DOI: 10.12398/j.issn.2096-7217.2025.04.010

海南大叶茶种质资源品质性状的多样性分析

苏凡[1,2,3]，赵雅琦[1]，胡云彬[4]，顾文亮[1*]

（1. 中国热带农业科学院香料饮料研究所，海南万宁，571533；2. 农业农村部香辛饮料作物遗传资源利用重点实验室，海南万宁，571533；3. 海南省热带香辛饮料作物遗传改良与品质调控重点实验室，海南万宁，571533；4. 云南农业大学热带作物学院，云南普洱，665000）

摘要：海南大叶茶是海南极具代表性的本土重要茶树种质资源，对推动海南茶产业发展意义重大。为深入挖掘其生物资源和经济价值，研究以50份海南大叶茶种质为材料，对水浸出物、咖啡碱、茶氨酸、茶多酚、酚氨比5个品质性状展开研究。研究结果显示，海南大叶茶种质资源具有丰富的遗传多样性，5个品质性状平均变异系数达16.87%，平均多样性指数为3.984，且变异系数以咖啡碱最高47.44%，酚氨比最低0.22%。性状相关性分析表明，水浸出物与咖啡碱、茶多酚及酚氨比呈极显著正相关，茶氨酸与茶多酚及酚氨比呈负相关。主成分分析提取出两个主成分，累积贡献率为79.12%，涵盖了基础品质和风味特异性的关键指标。适制性分析发现，海南大叶茶酚氨比均小于8，整体适合发展绿茶。其中，万宁地区的茶氨酸含量高、酚氨比低，适制高鲜爽型绿茶；五指山的茶多酚含量高，在红茶和黑茶制作方面潜力较大；陵水吊罗山的咖啡碱含量较高，适宜发展乌龙茶。聚类分析将种质分为4个类群，第二、四类群（中等及中下水平）占比76%，第一类群（高含量组）和第三类群（低含量组）可作为定向育种的互补材料。综上所述，海南大叶茶在茶叶品种选育、加工工艺优化和特色茶产品开发等方面潜力巨大。未来应结合遗传标记分析深入解析其品质性状遗传基础，并通过感官审评验证制茶品质，以实现资源的精准利用，推动海南茶产业高质量发展。

关键词：海南大叶茶；种质资源；品质性状；遗传多样性

中图分类号：S625.5 **文献标识码：**A **文章编号：**2096-7217（2025）04-0103-08

苏凡，赵雅琦，胡云彬，顾文亮. 海南大叶茶种质资源品质性状的多样性分析[J]. 智能化农业装备学报(中英文)，2025，6(4)：103－110

SU Fan, ZHAO Yaqi, HU Yunbin, GU Wenliang. Quality traits diversity analysis of *Camellia Sinensis* var. *assamica* in Hainan germplasm resources [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2025, 6(4): 103－110

0 引言

种质资源是选育新品种以及发展农业产业的根基[1-5]。优异的茶树种质资源，对于茶树良种的选育而言意义重大[6-7]。地方茶树种质资源具备独特的适应性与巨大的生产潜力，作为最具保存价值和研究价值的初级茶树种质资源，在推动地方茶产业发展、凸显地方茶产品特色等方面发挥着关键作用[8-10]。海南大叶茶隶属山茶科山茶属，是多年生乔木。海南地处热带，独特的地理环境孕育出了独具特色的茶树种质资源，海南大叶茶便是其中极具代表性的本土重要茶树种质[11-12]。

海南大叶茶现代加工则引入机械化杀青、柔性揉捻和热泵—远红外联合干燥系统，虽提升效率却面临大叶片破损率高、黄酮类损失等问题。同时当前智能化装备渗透率不足30%，急需近红外在线监测与5G物联网技术实现杀青温度、揉捻强度的动态调控[13]。本研究揭示的水浸出物与茶多酚等关键指标，为智能装备参数优化提供了科学依据，通过匹配不同种质特性可以提升黄酮的保留率，推动加工工艺从标准化迈向个性化定制的方向。

海南大叶茶富含多种符合茶产业需求且具有潜在利用价值的茶叶功能成分，比如，它的茶多酚含量较高，这不仅赋予了茶叶浓强鲜爽的独特滋味，还使其拥有丰富的抗氧化特性；同时，咖啡碱含量适中，能够带来提神醒脑功效[14]。

经调查发现，目前海南拥有一定面积的海南大叶茶种植资源，主要分布在五指山、琼中等多个区域，并

收稿日期：2025-06-07 修回日期：2025-09-06

基金项目：海南省自然科学基金青年基金项目（323QN274）

第一作者：苏凡，女，1992年生，海南定安人，硕士，助理研究员；研究方向为香料饮料植物资源收集与利用。E-mail：xyssufan@163.com

*通信作者：顾文亮，1984年生，湖北黄石人，博士，副研究员；研究方向为茶树植物资源收集与利用。E-mail：gwl84@126.com

且在部分地区还发现了野生群落,这些资源无疑是海南茶产业发展的宝贵财富[15-16]。当下,海南正大力推动茶产业发展,将其视作促进乡村经济振兴的重要产业之一,海南大叶茶在这一进程中扮演着举足轻重的角色。从海南大叶茶种质资源中选育特优异种质,不仅对培育特色茶树品种具有决定性作用,更能为智能加工装备的参数优化提供关键数据支撑,也能够为海南茶产业的发展筑牢品种基础[17-19]。

然而,当前针对海南大叶茶种质资源的收集、鉴定和评价工作尚不完善。目前仅仅开展了少量调研以及基础的生物学特性调查,对于该资源重要功能性成分的研究还不够深入。如何筛选出优异且丰富的海南大叶茶种质资源,进而快速、准确地选育出适应海南茶产业长远发展的茶树新品种,开发出具有海南特色优势的茶新产品,已然成为当前亟待解决的关键问题。因此,开展海南大叶茶种质资源品质性状多样性研究,从丰富的海南大叶茶种质资源中发掘优势特色茶树资源,期望能为海南地方茶树新品种选育提供有价值的参考,推动海南茶产业实现可持续发展。

1 材料与方法

1.1 材料

以收集保存的50份海南大叶茶种质为供试材料,这些种质均来自海南省的5个市县,供试材料的具体来源及数量分析详见表1。

表1 海南大叶茶种质的来源及数目

Table 1 Origin and number of *Camellia Sinensis* var. *assamica* in Hainan germplasms

序号	来源地点	数目
1	万宁	10
2	白沙高峰	10
3	陵水吊罗山	10
4	琼中黎母山	10
5	五指山通什	10

所有种质资源现保存于中国热带农业科学院香料饮料研究所的省级茶树种质资源圃,该种质圃地处海南省万宁市南桥镇高龙村。每份海南大叶茶种质均定植10株。样品处理严格按照GB/T 8303-2013《茶 磨碎试样的制备及其干物质含量测定》标准执行,于春季从每份种质中选取3个植株,采摘其第1轮新梢的1芽2叶。采摘后,为防止茶叶发酵、保持其品质,立即采用微波杀青的方式进行处理,随后在80 ℃的条件下干燥,制成微波固样。将微波固样带回实验室,使用高速粉碎机粉碎成粉末状,再通过40目筛子筛选,最终制成试验样品,以便后续开展各项分析研究。

1.2 方法

1.2.1 品质性状测定方法

形态特征参考NY/T 2943-2016《茶树种质资源描述规范》,在春季采摘第1轮新梢的1芽2叶用微波固样的方法制作品质样品,粉碎后用于品质性状测定[20]。茶多酚测定参照GB/T 8313-2018《茶叶中茶多酚和儿茶素类含量的检测方法》测定,并用没食子酸作校正标准测定茶多酚含量;咖啡碱采用GB/T 8312-2013《茶咖啡碱测定》中的紫外光分光光度法测定;水浸出物采用GB/T 8305-2013《茶 水浸出物测定》测定;游离氨基酸总量的测定参照GB/T 8314-2013《茶 游离氨基酸总量的测定》中的茚三酮比色法。对海南大叶茶供试材料进行品质性状鉴定评价时,按照上述标准方法进行测定,每份材料重复3次。

1.2.2 数据统计方法

使用Excel 2010软件计算各个性状的平均值(X)、标准差(SD)和变异系数(CV);采用Shannon-Wiener多样性指数,对主要品质性状成分进行多样性分析;应用Hiplot生成相关性热图并分析;利用SPSS 27软件进行主成分分析,并且通过Duncan多重比较法进行差异显著性检验和聚类分析。

2 结果与分析

2.1 海南大叶茶种质资源多样性分析

通过对50份海南大叶茶种质资源的5个关键品质性状(水浸出物、咖啡碱、茶氨酸、茶多酚、酚氨比)进行系统分析,发现各性状在种质间均表现出显著差异,如表2所示。

统计结果显示,5个性状的平均变异系数达到16.87%,说明上述5个品质性状在海南大叶茶种质中表现出较为丰富的遗传多样性,其中咖啡碱的变异系数最高(47.44%),表明该性状在种质群体中有最广泛的变异幅度;其次是茶多酚(21.05%)、茶氨酸(11.18%)、水浸出物(4.45%),酚氨比的变异程度最小(0.22%)。这种由高到低的变异梯度特征,反映出不同生化成分在茶树代谢途径中具有差异化的遗传调控机制。进一步通过多样性指数分析发现,5个性状的平均多样性指数为3.984,表明海南大叶茶种质间的品质性状差异明显,物种多样性较高。特别值得注意的是,咖啡碱和茶多酚的多样性指数分别达到4.04和3.92,显示出这两个性状在海南大叶茶种质中具有特别突出的多态性特征。这种丰富的遗传变异为茶树品质育种提供了宝贵的基因资源,尤其是咖啡碱含量高达47.44%的变异系数,表明通过定向选择可获得显著差异的育种材料。

表 2　海南大叶茶品质性状的变异系数及多样性指数

Table 2　Variation parameter and genetic diversity of quality traits of *Camellia Sinensis* var. *assamica* in Hainan germplasms

类别	水浸出物/%	咖啡碱/%	茶氨酸/%	茶多酚/%	酚氨比
最大值	76.19	3.79	3.75	17.11	6.31
最小值	61.49	0.57	2.06	6.43	2.38
平均值	68.23	1.87	2.85	11.22	3.98
标准差	3.04	0.89	0.32	2.36	0.88
变异系数	4.45	47.44	11.18	21.05	0.22
变异幅度	14.70	3.22	1.68	10.68	3.93
多样性指数	3.90	4.04	4.06	3.92	4.00
偏度	0.05	0.46	0.68	0.84	0.85
峰度	0.08	−0.85	1.44	0.64	0.72

2.2　海南大叶茶种质资源相关性分析

相关性分析表明，水浸出物作为表征茶叶可溶性物质总量的核心指标，与咖啡碱、茶多酚及酚氨比（茶多酚总量/氨基酸总量）均呈现极显著正相关关系（$r>0.6$，$P<0.01$）。在茶叶加工或冲泡过程中，水浸出物的高效溶出可能同步促进咖啡碱、茶多酚等物质的释放，进而导致酚氨比值升高。茶多酚与水浸出物、咖啡碱及酚氨比之间存在显著正相关，表明其含量变化与上述成分具有高度协同性，可能通过共同代谢途径（如次生代谢物合成）影响茶叶的苦味强度与浓醇口感。茶氨酸与茶多酚及酚氨比呈负相关趋势，其中与酚氨比的负相关性达到显著水平（$r=-0.45$，$P<0.05$），如图 1 所示，其中，“*”表示显著相关（$P<0.05$），“**”表示极显著相关（$P<0.01$）。

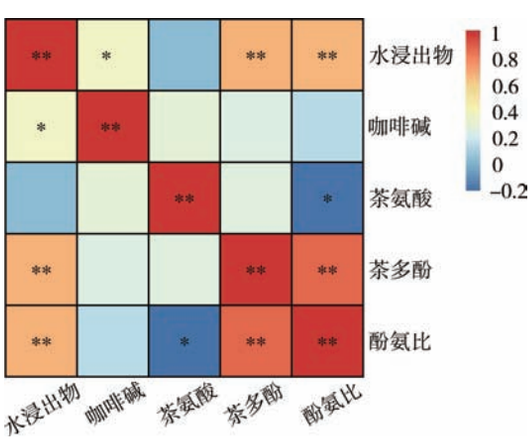


图 1　主要品质性状的相关性分析

Figure 1　Correlation analysis among major quality traits of *Camellia Sinensis* var. *assamica* in Hainan germplasms

该现象表明茶氨酸的生物合成可能抑制茶多酚的积累，从而导致酚氨比降低。从感官品质角度，这种代谢拮抗关系可解释为茶汤中鲜味物质（茶氨酸）与苦味物质（儿茶素类茶多酚）的此消彼长，为调控茶叶风味平衡提供了理论依据。

2.3　海南大叶茶种质资源主成分分析

对 50 份海南大叶茶种质资源的 5 个主要品质性状进行主成分分析，以特征值大于 1 为标准提取主成分，结果如表 3 所示，这两个主成分的累积贡献率为 79.12%，第一主成分的贡献率为 55.67%，对应特征向量中作用较大的几个性状为：水浸出物、茶多酚，特征向量值均在 0.92 以上，其中茶多酚的载荷值为 0.954，影响较大。第二主成分的贡献率为 23.45%，对应特征向量中作用较大的几个性状为：酚氨比、茶氨酸，其中酚氨比的载荷值为 0.789，且特征向量值均在 0.56 以上。

表 3　海南大叶茶主要品质性状的主成分分析

Table 3　Principal components analysis of major quality traits of *Camellia Sinensis* var. *assamica* in Hainan germplasms

品质性状	载荷值	
	*PC*1	*PC*2
水浸出物/%	0.923	0.123
咖啡碱/%	0.876	0.456
茶氨酸/%	0.789	0.567
茶多酚/%	0.954	0.234
酚氨比	0.678	0.789
方差贡献率/%	55.67	23.45
累计贡献率/%	55.67	79.12

2.4　海南大叶茶适制性分析

调查的 50 份不同采样点的海南大叶茶种质资源酚氨比均小于 8，如表 4 所示。不同采样点的海南大叶茶叶因成分含量的差异，在各类茶的适制性上各有特点。万宁茶氨酸含量（3.05±0.10）最高，酚氨比（3.65±0.19）相对较低，水浸出物含量（68.56±0.59）也较为合适，这些条件使得万宁的海南大叶茶叶在制作绿茶时，能够呈现出鲜爽的滋味和良好的香气，适制性最佳。五指山的茶叶在红茶和黑茶制作方面潜力较大；五指山茶多酚含量（12.26±1.10）最高，虽然咖啡碱含量（0.98±0.15）最低，但较高的茶多酚含量能保证在发酵过程中有足够的底物进行反应，形成红茶特有的色泽和醇厚的滋味，适制性较好。陵水吊罗山和白沙高峰茶氨酸含量相对较低，酚氨比相对较高，制作出的绿茶在鲜爽度上可能不如万宁的茶叶，但通过合适的加工工艺，仍可制作出品质尚可的绿茶。琼中黎母山茶多酚含量（11.28±0.60）也较高，且水浸出物含

量适中,在制作黑茶时也有一定的优势,能够满足黑茶发酵过程中对物质基础的需求。在实际生产中,可依据不同的品质需求和市场定位,选择合适采样点的海南大叶茶叶制作相应茶类,以充分发挥其品质优势。

表4 海南大叶茶不同采样点的主要品质性状比较分析

Table 4 Comparative analysis of key quality traits of *Camellia Sinensis* var. *assamica* germplasms at various sampling points in Hainan

取样地	水浸出物/%	咖啡碱/%	茶氨酸/%	茶多酚/%	酚氨比
白沙高峰	68.15±0.80a	1.48±0.11bc	2.73±0.02b	10.99±0.71a	4.04±0.27a
陵水吊罗山	70.66±0.97a	2.94±0.26a	2.71±0.03b	11±0.4472a	4.07±0.12a
琼中黎母山	67.57±1.09a	1.70±0.23b	2.95±0.08ab	11.28±0.60a	3.87±0.26a
万宁	68.56±0.59a	2.79±0.25a	3.05±0.10a	11.05±0.56a	3.65±0.19a
五指山	67.45±1.19a	0.98±0.15c	2.75±0.27ab	12.26±1.10a	4.50±0.24a

注:表中同列数据后不同小写字母表示差异极显著(p<0.01)。

2.5 海南大叶茶种质资源聚类分析

以海南大叶茶树的氨基酸、茶多酚、咖啡碱、水浸出物的含量及酚氨比比值为变量。利用SPSS 27软件对海南50份海南大叶茶树种质资源进行了系统分类和K均值分类,并采用欧氏距离法对其进行了聚类分析,将其分为4个类群。结果显示,4个类群的品质性状的平均值不同,如表5所示。

表5 不同类群海南大叶茶树资源之间主要品质性状含量平均值比较

Table 5 Comparison of average values of key quality parameters among different groups of *Camellia Sinensis* var. *assamica* in Hainan germplasms

类群	数量/个	氨基酸/%	咖啡碱/%	茶多酚/%	水浸出物/%	酚氨比
Ⅰ	6	2.93	2.17	16.15	72.68	5.59
Ⅱ	20	2.85	1.80	9.83	66.84	3.50
Ⅲ	6	2.92	1.45	9.64	63.13	3.34
Ⅳ	18	2.79	1.99	11.65	69.98	4.18

第一类群包含6个样本,在4个类群中数量是较少的,但茶多酚、咖啡碱、氨基酸和水浸出物含量及酚氨比比值较高。第二类群包含20个样品,其中各品质性状的含量基本处于中等水平,这一类群的数量是最庞大。第三类群由6个样本组成,类群中包含的群体数量和第一类群相同,除氨基酸外其他指标含量都较低,和第一类群形成对比。第四类群由18个样本组成,各品质性状的含量基本处于中下等水平,和第二类群形成对比,从此聚类分析来推测海南大叶茶资源主要品质性状含量处于中等水平的数量群体是最大的,而且高含量群体的数量和低含量群体的数量差距较小。

3 讨论

3.1 海南大叶茶种质资源多样性的意义与价值

海南大叶茶是我国重要的野生茶树资源,独特的遗传背景与生态环境,赋予其丰富的品质性状变异和适制性潜力。本研究显示,海南大叶茶的5个品质性状,即水浸出物、咖啡碱、茶氨酸、茶多酚、酚氨比,平均变异系数为16.87%,表明这些性状在其种质中存在较为丰富的遗传多样性。其中,酚氨比的变异系数仅0.22%,相对稳定,意味着该性状在海南大叶茶种质里变异程度较小。同时,平均多样性指数达3.984,高于贵州大树茶(1.43)[21]、望谟地方茶树(1.66)[22]、重庆茶树(1.16)[23]、浙江丽水茶树(1.82)[24]等地的茶树树种。进一步证实海南大叶茶种质间品质性状差异显著,具有极大的选择潜力,为后续优良品种选育提供了雄厚的遗传基础。以咖啡碱为例,其变异系数高达47.44%,这表明在咖啡碱含量上,海南大叶茶存在广泛的遗传差异。在当下追求低咖啡碱健康茶饮的市场潮流中,可充分利用这一遗传多样性,筛选出低咖啡碱含量的海南大叶茶种质,开发特色保健茶产品。另外,丰富的遗传多样性还有助于茶树适应不同生态环境,能够培育出适应海南多变气候与土壤条件的优良品种,为茶叶产业的可持续发展提供保障。

3.2 性状相关性对茶叶品质调控的启示

水浸出物与咖啡碱、茶多酚及酚氨比的极显著正相关,揭示了茶叶冲泡过程中物质溶出的协同机制[25-27]。同时也揭示了茶叶加工工艺优化时,可通过调控水浸出物溶出条件,如温度、时间、茶叶粒度等,同步调节咖啡碱、茶多酚等成分释放,精准控制茶汤风味。例如,适当延长冲泡时间可能增加水浸出物溶出,进而提升茶汤苦味与浓醇口感。茶氨酸与茶多酚及酚氨比的负相关,为茶叶风味平衡调控提供关键靶点。在栽培管理中,可通过调整施肥策略,如增施氮肥促进茶氨酸合成,抑制茶多酚积累,优化茶汤中鲜味与苦味物质比例,提升茶叶感官品质。

3.3 主成分分析在种质筛选中的应用

主成分分析能够对研究性状进行有效简化,从而

更深入地剖析群体特征，为群体的研究与评价提供有力支持[28-30]。主成分分析提取的两个主成分累积贡献率达79.12%，涵盖基础品质（水浸出物、茶多酚）与风味特异性（酚氨比、茶氨酸）关键指标。在种质资源筛选时，可依据主成分得分快速评估种质优劣。对于追求高茶多酚含量用于生产浓香型茶叶的需求，可重点关注第一主成分得分高的种质；若目标是开发鲜爽风味茶叶，则需兼顾第二主成分中茶氨酸与酚氨比指标，筛选得分适宜种质，提高种质筛选效率与准确性。

3.4　适制性分析对产业发展的指导作用

酚氨比作为茶树种质资源适制性评价的关键品质参数，能够有效表征茶汤中呈味物质（茶多酚与氨基酸）的协同效应，常被列为资源适制性评价的初级筛选标准[31-34]。现有研究表明，种质资源适制性与酚氨比阈值存在明确对应关系：当酚氨比＜8时具有典型绿茶适制性，酚氨比＞15时表现出红茶加工优势，而介于8～15之间的种质则兼具红绿茶兼制潜力[35-38]。这一量化标准为茶树资源定向开发提供了明确的品质筛选依据。海南不同地区的大叶茶种质资源因其品质性状差异呈现出显著的区域适制性特征。万宁地区凭借高茶氨酸含量与低酚氨比优势，是打造高端鲜爽型绿茶的理想原料基地；五指山茶叶在红茶和黑茶加工领域具有突出潜力；陵水吊罗山、白沙高峰等产区通过工艺改良仍可生产合格绿茶，而琼中黎母山则凭借高茶多酚及适宜浸出物含量在黑茶制作中展现优势。建议依据不同产区茶叶的生化特性，结合市场需求实施差异化开发策略，通过科学规划原料基地与优化加工技术体系，充分发挥海南大叶茶的品质优势，推动海南茶产业向特色化、高值化方向发展。

3.5　聚类分析对种质分类与利用的影响

通过聚类分析发现，50份种质资源可分为4个具有显著差异的类群，各类群在氨基酸、茶多酚、咖啡碱、水浸出物及酚氨比等关键品质指标上存在梯度分布。其中第一类群（高含量组）和第三类群（低含量组）形成鲜明对比，表明海南大叶茶资源中同时存在高、低品质性状的极端类型，具有丰富的遗传多样性潜力。第二类群（中等水平，占比40%）和第四类群（中下水平，占比36%）共占样本总量的76%，显示海南大叶茶资源以中等及中下品质性状为主。高含量群体（第一类群，6份）与低含量群体（第三类群，6份）数量相同，表明极端品质类型的分布相对平衡，这可能为定向育种提供互补材料。建议优先挖掘第一类群的高含量种质和第三类群的高氨基酸种质，通过杂交育种整合优良性状；同时需关注中低含量群体（第二、四类群）的生态适应性，筛选兼顾品质与抗性的品种。此外，酚氨比作为关键分类指标，其与适制性的定量关系需结合加工试验深入研究。

4　结论与展望

本研究以50份海南大叶茶种质为对象，分析水浸出物、咖啡碱、茶氨酸、茶多酚、酚氨比5个核心品质性状，结果显示：5个性状平均变异系数达16.87%，平均Shannon-Wiener多样性指数为3.984，多样性水平显著高于贵州大树茶（多样性指数1.43）、重庆茶树（1.16），其中咖啡碱变异系数最高（47.44%，含量范围0.57%～3.79%），茶多酚次之（21.05%，含量范围6.43%～17.11%），酚氨比最低（0.22%，含量范围2.38%～6.31%）。相关性分析表明，水浸出物与咖啡碱、茶多酚、酚氨比呈极显著正相关（$r>0.6$，$P<0.01$），水浸出物每提升1%，三者可同步提升0.6%以上；茶氨酸与酚氨比呈显著负相关（$r=-0.45$，$P<0.05$），茶氨酸每增加0.1%，酚氨比可降低0.045。主成分分析提取2个主成分，累积贡献率79.12%，第一主成分（水浸出物、茶多酚，载荷值分别为0.923、0.954）贡献率55.67%，第二主成分（酚氨比、茶氨酸，载荷值分别为0.789、0.567）贡献率23.45%；适制性分析显示所有种质酚氨比均小于8（平均值3.98），万宁种质茶氨酸含量最高（3.05±0.10%）、酚氨比最低（3.65±0.19），五指山种质茶多酚含量最高（12.26±1.10%），陵水吊罗山种质咖啡碱含量最高（2.94±0.26%）。聚类分析将50份种质分为4个类群，第一类群（高含量组，6份）茶多酚16.15%、水浸出物72.68%，第三类群（低含量组，6份）茶多酚9.64%、水浸出物63.13%，第二类群（中等水平，20份）与第四类群（中下水平，18份）占比76%，其氨基酸含量2.79%～2.85%、咖啡碱含量1.80%～1.99%，适合规模化生产。

海南大叶茶种质资源在茶叶品种选育、加工工艺优化、特色茶产品开发等方面具有巨大潜力。未来需进一步结合遗传标记分析（如SSR或SNP）解析品质性状的遗传基础，并通过感官审评验证各类群的实际制茶品质，为精准利用海南大叶茶资源提供科学依据。

参　考　文　献

[1] DONG P, WANG L, CHEN Y, et al. Germplasm resources and genetic breeding of Huang-Qi (Astragali Radix): A systematic review [J]. Biology, 2024, 13(8): 625.

[2] XU X, DU X, CHEN J, et al. Genetic diversity and differentiation of silkworm (*Bombyx mori*) local germplasm resources in China and Uzbekistan [J]. Insects, 2024, 15

(12): 1020.

[3] 王曦奥, 廖振阳, 闫林, 等. 咖啡遗传育种研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2024, 54(10): 1874－1884.
WANG Xi′ao, LIAO Zhenyang, YAN Lin, et al. Research progress in genetic breeding of coffee [J]. Scientia Sinica (Vitae), 2024, 54(10): 1874－1884.

[4] SALAZAR R, LOUWAARS N P, VISSER B. Protecting farmers′ new varieties: New approaches to rights on collective innovations in plant genetic resources [J]. World Development, 2007, 35(9): 1515－1528.

[5] SHI S, NAN L, SMITH K F. The current status, problems, and prospects of alfalfa (*Medicago sativa* L.) breeding in China [J]. Agronomy, 2017, 7(1): 1.

[6] 何环珠, 林文雄, 闵庆文, 等. 闽南古茶树资源价值与保护策略探讨[J]. 生态与农村环境学报, 2022, 38(12): 1508－1513.
HE Huanzhu, LIN Wenxiong, MIN Qingwen, et al. Discussion on the conservation and utilization of ancient tea tree resources in Southern Fujian [J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2022, 38(12): 1508－1513.

[7] 林凡力. 苏州东山群体种茶树种质资源研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2022.
LIN Fanli. The research of tea germplasm resources from Suzhou Dongshan [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2022.

[8] 罗培娟. 贵州古茶树种质资源抗寒性调查和分析[D]. 贵阳: 贵州大学, 2021.
LUO Peijuan. Investigation and analysis of the cold resistance of ancient tea tree germplasm resources in Guizhou [D]. Guiyang: Guizhou University, 2021.

[9] 李浩宇, 杨大强, 王利芬, 等. 苏州东山茶树种质资源遗传多样性的ISSR分析[J]. 亚热带植物科学, 2020, 49(3): 163－167.
LI Haoyu, YANG Daqiang, WANG Lifen, et al. Genetic diversity analysis of *Camellia sinensis* in Dongshan, Suzhou by ISSR [J]. Subtropical Plant Science, 2020, 49(3): 163－167.

[10] 郑丹琳, 陈涛林, 葛智文, 等. 柳州汪洞乡古茶树种质资源遗传多样性的ISSR分析[J]. 分子植物育种, 2018, 16(11): 3629－3635.
ZHENG Danlin, CHEN Taolin, GE Zhiwen, et al. ISSR Analysis of the genetic diversity of ancient tea plant germplasm resources from Wangdong Village in Liuzhou [J]. Molecular Plant Breeding, 2018, 16(11): 3629－3635.

[11] 杨小波, 李东海, 陈玉凯. 海南植物图志(第四卷)[M]. 北京: 科学出版社, 2015.

[12] 李苑菱, 张丽, 杨小波, 等. 海南岛野生茶树空间分布及种群动态研究[J]. 林业资源管理, 2017(2): 81－87, 138.
LI Yuanling, ZHANG Li, YANG Xiaobo, et al. Study on spatial distribution and population dynamics of wild tea in Hainan Island [J]. Forest Resources Management, 2017(2): 81－87, 138.

[13] 王元红, 杨志明, 王琪, 等. 基于YOLOv5s-SPD的茶芽识别方法及识别系统光源设计与试验[J]. 智能化农业装备学报(中英文), 2024, 5(3): 33－43.
WANG Yuanhong, YANG Zhiming, WANG Qi, et al. Design and experiment of tea bud recognition method and light source of recognition system based on YOLOv5-SPD [J]. Journal of Intelligent Agricultural Mechanization, 2024, 5(3): 33－43.

[14] 苏凡,杨小波, 李东海, 等. 五指山水满茶的茶多酚、总黄酮含量与抗氧化活性研究[J]. 热带作物学报, 2018, 39(4): 675－680.
SU Fan, YANG Xiaobo, LI Donghai, et al. The concent of tea flavonoids, total phenols and antioxidant activities of Wuzhishan-Shuiman Tea [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2018, 39(4): 675－680.

[15] 郭远安. 海南岛野生茶树的调查[J]. 广东农业科学, 1991(2): 45.

[16] 郭远安. 海南岛野生茶树初步调查[J]. 广东茶业, 1990(2): 40, 36.

[17] 谢凯, 苏庆明. 这杯茶,藏在海南热带雨林里[N]. 海南日报, 2024－07－15(A04).

[18] 谢凯. 这片“绿叶”如何变“金叶”?[N]. 海南日报, 2024－02－27(A04).

[19] 苏凡, 杨小波, 李东海. 基于形态学特征和psbA-trnH叶绿体编码基因序列明确五指山野生茶的分类地位[J]. 热带作物学报, 2019, 40(8): 1565－1570.
SU Fan, YANG Xiaobo, LI Donghai. The classification status of wuzhishan wild tea based on morpho-logical features and psbA-trnH chloroplast encoding gene sequence [J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2019, 40(8): 1565－1570.

[20] 靖翠翠, 杨秀芳, 谭蓉, 等. 微波制样对茶叶内质成分的影响[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(4): 1265－1270.
JING Cuicui, YANG Xiufang, TAN Rong, et al. Effect of microwave fixation on tea chemical components [J]. Journal of Food Safety and Quality, 2015, 6(4): 1265－1270.

[21] 杨春, 杨代星, 李燕, 等. 贵州大树茶形态学特征及生化成分综合分析[J]. 中国农业科学, 2024, 57(19): 3894－3919.
YANG Chun, YANG Daixing, LI Yan, et al. Comprehensive analysis of morphologic characters and biochemical components of Guizhou Dashu tea germplasms [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2024, 57(19): 3894－3919.

[22] 李燕，徐富林，杨春，等．望谟地方茶树种质资源生化成分多样性分析及优异单株初筛[J]．种子，2022，41(11)：62－70.
LI Yan，XU Fulin，YANG Chun，et al. Analysis on biochemical components diversity in tea germplasm resources in Wangmo and preliminary screening of excellent individual plant [J]. Seed，2022，41(11)：62－70.

[23] 翟秀明，李解，唐敏，等．重庆30份茶树种质资源农艺性状与生化成分多样性[J]．浙江农业学报，2021，33(7)：1244－1255.
ZHAI Xiuming，LI Jie，TANG Min，et al. Diversity analysis of 30 tea (*Camelia sinensis*) germplasm resources in Chongqing based on agronomic traits and biochemical components [J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis，2021，33(7)：1244－1255.

[24] 娄艳华，刘瑜，何卫中，等．76份浙江丽水茶树种质资源的生化成分多样性分析[J]．浙江农业科学，2020，61(10)：1990－1993，1998.
LOU Yanhua，LIU Yu，HE Weizhong，et al. Diversity analysis of biochemical components of 76 tea germplasm resources in Lishui City，Zhejiang [J]. Journal of Zhejiang Agricultural Sciences，2020，61(10)：1990－1993，1998.

[25] 黄琳洁，徐凯，周承哲，等．不同海拔政和白茶品质差异分析[J]．食品科学，2023，44(16)：274－283.
HUANG Linjie，XU Kai，ZHOU Chengzhe，et al. Quality differences of Zhenghe white tea from different altitudes [J]. Food Science，2023，44(16)：274 － 283.

[26] 周子维，高峰，刘谦，等．周宁高山云雾茶不同茶类的品质和生化特征[J]．福建农林大学学报，2021，50(3)：328－340.
ZHOU Ziwei，GAO Feng，LIU Qian，et al. Quality and biochemical characteristics of different types of Zhouning cloud-mist mountain tea [J]. Journal of Fujian Agriculture and Forestry University，2021，50(3)：328－340.

[27] 李再兵．绿茶主要品质成分的浸出动态及其与滋味感官评分的相关性研究[D]．杭州：浙江大学，2002.
LI Zaibing. Studies on the dyamic changes of the main quality components in green tea during brewing and the correlationbetween the components and the organolepeic evaluation [D]. Hangzhou：Zhejiang University，2002.

[28] 徐雅静，汪远征．主成分分析应用方法的改进[J]．数学的实践与认识，2006(6)：68－75.
XU Yajing，WANG Yuanzheng. The improvement of the application method of principle component analysis [J]. Mathematics in Practice and Theory，2006(6)：68－75.

[29] 侯文．应用主成分分析进行综合评价的一种改进方法[J]．辽宁师范大学学报，2004(4)：403－406.
HOU Wen. An improved method for the application of principal component analysis for the comprehensive evaluation [J]. Journal of Liaoning Normal University，2004(4)：403－406.

[30] 曲双红，李华，李刚．基于主成分分析的几种常用改进方法[J]．统计与决策，2011(5)：155－156.
QU Shuanghong，LI Hua，LI Gang. Several common improvement methods based on principal component analysis [J]. Statistics and Decision，2011(5)：155－156.

[31] 秦丹丹，陈俊丽，李波，等．高苦茶碱茶树新品系‘苦茶6号’茶类适制性研究[J]．食品工业科技，2023，44(17)：316－323.
QIN dandan，CHEN Junli，LI Bo，et al. Research on the suitability of teas made from new tea line of Kucha No. 6 with high theacrine [J]. Science and Technology of Food Industry，2023，44(17)：316－323.

[32] 乔大河，陈娟，梁思慧，等．绿茶风味品质形成的研究进展[J]．贵茶，2022(4)：5－30.
QIAO Dahe，CHEN Juan，LIANG Sihui，et al. Research progress on the formation of flavor quality of green tea [J]. Journal of Guizhou Tea，2022(4)：5－30.

[33] 吴锦程．基于气味的绿茶远红外加工过程控制研究[D]．无锡：江南大学，2023.
WU Jincheng. Study on process control of green tea far infrared processing based on aroma [D]. Wuxi：Jiangnan University，2023.

[34] 曹冰冰．红紫芽茶树花青素形成的生化基础及其对成茶品质的影响[D]．长沙：湖南农业大学，2018.
CAO Bingbing. Biochemical basis of anthocyanin formation in purpletea and its effect on the quality of tea products [D]. Changsha：Hunan Agricultural University，2018.

[35] 杨亚军．茶树育种品质早期化学鉴定——Ⅱ．鲜叶的主要生化组分与绿茶品质的关系[J]．茶叶科学，1991(2)：127－131.
YANG Yajun. Chemical evaluation on tea quality during early-stage of breeding program Ⅱ. relationship between the biochemical component content in the shoots and the quality of green tea [J]. Journal of Tea Science，1991(2)：127－131.

[36] 杨亚军．茶树育种品质早期化学鉴定——Ⅰ．鲜叶的主要生化组分与红茶品质的关系[J]．茶叶科学，1990(2)：59－63.
YANG Yajun. Chemical evaluation on tea quality during early-stage of breeding program I. relationship between the biochemical component content in shoot and the quality of black tea [J]. Journal of Tea Science，1990(2)：59－63.

[37] 程启坤．茶叶品种适制性的生化指标—酚氨比[J]．中国茶叶，1983(1)：38.

[38] 王飞权，黄两成，罗盛财，等．46份茶树种质资源夏茶生化成分多样性分析[J]．江苏农业科学，2017，45(18)：105－110.

Quality traits diversity analysis of *Camellia Sinensis* var. *assamica* in Hainan germplasm resources

SU Fan[1, 2, 3], ZHAO Yaqi[1], HU Yunbin[4], GU Wenliang[1*]

(1. *Spice and Beverage Research Institute, Chinese Academy of Tropical Agricultural Science, Wanning* 571533, *China*; 2. *Key Laboratory of Genetic Resources Utilization of Spice and Beverage Crops, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Wanning* 571533, *China*; 3. *Hainan Provincial Key Laboratory of Genetic Improvement and Quality Regulation for Tropical Spice and Beverage Crops, Wanning* 571533, *China*; 4. *Tropical Crops College, Yunnan Agricultural University, Puer* 665000, *China*)

Abstract: *Camellia Sinensis* var. *assamica* in Hainan serves as a representative and critical local germplasm resource in Hainan, playing a pivotal role in the development of the Hainan tea industry. To further explore its biological resources and economic value, 50 samples of *Camellia Sinensis* var. *assamica* germplasm were analyzed based on five quality traits: water extract, caffeine, theanine, tea polyphenols, and the phenol-ammonia ratio. The results indicate that the germplasm resources of *Camellia Sinensis* var. *assamica* possess rich genetic diversity. The average coefficient of variation for the five quality traits was 16.87%, with an average diversity index of 3.984. Caffeine exhibited the highest coefficient of variation at 47.44%, while the phenol-ammonia ratio had the lowest at 0.22%. Correlation analysis revealed that the water extract was positively correlated with theanine, tea polyphenols, and the phenol-ammonia ratio, whereas theanine showed negative correlations with tea polyphenols and the phenol-ammonia ratio. Principal component analysis identified two principal components, accounting for a cumulative contribution rate of 79.12%, which reflect key indicators of basic quality and flavor specificity. Suitability analysis demonstrated that the phenol-ammonia ratio of *Camellia Sinensis* var. *assamica* is less than 8, making it suitable for green tea production. Notably, the Wanning region is characterized by high theanine content and a low phenol-ammonia ratio, ideal for producing high-quality fresh green tea. Wuzhishan tea exhibits high polyphenol content, showing great potential for black tea and dark tea production. Lingshui Mountain tea has a high caffeine content, suitable for oolong tea development. Cluster analysis grouped the germplasm into four clusters, with the second and fourth clusters (medium and lower-middle levels) comprising 76%. The first cluster (high-content group) and the third cluster (low-content group) can serve as complementary materials for directional breeding. To sum up, *Camellia Sinensis* var. *assamica* exhibits significant potential in tea variety breeding, processing technology optimization, and the development of distinctive tea products. In future research, it is essential to integrate genetic marker analysis to further elucidate the genetic basis of its quality traits. Additionally, the quality of tea production should be rigorously evaluated through sensory assessment to ensure precise resource utilization and thereby promote the high-quality development of the Hainan tea industry.

Keywords: *Camellia Sinensis* var. *assamica* in Hainan; germplasm resources; quality traits; genetic diversity

Foundation items: Hainan Provincial Natural Science Foundation of China (323QN274)

First Author: SU Fan, E-mail: xyssufan@163.com

* **Correspondence Author:** GU Wenliang, E-mail: gwl84@126.com