

国家荔枝香蕉种质资源圃(广州)的 荔枝资源保存现状及创新利用

文英杰, 欧良喜, 史发超, 严倩, 蔡长河, 姜永华, 刘海伦, 陈洁珍

(广东省农业科学院果树研究所/农业农村部亚热带果树生物学与遗传资源利用重点实验室/

广东省热带亚热带果树研究重点实验室, 广州 510640)

摘要: 荔枝是起源于我国的亚热带常绿木本果树,栽培历史悠久,在我国果树产业中具有重要地位。我国荔枝种质资源十分丰富,为荔枝育种和产业发展提供了重要的物质保障。国家荔枝香蕉种质资源圃(广州)是我国荔枝种质资源最主要的保存单位,也是目前世界上保存荔枝种质资源最多、最完整、最规范的种质资源圃。截止至2022年12月,收集保存荔枝种质资源652份,选育出了红绣球、仙进奉、凤山红灯笼等多个优质荔枝新品种,创建了50万株自然杂交后代群体以及2万多株人工杂交后代群体,推动了荔枝基因组和起源、分子标记、品质、抗病性等基础研究,助力了荔枝品种结构调整和产业升级,在乡村脱贫致富和产业可持续发展中发挥了重要作用。本文介绍了国家荔枝香蕉种质资源圃(广州)的发展历程,总结和回顾了近20年来荔枝种质资源收集保存现状,以及荔枝种质资源创新利用所取得的进展,并对今后的研究方向进行了展望,以期为我国荔枝种质资源的有效利用和产业发展提供可供参考的信息。

关键词: 荔枝;种质资源圃;保存;利用

Conservation Status and Innovative Utilization of Litchi Resources in the National Litchi and Banana Germplasm Repository (Guangzhou)

WEN Yingjie, OU Liangxi, SHI Fachao, YAN Qian, CAI Changhe, JIANG Yonghua, LIU Hailun, CHEN Jiezhen

(Institute of Fruit Tree Research, Guangdong Academy of Agricultural Sciences / Key Laboratory of

South Subtropical Fruit Biology and Genetic Resource Utilization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs /

Guangdong Provincial Key Laboratory of Tropical and Subtropical Fruit Tree Research, Guangzhou 510640)

Abstract: Litchi, a subtropical evergreen woody fruit tree that originates in China and has been cultivated for over two thousand years, is essential to China's fruit tree industry. The rich litchi germplasm resources hosted in China provide an important guarantee for litchi breeding and industrial development. The national litchi and banana germplasm repository (Guangzhou) serves as the primary unit for the preservation of litchi germplasm resources in China and is currently the most comprehensive and standardized litchi germplasm repository in the world. As of December 2022, the national litchi and banana germplasm repository (Guangzhou) has collected and preserved 652 litchi germplasm resources and successfully bred multiple high-

收稿日期: 2023-01-17 修回日期: 2023-04-12 网络出版日期: 2023-05-19

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20230117001>

第一作者研究方向为果树种质资源与育种工作, E-mail: wenyingjie@gdaas.cn

通信作者: 陈洁珍, 研究方向为果树种质资源与育种工作, chenjiezh@daas.cn

基金项目: 物种品种资源保护费项目(111821301354052293); 国家荔枝龙眼产业技术体系项目(CARS-32-01); 国家园艺种质广州荔枝、香蕉分库运行服务(NHGRC2023-NH17); 广东省荔枝产业技术体系(2023K107-1); 广东省农业科学院人才引进项目(R2022YJ-YB3028)

Foundation projects: Species Variety Resources Conservation Fee Project (111821301354052293); National Litchi and Lungan Industry Technology System (CARS-32-01); National Horticultural Germplasm Bank (NHGRC2023-NH17); Guangdong Province Litchi Industry Technology System (2023K107-1); The Introduction of Scientific and Technological Talents of Guangdong Academy of Agricultural Sciences(R2022YJ-YB3028)

quality litchi new varieties, including Hong xiu qiu, Xian jin feng, and Feng shan hong deng long. The repository has also established a population of over 500,000 natural hybrid offspring and more than 20,000 artificially hybrid offspring, promoting basic research on litchi genomics and origins, molecular markers, quality, and disease resistance. These measures have contributed to the adjustment of the litchi varieties and the promotion of the industry, playing an important role in rural poverty alleviation and the sustainable development of the litchi industry. This review presents an overview of the development history of the national litchi and banana germplasm repository (Guangzhou) and also summarizes the progress made in the past two decades regarding litchi germplasm resource collection and preservation, as well as their innovative utilization. Furthermore, we propose future research directions and focus in the national litchi and banana germplasm repository (Guangzhou), aiming to provide a reference for the effective utilization and industrial development of China's litchi germplasm resources.

Key words: litchi; germplasm repository; conservation; utilization

荔枝为无患子科(Sapindaceae)荔枝属(*Litchi* Sonn.)亚热带常绿果树,国内一般认为该属由菲律宾荔枝(*Litchi philippinensis* Radlk.)和中国荔枝(*Litchi chinensis* Sonn.)组成^[1]。前者原产于菲律宾,肉薄、味酸,无食用价值和经济种植^[1];后者起源于我国的云南,沿西江水系,向东传播到广西、广东、海南等地,并在云南和海南独立驯化成极早熟型和晚熟型品种群,由光头荔枝(*Litchi chinensis* Sonn. var. *spontaneous* Pei)和褐毛荔枝(*Litchi chinensis* Sonn. var. *fulvosus* YQ Lee)两个变种组成^[2-3]。通常所指的荔枝即为中国荔枝。17世纪末,中国荔枝开始向其他国家传播,现已遍布中国、印度、越南、毛里求斯等30多个国家的亚热带地区^[4-7]。目前我国是世界上最大的荔枝生产国,2022年种植面积约为52.1万公顷,产量约为253.1万吨,均占全球的70%左右^[8]。作为荔枝的起源地和生产大国,在长期的演化和栽培中,孕育出众多适应不同环境的品种,形成了极为丰富的种质资源,为我国荔枝产业发展提供了重要的物质保障^[9-12]。

我国一直高度重视荔枝种质资源的调查、收集和保存,广泛开展了全国荔枝种质资源的普查以及建立资源圃异地集中保存的相关工作。1959年在国家科委的组织下,荔枝主产省区的科研、教学和生产部门共同合作,并广泛发动农户,对全国荔枝种质资源进行了系统的调查、收集、整理和鉴定,基本摸清了我国荔枝的分布情况^[13]。但荔枝作为一种多年生常绿、异花授粉的果树,遗传背景十分复杂,基因型高度杂合,种子多为杂种^[14]。利用种子繁殖常会产生性状分离和变异,与亲本在遗传和表型上不一致,并且荔枝种子为典型顽拗性种子,寿

命短、贮藏困难,种子保存不适用于荔枝种质资源^[15-16]。另外,荔枝的离体保存方法也还不完全成熟^[17-18]。为获得与母本相同的性状和遗传信息,荔枝种质资源一般采用嫁接或圈枝繁育的方法,通过建立资源圃的方式进行活体植株保存,这也有助于资源的统一管理和集中鉴定^[19-20]。

1979年,中国农业科学院主持召开了“全国果树科研规划会议”,制定了统一的果树种质保存规划,决定建立国家种质资源圃^[21]。同年,广东省农业科学院果树研究所承担了农牧渔业部下达的荔枝种质资源建圃任务,并于1988年底基本完成,圃地面积共有5.3公顷,收集保存的荔枝种质资源为124份。1989年国家果树种质广州荔枝香蕉圃(以下简称国家荔枝圃)通过验收,成为16个国家级果树资源圃之一。2022年国家荔枝圃成为第一批72个国家级农作物、农业微生物种质资源库(圃)之一^[22]。在国家和广东省经费的持续支持下,经过五代人的不懈努力,至2022年底保存荔枝种质资源652份,是我国最主要的荔枝种质资源保存单位,也是目前世界上保存荔枝种质资源最多、最完整、最规范的种质资源圃(图1)^[23]。此外,广东茂名和东莞、广西南宁、海南永兴和儋州、云南保山、四川泸州、台湾嘉义和凤山等地也保存有数量不等的荔枝种质资源,各单位保存的资源侧重点不同,可为国家荔枝圃提供补充和备份。本文总结和回顾了近20年来国家荔枝圃的种质资源收集保存现状,以及资源创新利用所取得的进展,并对今后的研究方向进行了展望,以期对未来我国荔枝种质资源的有效利用和产业发展提供可供参考的信息。

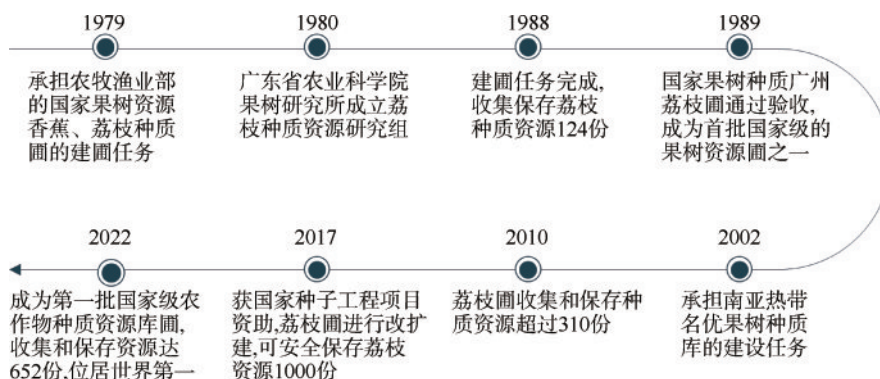


图1 国家荔枝圃的发展历程

Fig.1 Development of National Litchi Germplasm Repository

1 国家荔枝圃的资源保存现状

1.1 荔枝资源保存总体情况

从20世纪60年代开始,广东省农业科学院果树研究所作为牵头单位,开始收集保存国内的荔枝种质资源。1989年经农业部验收时,国家荔枝圃收集保存的荔枝种质资源为124份。2001年启动农作物种质资源保护与利用项目至今,从我国的广东、海南、广西、福建、云南、四川、台湾等地区新增收集保存荔枝资源516份,从澳大利亚、南非、泰国、马达加斯加等国家引进保存荔枝资源12份;对入圃保存的荔枝种质资源,依照《荔枝种质资源描述规范和数据标准》^[24]规定的内容和方法,按基本信息、形态特征和农艺性状等进行了整理编目,新增编入全国种质资源目录282份,占编目入圃保存资源总量的76%。截至2022年12月31日,国家荔枝圃保存荔枝种质资源652份,编目入圃保存总数375份,均为中国荔枝(*L. chinensis* Sonn.),主要来源于广东、海南、广西和福建等地(表1)。

1.2 保存的特色资源

编目入圃保存的375份荔枝种质资源,其中地方品种96份,占总数的25.6%;选育品种40份,占10.6%;野生资源22份,占5.8%;其他在自然界零星分布的资源209份,占55.7%;引进资源8份,占2.1%。在保存特色资源方面,保存了无核荔、厚叶和禾虾串等单性结果资源3份,该类资源数量极少,果实具有无核、焦核和大核3种类型,花期若遇上阴雨天授粉受精不良则可结成无核型果实;保存了鹅蛋荔、紫娘喜、侯仙、昌文、苹果荔等特大果种质资源5份,平均单果质量达45 g以上;保存了马贵荔、东刘1号、下番枝、金钟和秀石荔等特迟熟种质资源5份;保存了惠东四季荔、岭腰1号等可异季结果资

源2份(图2)。

表1 荔枝种质资源编目入圃保存概况

Table 1 Overview of cataloguing and preserving litchi germplasm resources in the nursery

序号 No.	来源地 Origin	种质份数 Number of accessions
1	中国广东	157
2	中国海南	128
3	中国广西	42
4	中国福建	25
5	中国云南	7
6	中国四川	5
7	中国台湾	3
8	澳大利亚	3
9	马达加斯加	2
10	南非	2
11	泰国	1
12	合计	375

开花结果是果树年生长周期和生命周期中最重要的过程,果树研究者和生产者特别重视。按照正常的物候期,我国荔枝成熟期在每年的3~8月,但在资源调查收集中发现,有些品种能多次开花结果。如:惠东四季荔相传有近600年的历史,一年可在不同的季节开花结果,母树位于村道边的耕地边缘,极易被砍伐,国家荔枝圃已收集并保存5株。2011年10月下旬在海南进行荔枝种质资源调查和收集工作时,新发现了异季开花结果的岭腰1号,调查时树上正挂着小果,根据果实的发育程度推算成熟时间为12月底。该资源只有1株,其开花结果特性对研究荔枝的成花机理具有非常重要的意义,国家荔枝圃已收集并保存5株。2020年再到原地调查时,母树已被砍伐掉,原生境已开垦种上了胡椒等作物。说明珍稀的种质资源只有及时发现、收集才能有效保护。



A: 可单性结实的无核荔; B: 异季结果的岭腰1号; C: 特大果的鹅蛋荔; D: 果皮白色的白皮荔; E: 果皮深紫色的黑荔; F: 果皮绿色的新球蜜荔; G: 产量最多的妃子笑; H: 国家荔枝圃选育的仙进奉; I: 国家荔枝圃选育的风山红灯荔

A: Wu he li (Parthenocarp); B: Ling yao 1 hao (Different seasonal fruiting); C: E dan li (Extra-large fruit); D: Bai pi li (White pericarp); E: Hei li (Dark purple pericarp); F: Xin qiu mi li (Green pericarp); G: Fei zi xiao (Maximum yield); H: Xian jin feng (Bred by national litchi germplasm repository); I: Feng shan hong deng long (Bred by national litchi germplasm repository)

图2 部分荔枝特色资源

Fig.2 Part of litchi characteristic resources

2 保存资源的创新利用

荔枝种质资源作为各类科学研究的材料和对象,近20年来,国家荔枝圃向华南农业大学、中山大学、海南大学、中国热带农业科学院环境与植物保护研究所等大学及科研院所和广东、广西、福建、云南、海南、四川、重庆等省、市县农技推广部门、合作社、企业、种植户等提供281份可利用资源,共3000余份次,用于开展育种利用、基础研究、产业提升和乡村振兴以及科普宣传,已编目资源的利用率达75.7%。

2.1 支撑育种

我国的荔枝育种技术主要以实生选种为主,但近年来杂交育种在荔枝新品种选育中受到广泛重视,特别是分子标记技术加快了杂交育种进程^[25-27]。依托国家荔枝圃,通过资源调查、收集、筛选、鉴定评价,结合田间多地区品比、中试、示范等系统选育

程序,先后实生选出7个荔枝新品种:红绣球、仙婆果、御金球、凤山红灯笼、翡脆、北园绿和仙进奉等。其中红绣球列为“十三五”国家热带亚热带农作物农业主导品种,仙进奉和凤山红灯笼被列为热带亚热带农作物农业主导品种及广东省农业主导品种(图3)。

由于实生选种工作已经开展较长时间,加上城镇化的发展等因素导致目前可供选种的荔枝自然实生资源越来越少,杂交育种创建实生群体成为了荔枝育种的重要途径^[28]。从2008年开始,国家荔枝圃利用丰富的遗传多样性和自然杂交组合多的条件,创建了210个母本品种,50万株自然杂交后代群体以及2万多株人工杂交后代群体。吴洁芳等^[29]通过调查50万株荔枝自然杂交后代,发现10年间荔枝童期结束植株数呈正态分布,峰值出现在3.5年或4.5年,并且不同母本品种的童期结束植株数量差异显著,栽培品种中大造、水东、黑叶、凤山红灯

笼、高州糖驳、妃子笑、紫娘喜、新球蜜荔、香山鸡嘴荔、雪怀子、桂味、三月红等童期结束植株占比较多,是理想的特短童期母本品种。目前已从童期结

束的单株中筛选出 64 个优株,其中赛糯、离娘香(图 3)于 2020 年 6 月已通过农业农村部植物新品种测试中心的现场测试并获得品种保护权。



A: 红绣球; B: 红绣球果实形态和纵切面; C: 仙进奉; D: 仙进奉果实形态和纵切面; E: 凤山红灯笼;
F: 凤山红灯笼果实形态和纵切面; G: 离娘香; H: 离娘香果实形态和纵切面; I: 赛糯;
J: 赛糯果实形态和纵切面

A: Hong xiu qiu; B: Fruit morphology and longitudinal section of Hong xiu qiu; C: Xian jin feng; D: Fruit morphology and longitudinal section of Xian jin feng; E: Feng shan hong deng long; F: Fruit morphology and longitudinal section of Feng shan hong deng long; G: Li niang xiang; H: Fruit morphology and longitudinal section of Li niang xiang; I: Sai nuo; J: Fruit morphology and longitudinal section of Sai nuo

图 3 5 个荔枝新品种的果实特征

Fig.3 Fruit characteristics of five new lychee varieties

杂种后代的早期鉴定工作是杂交育种的重要环节,目前形态学观察仍然是杂种后代早期鉴定的主要方法,但开展分子标记等技术手段从基因水平上进行杂种早期鉴别及辅助选择,能够有效缩短荔枝育种年限,提高育种效率^[30]。前期利用表达序列标签-简单重复序列(EST-SSR, expressed sequence tag based simple sequence repeat)标记,采用4对引物组合对两个杂交群体的F₁单株进行分析,结果表明两个杂交群体的159个F₁单株均为真杂种^[31]。进一步利用1对单核苷酸多态性(SNP, single nucleotide polymorphism)标记对3个荔枝杂交组合的131个F₁单株进行鉴定,真杂种率分别为93.6%、96.8%和72.5%^[32]。

2.2 支撑基础研究

在荔枝基因组和起源方面,通过测序,完成了妃子笑的15条假染色体水平的基因组组装,拼接序列(470 Mb)覆盖基因组的96.2%,杂合度2.27%,注释蛋白编码基因31896个;利用34份野生荔枝资源和38份栽培荔枝品种重测序分析,证明荔枝的起源中心是云南,并经历了两个独立的驯化事件,分别驯化成极早熟型和晚熟型品种群,早熟荔枝妃子笑可能是极早熟荔枝品种与晚熟荔枝品种杂交形成的;发现了*VRN1*基因在无患子植物基因组中特异地扩增,在荔枝基因组中鉴定到*LcVRN1*基因簇,共含有24个串联复制基因,可能与荔枝有益性状调控有关;发现了荔枝基因组中一对*CONSTANS-like*基因之间出现一段3.7 kb的DNA序列缺失,该缺失与果实成熟期高度连锁,可开发为分子标记用于不同成熟期荔枝品种的选育^[3]。上述研究结果将为荔枝的基础生物学研究、重要基因功能分析和分子遗传育种提供支撑,将极大推动荔枝产业的发展。

在分子标记研究方面,利用EST-SSR核心引物对96份荔枝种质资源进行遗传聚类分析,可分为8大类群,且每一类中的资源和生态类型与成熟期相关^[33];进一步利用155个SNPs标记对上述96份荔枝种质资源进行SNP分型,发现荔枝种质资源的亲源关系与成熟期具有很好的一致性,可作为荔枝分类的首选标准^[12]。利用18对SSR引物和12对InDel引物对232份荔枝种质资源开展遗传多样性检测,遗传相似系数在0.66~1.00之间;当相似系数为0.76时,可将232份种质资源分为15类,而海南的11份野生荔枝种质资源分布在6个类群中,表明野生荔枝资源的遗传多样性高于栽培品种间的遗传多样性^[34]。

在品质研究方面,发现荔枝果实假种皮的可滴定酸含量在成熟前期急剧下降,后期变化趋缓;以完熟果的各糖分指标进行聚类分析可将15份荔枝种质资源分为2个类群5个组群^[35]。利用质构仪对2021年196份荔枝种质资源进行质地品质指标参数测定,聚类分析可分为适口性、口感粘附性和凝聚性3大类群^[36]。以特殊种质资源博8(高酸)和常规栽培品种怀枝(低酸)为研究材料,发现发育过程中的怀枝果肉中苹果酸降解速率远高于博8,并通过代谢组和转录组联合分析,发现怀枝中苹果酸和柠檬酸的急剧降解分别与富马酸和γ-氨基丁酸双合成途径激活有关,其中3个关键基因*LITCHI026501.m2*(延胡索酸酶)、*LITCHI020148.m5*(谷氨酸脱羧酶)和*LITCHI003343.m3*(谷氨酸脱氢酶)已鉴定为果实酸度调控的功能基因^[37]。

在抗病方面,测定了140份荔枝种质资源果实对荔枝霜疫病的抗病性,以发病率与病情指数相结合的评价体系,发现3个品种免疫,分别为义桥蜜荔、鹅蛋荔和佳圆蜜荔;另外还有14个品种高抗,16个品种中抗,18个品种低抗^[38]。刘海伦等^[39]通过对276份荔枝自然群体的叶片和果实人工接种霜疫病菌,综合分析荔枝叶片和成熟果实病情指数,筛选出高抗的裕荣1号,在荔枝霜疫病菌侵染后,其叶片和成熟果实的病情指数均小于25,体内抗病相关的钙依赖性蛋白激酶*LcCDPK17*, *LcCDPK19*和*LcCDPK5*显著上调表达。

2.3 支撑产业提升和乡村振兴

仙进奉是从广州市增城区仙村镇基岗村的实生荔枝单株中选育而出,并在2011年通过广东省农作物品种审定委员会审定,2013年获批为国家地理标志保护产品,2016年推荐为农业农村部“十三五”期间第一批热带亚热带作物主导品种,2018年获得农业农村部优质晚熟荔枝品种品质评奖金奖,2019年被列为广东省十大最受欢迎主导品种之一,2022年通过“中国一乡一品”评审。该品种的果实为长歪心形、中等大,果皮较厚、色泽鲜红,果肉黄腊色、细嫩,味浓甜有蜜香,焦核率80%以上,裂果少、耐贮运、丰产稳产,比糯米糍晚熟7~10天,深得种植户和消费者喜爱。仙进奉成熟期较晚,可与其他荔枝品种错峰上市,近些年市场销售价格不少于60元/kg,至2021年已在广东、广西、云南、贵州、四川、福建等省份累计推广种植面积近0.7万公顷,创造经济效益30亿元以上。一批种植大户成为了业内知名的企业家或种植能手,增城区以仙村镇为核

心区建设了增城仙进奉荔枝省级现代农业产业园,原产地基岗村和仙村镇分别获得广东省“一村一品”示范村和“一镇一业”示范镇称号,创造了小树种成就大产业的典范,在乡村脱贫致富、荔枝品种结构调整和产业可持续发展中起到了良好的示范作用。

另外,凤山红灯笼是从广东省汕尾市鲤鱼尾选育出的变异株系,从2002年开始对该株系的性状持续观察与鉴定,并与国家荔枝圃保存的300多份资源进行比对,发现这是一个新的荔枝种质,2011年通过广东省农作物品种审定委员会审定,定名为凤山红灯笼,2013年被列为农业农村部“十二五”期间第一批热带亚热带作物主导品种,2017年荣获“全国优质荔枝擂台赛”其他优质荔枝组金奖,2022年通过全国热带农作物审定委员会审定。该品种果实正心形,果皮鲜红色,果肉黄蜡色、爽脆细嫩、不流汁,味清甜带微香,焦核率85%以上,裂果率5%以下,丰产优质,深得当地种植户的喜爱。在汕尾,相同情况下凤山红灯笼亩产比糯米糍高出40%,市场售价也远高于糯米糍。目前该品种已累计推广应用667公顷,并已出口到东南亚等国家,实现了汕尾荔枝出口的“零突破”,大大提升了汕尾荔枝在整个荔枝产业的知名度和市场竞争力。

3 展望

国家荔枝圃自1989年建立以来,荔枝种质资源保存技术和设施不断完善,保存资源不断丰富,为荔枝育种、基础研究、产业发展和科普宣传提供了良好的物质基础和技术保障。但随着荔枝产业的快速发展和市场需求的不断提升,对荔枝种质资源工作提出了更高的要求。因此,国家荔枝圃在保障已保存种质资源安全的基础上,将从以下四个方面继续开展工作:

3.1 加强荔枝种质资源收集保存

我国荔枝种质资源丰富、分布广泛,但随着气候变化、城镇化和新品种推广等因素影响,野生资源、半野生资源和地方特色资源消失的风险加剧。因此,我们将充分利用我国荔枝种质资源优势,重点开展以下工作:一是进一步调查、收集和保存珍稀濒危、野生资源和特色资源,不断完善荔枝核心种质资源库和数据库;二是加强与各省市其他科研单位、政府部门合作,充分查清珍稀濒危野生资源和特色资源的分布区域和生长条件,及时进行原生环境保护和异地保存,系统收集近年来育成的新品种

和遗传改良材料;三是积极响应“一带一路”倡议,加强国际交流和合作,收集引进国外代表性或重大应用价值的荔枝种质资源。

3.2 加强荔枝种质资源鉴定评价和挖掘利用

国家荔枝圃保存资源数量世界第一,但已开展深度鉴定的资源十分有限,荔枝基因组测序的完成以及分子生物学、组学技术的快速发展,为荔枝种质资源的鉴定评价和挖掘利用提供了强有力的技术支撑^[40]。我们将在前期的基础上,从以下四个方面开展:一是依照荔枝种质资源描述规范和数据标准,继续补充完善荔枝种质资源的植物学特征和农艺性状的鉴定评价工作,摸清每一份资源的特征;二是以产业发展瓶颈和市场需求为导向,重点开展荔枝种质资源的品质、加工性、抗逆性和抗病虫害等特异性状的精准评价,挖掘更多优异荔枝种质资源;三是在前期完成的276份荔枝核心种质资源深度重测序的基础上,结合表型鉴定和精准评价等数据,运用全基因组关联分析和多组学联合分析等手段,探究重要性状的遗传调控机制和网络,深入挖掘各类优异性状关键效应基因及等位变异,为荔枝新品种创制提供基因资源;四是深入开展荔枝关键效应新基因的功能分析,阐明在育种中的价值和利用途径,开发相关分子标记和分子身份证,并与常规杂交育种工作相结合,缩短荔枝育种周期,减少育种盲目性,提高荔枝种质资源开发效率。

3.3 完善荔枝种质资源保存技术和共享机制

目前荔枝种质资源以田间活体种植的保存方式为主,容易受自然灾害、病虫害和人类(动物)活动的影响,使已入圃保存的种质资源也存在安全风险,而目前的共享机制也存在反馈不及时以及共享的种质资源流失等问题。因此,未来我们将重点开展以下工作:一是在政府部门和主管单位的支持下,继续提升国家荔枝圃的保存设施水平,满足荔枝种质资源安全保存的动态需求;二是加强与国内外高校、科研院所和企业的合作,推进种质资源、实验平台和技术人才共享,联合突破荔枝胚性愈伤组织超低温保存技术瓶颈,完善荔枝花粉等种质载体的离体保存技术,形成荔枝种质资源多元保存体系;三是利用现代生物学等手段,开展荔枝种质资源DNA的保存技术,建设珍稀濒危种质资源的DNA库,不断提高我国荔枝种质资源的安全性;四是理清国家荔枝圃中荔枝种质资源的知识产权属性,划分开放等级,依托中国种业大数据平台推进保存资源的分类赋权,促进荔枝优质资源共享

利用。

3.4 加强人才培养及团队建设

荔枝种质资源收集、鉴定和保存是一项基础性、长期性、稳定性和繁杂性的工作,需要强大的心理素质、扎实的理论基础和丰富的实践经验,目前国家荔枝圃有科研人员 19 人,其中研究员 2 人,副研究员 2 人,博士 5 人,形成了一支老中青结合的人才梯队。我们将进一步引进优秀的专业人才,优化人员结构和梯度,加强对青年科技人员的荔枝资源收集、鉴定和保存等基础性工作内容培训,开展与其他国家种质资源圃的学术交流,不断提升科研人员的科学素质,建成一支有情怀、有担当、有干劲、有本领的人才队伍,为荔枝种质资源的安全保存和利用提供可靠的人才保障。

参考文献

- [1] 李建国. 荔枝学. 北京: 中国农业出版社, 2008: 50-104
Li J G. The litchi. Beijing: China Agriculture Press, 2008: 50-104
- [2] 张惠云, 高贤玉, 王跃全, 王永芬, 宋云连, 左艳秀, 张翠仙, 李岫峰, 饶翔, 罗心平. 褐毛荔枝古树资源调查. 农学学报, 2020, 10(1): 77-81
Zhang H Y, Gao X Y, Wang Y Q, Wang Y F, Song Y L, Zuo Y X, Zhang C X, Li X F, Rao X, Luo X P. Ancient trees of *Litchi chinensis* var. *fulvus*: Resource investigation. Journal of Agriculture, 2020, 10(1): 77-81
- [3] Hu G B, Feng J T, Xiang X, Wang J B, Salojärvi J, Liu C M, Wu Z X, Zhang J S, Liang X M, Jiang Z D, Liu W, Ou L X, Li J W, Fan G Y, Mai Y X, Chen C J, Zhang X T, Zheng J K, Zhang Y Q, Peng H X, Yao L X, Wai C M, Luo X P, Fu J X, Tang H B, Lan T Y, Lai B, Sun J H, Wei Y Z, Li H L, Chen J Z, Huang X M, Yan Q, Liu X, McHale L K, Rolling W, Guyot R, Sankoff D, Zheng C F, Albert V A, Ming R, Chen H B, Xia R, Li J G. Two divergent haplotypes from a highly heterozygous lychee genome suggest independent domestication events for early and late-maturing cultivars. Nature Genetics, 2022, 54(1): 73-83
- [4] Ibrahim S R, Mohamed G A. *Litchi chinensis*: Medicinal uses, phytochemistry, and pharmacology. Journal of Ethnopharmacology, 2015, 174: 492-513
- [5] Zhao L, Wang K, Wang K, Zhu J, Hu Z. Nutrient components, health benefits, and safety of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.): A review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2020, 19(4): 2139-2163
- [6] Rao G P, Tiwari A K, Madhupriya, Dubey D. Identification and characterization of two phytoplasma subgroups (16SrXI-D and 16SrXIV-A) associated with lychee (*Litchi chinensis* Sonn) in India. Journal of Plant Diseases and Protection, 2017, 124: 235-239
- [7] Madhou M, Bahorun T, Hormaza J I. Phenotypic and molecular diversity of litchi cultivars in Mauritius. Fruits, 2010, 65(3): 141-152
- [8] 陈厚彬, 苏钻贤, 杨胜男. 2022 年全国荔枝生产形势分析. 中国热带农业, 2022(3): 5-14
Chen H B, Su Z X, Yang S N. Analysis on the litchi production situation in 2022. China Tropical Agriculture, 2022(3): 5-14
- [9] 邓穗生, 陈业渊, 张欣. 应用 RAPD 标记研究野生荔枝种质资源. 植物遗传资源学报, 2006, 7(3): 288-291
Deng S S, Chen Y Y, Zhang X. Identification of wild litchi (*Litchi chinensis* Sonn. var. *euspontanea* Hsue) germplasm resources using RAPD markers. Journal of Plant Genetic Resources, 2006, 7(3): 288-291
- [10] 白慧卿, 吴建国, 潘学标. 影响我国荔枝分布的关键气候要素分析. 果树学报, 2016, 33(4): 436-443
Bai H Q, Wu J G, Pan X B. Key climatic factors affecting the distribution of litchi in China. Journal of Fruit Science, 2016, 33(4): 436-443
- [11] 曾洪, 李明芳, 郑学勤. 基于 SSR 标记的荔枝种质遗传多样性分析. 植物遗传资源学报, 2010, 11(3): 298-304
Zeng Q, Li M F, Zheng X Q. Analysis of genetic diversity within litchi varieties based on SSR markers. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11(3): 298-304
- [12] Liu W, Xiao Z D, Bao X L, Yang X Y, Fang J, Xiang X. Identifying litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cultivars and their genetic relationships using single nucleotide polymorphism (SNP) markers. PLoS ONE, 2015, 10(8): e135390
- [13] 欧良喜, 陈洁珍, 向旭, 蔡长河, 孙清明. 荔枝种质资源的研究现状与展望. 中国热带农业, 2010(4): 33-36
Ou L X, Chen J Z, Xiang X, Cai C H, Sun Q M. Current status and prospect of research on germplasm resources of litchi. China Tropical Agriculture, 2010(4): 33-36
- [14] Wu J F, Fu D W, Chen J Z, Cai C H, Yan Q, Ou L X. Pollen quantity and viability in 65 litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cultivars. Hortscience, 2017, 52(10): 1337-1341
- [15] Yamanishi O K, Fagundes G R, Filho J A M, Sacramento E R S. Conservation of lychee (*Litchi chinensis*) seeds. Revista Brasileira De Fruticultura, 2005, 27(1): 161-162
- [16] Zhang C Y, Wu J E, Fu D W, Wang L M, Chen J Z, Cai C H, Ou L X. Soaking, temperature, and seed placement affect seed germination and seedling emergence of *Litchi chinensis*. Hortscience, 2015, 50(4): 628-632
- [17] 谢玉明, 曾继吾, 张秋明, 易干军. 玻璃化法超低温保存荔枝胚性悬浮细胞. 热带作物学报, 2008, 29(5): 622-625
Xie Y M, Zeng J W, Zhang Q M, Yi G J. Cryopreservation of litchi embryogenic suspension cells by vitrification technique. Chinese Journal of Tropical Crops, 2008, 29(5): 622-625
- [18] 王果, 刘耀婷, 李焕苓, 李芳, 王树军, 王家保. 外源多胺对荔枝愈伤组织增殖及体胚发生的作用. 果树学报, 2021, 38(12): 2135-2147
Wang G, Liu Y T, Li H L, Li F, Wang S J, Wang J B. Effects of exogenous polyamine application on callus proliferation and

- somatic embryogenesis in *Litchi chinensis* 'Feizixiao'. Journal of Fruit Science, 2021, 38(12): 2135-2147
- [19] 卢新雄, 王力荣, 辛霞, 尹广鹏, 张金梅, 陈晓玲, 何娟娟, 刘运霞. 种质圃作物种质资源安全保存策略与实践. 植物遗传资源学报, 2023, 24(1): 32-43
- Lu X X, Wang L R, Xin X, Yin G K, Zhang J M, Chen X L, He J J, Liu Y X. Strategy and practice of the safe preservation of crop germplasm resources in national field genebanks of China. Journal of Plant Genetic Resources, 2023, 24(1): 32-43
- [20] Saúco V G, Jahiel M, Modesto P H D, Huang X M, Mitra S, Yamanishi O K, Andrade R A D. Litchi (*Litchi chinensis* Sonn) propagation: New technologies and innovations. Revista Brasileira De Fruticultura, 2018, 40(4): e575
- [21] 王力荣, 吴金龙. 中国果树种质资源研究与新品种选育 70 年. 园艺学报, 2021, 48(4): 749-758
- Wang L R, Wu J L. Review for the research of fruit tree germplasm and breeding of new varieties in the past seven decades in China. Acta Horticulturae Sinica, 2021, 48(4): 749-758
- [22] 农业农村部种业管理司. 关于第一批拟确定国家级农作物、农业微生物种质资源库的公示. (2022-08-10) [2022-12-08]. http://www.zys.moa.gov.cn/gsgg/202208/t20220810_6406720.htm
- Department of Seed Industry, Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China. Announcement on the first batch of national crop and agricultural microbial germplasm repositories. (2022-08-10) [2022-12-08]. http://www.zys.moa.gov.cn/gsgg/202208/t20220810_6406720.htm
- [23] 严倩, 陈洁珍. 广东省农业科学院果树研究所荔枝种质资源与育种团队简介. 植物遗传资源学报, 2022, 23(3): 1-3
- Yan Q, Chen J Z. Introduction of litchi germplasm resources and breeding team, institute of fruit tree research, Guangdong academy of agricultural sciences. Journal of Plant Genetic Resources, 2022, 23(3): 1-3
- [24] 欧良喜, 陈洁珍. 荔枝种质资源描述规范和数据标准. 北京: 中国农业出版社, 2008: 1-114
- Ou L X, Chen J Z. Descriptors and data standard for litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). Beijing: China Agriculture Press, 2008: 1-114
- [25] 孙清明, 李永忠, 向旭, 陈道明, 杨晓燕, 方静, 吴绪波, 周东辉, 马帅鹏, 马文朝. 利用 SNP 和 EST-SSR 分子标记鉴定荔枝新种质御金球. 分子植物育种, 2013, 11(3): 403-414
- Sun Q M, Li Y Z, Xiang X, Chen D M, Yang X Y, Fang J, Wu X B, Zhou D H, Ma S P, Ma W C. A novel litchi germplasm (*Litchi chinensis* Sonn.), 'Yu jin qiu', indentified by EST-SSR and SNP analysis. Molecular Plant Breeding, 2013, 11(3): 403-414
- [26] 马镠, 赖旭辉, 胡锐清, 罗诗. 2000—2018 年我国审(认)定的荔枝品种及分析. 现代农业科技, 2019(6): 50-51
- Ma K, Lai X H, Hu R Q, Luo S. Approved (identified) and analysis of new litchi varieties in China from 2000 to 2018. Modern Agricultural Science and Technology, 2019(6): 50-51
- [27] Ding F, Li H, Wang J, Peng H, Chen H, Hu F, Lai B, Wei Y, Ma W, Li H, He X, Zhang S. Development of molecular markers based on the promoter difference of *LcFT1* to discriminate easy- and difficult-flowering litchi germplasm resources and its application in crossbreeding. BMC Plant Biology, 2021, 21(1): 539
- [28] 胡桂兵, 郑少泉, 向旭, 王家保, 彭宏祥, 赵杰堂, 黄旭明, 朱建华, 李鸿莉, 刘成明, 石胜友, 陈洁珍, 邓朝军, 姜帆, 徐奇志, 陈厚彬. 荔枝龙眼种业“十四五”发展思路. 中国热带农业, 2020(3): 4-6
- Hu G B, Zheng S Q, Xiang X, Wang J B, Peng H X, Zhao J T, Huang X M, Zhu J H, Li H L, Liu C M, Shi S Y, Chen J Z, Deng C J, Jiang F, Xu Q Z, Chen H B. The 14th five-year plan of lychee and longan seed industry. China Tropical Agriculture, 2020(3): 4-6
- [29] 吴洁芳, 欧良喜, 陈洁珍, 蔡长河, 严倩, 姜永华, 李华. 荔枝自然杂交代童期差异分析及母本童期类型鉴定. 中国热带农业, 2020(3): 7-16
- Wu J F, Ou L X, Chen J Z, Cai C H, Yan Q, Jiang Y H, Li H. Analysis of differences in child stage of natural hybrid offspring of litchi and identification of maternal child stage types. China Tropical Agriculture, 2020(3): 7-16
- [30] Hu F, Chen Z, Wang X, Wang J, Fan H, Qin Y, Zhao J, Hu G. Construction of high-density SNP genetic maps and QTL mapping for dwarf-related traits in *Litchi chinensis* Sonn.. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20(11): 2900-2913
- [31] 孙清明, 马帅鹏, 马文朝, 赵俊生, 方静, 杨晓燕, 向旭. 荔枝两个 F_1 杂交群体的 EST-SSR 鉴定及多样性分析. 分子植物育种, 2014, 12(1): 87-95
- Sun Q M, Ma S P, Ma W C, Zhao J S, Fang J, Yang X Y, Xiang X. Identification and genetic diversity analysis of two F_1 hybrid populations of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) using EST-SSR markers. Molecular Plant Breeding, 2014, 12(1): 87-95
- [32] 刘伟, 肖志丹, 蒋依辉, 杨晓燕, 袁沛元, 邱燕萍, 凡超, 向旭. 利用 SNP 标记鉴定荔枝杂种后代. 分子植物育种, 2016, 14(3): 647-654
- Liu W, Xiao Z D, Jiang N H, Yang X Y, Yuan P Y, Qiu Y P, Fan C, Xiang X. Identification of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) hybrids by SNP markers. Molecular Plant Breeding, 2016, 14(3): 647-654
- [33] 向旭, 欧良喜, 陈厚彬, 孙清明, 陈洁珍, 蔡长河, 白丽军, 赵俊生. 中国 96 个荔枝种质资源的 EST-SSR 遗传多样性分析. 基因组学与应用生物学, 2010, 29(6): 1082-1092
- Xiang X, Ou L X, Chen H B, Sun Q M, Chen J Z, Cai C H, Bai L J, Zhao J S. EST-SSR analysis of genetic diversity in 96 litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) germplasm resources in China. Genomics and Applied Biology, 2010, 29(6): 1082-1092
- [34] 李焕苓, 田婉莹, 孙进华, 张新春, 张蕾, 王果, 王树军, 王家保. 基于 SSR 和 InDel 标记的海南荔枝种质资源遗传多样性分析. 分子植物育种, 2018, 16(4): 1343-1356
- Li H L, Tian W Y, Sun J H, Zhang X C, Zhang L, Wang G,

- Wang S J, Wang J B. Analysis of genetic diversity on litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) germplasm resources from Hainan by SSR and InDel markers. *Molecular Plant Breeding*, 2018, 16 (4): 1343-1356
- [35] 陈洁珍, 蔡长河, 吴洁芳, 付丹文, 严倩, 欧良喜. 荔枝资源果实成熟进程中糖、酸变化. *热带作物学报*, 2018, 39(4): 687-693
- Chen J Z, Cai C H, Wu J F, Fu D W, Yan Q, Ou L X. Changes of sugars and acid in the aril of litchi germplasm during fruit maturing. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 2018, 39(4): 687-693
- [36] 崔永宁, 陈洁珍, 史发超, 姜永华, 严倩, 欧良喜, 刘海伦, 蔡长河. 基于TPA法的荔枝资源果肉质度品质分析. *果树学报*, 2022, 39(12): 2241-2252
- Cui Y N, Chen J Z, Shi F C, Jiang Y H, Yan Q, Ou L X, Liu H L, Cai C H. Analysis on the texture quality of litchi resources fruit based on texture profile analysis (TPA). *Journal of Fruit Science*, 2022, 39(12): 2241-2252
- [37] Jiang Y H, Qi Y W, Chen X L, Yan Q, Chen J Z, Liu H L, Shi F C, Wen Y J, Cai C H, Ou L X. Combined metabolome and transcriptome analyses unveil the molecular mechanisms of fruit acidity variation in litchi (*Litchi chinensis* Sonn.). *International Journal of Molecular Science*, 2023, 24 (3): 1871
- [38] 赵冉. 荔枝品种对荔枝霜疫病的抗病性研究. 广州: 华南农业大学, 2020
- Zhao R. Study on the resistance of litchi cultivars to litchi downy blight caused by *Peronophythora litchi*. Guangzhou: South China Agricultural University, 2020
- [39] 刘海伦, 严倩, 姜永华, 史发超, 陈洁珍, 蔡长河, 欧良喜. 荔枝CDPK基因家族鉴定及其在霜疫病胁迫下的表达分析. *果树学报*, 2023, 40(3): 442-456
- Liu H L, Yan Q, Jiang Y H, Shi F C, Chen J Z, Cai C H, Ou L X. Identification of *LcCDPKs* and analysis their expression patterns in response to downy mildew stresses in lychee. *Journal of Fruit Science*, 2023, 40(3): 442-456
- [40] 张学勇, 郝晨阳, 焦成智, 李甜, 毛龙, 刘旭. 种质资源学与基因组学相结合-破解基因发掘与育种利用的难题. *植物遗传资源学报*, 2023, 24(1): 11-21
- Zhang X Y, Hao C Y, Jiao C Z, Li T, Mao L, Liu X. Integration of germplasmics and genomics: Bridging up crop gene discovery and breeding. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2023, 24(1): 11-21