizhou Based on Morphological Characters. *Molecular Plant Breeding*,2021,19(15): 5189-5203.
- [53] 陈涛林,郑丹琳,王熙富,陈美丽,葛智文,廖寅平,杨绍意,杨雪梅,李稳,梁浩,张征,罗军武,冉立群.柳州九万山古茶树资源形态多样性及相关性研究.分子植物育种,2019,17(16): 5488-5503.
Chen T L, Zheng D L, Wang X F, Chen M L, Ge Z W, Liao Y P, Yang S Y, Yang X M, Li W, Liang H, Zhang Z. Study on the Morphological Diversity and Correlation of Ancient Tea Tree Resources in Jiu wan Mountain of Liuzhou. *Molecular Plant Breeding*,2019,17(16): 5488-5503.
- [54] 王雨鑫.贵定鸟王种质资源遗传多样性分析及高 EGCG 种质资源的筛选.贵州:贵州大学,2022: 1-52.
Wang Y X. Genetic diversity analysis of germplasm resources of *Camellia sinensis* 'Guiding niao wang Zhong 'and screening of high EGCG germplasm resources. Guizhou: Guizhou University,2022: 1-52.
- [55] 杨代星,乔大河,杨春,陈娟,李燕,梁思慧,陈正武.基于表型性状和生化成分的贵州乔木型茶树种质资源遗传多样性研究.中国茶叶,2023,45(07): 37-45.
Yang D X, Qiao D H, Yang C, Chen J, Li Y, Liang S H, Chen Z W. Genetic Diversity of Guizhou Arboreous Tea Plants based on Phenotypic Traits and Biochemical Components. *China Tea*,2023,45(07): 37-45.
- [56] 丁帅涛,程晓梅,张亚,万斌,任华江,江昌俊,余有本,纪晓明,胡歆.基于表型性状和生化成分的陕西茶树种质资源遗传多样性研究.西北农业学报,2019,28(04): 607-619.
Ding S T, Cheng X M, Zhang Y, Wan B, Ren H J, Jiang C J, Yu Y B, Ji X M, Hu X. Genetic diversity in phenotypic traits and chemical components of tea germplasm resources in Shanxi. *Journal of Plant Genetic resources*,2019,28(04): 607-619.
- [57] K qin Lin, An rang Wang, Yue Xin Li, Lulu Li, Jie Wei, Fuyu Zhou1, Si hui Liang, Xiaowei Yang, De gang Zhao, Donghai Yan. Genetic diversity analysis and germplasm identification of 'Shi qian Tai cha' (*Camellia sinensis* var. *sinensis*) resources based on morphological traits and biochemical components.2024.
- [58] 杨亚军.中国茶树栽培学.上海:上海科学技术出版社, 2005: 21-26.
Yang Y J. Chinese tea cultivation. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers,2005: 21-26.
- [59] 中国农业科学院茶叶研究所.中国茶树栽培学.上海:上海科学技术出版社,1986: 24-28.
Tea Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences. Chinese tea cultivation. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers,1986: 24-28.
- [60] 刘声传,曹雨,鄢东海,魏杰,赵华富,段学艺.贵州野生茶树资源地理分布和形态特征与气候要素的关系.茶叶科学,2013,33(06): 517-525.
Liu S C, Cao Y, Yan D H, Wei J, Zhao H F, Duan X Y. Geographical Distribution and Morphology of Wild Tea Germplasm Resources in Guizhou and Its Relationship with Climatic Factors. *Journal of Tea Science*,2013,33(06): 517-525.
- [61] 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.安徽农业科学,2014,42(20): 6573-6575.
Fang H S, Zhou Y C, Su Y J. Effects of Different Elevations of Tea Gardens on Environment and Tea Quality. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*,2014,42(20): 6573-6575.

- [62] 王存龙,蔡青,张祖陆,郑伟军,刘广波,喻超.日照市生态地球化学环境对绿茶品质的影响.物探与化探,2013,37(05): 876-882.
Wang C L, Cai Q, Zhang Z L, Zheng W J, Liu G B, Yu C. The influence of Ecogeo chemical environment on the quality of green tea in Rizhao city. Geophysical and geochemical exploration,2013,37(05): 876-882.
- [63] 王治会,岳翠男,彭华,江新风,杨普香.化学成分含量特异的茶树资源筛选研究进展.蚕桑茶叶通讯,2018,(06): 27-29+37.
Wang Z H, Yue C N, Peng H, Jiang X F, Yang P X. Research progress of tea tree resource screening with specific chemical composition content. Newsletter of Sericulture and Tea, 2018, (06): 27-29+37.