

云南茶树种质资源研究 60 年

宁功伟¹, 杨盛美¹, 宋维希¹, 李友勇¹, 唐一春¹, 赵红艳², 刘本英¹

(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 650021; ²临沧市茶叶研究院, 云南临沧 677000)

摘要: 茶树种质资源是保障茶产业高质量发展的战略性资源, 是茶科技原始创新、茶树育种和特色新产品研发的物质基础。茶树种质资源研究对推动茶树种业创新和茶产业绿色健康发展具有十分重要的价值和意义。本文系统阐述了近 60 年来云南茶树种质资源考察征集、保存编目、鉴定评价及共享利用等方面取得的主要进展, 以及存在的问题, 并对云南茶树种质资源的发展进行了探讨和展望。

关键词: 云南; 茶树种质资源; 进展; 展望

Tea Plant Germplasms Research in the Past 60 Years in Yunnan Province of China

NING-gongwei¹, YANG-shengmei¹, SONG-weixi¹, LI-youyong¹, TANG-yichun¹, ZHAO-hongyan², LIU-benyong¹

(¹Tea Research Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences/Yunnan Key Laboratory of Tea Sciences; Kunming 650021; ²Tea research Academy of Lincang, Lincang Yunnan 677000)

Abstract: Tea germplasms are strategic resources ensuring the high quality development of tea industry, and raw materials enabling the original innovation in tea science and technology, breeding and development of new products with special characteristics. Studies on tea germplasms are of great value and significance considering the relevance on the innovation and sustainability of tea seed industry. This article reviewed the main progress in the investigation and collection, preservation and cataloguing, identification and evaluation, sharing and utilization of Yunnan tea germplasm resources, as well as the existing problems in the past 60 years. The future development of Yunnan tea germplasm resources was discussed and prospected.

Key words: Yunnan; Tea Plant germplasm; Advance; Prospect

云南位于中国西南部, 是世界茶树起源中心和原产地^[1], 是普洱茶、滇红茶的故乡。悠久的栽培历史与得天独厚的自然生态环境孕育了云南丰富的茶树种质资源, 是中国茶树资源最大的遗传多样性中心和世界茶组植物分类研究中所占比例种类最多、分布最广的地区^[2], 素有“云南山茶甲天下”之美誉。丰饶的种质资源为茶叶科学研究提供了巨大的遗传资源和基因库, 是我国和世界各国发展茶叶生产和开展茶树育种工作的珍贵宝库, 目前世界上已知的茶组植物绝大部分分布在云南地区^[3]。经过茶叶科技工作者长期的考察、收集、分类和鉴定等工作, 基本查清了云南茶树资源的种类、数量、分布和利用情况^[4]。云南在茶树种质资源方面的研究水平和茶树育种所取得的成就已进入中国先进行列, 建成了全球茶树种质资源保存数量最多、面积最大的国家级种质大叶茶树资源圃, 先后选育出经国家审(认、鉴)定或登记的茶树良种 5 个, 经省

收稿日期: 2022-10-26

修回日期: 2022-11-29

网络出版日期:

URL:

第一作者主要研究方向为茶树种质资源, E-mail: Yangzijung@163.com

通讯作者: 刘本英, 主要研究方向为茶树种质资源、遗传改良及分子生物学, E-mail: liusuntao@126.com

基金项目: 云南省重大科技专项(202002AA100007); 云南省基础研究专项重大项目(202101BC70002)

Foundation Project: Yunnan Major Science and Technology special project(202002AA100007), Yunnan basic research major special project(202101BC70002)

审（认、鉴）定或登记的茶树良种 32 个，国家植物新品种保护权 6 个，这些品种资源直接或间接地应用于科研和生产实践，为推动云南甚至全国茶叶科研和生产发展做出了突出贡献。

1 考察收集

云南茶树种质资源的考察收集始于 20 世纪 30 年代，植物学家蔡希陶等先后收集到一批茶树标本^[5]。比较全面系统的茶树种质资源考察收集始于 20 世纪 80 年代初期，茶树被列为国家重要作物种质资源区域性考察内容，主要的茶树种质资源考察收集工作有：1954—1966 年，云南省农业科学院茶叶研究所科技人员肖时英、张木兰、丁渭然等组织开展云南地方茶树品种资源调查、整理、鉴定等工作，在勐海、澜沧、双江、凤庆、勐腊、沅江、昆明、宜良、大关、景谷、景东、昌宁等地收集并保存茶树地方品种材料近 100 份；1956 年，中国科学院昆明植物研究所在普洱、文山、红河、大理、临沧等 13 个市、县（区）采集到一批茶树资源，经鉴定为 13 个种；1976 年，云南农业大学茶学专业师生对云南 60 个县的茶树品种资源进行调查，收集到茶树种质资源 200 余份，发现大厂茶（*Camellia tachangensis*）新种及 26 个地方茶树品种；1980—1984 年云南省农业科学院茶叶研究所联合中国农业科学院茶叶研究所对云南省 61 个县市（区）、486 个点的茶树资源进行考察，发现云南分布有茶种 30 个、变种 3 个，共收集各种茶树资源 410 份、种子 355 份、花 380 份^[6-7]；1986—1990 年在云南省 13 个地州 36 个县市（区）、广东省、海南省及越南等国家和地区共收集到 146 份种质资源；1991—2000 年，在云南省 5 州（市）20 个县（市/区）、台湾省、四川省及越南、缅甸等国家和地区共征集到 233 份种质资源；2004 年，相关专家、学者对西双版纳州古茶树资源进行普查。考察发现，西双版纳州拥有树龄百年以上的古茶园 5482hm²、地方茶树品种 7 个，是我国古茶树资源分布面积最集中、最大和种质资源类型较多的古茶区。2005—2011 年，通过多个项目的实施，在云南省收集到除昆明、迪庆、怒江 3 个州（市）外的 13 个州（市）46 个县（市/区）91 个乡镇 121 个村委会的茶树种质资源共 290 份（其中野生资源 59 份，地方品种资源 226 份，其他资源 25 份）；2010—2017 年，蒋会兵等^[7]对云南省古茶树资源进行了全面普查（含 12 个地区 58 个县/市），采用统计学和地理信息系统对古茶树资源种类组成、生境类型、地理分布特征和形态多样性进行了研究，并重点对 47 个古茶树资源分布点进行考察，共记录资源样本 2570 份。2011—2021 年，通过多个项目的实施，完成了临沧市、怒江州、大理州和西双版纳州等 4 个州（市）9 个县（市/区）及福建省、浙江省和湖南省的茶树种质资源调查研究工作，共收集到各类茶树种质资源 394 份（其中野生资源 42 份、地方品种资源 321 份、育成品种资源 31 份）。

2 保存与编目

茶树作为一种多年生常绿木本经济作物，根据其生长习性、遗传特性和保存条件，目前主要采取原生境保存和建立资源圃异地保存两种方式对茶树种质资源进行保存。生长势较好的野生茶树、古茶树等资源主要采取原生境（建立保护区或保护点）保存的方式进行保存，茶树（群体）由于生态环境条件较好，得以正常生长繁殖，这种方式可以较好地保持茶树种质资源的遗传多样性和稳定性^[8]。资源圃保存是目前采用最多的田间保存方式，不仅能完整保存茶树资源活体，同时有助于资源的研究鉴定和集中统一管理，以防丢失。1983 年，在原云南省科委支持下，云南省农业科学院茶叶研究所规划建成面积 30 亩的“茶树品种资源保存圃”，是全国最大的大叶茶树资源活体保存基地，到 1986 年已入圃保存资源 389 份（含野生、半

野生茶树、地方品种、优异单株和近缘植物)；1990年5月，经原农业部批准，“茶树品种资源保存圃”正式挂牌为“国家种质勐海茶树分圃”，其建立不仅使云南大叶茶资源和一批稀有、特有、珍贵的茶树资源材料得以集中、稳妥和永久性保存，也为综合研究利用茶树资源创造了重要条件，具有重大的科学意义；2012年1月，经原农业部批准，“国家茶树种质勐海茶树分圃”正式更名为“国家大叶茶树种质资源圃（勐海）”；2014年1月，依托“国家种质资源勐海大叶茶树圃”申请的农业种子工程项目，“国家种质资源勐海大叶茶树圃改扩建项目”获农业部批复建设，2014年9月，国家科技基础条件平台“国家农作物种质资源平台茶树种质资源子平台（勐海）”在云南省农业科学院茶叶研究所资源圃挂牌。2016年，茶树圃改扩建项目实施完成，资源圃面积由1983年的30亩增加到68.73亩，资源保存能力达6000余份，并建有泵房和工具用房各1幢、468平米温室大棚1座、500立方米和92立方米蓄水池各1口，所有种植区域全部装有滴灌系统，老圃区还布置有喷灌设施。外有围墙，围墙内四周种植樱花、樟脑、攀枝花、银华树等植物作防护林。资源圃分为三个大区：一是观察鉴定区，主要供产量、品质、抗性、植物学特征、生物学特性等鉴定研究，开挖种植沟深宽50 cm×50 cm，行株距1.5 m×0.33 m，单株种植，每份材料种10株，按生产性茶园进行常规管理；二是自然生长区，开挖种植塘，深宽为60 cm×60 cm，行株距2 m×2 m，单株种植，每份材料种5株，不修剪、不采摘，任其自然生长，保存资源自然属性；三是新圃区，按照不同资源类型进行布局规划种植，如古树茶资源区、野生茶树资源区、地方资源区、引进资源区、特色资源区等。经过近60年的考察收集，截至2021年底，“国家大叶茶树种质资源圃（勐海）”已收集保存中国、越南、老挝、缅甸、日本、肯尼亚和格鲁吉亚等7个国家的茶组植物25个种3个变种和7种非茶组植物的各类种质资源共3485份，包括野生型、栽培型、过渡型、近缘种等种质资源材料，是我国大叶茶树种质资源保存数量最多、种类最齐全的活体保存中心和云南茶叶科技创新最重要的基础平台，为全国茶产业的可持续发展源源不断提供资源技术保障。

2000—2021年，在国家科技部基础平台项目支持下，云南省农业科学院茶叶研究所对保存于国家大叶茶树种质资源圃（勐海）的茶树种质资源，按产地、生物学特征、农艺性状、生化成分、抗性等29个性状进行了整理编目，编入全国种质资源目录1916份，占入圃总数的54.98%。

茶树为多年生常绿木本植物，长期异地保存会使其表型发生变异，可能改变其遗传性状，对保守性强的茶树种质资源，尤其是古树茶资源，主要采取原生境保护^[9]。2006年，按照云南省林业厅要求，云南省农业科学院茶叶研究所在勐海县勐宋乡古茶树（园）原生境保护示范点开展了研究。近年来，云南茶树种质资源原生境保护逐渐受到各级党委政府的高度关注和重视。2009年以来，先后制定出台了《云南省澜沧拉祜族自治县古茶树保护条例》、《云南省西双版纳傣族自治州古茶树保护条例》、《云南省西双版纳傣族自治州古茶树保护条例实施办法》、《临沧市古茶树保护条例》、《云南省双江拉祜族佤族布朗族傣族自治县古茶树保护管理条例》、《云南省双江拉祜族佤族布朗族傣族自治县古茶树保护管理条例实施细则》、《普洱市古茶树资源保护条例》、《普洱市古茶树资源保护条例实施细则》等政策措施，白莺山地区是大理茶（*C. taliensis*）、阿萨姆茶（*C. sinensis* var. *assamica*）和中间过渡形态茶树广泛分布的区域，保存了本山茶等野生型、栽培型和过渡型古茶树10余种200余万株，2021年中国首家茶树演化自然博物馆挂牌白莺山茶区^[9]。这些政策措施的贯彻落实，将有力地促进云南茶树种质资源遗传多样性保护。

3 茶组植物分类

中国是世界茶树原产地，拥有世界上最为丰富的茶树资源^[1-3]。茶组分类作为植物分类学的研究内容之一，一直是茶叶界关注的焦点。19 世纪 50 年代，Sealy^[10]《A Revision of the Genus *Camellia*》一书的出版，标志着现代山茶属植物系统分类研究的开端。随着新的茶树物种不断被发现和植物分类学的进步^[11]，茶组植物分类得以不断改进和完善。1992 年，闵天禄^[3]结合地理分布规律，以传统形态学的分类方法将茶组植物分为 12 个种（茶、大理茶、大厂茶、广西茶、大苞茶、厚轴茶、毛叶茶、紫果茶、秃房茶、突肋茶、膜叶茶、防城茶）6 个变种（毛萼茶、毛萼广西茶、宽叶秃房茶、光萼厚轴茶、普洱茶、德红茶），其中，茶（*Camellia sinensis*）包括 4 个变种[小叶茶（Var. *sinensis*）、大叶茶（阿萨姆茶、普洱茶）（Var. *assamica*）、毛萼茶（var. *pulilimba*）、德红茶（Var. *dehungensis*）]，在此分类系统中，云南分布有茶组植物 12 个种 3 个变种。1998 年，张宏达^[12]在《中国植物志》上重新修订了茶组植物分类系统，将茶组植物分为 32 个种 3 个变种，其中有 12 个新种和 1 个变种，在此分类系统中，云南分布有茶组植物 30 个种 3 个变种（其中 26 个种和 2 个特有变种为云南独有）。2000 年，陈亮等^[13]将茶组植物分为 5 个种[大厂茶*Camellia tachangensis* F.S.Zhang、厚轴茶*C. crassicolumna* Chang、大理茶*C. taliensis* (W.W.Smith) Melchior、秃房茶*C. gymnogyna* Chang、茶*C. sinensis* (L.) O. Kuntze]和 2 个变种[普洱茶*C. sinensis* var. *assamica* (Masters) Kitamura、白毛茶 *C. sinensis* var. *pulilimba* Chang]，在此分类系统中，云南分布有茶组植物 5 个种 2 个变种。

4 鉴定评价与创新利用

“七五”至“十三五”期间，在相关项目支持下，云南省农业科学院茶叶研究所从茶树种质资源的农艺性状、品质、生化成分、抗性和细胞学等方面对云南不同茶区 800 余份资源进行系统鉴定与综合评价，取得了重要进展。

4.1 筛选发掘出一批优异种质资源

优异资源发掘的前提是对其进行科学鉴定与精准评价，发掘优异资源是茶树种质资源研究的目的，是开展茶树品种改良的基础，对促进茶产业健康快速发展具有十分重要的意义^[14-15]。1950 年以来，先后对 800 余份茶树种质资源的农艺性状、品质特征和抗性性状等进行了系统鉴定评价。筛选出特异种质资源 215 份，含红绿茶特异资源 14 份（荷花村山茶、勐统源头茶和尼诺茶等）^[16]，成分含量特异茶树种质资源 201 份，其中高茶多酚含量资源 39 份（ $\geq 25.00\%$ ）、高氨基酸资源 9 份（ $\geq 5.5\%$ ）、高咖啡碱资源 19 份（ $> 5.5\%$ ）、低咖啡碱资源 14 份（ $\leq 1.5\%$ ）、高儿茶素指数资源 13 份（ $\geq 20\%$ ）、高EGC资源 10 份（ $\geq 25\text{ mg/g}$ ）、高EGCG资源 20 份（ $\geq 10.00\%$ ）、高茶黄素资源 33 份（ $> 1.3\%$ ）、高水浸出物资源 14 份（ $\geq 45\%$ ）、高苦茶碱资源 4 份、形态器官特异资源 26 份。其中，86-9-12、86-12-7 两份种质资源在 2001 年被原农业部科技教育司评为农作物优异种质贰级，制成的红碎茶香高持久，滋味浓强鲜爽，茶黄素含量高达 1.3%，红碎茶品质可赶上印度、斯里兰卡等国家的红茶水平^[17]。筛选出优良种质资源 56 份，其中抗寒性较强资源 6 份、抗茶云纹叶枯病资源 6 份、抗茶小绿叶蝉资源 15 份、抗咖啡小爪螨资源 2 份、抗根结线虫资源 2 份，高抗

假眼小绿叶蝉资源 15 份和高感假眼小绿叶蝉资源 10 份。

4.2 遗传多样性分析

茶树是典型的自交不亲和植物，生长区域广泛、栽培历史悠久、异质同源等特点使茶树品种具有高度的异质性，在遗传和形态上具有高度的多样性^[18-19]，全面深入地了解掌握茶树种质资源变异程度和遗传多样性是科学地进行茶树育种的前提和基础。随着社会的快速发展，现代遗传学与分子生物学等技术手段已成为茶树种质资源遗传多样性检测的主流，其检测的深度和广度已从形态和生化水平发展进步到DNA分子水平^[20-21]。

除基于形态学上的遗传多样性分析^[22-25]，现代分子标记技术如SSR、ISSR、EST-SSR、RAPD、HPLC、AFLP、SNP等已成为茶树种质资源鉴定的重要工具，并被广泛运用^[26-35]。具有代表性的研究有：Fang等^[36]研究发现，适制红茶的茶树品种遗传多样性显著高于适制乌龙茶的茶树品种。Zhao等^[37]对野生大理茶群体与驯化大理茶群体分析比较，发现野生大理茶群体的遗传多样性较低且具有较强的遗传漂移现象，说明野生大理茶被过度采摘和原生境破碎化导致其遗传多样性下降，而通过驯化群体与栽培群体比较发现，驯化过程中茶树遗传多样性并没有较大变化，推测大理茶可能是在临近云南西部森林中心地区被驯化的。Liu等^[38]通过对云南茶树资源进行指纹图谱构建、遗传多样性及亲缘关系研究，构建了云南无性系茶树品种分子指纹图谱，为云南茶树种质资源研究提供了分子水平上的依据。Yao等^[39]研究表明，云南和贵州等茶区茶树遗传多样性最高，而离云南和贵州越远的地区其茶树遗传多样性呈现逐渐降低的趋势，据此推测茶树传播途径。段红星等^[40]探讨了云南特有茶树种质资源的分类及其亲缘关系，云南特有茶树种质资源遗传多样性高达 100%。Jin等^[41]研究发现，春茶一芽二叶儿茶素含量和变异系数最高的是云南和广西等南部茶区。Xin等^[42]研究发现，地区内的茶树遗传多样性普遍高于地区间的茶树遗传多样性，同时也观察到这些地区的茶树遗传多样性丰富。这些研究对今后茶树种质资源收集保存和进一步的研究工作都具有十分重要的理论指导意义。

4.3 茶树植物化学研究

国内外在茶树植物化学方面的研究相对较少，中国科学院昆明植物研究所杨崇仁教授、张颖君教授及其课题组成员在茶树植物化学研究方面做出了杰出贡献^[43-54]，19 世纪末期以来，通过对云南栽培大叶茶（*Camellia sinensis*.var. *assamica*）及其近缘野生植物大理茶、光萼厚轴茶、普洱茶、云南红茶等茶树植物化学成分进行系统研究，从大理茶中发掘出鞣花单宁类化合物大理茶素和光萼厚轴茶不含咖啡因及茶碱等嘌呤类生物碱的特征性成分，从云南普洱熟茶中发现了结构新颖的黄烷醇内酯类成分，并从植物化学的角度全新揭示了云南产茶叶的物质基础，特别是在大理茶的起源研究中，提出了大理茶是栽培大叶茶的科学论断，为云南是茶的故乡提供了科学论断。同时，在应用现代分析技术的基础上，建立了没食子酸和茶氨酸同时定量的分析技术。为构建普洱茶规范加工工艺和生产模式，制定普洱茶科学质量标准，开发优质普洱茶产品，培育普洱茶品牌，提高云南红茶产品质量和竞争力，以及白莺山古树种质资源的深入系统研究和合理开发提供了坚实的科学技术基础，同时为栽培型大叶茶起源和大理茶作为大叶茶野生基源之一的假说提供了植物化学方面强有力的证据。

4.4 茶树种质资源的创新利用

云南茶树种质资源在我国茶树科学研究、遗传育种和生产实践上发挥了重大作用。1950 年以来, 云南大叶种茶被广泛引种到广东、海南、广西、四川及湖南、浙江、福建等部分茶区, 除部分省份大面积种植外, 大部分云南茶树种质资源被广泛运用于新品种选育。同时, 通过驯化、分离、系统选种和杂交育种, 选择产生了如云抗系列、蜀永系列、黔湄系列、福云系列等茶树良种和品系。据统计, 2017 年以前, 我国经国家审(认、鉴)定或登记的茶树品种有 134 个, 其中含云南大叶茶种质成分的有 36 个, 占 28%; 2017 年以后, 我国经国家审(认、鉴)定或登记的茶树品种有 174 个, 其中含云南大叶茶种质成分的有 45 个, 占 26%。云南丰富的茶树种质资源为我国茶树品种选育做出了重大贡献^[5]。从 20 世纪 90 年代末开始, 随着科学技术的不断发展, 分子辅助育种、太空育种、化学诱变育种等新的育种技术手段逐步被运用于茶树育种, 并取得了一定成效。

20 世纪 80 年代以来, 云南省农业科学院茶叶研究所通过对全省 60 余个县的茶树种质资源调查发现, 在世界茶组植物的 32 个种(张宏达分类系统)^[12]中, 分布在云南的茶种有 30 个, 变种 3 个, 其中 26 个种和 2 个特有变种为云南独有, 有栽培型地方茶树品种 200 余个。一批生产上可直接利用的茶树良种如易武绿芽茶、昌宁大叶茶、文家塘大叶茶、潞水大叶茶种被推广运用到云南茶叶主产区。通过对考察收集保存的茶树种质资源开展系统研究, 截至 2021 年, 选育出‘云抗 10 号’、‘云抗 14 号’、‘长叶白毫’、‘紫娟’等茶树良种 37 个, 其中, 经国家审(认、鉴)定或登记的茶树良种 5 个(‘云抗 10 号’、‘云抗 14 号’、‘勐海大叶茶’、‘勐库大叶茶’和‘凤庆大叶茶’), 经云南省审(认、鉴)定或登记的茶树良种 32 个, 获植物新品种保护权 6 个(‘紫娟’、‘云茶 1 号’、‘云茶奇蕊’、‘云茶银剑’、‘云茶香 1 号’和‘云茶普蕊’)。在云南省推广的茶树良种达 700 余万亩, 其中‘云抗 10 号’推广面积达 200 余万亩, 成为全省主要的当家品种。

5 重要进展

5.1 茶树资源研究新突破

2017 年 1 月, 中国科学院昆明植物研究所高立志研究员联合云南省农业科学院茶叶研究所刘本英研究员等相关研究团队在世界上率先破译了栽培茶树大叶茶种(*Camellia sinensis* .var. *assamica*) 云抗 10 号基因组, 成功绘制了茶树高质量基因组图谱。茶树高质量基因组图谱揭示了对茶叶适制性、风味、品质及茶树全球生态适应性起决定性作用的遗传学基础, 必将对茶树功能基因组学研究、发掘优异新基因、提升茶叶品质和培育适应性茶树新品种起到巨大的推动作用, 同时促进全球野生茶树种质资源研究和遗传保护^[55]。2016 年 5 月, 昆明植物所高连明研究员联合云南农科院茶叶所刘本英研究员课题组, 采用 SSR 对中国和印度的 392 份茶树种质资源(古茶树、茶树老品种和现代栽培茶树品种)栽培起源驯化开展研究, 首次发现云南栽培型大叶茶代表新的遗传谱系, 是极为重要的茶树种质资源, 对促进茶树种质资源的保护和新品种选育具有十分重要的科学价值^[56]。大理茶(*C. taliensis*) 属山茶科(*Theaceae*) 茶组[Sect. *Thea* (*L.*) *Dyer*] 植物, 主要分布于滇西南和缅甸北部, 属国家二级保护植物。相对于栽培型茶树来说, 大理茶通常生长在环境更为恶劣的高海拔常绿阔叶林中, 受到的生物与非生物胁迫更为严峻, 在长期的自然选择下保留了许多优异的抗性基因, 作为栽培茶树的野生近缘种, 对其在产量、品质和抗逆性等方面进行改良具有十分重要的意义。2015 年, 中科院昆明植物所高立志研究员团队联合云南农科院茶叶所刘本英研究员课题组对大理茶转录组学进行研究, 对大理茶进行高通量 Illumina High-Seq2000 转录组测序, 在世界上首次获得了大理

茶高质量参考转录组序列，鉴定出了大量与茶叶品质密切相关的重要次生代谢产物通路基因，该研究结果为大理茶独特口感和较强的抗逆性提供了比较转录组学的研究参考，并将加速茶树功能基因组学的研究和遗传改良工作^[57]。临沧是世界古茶树最多的区域，蕴藏着丰富的古茶树资源，一直被认为是世界上茶树可能的起源和驯化地，然而其遗传构成却鲜为人知。云南农业大学教授盛军和董杨率领团队，历时 3 年，通过调查临沧所有普洱茶集中产地和山头，采集临沧 8 个县区内的 101 个不同海拔、不同经纬度的 27000 余个普洱茶样本，共覆盖 552 个茶园，逐步建立起临沧古茶树和古茶园茶叶样品大数据库。巨大的样本成为研究普洱茶起源、资源分布和品质的珍贵材料。根据收集的大量样本开展研究，揭示了临沧普洱茶起源和进化的基因特征，并利用短读长测序技术对其中 1350 个不同茶叶基因组进行大规模全基因组重测序，这一研究的发现和解析，有利于深入了解茶树种质资源的演化历程、遗传特征和变异方向，也为茶种基因型等相关信息进行数字化分析、数字化设计和智能化管理提供了基础数据^[58]。

5.2 重要成果奖

60 余年来，经过几代云岭茶人的不懈奋斗，云南茶叶科技成果丰硕。1979 年，王朝纪等完成的“云南大叶茶优良品种选育”被云南省委、原省革委授予省农业科技大会奖；1987 年，王海思等参与完成的“云南茶树资源考察征集及新品种的发现”被原农牧渔业部授予科技进步二等奖；1992 年，“云南茶树资源研究及大叶茶国家种质圃的建立”获省科技进步二等奖；1993 年，“茶树种质资源的系统鉴定与综合评价”被原农业部及国家科委授予科技进步二等奖；1996 年，“云南大叶茶无性系良种-云抗 10 号选育研究”获省科技进步二等奖；2005 年，‘佛香 1 号’品种荣获省科技进步三等奖；2006 年，“名优绿茶杂交新品种‘佛香 3 号’选育”获西双版纳州科技进步一等奖；2009 年，“云南省茶树优质良种选育、有机茶生产及名优茶创新研究”获省科技进步一等奖，“云南普洱茶化学成分及质量标准研究”获省科技进步一等奖；2011 年，“云南大叶茶良种长叶白毫选育与应用”获省科技进步三等奖、西双版纳州一等奖，“西双版纳优质普洱茶专用品种选育”获西双版纳州科技进步二等奖；“无性系繁殖作物种质资源收集、标准化整理、共享与利用”获浙江省科技进步二等奖；2013 年，“紫娟选育与应用”获西双版纳州科技进步二等奖；2014 年，“云南茶树种质资源收集鉴定评价及创新利用”获省科技进步三等奖，“大叶种无性系茶树良种分子鉴别技术研究及指纹图谱构建”获西双版纳州科技进步一等奖；2015 年，“云南少数民族农业生物资源调查与共享平台建设”获省科技进步二等奖，“云南茶树种质资源平台的创建与应用”获西双版纳州科技进步一等奖，“云南茶树种质资源创新、优质特色新品种选育及应用”获省科技进步三等奖、西双版纳州科技进步一等奖；2016 年，“茶树优异种质发掘与新品种选育及高效栽培技术示范推广”获安徽省科学技术二等奖；2018 年，“古茶树资源信息库建设”获西双版纳州科技进步一等奖；2021 年，“优质高产抗寒大叶茶树良种选育及应用”获神农中华农业科技二等奖，“普洱茶数据平台创建与产业化应用”获省科技进步三等奖；2022 年，“国家大叶茶资源圃创建及优异种质创新利用”获省科技进步一等奖。

6 云南茶树种质资源研究领域存在的问题

60 年来，云南茶树种质资源研究取得了一系列重要进展，茶叶科技创新跃居全国领先水平，但也应看到，云南茶树种质资源收集保存不够系统全面、缺乏深入精准的鉴定评价、发掘利用不够充分、古茶树种质资源保护不到位、共享利用率低等关键问题仍未得到有效解决。

6.1 茶树种质资源的收集保存力度不够大，不够系统全面

野生茶树种质资源是探究茶树起源演化、系统分类和遗传变异的重要材料，同时也是种质创新和遗传变异的丰富基因源^[9]。云南高海拔低纬度的自然地理和气候环境条件，以及长期以来的原始耕作方式，孕育和保留了世界上最集中、最丰富的野生茶树资源^[59]。近年来，由于市场对野生茶和古树茶的非理性炒作，缺少稳定有力的资金支持，管护政策落实不到位，价格攀升，导致野生茶树直接被采挖或过度采摘而死亡，甚至毁林种茶现象时有发生，野生茶树原始生态环境遭到严重破坏，生物种群数量减少。同时，野生茶树资源因其遗传特性限制，繁殖十分困难，自然居群更新程度低，致使自然种群数量锐减，一些珍稀野生茶树资源正逐渐变成濒危资源。此外，大面积优良无性系茶树良种的推广，部分地方特色茶树品种面临丢失的危险。茶叶作为世界三大饮品之一，有关茶树的栽培起源与驯化历史始终是人们关注的热点，但云南保存的茶树种质资源以国内为主，国外茶树种质资源数量较少，特别是缺乏南亚、东南亚等国家的野生茶组植物。

6.2 茶树种质资源鉴定评价不够深入精准，对茶树重要农艺性状形成规律认识不够全面

云南在茶树种质资源重要农艺性状的精准鉴定方面还处于起步阶段，对茶树抗逆性（抗寒性、抗旱性、抗病性等）及主要生化成分的评价鉴定水平亟需进一步提升，缺乏高精度遗传变异图谱，尤其是对珍稀、濒危野生茶树资源的精准深入鉴定评价较少，严重阻碍了茶树种质资源的广泛有效利用。长期以来，由于茶树生长周期长、部分性状受环境影响较大，茶树发育和品质控制等方面的重要性状遗传规律及调控机制很大部分尚未明确，茶树种质资源的创新利用存在很大程度上的随意性和盲目性。茶树种质资源是经过长期的自然演化，不断适应变化多样的耕作制而形成的一种重要自然资源，在长期的生物进化过程中不断得以充实和发展，积累了由自然选择和人工选种所引起的极其丰富的遗传变异，但研究发现，资源圃收集的栽培型茶树遗传变异较小，应进一步加强构建能最大程度地代表整个资源遗传多样性的核心种质，同时，鉴于茶树有着复杂的遗传背景，不同研究对茶树是否经过驯化尚不能得出一致的结论。

6.3 茶树种质资源的发掘利用不充分

对茶树种质资源中应用价值较高的基因挖掘力度和深度不够，尚不能支撑育种研究需求。茶树种质创新中优异基因快速检测、聚合、转移等技术体系尚未建立，对重要经济性状的遗传改良存在鉴定周期长、亲本选择盲目等问题。同时，由于茶树转基因技术体系及成熟基因编辑技术的缺乏，茶树研发能力明显滞后于苹果等其他木本园艺植物。

6.4 产业发展亟需的优异种质资源缺乏

常规杂交等传统方法存在育种效率低、盲目性大等技术瓶颈，但仍是云南茶树种质创新的主要手段，同时，由于早期鉴定技术的缺乏，茶树新种质研发周期较长，新品种选育进度相对缓慢，远不能满足茶产业快速发展对新品种的需求。近年来，茶产业同质化竞争日趋激烈，迫切需要性状品质特异、多元化等茶树品种。云南虽然茶树种质资源丰富，但特异品种和其它专用品种较少。

7 展望与建议

60 余年来，云南茶树种质资源研究取得了重大进展，为茶叶种业发展提供了丰富的育种资源。随着茶产业的快速发展和市场需求的日益多样化，云南茶树种质资源研究也将面临严峻挑战。因此，必须大力提

升茶树种质资源研究水平，以科技创新赋能茶叶种业高质量发展，提高茶树资源创新利用效率，加速茶树高质量育种进程。

7.1 加强茶树种质资源的征集保存

茶树遗传改良的物质基础是种质资源，其蕴含的遗传变异是决定茶树育种效率的关键^[60]。云南茶树种质资源十分丰富，国家种质大叶茶树资源圃（勐海）收集保存的主要是国内茶树种质资源，国外资源数量相对较少，需进一步加大茶树种质资源收集保存力度。要继续强化国际交流与合作，以更大力度征集引进全球兼具代表性和重大应用价值的茶树样本^[61]。同时，应加大珍稀濒危、特异种质资源和地方特色品种的收集力度，更加重视对茶树野生近缘种的调查征集，保证茶树资源得到有效管理与保护。要加强与省内外其他科研院所的合作，全面系统地调查收集珍稀濒危资源，并适时对其生存状态与濒危机制进行解析，构建异位保护与原生境保护相结合的保护体系^[16]，为今后茶树遗传育种奠定材料基础。

7.2 强化茶树种质资源的鉴定评价

发掘利用自然界已有或创新的优良种质，是资源研究的目的^[62]，对茶树种质资源表型和基因型进行精确鉴定与综合评价，是茶树种质创新和关键优异基因挖掘的基础^[20]。随着组学技术、智能与信息技术的快速发展，茶树种质资源的鉴定评价已进入新阶段，成为茶树育种中重要性状准确快速发掘与应用的坚实基础^[63]。云南茶树种质资源重要农艺性状的鉴定尚处于起步阶段，依托茶树种质资源的收集，实现茶树育种理论的突破是茶树高效育种的关键，加快茶树重要农艺性状相关功能基因的挖掘是高效育种的核心。精准和高通量鉴定评价茶树种质资源应根据资源保存特性及其研究需要加快进度，以创建更加科学和多元化的核心种质，强化浓缩种质资源的遗传多样性。加快含有更多极具代表性的茶组植物泛基因组图谱的挖掘和构建，深入推进种质资源的起源与遗传多样性研究，阐明不同茶树品种间的演化关系，通过基因组学等多组学联合研究，对茶树核心种质表型、基因型、基因表达和代谢物进行高通量、多维度、精准化、规模化鉴定，创建茶树种质资源生物多组学数据库信息平台及其遗传变异图谱，加速揭示遗传变异的主要形式，为深入剖析多基因控制性状遗传构成搭建基础条件平台。选择遗传背景和性状差异明显的茶组植物为遗传分离群体的建立奠定基础，以对茶树种质资源进行农艺和品质性状精准鉴定评估为前提，利用具备全基因组水平的高通量基因分型技术深入分析茶树重要性状的遗传结构，在对茶树关键基因进行分离的基础上开展深入的功能分析，探究调控或决定茶树重要性状的遗传学基础和网络，研制基于功能基因的分子标记，创建性状优异的茶树种质资源早期筛选鉴定与评估技术体系^[20]。

7.3 加快优异种质资源的挖掘利用

“一粒种子可以改变一个世界”，种子是农业的“芯片”^[64]。特异茶树种质资源是遗传育种的重要基础材料和高附加值产品的重要材料来源，其挖掘和利用已成为促进产业发展的重要内容^[9]。应以产业需求为导向，以“多元化利用”、“提升质量安全”、“具有地方特色”等为目标，加速以满足供给侧结构性改革为重点的多元化产品为目标的多类型茶树品种选育^[61]，加快研发具有绿色优质多抗等优良性状及较高育种研究和利用价值的突破性茶树新品种。加速提升规模化挖掘优异基因和携带优异等位基因茶树种质资源的效率，加快具有优异新种质的多基因聚合技术的研发，利用远缘杂交等多种技术手段充分挖掘应用茶树野生近缘种中的优异基因。借鉴利用其它作物上的成功举措，使用能促使种子提早出苗、嫁接嫩枝、分子标记筛选等现代

分子和生物技术手段，使常规杂交和现代生物技术手段得以有效整合，从而使茶树育种周期得以有效缩短，进而不断提升茶树种质资源研发效率。同时，通过无性繁殖增加茶树早期穗条数等技术手段加速新种质的繁育与推广应用，加强与国内外科研院所的合作，联合使用先进技术手段建立更加高效的茶树遗传转化技术体系，加快适用于茶树基因编辑技术载体的研发，以实现茶树新种质的定向创制，从而加速茶树重要农艺性状、品质性状的改良和育种进程。加快从头驯化野生茶树品种的路径探究，为具备优良品质、功能成分特异和抗性强等突破性茶树新种质的研制开辟新方向。

7.4 加强古茶树种质资源保护力度

古茶树种质资源保护对于保持“云茶”产业资源发展优势至关重要。应进一步开展“云南古茶树资源数据库”和“云南古茶树资源一张图”大数据平台建设，通过信息化和物联网等技术手段实现古茶树的实时监测，为古茶资源的合理开采和有效利用提供决策依据，实现数据化监管；加快云南古茶树标准的制定，尽快出台《云南省古茶树保护条例》，强化古茶树、古茶园法治保护基础，将古茶山和古茶树保护管理范围纳入国土空间规划，划定古茶园（山）保护区域，制定和推行挂牌重点保护制度；地方政府应设立用于古茶树保护的专项资金，适时定额列入财政预算，专门用于对古茶树的养护、抢救和保护设施的建立、科研、宣传，以及开展古茶树资源数据库、档案库及种质资源繁育基地建设等方面；应加强对古茶树的科学养护，禁止对古茶树进行移植和过度采摘，严禁砍伐生态树木，保护古茶树资源的特异性和遗传多样性。禁止在保护区内挖沙取土、开发建设、污染排放等，多举措保护古茶园（山）自然生态环境，以科学合理的手段规范古茶树保护区内的生产生活、产业开发活动，严禁对古茶园（山）进行人为破坏。

7.5 完善种质资源的共享平台与机制

通过科学分类和统一的描述规范及对茶树种质资源的表型组、基因组等组学数据进行标准化处理和评估。充分利用多组学联合研究，规模化、批量化、精准化鉴定茶树种质资源基因型、基因表达和代谢成分，通过大数据和互联网技术，建立茶树生物多组学数据库，整合多组学数据，开发茶树种质资源友好型在线分析工具，构建资源共享利用平台，促进茶树种质资源的有效整合、保护、共享和创新利用。强化茶树品种繁育、茶叶生产企业与科学研究机构等公益性单位的联合协作，实现资源、人才和实验平台的共享，提高数字化种质资源利用效率，加快茶树新品种的培育和推广力度^[65]。

7.6 加强高端科技人才培养及创新团队建设

云南虽然茶树种质资源丰富，但高端专业技术人才缺乏，行业拔尖和领军人才匮乏。与国内其他先进省市相比，茶学研究水平严重滞后。因此，要能长久地承担起云南大叶茶树种质资源的研究、保护与有效利用的重任，就必须加强干部人才队伍建设，要进一步建立完善人才引进与培养各项激励政策措施，加快培养更多学术学科带头人，着力培育行业拔尖和领军人才，努力打造一支强有力的产、学、研、市场、文化全覆盖的云茶产业专业技术人才队伍，支持引导国家茶叶产业技术体系、省级现代农业茶叶产业技术体系建设，发挥在科技攻关、技能培训、示范推广中的优势，建设覆盖全产业链、全产区的科技服务支撑体系。打造“世界普洱茶鉴评与评估中心”，建立“数字云茶”产业综合平台。强化普洱茶基础和关键技术研究，积极研发推广新工艺、新产品，做大做强“云茶”大品牌。

参考文献

- [1]虞富莲.论茶树原产地和起源中心.茶叶科学,1986(01):1-8.
Yu D L.Discussion on the Originating Place and the Originating Center of Tea Plant.Journal of Tea science,1986(01):1-8.
- [2]陈兴琰.茶树原产地-云南昆明:云南人民出版社,1994: 30-38
Chen X Y.Originating Place of Tea Plant-Yunnan Kunming:People's Publishing Press of Yunnan,1994: 30-38
- [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]唐一春,杨盛美,许玫,王平盛,宋维希,矣兵.云南大叶茶资源保护及共享利用.茶叶,2007(04):224-227.
Tang Y C,Yang S M,Xu M,Wang P S,Song W X,Yi B.The protection and rational utilization of Yunnan big leaf tea resource.Journal of Tea, 2007(04):224-227.
- [5]刘本英,宋维希,孙雪梅,蒋会兵,马玲,矣兵,汪云刚,王平盛.云南茶树种质资源的研究进展及发展重点.植物遗传资源学报,2012,13(04):529-534.
Liu B Y,Song W X,Sun X M,Jiang H B,Yi B,Wang Y G,Wang P S.Advance and Developmental Emphases of Tea Germplasm Resources of Yunnan Region[J].Journal of Plant Genetic resources,2012,13(04):529-534.
- [6]刘本英,宋维希,孙雪梅,蒋会兵,马玲,矣兵,季鹏章,汪云刚,王平盛.云南茶树种质资源的整理整合及共享利用.西南农业学报,2011,24(02):805-812.
Liu B Y,Song W X,Sun X M,Jiang H B,Ma L,Yi B, Ji P Z,Wang Y G,Wang P S.Documentation concordance and shared utilization of tea germplasm resources in Yunnan.Southeast China Journal of Agricultural Sciences,2011,24(02):805-812.
- [7]蒋会兵,唐一春,陈林波,王平盛,蔡新,虞富莲,杨柳霞,王兴华,李崇江,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 C 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.
- [8]陈亮,杨亚军,虞富莲.中国茶树种质资源研究的主要进展和展望.植物遗传资源学报,2004(04):389-392.
Chen L,Yang Y J,Yu F L.Tea Germplasm Research in China:Recent Progresses and Prospects.Journal of Plant Genetic Resources,2004(04):389-392.
- [9]金基强,张晨禹,马建强,陈亮.茶树种质资源研究“十三五”进展及“十四五”发展方向.中国茶叶,2021,43(09):42-49+76.
Jin J Q,Zhang C Y,Ma J Q,Chen L.Research Progress on Tea Germplasms during the 13th Five-Year Plan Period and Development Direction in the 14th Five-Year Plan Period.China Tea,2021,43(09):42-49+76.
- [10]Sealy J R. A revision of the genus Camellia .London:The Royal Horticultural Society, 1958.
- [11]陈兴琰.茶树植物学分类的历史和展望.茶叶科学简报,1985(04):8-18.
Chen X Y.History and perspective of the botanical classification of tea plants.Tea science Bulletin,1985(04):8-18.
- [12]张宏达.中国植物志.北京: 科学出版社, 1998.
Zhang H D.Flora reipublicae popularis Sinicase.Beijing:Science Press,1998.
- [13]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.
- [14]虞富莲,俞永明,李名君,束际林,刘维华,吕文明,王海思,韩志福,钟渭基.茶树优质资源的系统鉴定与综合评价.茶叶科学,1992(02):95-125.
Yu F L,Yu Y M,Li M J,Su J L,Liu W H,Lv W M,Wang H S,Han Zh F,Zhong W j.Comprehensive Evaluation and Characterization of some well-performed Tea Germplasm Resources.Journal of Tea Science, 1992(02):95-125
- [15]马建强,姚明哲,陈亮.茶树种质资源研究进展.茶叶科学,2015,35(01):11-16.
Ma J Q,Yao M Z,Chen L.Research Progress on Germplasms of Tea Plant (*Camellia.sinensis*).Journal of Tea Science,2015,35(01):11-16.
- [16]蒋会兵,刘本英,宋维希,马玲,段志芬,矣兵,汪云刚,王平盛.国家种质勐海茶树分圃资源保存及研究进展.茶叶,2010,36(04):203-207.
Jiang H B,Liu B Y,Song W X,Ma L,Duan Z F,Yi B,Wang Y G ,Wang P S.Resources conservation research progress in the national tea germplasm resources in Menghai.Journal of Tea,2010,36(04):203-207.
- [17]王平盛,许玫.云南茶树种质资源研究的成就和展望.中国茶叶,2001(04):34-35.
Wang P S, Xu M.Achievements and prospects of research on tea germplasm resources in Yunnan.China Tea,2001(04):34-35.
- [18]Chen L, Gao Q, Chen D, et al. 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(6): 1433-1444.
- [19]Kottawa-Arachchi J D, Gunasekare M T, Ranatunga M A B. Biochemical diversity of global tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] germplasm and its exploitation: a review. Genetic Resources and Crop Evolution, 2019, 66(1): 259-273.
- [20]王新超,王璐,郝心愿,李娜娜,黄建燕,丁长庆,杨亚军.中国茶树遗传育种发展、创新之回顾与展望.华中农业大学学报,2022,41(05):1-8.
Wang X C,Wang L,He X Y,Li N N,Huang J Y,Ding C Q,Yang Y J.Retrospect and prospect of development and innovation of tea plant genetics and breeding in China.Journal of Hua zhong Agricultural University,2022,41(05):1-8.
- [21]陈杰丹,马春雷,陈亮.我国茶树种质资源研究 40 年.中国茶叶,2019,41(06):1-5+46.
Chen J D,Ma C L,Chen L.Tea germplasm resources research in China for 40 years.China Tea,2019,41(06):1-5+46.

- [22]蒋会兵, 吴兵, 梁名志, 王平盛. 云南茶树种质资源形态性状多样性分析. 云南农业大学学报(自然科学版), 2011, 26(06): 833-840.
- Jiang H B, Yi B, Liang M Z, Wang P S. Morphological Diversity Analysis of Tea Germplasm Resources in Yunnan. Journal of Yunnan Agricultural University (Natural Science), 2011, 26(06): 833-840.
- [23]蒋会兵, 宋维希, 吴兵, 李友勇, 马玲, 陈林波, 田易萍, 段志芬, 刘本英, 梁名志. 云南茶树种质资源的表型遗传多样性. 作物学报, 2013, 39(11): 2000-2008.
- Jiang H B, Song W X, Yi B, Li Y Y, Ma L, Chen L B, Tian Y P, Duan Z F, Liu B Y, Liang M Z. Genetic Diversity of Tea Germplasm Resources in Yunnan Province Based on Phenotypic Characteristics. Acta Agronomica Sinica, 2013, 39(11): 2000-2008.
- [24]季鹏章, 王家金, 李慧, 詹春红, 宋维希, 朱兴正, 刘大会, 汪云刚, 金航. 云南主要野生、栽培茶树资源形态多样性分析. 西南农业学报, 2014, 27(03): 972-977.
- Ji P Z, Wang J J, Li H, Zhan C H, Song W X, Zhu X Z, Liu D H, Wang Y G, Jin H. Morphological Diversity of Cultivated and Wild Tea Plant Germplasm Resources from Yunnan. Southwest China Journal of Agricultural Science, 2014, 27(03): 972-977.
- [25]陶萍, 宋赓, 张晴晖, 李俊秋, 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.
- [26]毛娟, 江鸿键, 李崇兴, 马建强, 陈亮. 云南白莺山地区茶树遗传多样性研究. 茶叶科学, 2018, 38(01): 69-77.
- Mao J, Jiang H J, Li C L, Ma J Q, Chen L. Genetic Diversity Analysis of Tea Plant in Baiyingshan Mountain of Yunnan. Journal of Tea Science, 2018, 38(01): 69-77.
- [27]杨金玲. 西双版纳地区古茶树种质资源的遗传多样性分析. 云南大学, 2018.
- Yang J L. Genetic Diversity Analysis of Ancient Tea Plants in Xishuangbanna Area. Yunnan University, 2018.
- [28]刘本英, 王丽鸳, 周健, 唐一春, 成浩, 王平盛, 江用文. 云南大叶种茶树种质资源ISSR指纹图谱构建及遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2008, 9(04): 458-464.
- Liu B Y, Wang L Y, Zhou J, Tang Y C, Wang P S, Jiang Y W. Fingerprinting Construction and Genetic Diversity Analysis of Yunnan Dayezhong Tea Germplasm Resources by ISSR Marker. Journal of Plant Genetic Resources, 2008, 9(04): 458-464.
- [29]刘本英, 王丽鸳, 李友勇, 唐一春, 贺魏, 成浩, 王平盛. ISSR标记鉴别云南茶树种质资源的研究. 茶叶科学, 2009, 29(05): 355-364.
- Liu B Y, Wang L Y, Li Y Y, Tang Y C, He W, Chen H, Wang P S. ISSR Markers for Discriminating Tea Germplasm Resources from Yunnan Province. Journal of Tea Science, 2009, 29(05): 355-364.
- [30]刘本英, 李友勇, 唐一春, 王丽鸳, 成浩, 王平盛. 云南茶树资源遗传多样性与亲缘关系的ISSR分析. 作物学报, 2010, 36(03): 391-400.
- Liu B Y, Li Y Y, Tang Y C, Wang L Y, Cheng H, Wang P S. Genetic Diversity and Relationship of Tea Germplasm in Yunnan Revealed by ISSR Analysis. Acta Agronomica Sinica, 2010, 36(03): 391-400.
- [31]刘振, 王新超, 赵丽萍, 姚明哲, 王平盛, 许玫, 唐一春, 陈亮. 基于EST-SSR的西南茶区茶树资源遗传多样性和亲缘关系分析. 分子植物育种, 2008(01): 100-110.
- Liu Z, Wang X C, Zhao L P, Yao M Z, Wang P S, Xu M, Tang Y C, Chen L. Genetic Diversity and Relationship Analysis of Tea Germplasms Originated from South Western China Based on EST-SSR. Molecular Plant Breeding, 2008(01): 100-110.
- [32]刘本英, 孙雪梅, 李友勇, 黄安平, 汪云刚, 成浩, 宋维希, 陈林波, 段志芬, 马玲. 基于EST-SSR标记的云南无性系茶树良种遗传多样性分析及指纹图谱构建. 茶叶科学, 2012, 32(03): 261-268.
- Liu B Y, Sun X M, Li Y Y, Huang A P, Wang Y G, Chen H, Song W X, Chen L B, Duan Z F, Ma L. Analysis of Genetic Diversity and Construction of DNA Fingerprinting with EST-SSR Markers for Improved Clonal Tea Cultivars in Yunnan Province. Journal of Tea Science, 2012, 32(03): 261-268.
- [33]李斌, 尹逸, 周英, 邓佩卿, 杨宏伟. 南昆山毛叶茶和云南大叶种的RAPD分子标记研究. 茶叶科学, 2003(02): 146-150.
- Li B, Yin Y, Zhou Y, Deng P L, Yang H W. Genetic Diversity of Two Sexual Tea Cultivars Detected by RAPD Markers. Journal of Tea Science, 2003(02): 146-150.
- [34]季鹏章, 汪云刚, 蒋会兵, 唐一春, 王平盛, 张俊, 黄兴奇. 云南大理茶资源遗传多样性的AFLP分析. 茶叶科学, 2009, 29(05): 329-335.
- Ji P Z, Wang Y G, Jiang H B, Tang Y C, Wang P S, Zhang J, Huang X Q. Genetic Diversity of Camellia taliensis from Yunnan Province of China Revealed by AFLP Analysis. Journal of Tea Science, 2009, 29(05): 329-335.
- [35]Lu L, Chen H, Wang X, et al. 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.
- [36]Fang W, Cheng H, Duan Y, et al. Genetic diversity and relationship of clonal tea (*Camellia sinensis*) cultivars in China as revealed by SSR markers. Plant Systematics and Evolution, 2012, 298(2): 469-483.
- [37]Zhao D, Yang J, Yang S, et al. Genetic diversity and domestication origin of tea plant *Camellia taliensis* (*Theaceae*) as revealed by microsatellite markers. BMC Plant Biology, 2014, 14(1): 1-12.
- [38]Liu B Y, Wang L Y, Li Y Y, et al. Genetic diversity in tea (*Camellia sinensis*) germplasms as revealed by ISSR markers. Indian Journal of Agricultural Sciences, 2009, 79(9): 715-721.
- [39]Yao M Z, Ma C L, Qiao T T, et al. Diversity distribution and population structure of tea germplasms in China revealed by EST-SSR markers. Tree Genetics & Genomes, 2012, 8(1): 205-220.

- [40]段红星,邵宛芳,王平盛,许玫,庞瑞华,张亚萍,崔文锐.云南特有茶树种质资源遗传多样性的RAPD研究.云南农业大学学报,2004(03):246-254.
- Duan H X,Shao W F,Wang P S ,Xu M,Pang R H,Cui W R.Study on the Genetic Diversity of Peculiar Tea Germplasm Resource in Yunnan by RAPD.Journal of Yunnan Agricultural University,2004(03):246-254.
- [41]Jin J Q, Ma J Q, Ma C L, et al.Determination of catechin content in representative Chinese tea germplasms.Journal of Agricultural and Food Chemistry,2014,62(39):9436-9441.
- [42]Xin T,Huang W,De Riek J,et al.Genetic diversity,population structure,and traditional culture of *Camellia reticulata*.Ecology and evolution,2017,7(21):8915-8926.
- [43]张雯洁,刘玉清,李兴从,杨崇仁.云南“生态茶”的化学成分.云南植物研究,1995(02):204-208.
- Zhang W J,Liu Y Q,Li C X,Yang C R.Chemical constituents of “Ecological Tea from Yunnan”.Acta Botanica Yunnanica,1995(02):204-208.
- [44]周志宏,张颖君,杨崇仁.怒茶素——怒江山茶的一个新黄酮甙(英文).云南植物研究,2000(01):90-96.
- Zhou Z H,Zhang Y J,Yang C R.Saluenin A New Flavonol Glycoside from *Camellia saluenensis*(English).Acta Botanica Yunnanica,2000(01):90-96.
- [45]周志宏,杨崇仁.云南普洱茶原料晒青毛茶的化学成分.云南植物研究,2000(03):343-350.
- Zhou Z H,Yang C R.Chemical Constituents of Crude Green Tea the Material of Pu-er Tea in Yunnan,Acta Botanica Yunnanica,2000(03):343-350.
- [46]Zhou Z H, Zhang Y J, Xu M, et al. Puerins A and B, two new 8-C substituted flavan-3-ols from Pu-er tea. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2005, 53(22): 8614-8617.
- [47]折改梅,张香兰,陈可可,张颖君,杨崇仁.茶氨酸和没食子酸在普洱茶中的含量变化.云南植物研究,2005(05):126-130.
- Zhe G M,Zhang X L,Chen K K,Zhang Y J,Yang C R.Content Variation of Theanine and Gallic Acid in Pu-Er Tea.Acta Botanica Yunnanica,2005(05):126-130.
- [48]杨崇仁,陈可可,张颖君.茶叶的分类与普洱茶的定义.茶叶科学技术,2006(02):37-38.
- Yang C R,Chen K K,Zhang Y Y.Classification of tea and definition of pu'er tea.Tea science and Technology,2006(02):37-38.
- [49]陈可可,朱宏涛,王东,张颖君,杨崇仁.普洱熟茶后发酵加工过程中曲霉菌的分离和鉴定.云南植物研究,2006(02):123-126.
- Chen K K,Zhu H T,Wang D,Zhang Y J,Yang C R.Isolation and Identification of *Aspergillus* Species from the Post Fermentative Process of Pu-Er Ripe Tea.Acta Botanica Yunnanica,2006(02):123-126.
- [50]林智,吕海鹏,崔文锐,折改梅,张颖君,杨崇仁.普洱茶的抗氧化酚类化学成分的研究.茶叶科学,2006(02):112-116.
- Lin Z,Lv H P,Cui W R,Zhe G M,Zhang Y J,Yang C R.Study on Antioxidative Polyphenol Compounds in Pu'er Tea.Journal of Tea Science,2006(02):112-116.
- [51]董鸿竹,曾恕芬,高大方,杨崇仁,张颖君,江鸿建.云南红茶化学成分的初步分析.茶叶科学技术,2009(02):14-17.
- Dong H Z,Zeng S F,Gao D F,Yang C R,Zhang Y J, Jiang H J,Priliminary analysis of chemical constituents of black tea from Yunnan .Tea science and Technology,2009(02):14-17.
- [52]Liu Q, Zhang Y J, Yang C R, et al. Phenolic antioxidants from green tea produced from *Camellia crassicolumna* Var. *multiplex*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 2009, 57(2): 586-590.
- [53]Gao D F, Xu M, Yang C R, et al. Phenolic Antioxidants from the Leaves of *Camellia pachyandra* Hu.Journal of agricultural and food chemistry, 2010, 58(15): 8820-8824.
- [54]张颖君,杨崇仁,曾恕芬,陈可可,江鸿健,左成林.白莺山古茶的化学成分分析与栽培茶树的起源.云南植物研究,2010,32(01):77-82.
- Zhang Y J,Yang C R,Zeng S F,Chen K K,Jiang H J,Zuo C L.Chemical Analysis of Old Tea Trees in Ba-i Ying-Shan Mountain and the Origin of Cultivated Tea.Acta Botanica Yunnanica,2010,32(01):77-82.
- [55]Xia E H,Zhang H B,Sheng J,et al.The tea tree genome provides insights into tea flavor and independent evolution of caffeine biosynthesis.Molecular plant, 2017, 10(6): 866-877.
- [56]Meegahakumbura M K,Wambulwa M C,Thapa K K,et al.Indications for three independent domestication events for the tea plant (*Camellia sinensis* (L.)O.Kuntze) and new insights into the origin of tea germplasm in China and India revealed by nuclear microsatellites. PloS one,2016,11(5):e0155369.
- [57]Zhang H B,Xia E H,Huang H,et al.De novo transcriptome assembly of the wild relative of tea tree (*Camellia taliensis*) and comparative analysis with tea transcriptome identified putative genes associated with tea quality and stress response.BMC genomics,2015,16(1):1-14.
- [58]Lei Y,Yang L,Duan S,et al.Whole-genome resequencing reveals the origin of tea in Lincang.Frontiers in plant science, 2022, 13.
- [59]孙雪梅,黄玖,刘本英,李友勇,宋维希,马玲,汪云刚,王平盛.云南野生茶树的地理分布及形态多样性.中国农学通报,2012,28(25):277-288.
- Sun X M,Huang M, Liu B Y, Li Y Y,Song W X, Ma L,Wang Y G, Wang P S.Geographic Distribution and Morphological Diversity of Wild Tea Germplasms from Yunnan.Chinese Agricultural Science Bulletin,2012,28(25):277-288.
- [60]夏恩华,韦朝领,宛晓春.茶树生物学“十三五”进展及“十四五”发展方向.中国茶叶,2021,43(09):31-41.
- Xia E H,Wei C L,Wan X C.Tea Plant Biology Progress during the 13th Five-Year Plan Period and Development Direction in the 14th Five-Year Plan Period.China Tea,2021,43(09):31-41.
- [61]Xia E H, Tong W, Wu Q, et al.Tea plant genomics: achievements, challenges and perspectives. Horticulture research, 2020, 7.
- [62]王新超,王璐,郝心愿,李娜娜,丁长庆,黄建燕,曾建明,杨亚军.茶树遗传育种研究“十三五”进展及“十四五”发展方向.中国茶叶,2021,43(09):50-57.
- Wang X C,Wang L,He X Y,Li N N,Ding C Q,Huang J Y,Zeng J M,Yang Y J.Tea Genetics and Breeding Progress during the13th Five-Year Plan Period and

Development Direction in the 14th Five-Year Plan Period.China Tea,2021,43(09):50-57.

[63]王晓鸣,邱丽娟,景蕊莲,任贵兴,李英慧,李春辉,秦培友,谷勇哲,李龙.作物种质资源表型性状鉴定评价:现状与趋势.植物遗传资源学报,2022,23(01):12-20.

Wang X M,Qiu L J,Jing R L,Ren G X,Li Y H,Li C H,Qin P Y,Gu Y Z,Li L.Evaluation on Phenotypic Traits of Crop Germplasm:Status and Development.Journal of Plant Genetic Resources,2022,23(01):12-20.

[64]姜仁华,熊兴平,姚明哲.我国茶叶科技“十三五”进展及“十四五”发展思考.中国茶叶,2021,43(09):17-24.

Jiang R H,Xiong X P,Yao M Z.Progress of Tea Science and Technology in China and Meditation on Its Development during the 14th Five-Year Plan Period.China Tea,2021,43(09):17-24.

[65]陈琪予,陈亮,陈杰丹.茶树种质资源数字化研究及展望.中国茶叶,2022,44(04):1-7.

Chen Q Y,Chen L,Chen J D.Research and Prospect of Digitalization of Tea Germplasm Resources.China Tea,2022,44(04):1-7.