

中国果树种质资源研究与新品种选育 70 年

王力荣*, 吴金龙

(中国农业科学院郑州果树研究所, 国家园艺种质资源库, 农业农村部果树育种技术重点实验室, 郑州 450009)

摘 要: 受益于地方名特优品种资源利用、新品种选育以及国外优良品种引进等各方面工作的有力支撑, 中国果树产业发展迅速, 目前栽培面积和产量均保持世界第一。本文回顾了过去 70 年中国果树种质资源考察收集、鉴定评价、安全保存、共享利用, 育种技术创新、新品种选育等方面的主要成就, 并针对存在的主要问题提出了果树种质资源与遗传育种发展的建议。

关键词: 果树; 种质资源; 新品种选育

中图分类号: S 66

文献标志码: A

文章编号: 0513-353X (2021) 04-0749-10

Review for the Research of Fruit Tree Germplasm and Breeding of New Varieties in the Past Seven Decades in China

WANG Lirong* and WU Jinlong

(Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, National Horticulture Germplasm Resources Center, The Key Laboratory of Biology and Genetic Improvement of Horticultural Crops (Fruit Tree Breeding Technology), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Zhengzhou 450009, China)

Abstract: Benefited from the utilization of excellent fruit germplasm, breeding of new varieties, and introduction of foreign superior varieties, the fruit industry in China has developed rapidly with the world's the largest cultivation area and total production. This article reviewed the main achievements in the investigation and collection, the identification and evaluation, the safety conservation, the sharing and utilization of fruit germplasm, the innovation of breeding technology as well as the breeding of new varieties in the past seventy years. The main problems in the enhancement of germplasm and genetic improvement of fruit crops in China were pointed out, and suggestions for future development were also addressed.

Keywords: fruit crops; germplasm; breeding of new variety

1 果树产业发展概况

新中国成立 70 年来, 中国果树产业的发展取得了史无前例的成就。目前, 中国已是世界上最大的水果生产国和消费国, 苹果、柑橘、梨、桃等种植面积和产量均排世界第一位。根据联合国粮农组织 (FAO) 统计数据, 2018 年中国水果 (含西瓜和甜瓜) 栽培面积和产量分别达 1 548.9 万 hm^2 和 24 359.2 万 t, 占世界的 22.8% 和 28.1%, 人均占有量达到 120 kg。

收稿日期: 2020-12-24; 修回日期: 2021-02-09

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程项目 (CAAS-ASTIP-ZZFR-01)

* E-mail: wanglirong@caas.cn

据中国园艺学会、国家现代农业产业技术体系专家等提供的数据表明,不同树种间,优良地方品种、国内育成品种以及国外引进品种在产业中的占比差异很大。中国原产果树树种中,梨、李、杏、枣等地方品种的市场占有率在40%以上,其中枣占90%之多。原产的梨、桃、猕猴桃、荔枝、枇杷、龙眼等国内育成品种的市场占有率约50%,其中桃占80%以上。苹果、葡萄、樱桃、草莓等,由国外引进的品种占50%~90%。通过树种栽培面积及其来源品种占比分析发现,中国名特优地方品种、国内育成品种、国外引进品种分别约占中国果树栽培面积30%、30%和40%。同时,在中国果树生产中,95%以上砧木来源于野生资源的种子或者其无性系品系和品种。据此认为自主品种资源(原产野生资源种质、地方品种和国内育成品种)在中国果树产业中占主导地位。

2 种质资源研究历史回顾与成就

2.1 开展广泛的资源考察与收集

新中国建立以来,中国组织开展了多次大规模、专业的农作物资源(包含果树)考察,其中规模最大和影响最深远的是1956—1957年、1979—1983年和2016年至今的3次全国农作物资源普查(刘旭等,2018)。此外,还有西藏(1981—1984年)、三峡库区(1981—1988年)、大巴山区(1991—1995年)、黔南桂西山区、三峡库区、赣南、粤北山区(1996—1999年)、沿海地区(2008—2010年)等包含果树在内的农作物资源考察;同时还组织开展了多次果树种质资源专项考察,如全国猕猴桃(1978—1989年)、西北罐桃(1978—1989年)、山楂(1978—1984年)和李杏种质资源考察(1981—1988年)及中国果树农家品种考察与收集(2013—2019年)等。

根据中国农业科学院作物科学研究所与郑州果树研究所联合国内单位对中国半个多世纪以来国外引种情况调研以及资源圃保存名录统计,引入果树种质资源2719份,来源于67个国家和地区,来源最多的为美国,其次为日本、前苏联、法国和意大利,分别占总引入资源的28%、21%、7%、6%和4%。按照引进时间划分,1949年前引进149份,20世纪80年代为引种数量高峰期,达738份。按照树种划分,引入葡萄品种734份,柑橘713份,桃372份,苹果321份,梨226份,李126份,草莓105份,樱桃57份,杏53份,猕猴桃12份(王力荣,2012)。

2.2 果树种质资源得到妥善保护

中国农业科学院于1979年6月在重庆市主持召开了“全国果树科研规划会议”,会议制订了果树种质保存统一规划,决定建立国家果树种质资源圃和编写果树志。20世纪80年代,15个国家果树种质资源圃建立并得到世界银行贷款资助;1989年共有16个圃地包含19个树种的果树种质资源圃建成。此后,又有山葡萄圃、果梅杨梅圃、猕猴桃圃、伊犁野苹果圃、热带果树圃等逐步建成。

截止目前,中国共设立了21个国家级果树种质资源圃(表1),保存的果树种质资源达2.3万余份,位居世界第2位,同时制定了种质圃繁殖更新技术规范(王述民等,2014)。

至2003年,中国建成了含野生植物的保护区122个,其中包含了15个野生果树保护区。2003—2006年农业农村部建立了农业野生植物保护点67个,其中含野生果树保护点4个,分别为新疆自治区新源县野苹果、吉林省长白山县野生海棠、湖南省道县野生柑橘、陕西省周至县野生猕猴桃。香蕉种质资源的试管苗保存(李建国等,2010)、草莓种质资源的网室盆栽保存等已经实用化。目前中国已经建成了以资源圃异地(迁地)保存为主,原生境、试管苗和温室保存为辅的国家果树种质资源保护体系。

表 1 国家果树种质资源圃保存种质数量
Table 1 Number of preserved accessions in national fruit germplasm resources repository

资源圃名称 Name of resource repository	保存份数 Number of accessions	资源圃名称 Name of resource repositior	保存份数 Number of accessions
国家果树种质兴城梨、苹果圃 National fruit germplasm resources repository of pear and apple in Xingcheng	2 394	国家果树种质广州荔枝、香蕉圃 National fruit germplasm resources repository of litchi and banana in Guangzhou	642
国家果树种质郑州葡萄、桃圃 National fruit germplasm resources repository of grape and peach in Zhengzhou	2 908	国家果树种质福州龙眼、枇杷圃 National fruit germplasm resources repository of longan and loquat in Fuzhou	1 071
国家果树种质重庆柑橘圃 National fruit germplasm resources repository of citrus in Chongqing	1 753	国家果树种质北京桃、草莓圃 National fruit germplasm resources repository of peach and strawberry in Beijing	865
国家果树种质泰安核桃、板栗圃 National fruit germplasm resources repository of walnut and chestnut in Tai'an	888	国家果树种质熊岳李、杏圃 National fruit germplasm resources repository of plum and apricot in Xiongyue	1 439
国家果树种质南京桃、草莓圃 National fruit germplasm resources repository of peach and strawberry in Nanjing	1 070	国家果树种质沈阳山楂圃 National fruit germplasm resources repository of hawthorn in Shenyang	470
国家果树种质新疆名特果树及砧木圃 National fruit germplasm resources repository of special fruit and rootstock in Xinjiang	829	国家果树种质左家山葡萄圃 National fruit germplasm resources repository of grape in Zuojiashan	415
国家果树种质云南特有果树及砧木圃 National fruit germplasm resources repository of special fruit and rootstock in Yunnan	1 274	国家果梅杨梅种质资源圃 National fruit germplasm resources repository of Japanese apricot and waxberry	500
国家果树种质眉山柿圃 National fruit germplasm resources repository of persimmon in Meixian	817	国家猕猴桃种质资源圃 National fruit germplasm resources repository of kiwifruit	1 200
国家果树种质太谷枣、葡萄圃 National fruit germplasm resources repository of jujube and grape in Taigu	1 448	新疆伊犁苹果种质资源圃 National fruit germplasm resources repository of apple in Yili, Xinjiang	60
国家果树种质武昌砂梨圃 National fruit germplasm resources repository of pear in Wuchang	1 107	国家热带果树种质资源圃 National fruit germplasm resources repository of tropical fruit	468
国家果树种质公主岭寒地果树圃 National fruit germplasm resources repository of cold region fruit in Gongzhuling	1 430	总计 Total	23 048

2.3 系统开展遗传多样性本底调查

20 世纪 80 年代，在充分吸收国际植物遗传资源委员会（IBPGR）和国内相关研究经验的基础上，中国完成了 18 种果树种质资源描述符的制定（蒲富慎，1990）。2006 年，在董玉琛和刘旭总主编的组织下，编著了果树种质资源描述规范和数据标准 26 册，包括苹果、梨、山楂、桃、杏、李、柿、核桃、板栗、枣、葡萄、草莓、柑橘、龙眼、枇杷、香蕉、荔枝、猕猴桃、穗醋栗、沙棘、扁桃、樱桃、果梅、树莓、越橘和榛；2007 年和 2011 年农业农村部分别颁布了包含苹果、梨、桃、杏、李、柿、葡萄、草莓、柑橘、龙眼、枇杷、香蕉 12 个果树树种的农业行业标准“果树种质资源鉴定技术规程”和“果树优异种质资源评价规范”，将中国果树种质资源评价和优异种质资源筛选纳入科学规范化轨道。出版《中国果树志》苹果、山楂、葡萄、桃、李、杏、果梅、枣、板栗、榛、核桃、草莓、龙眼、枇杷、荔枝、石榴、柑橘等 17 卷，共描述种质 6 934 份。出版果树品种资源多部专著，如《中国果树分类学》（俞德浚，1979）、《中国猕猴桃》（崔致学，1993）、《中国野生果树》（刘孟军，2009）、《中国作物及野生近缘植物（果树卷）》（贾敬贤 等，2006）、《中国柑橘品种》（邓秀新，2008）、《中国桃遗传资源》（王力荣 等，2012）等。各省市也积极开展

收集整理地方果树资源工作,已出版《甘肃果树志》(甘肃省农业科学院果树研究所,1995)、《西藏果树种质资源志》(郑惠章等,2004)、《福建省野生果树图志》(韦晓霞等,2019)等。

据上述著作记载,起源中国的果树植物学种为725种,占世界的18.62%;苹果、梨、葡萄、桃、李、杏、枣、核桃、柑橘、枇杷、龙眼、荔枝等大宗树种起源于中国的野生种占世界的56.13%;45个主要果树栽培种中有15个起源于中国或部分起源于中国(俞德浚,1979)。在果树野生近缘种的分布密度上呈现南方多于北方,西部多于东部,华南、西南最为丰富的特点。同时,上述著作系统描述了中国不同果树树种种质资源的植物学分类、起源与进化、栽培历史、地理分布、形态特征和生物学特性以及10 000余份种质,基本理清了中国果树种质资源的遗传多样性本底。

2.4 发掘一批优异种质

通过系统调查,挖掘出大量优异种质,包括一批可直接应用于大面积生产的优异种质,例如‘金红’抗寒苹果,‘砀山酥梨’,‘灰枣’和‘赞皇冬枣’,‘巫山脆李’和‘南华李’,‘妃子笑’荔枝,‘富平尖柿’等;可作为优良育种亲本的种质,例如‘扁桃’、‘火把梨’、山葡萄、‘无核龙眼’等;可直接或间接利用的重要砧木资源,例如柑橘中的枸头橙、柿的近缘种君迁子、梨中的杜梨等;具有特殊抗性的种质资源,例如桃中高抗桃蚜的‘帚形山桃’和‘红花寿星桃’、抗南方根结线虫的‘红根甘肃桃1号’,苹果中抗缺铁的‘小金海棠’等;一批富含功能性成分的资源,例如名贵中药材化橘红和枳、富含花色苷的红肉新疆野苹果等;具有特殊性状的种质资源,例如苹果中无融合生殖类型的‘平邑甜茶’、柑橘中早花且种子单胚性的‘山金柑’、桃中能在深圳栽培的低需冷量‘南山甜桃’等。

从国外引进的果树品种中,也有许多对产业或育种影响较大的种质,例如苹果中的‘红富士’、‘新红星’、矮化砧木M系和MM系等,梨中的‘丰水’‘新水’和‘金二十世纪’等,桃中的‘明星’‘五月火’和‘丽格兰特’等,葡萄中的‘巨峰’‘黑奥林’‘红地球’等,柑橘中的‘朋娜’和‘纽荷尔’等,柿中的‘富有’‘伊豆’和‘阳丰’等,草莓中的‘宝交早生’和‘女峰’等,香蕉中的‘罗姆邦’和‘埃那罗’等。

2.5 基因组学研究取得重要进展

据不完全统计,中国主导完成全基因组测序并公布基因组草图的果树超过20个,包括苹果、梨、枣、梅、石榴、猕猴桃、甜橙、柚、葡萄柚、枸橼、番木瓜、野芭蕉、菠萝、龙眼、椰子(Chen et al., 2019),以及桑树(He et al., 2013)、银杏(Zhao et al., 2019)、阿月浑子(Zeng et al., 2019)、板栗(Xing et al., 2019)、杨梅(Jia et al., 2019)、野芭蕉(Wang et al., 2019)、核桃(Zhang et al., 2020)、杧果(Wang et al., 2020)等。甜橙和苹果基因组测序选择的材料来源于纯合度较高的瓦伦西亚甜橙双单倍体和寒富系三单倍体HFTH1(Xu et al., 2013; Zhang et al., 2019),而其余树种大多是采用遗传背景不明确、杂合度高的二倍体栽培品种或野生品种。同时,利用丰富的种质资源以及建立的表型数据库,在果树功能基因组学的研究与利用领域也取得重要进展,例如郑州果树研究所通过对480份桃种质重测序,明确了桃基因组遗传多样性和变异特征,揭示了桃野生近缘种向栽培种的进化路线,阐明了花、果实、需冷量等10个重要性状的分子遗传特性等(Cao et al., 2014; Li et al., 2019; Guo et al., 2020)。

2.6 共享利用取得显著成效

通过1999年的农作物种质资源基础性工作、2004年至今的农业部物种保护项目和国家农作物

种质资源共享平台 (CGRIS) 等项目的开展, 果树种质资源共享利用体系建设取得长足进展 (曹永生和方涛, 2010)。为进一步完善科技资源共享服务体系, 科技部、财政部于 2019 年 6 月正式批准成立国家园艺种质资源库, 其依托单位为中国农业科学院郑州果树研究所, 联合国内主要从事园艺作物种质资源保存、研究与共享的科研机构等 27 家单位共同开展资源整合与共享服务, 主要包括 2 个国家中期库、21 个国家种质圃和 13 个地方特色资源库 (圃), 并建立了国家园艺种质资源库门户网站 (<http://www.nhgrc.cn/>), 其中涉及到果树种质资源有 20 个国家种质圃, 11 个地方特色资源库 (圃)。据不完全统计, 2016 年以来, 资源共享平台提供直接利用种质 9 万多份次, 为近 57 万人次提供了信息共享服务, 直接生产利用或培育新品种累计推广面积 33.8 万 hm^2 , 取得显著的社会经济效益。

3 育成一批新品种支撑产业发展

3.1 建成一批遗传改良创新平台

中国在果树遗传改良领域的科技创新平台和体系包括 4 个国家重点实验室 (设有果树研究方向), 苹果和柑橘国家工程技术研究中心, 农业农村部设置的果树生物学重点实验室以及 6 个专业性重点实验室、7 个区域性重点实验室、15 个果树科学观测站, 28 个国家现代农业产业技术体系育种岗位, 国家瓜果改良中心及苹果、梨、桃等 7 个树种的分中心。此外, 各省市也设立了具有地方特色的果树遗传改良领域创新平台。

3.2 建立新品种保护制度和测试体系

中国研制的植物品种测试指南 (DUS 测试指南) 中涉及果树的有 27 项, 包含 2 项国家标准和 25 项农业行业标准, 包含苹果、梨、桃、李、樱桃、葡萄、猕猴桃属、柿、草莓、桑属、树莓、蓝莓、无花果、杨梅、柑橘、香蕉、荔枝、枇杷、龙眼、芒果、黑穗醋栗、木菠萝、椰子、西番莲、木瓜属、番木瓜、凤梨属。同时建立 DUS 测试体系, 已建成北京 1 个测试中心、27 个测试分中心、郑州/兴城 2 个果树专业性测试站。

自加入国际植物新品种保护公约 20 余年来, 中国品种权授权数量迅速增加, 2018 年授权近 1.2 万件, 授权的果树新品种占 3.2% (龙三群, 2019)。

3.3 自主培育一批支撑产业发展的新品种

据不完全统计, 自主培育的新品种在产业中曾经或正在发挥重要作用。例如, 苹果品种 ‘秦冠’ 曾为第一大苹果栽培品种, 栽培面积达 30 万 hm^2 ; 抗寒苹果品种 ‘寒富’ 将苹果的种植向北推进 300 km (邓秀新 等, 2018); 还有铁高效、半矮化苹果砧木品种 ‘中砧 1 号’ (韩振海 等, 2013) 等。在柑橘中有低酸的 ‘冰糖橙’、早熟的 ‘国庆 1 号’、无籽的 ‘琯溪蜜柚’、风味品质俱佳的 ‘砂糖橘’ 等 (邓秀新 等, 2018)。在梨育种方面有大果型的 ‘黄冠’、早熟的 ‘早酥’ ‘翠冠’ 和 ‘中梨 1 号’、着红色的 ‘新梨 7 号’ ‘玉露香’ 和 ‘红香酥’ 等 (王苏珂 等, 2016; 姜淑苓 等, 2019)。在桃中培育的主要栽培品种有加工型的 ‘丰黄’、早熟品种 ‘春美’、‘雨花露’、晚熟硬质品种 ‘京玉’、极晚熟品种 ‘映霜红’、鲜食黄肉桃 ‘锦绣’、极早熟油桃品种 ‘曙光’、早熟油桃品种 ‘中油 4 号’、设施桃品种 ‘中农金辉’、蟠桃品种 ‘中蟠 11 号’、油蟠桃品种 ‘中油蟠 7 号’ ‘中油蟠 9 号’ 以及观赏桃花品种 ‘满天红’ 等。在葡萄中, 有早熟大粒葡萄品种 ‘京亚’、

茉莉香型的‘醉金香’、玫瑰香型的‘巨玫瑰’等(刘崇怀 等, 2014)。在猕猴桃中, 有晚熟较耐贮藏的鲜食品种‘秦美’、味甜浓香的‘徐香’、果肉金黄的‘金桃’等(陈镇 等, 2019)。在樱桃中, 有早熟、大果、耐贮运的品种‘红灯’等(刘桂林 等, 1988)。

3.4 育种技术不断创新

据不完全统计, 1978—2018 年中国主要果树新品种总计 1 968 个, 按照选育方式, 19.4%来自芽变选种, 16.6%为实生或辐射育种, 63.9%为杂交育种(邓秀新 等, 2019)。育种技术方式经历了自然实生、杂交育种、胚挽救技术、细胞融合以及分子标记辅助育种等过程。自然实生是最传统的育种方式, 1960 年开始, 大连农业科学研究院利用桃‘早生黄金’自然实生进行选择, 于 1970 年选育出‘丰黄’罐桃品种。杂交育种是最广泛利用的育种方式, 1957 年陕西省农业科学院果树研究所利用‘金冠’与‘鸡冠’苹果杂交, 于 1970 年培育出‘秦冠’品种。1956 年中国农业科学院果树研究所利用‘苹果梨’与‘不知梨’杂交, 于 1969 年培育出‘早酥’梨品种。1985 年上海市农业科学院园艺研究所利用胚挽救的方法培育出‘春蕾’极早熟桃品种, 标志着中国桃胚挽救技术的成功应用。2003 年中国农业科学院果树研究所通过花粉培养培育出‘富士 85-1’苹果品种。2008 年华中农业大学和秭归县柑橘良种繁育示范场共同选育的‘早红’脐橙品种为龟井温州蜜柑和罗伯生脐橙的嫁接嵌合体, 挂树期可达 6 个月。2015 年华中农业大学培育出世界第 1 例通过细胞融合直接创造的植物新品种‘华柚 2 号’。随着基因组测序技术的成熟, 分子标记辅助育种的研究与应用发展迅速, 部分分子标记已经有效利用于果树育种, 例如鉴别桃果形圆和扁、柑橘单胚和多胚的分子标记(王力荣 等, 2019; Li & Wang, 2020; 徐强 等, 2020)。

3.5 相关国家级奖项

据统计, 1978—2018 年, 与果树种质资源与遗传育种相关国家奖共 47 项, 其中, 与品种相关的 23 项。按照时间区分, 1970—1980 年 1 项、1980—1990 年 3 项、1990—2000 年 8 项、2000—2010 年 4 项、2010—2019 年 7 项。按照果树树种区分, 果树综合类 3 项、柑橘 4 项、苹果 2 项、梨 3 项、桃 5 项、猕猴桃 2 项、樱桃、杏、枣和枇杷各 1 项。

4 存在的问题和建议

4.1 种质资源研究

4.1.1 加强野生资源收集和国外种质引进

由于中国果树种质资源圃的设置以树种为主, 在一定程度限制了设圃树种以外种质的收集, 致使部分果树种类尚未入圃; 即使建立了种质资源圃的树种, 野生种质的收集多数停留在植物学“种”的层面, 丰富的野生种质多样性的考察、收集的力度严重不足。同时, 资源收集全球化是发达国家资源收集的典型特征。世界各国均很重视果树种质资源的保护与利用, 尤其是发达国家。美国 NPGS 机构框架下建立了不同专业的分支机构, 如国家果树种质资源委员会建有苹果、梨、葡萄、核果类等分会, 建有 8 个与果树相关的无性系种质资源圃, 保存了 1 000 多个植物学种的 4 万份种质, 其中 80%来自国外。此外, 日本、俄罗斯、意大利等 60%以上的种质资源来自国外。中国仅有 15%的资源来自国外, 数量不足、覆盖面不够、栽培品种居多等是国外引种的主要问题。

4.1.2 加强种质多元化保存技术研究与应用

为了确保种质资源安全, 西方发达国家相继建成了由种质圃、超低温库、试管苗库、低温种子库、DNA 库等组成的多元化完整保存体系。如美国国家圃中 33% 的资源建立了核心种质库, 66% 的种质进行了包括温室、网室等的复份保存, 100% 的种质进行了病毒检测和脱毒, 部分野生种质的种子低温库保存, 草莓利用组织培养长期保存, 超低温长期保存果树种质资源 3 000 份。中国果树种质资源多元化保存水平亟待提高。

4.1.3 利用多组学加快种质的精准鉴定

随着表型组学、基因组学、转录组学等现代生物技术的发展, 种质资源鉴定由基本农艺性状向复杂农艺性状、由单点向多年多点、由表现型向基因型鉴定等精准化方向发展。中国应尽快建立表型组学评价平台、研制评价技术, 将表型与基因组有效结合, 加快优异种质资源的评价速度, 有效拓展育种材料的遗传背景, 有针对性地为育种提供服务。

4.1.4 完善种质资源共享服务平台

随着大数据、云计算等现代信息技术的发展, 各国纷纷开始建立果树种质资源专业化大数据, 加强数据分析和资源挖掘, 提供个性化、定制化和专业化知识服务。美国建立了种质资源信息网 (GRIN), 欧洲建立了农作物种质资源协作网 (ECPGR), 专门成立了仁果类、核果类、浆果类等协作小组。中国果树种质资源网建设水平与国外仍有很大的差距。

4.2 新品种选育

4.2.1 世界果树育种发展方向

近年来, 世界果树育种呈现商业化、产权化、全球化和育种手段精准化四大发展方向。发挥市场的引领作用、激发育种者的创新潜能、突破种质资源交换障碍、实现种质利用和品种效益的最大化, 同时充分利用现代细胞工程和分子育种技术, 突破传统育种盲目性大、周期长、效率低的问题。以新西兰为例, 出口是其果品产业的基本特征之一。为服务新西兰果品出口, 新西兰植物与食品研究所, 与世界 43 个国家建立合作关系, 成立亚洲果树研究中心, 与中国 25 个科研单位建立合作研究关系, 在猕猴桃、梨、苹果等育种方面有深度合作, 以期利用中国丰富的种质资源、培育出更好适应中国市场和环境的新品种, 实现其出口果品的本地化生产的目标; 在合作过程中, 全基因组选择理念、分子标记辅助选择等技术与常规选择有效结合, 大幅度提高了育种效率。美国 Zaiger Genetics Inc 创建于 1958 年, 80 年代就开始针对亚洲市场进行低酸品种选育, 至今保护品种超过 200 个, 引导了美国、欧洲市场, 保持了其在东南亚的市场份额, 培育普通桃品种占加州的 50%, 油桃品种占 32%, 培育品种在世界 20 多个国家种植。据不完全统计, 国外已在中国共申请新品种保护 135 个, 并呈现明显的快速发展趋势, 其中, 草莓、葡萄、梨、苹果、柑橘等新品种申请量最高。相较于世界果树育种现状, 中国果树育种有巨大发展潜力和广阔前景。

4.2.2 中国果树育种存在问题与发展建议

70 年来中国育成的果树品种近 2 000 个, 但在生产中能成为主要栽培品种的较少。分析原因, 一方面是中国果树育种起步晚, 初期机制不健全、人才匮乏等; 另一方面是长期存在种质资源利用率低、亲本遗传背景狭窄、育种规模有限、选育过程不够规范、基础研究与育种技术应用关联不够等。近年来, 在国家稳定的政策与资金支持下, 中国拥有世界上最大的果树育种队伍, 分子育种技术与国外差距逐渐缩小, 贮备了数 10 万份杂种实生苗和一大批优良品系, 但依然面临诸多挑战。今后, 要以超前育种目标为引领, 在优质、抗性、简约、多样、营养等育种方向上钻研, 重视抗性、矮化等砧木品种培育; 在种质利用上, 加强野生种质、名特优地方品种、国外种质的发掘、创新与

利用, 拓展亲本遗传背景, 才有可能取得育成品种的突破; 在育种技术上, 加强远缘杂交、分子标记辅助选择、全基因组选择、全基因组设计、基因编辑等关键育种实用化技术的突破, 架起基础研究与育种应用的桥梁; 在制度建设上, 一方面加大稳定支持的力度, 不间断开展遗传改良工作, 另一方面加强新品种保护制度的落地, 保护育种家的创新, 保护产业的可持续健康发展; 在人才培养上, 尊重果树育种周期长、推广慢的特点, 传承老一辈执着追求、久久为功、合作发展、务实为民的精神。

References

- Cao K, Zheng Z, Wang L, Liu X, Zhu G, Fang W, Cheng S, Zeng P, Chen C, Wang X, Xie M, Zhong X, Wang X, Zhao P, Bian C, Zhu Y, Zhang J, Ma G, Chen C, Li Y, Hao F, Li Y, Huang G, Li Y, Li H, Guo J, Xu X, Wang J. 2014. Comparative population genomics reveals the domestication history of the peach, *Prunus persica*, and human influences on perennial fruit crops. *Genome Biology*, 15 (7): 415.
- Cao Yong-sheng, Fang Wei. 2010. Establishment and application of National Crop Germplasm Resources Infrastructure in China. *Biodiversity Science*, 18 (5): 454 – 460. (in Chinese)
- 曹永生, 方 涛. 2010. 国家农作物种质资源平台的建立和应用. *生物多样性*, 18 (5): 454 – 460.
- Chen F, Song Y, Li X, Chen J, Mo L, Zhang X, Lin Z, Zhang L. 2019. Genome sequences of horticultural plants: past, present, and future. *Horticulture Research*, 6: 112.
- Chen Zhen, Li Xiu-li, Chen Zhi-wei, Yue You-zhang, Zhai Jing-hua, Zhang Hong, Ji Xiao-mei. 2019. Research progress on variety selection and breeding situation of kiwifruit in China. *Hubei Agricultural Sciences*, 58 (S2): 300 – 307, 312. (in Chinese)
- 陈 镇, 李秀丽, 陈志伟, 乐有章, 翟敬华, 张 鸿, 戢小梅. 2019. 中国猕猴桃育种及品种选育研究. *湖北农业科学*, 58 (S2): 300 – 307, 312.
- Cui Zhi-xue. 1993. *Actinidia* in China. Jinan: Shandong Science and Technology Press. (in Chinese)
- 崔致学. 1993. 中国猕猴桃. 济南: 山东科学技术出版社.
- Deng Xiu-xin. 2008. Chinese citrus varieties. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 邓秀新. 2008. 中国柑橘品种. 北京: 中国农业出版社.
- Deng Xiu-xin, Shu Huai-rui, Hao Yu-jin, Xu Qiang, Han Ming-yu, Zhang Shao-ling, Duan Chang-qing, Jiang Quan, Yi Gan-jun, Chen Hou-bin. 2018. Review on the centennial development of pomology in China. *Journal of Agriculture*, 8 (1): 24 – 34. (in Chinese)
- 邓秀新, 束怀瑞, 郝玉金, 徐 强, 韩明玉, 张绍铃, 段常青, 姜 全, 易干军, 陈厚彬. 2018. 果树学科百年发展回顾. *农学报*, 8 (1): 24 – 34.
- Deng Xiu-xin, Wang Li-rong, Li Shao-hua, Zhang Shao-ling, Zhang Zhi-hong, Cong Pei-hua, Yi Gan-jun, Chen Xue-sen, Chen Hou-bin, Zhong Cai-hong. 2019. Retrospective and prospect of fruit breeding for the last four decades in China. *Journal of Fruit Science*, 36 (4): 514 – 520. (in Chinese)
- 邓秀新, 王力荣, 李绍华, 张绍铃, 张志宏, 丛佩华, 易干军, 陈学森, 陈厚彬, 钟彩虹. 2019. 果树育种 40 年回顾与展望. *果树学报*, 36 (4): 514 – 520.
- Fruit Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences. 1995. Gansu fruit trees record. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 甘肃省农业科学院果树研究所. 1995. 甘肃果树志. 北京: 中国农业出版社.
- Guo J, Cao K, Deng C, Li Y, Zhu G, Fang W, Chen C, Wang X, Wu J, Guan L, Wu S. 2020. An integrated peach genome structural variation map uncovers genes associated with fruit traits. *Genome Biology*, 21 (1): 1 – 9.
- Han Zhen-hai, Wang Yi, Zhang Xin-zhong, Xu Xue-feng, Sun Yang-wu, Shen Jun. 2013. Apple rootstock new variety Chistock #1. *Journal of Agricultural Biotechnology*, 21 (7): 879 – 882. (in Chinese)
- 韩振海, 王 忆, 张新忠, 许雪峰, 孙扬吾, 沈 隽. 2013. 苹果砧木新品种中砧 1 号. *农业生物技术学报*, 21 (7): 879 – 882.
- He N, Zhang C, Qi X, Zhao, S, Tao Y, Yang G, Lee T H, Wang X, Cai Q, Li D, Lu M, Liao S, Luo G, He R, Tan X, Xu Y, Li T, Zhao A, Jia L, Fu Q, Zeng Q, Gao C, Ma B, Liang J, Wang X, Shang J, Song P, Wu H, Fan L, Wang Q, Qin S, Zhu J, Wei C, Zhu S K, Jin D, Wang J, Liu T, Yu M, Tang C, Wang Z, Dai F, Chen J, Liu Y, Zhao S, Lin T, Zhang S, Wang J, Wang J, Yang H,

- Yang G, Wang J, Paterson A H, Xia Q, Ji D, Xiang Z. 2013. Draft genome sequence of the mulberry tree *Morus notabilis*. Nature Communications, 4: 2445.
- Jia H M, Jia H J, Cai Q L, Wang Y, Zhao H B, Yang W F, Wang G Y, Li Y H, Zhan D L, Shen Y T, Niu Q F, Chang L, Qiu J, Zhao L, Xie H B, Fu W Y, Jin J, Li X W, Jiao Y, Zhou C C, Tu T, Chai C Y, Gao J L, Fan L J, van de Weg E, Wang J Y, Gao Z S. 2019. The red bayberry genome and genetic basis of sex determination. Plant Biotechnology Journal, 17 (2): 397 – 409.
- Jia Jing-xian, Jia Ding-xian, Ren Qin-mian. 2006. Crops and their wild relatives in China (Vol. fruit crops). Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 贾敬贤, 贾定贤, 任庆棉. 2006. 中国作物及其野生近缘植物 (果树卷). 北京: 中国农业出版社.
- Jiang Shu-ling, Wang Fei, Ou Chun-qing, Zhang Yan-jie, Zhao Ya-nan, Ma Li, Fang Ming. 2019. Review and prospect of pear breeding in Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences. China Fruits, (2): 113 – 116. (in Chinese)
- 姜淑苓, 王 斐, 欧春青, 张艳杰, 赵亚楠, 马 力, 方 明. 2019. 中国农业科学院果树研究所梨育种工作回顾与展望. 中国果树, (2): 113 – 116.
- Li Y, Wang L R. 2020. Genetic resources, breeding programs in China, and gene mining of peach: a review. Horticultural Plant Journal, 6 (4): 205 – 215.
- Li Jian-guo, Zhang Shou-mei, Chen Hou-bin, Xu Chun-xiang, Wang Ze-huai. 2010. Study on the cryopreservation of *in vitro* shoot tips of *Musa* germplasm by droplet vitrification. Journal of Fruit Science, 27 (5): 745 – 751. (in Chinese)
- 李建国, 张守梅, 陈厚彬, 徐春香, 王泽槐. 2010. 应用茎尖滴冻法超低温保存香蕉资源研究. 果树学报, 27 (5): 745 – 751.
- Li Y, Cao K, Zhu G, Fang W, Chen C, Wang X, Zhao P, Guo J, Ding T, Guan L, Zhang Q. 2019. Genomic analyses of an extensive collection of wild and cultivated accessions provide new insights into peach breeding history. Genome Biology, 20 (1): 1 – 8.
- Liu Chong-huai, Ma Xiao-he, Wu Gang. 2014. Chinese grape varieties. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 刘崇怀, 马小河, 武 岗. 2014. 中国葡萄品种. 北京: 中国农业出版社.
- Liu Gui-lin, Wang Feng-shou, Liang Gui-ju, Pan Feng-rong, Song Zhi-wen. 1998. Cherry new variety – Hongdeng. China Fruits, (1): 1 – 4. (in Chinese)
- 刘桂林, 王逢寿, 梁贵举, 潘凤荣, 宋治文. 1988. 樱桃新品种——红灯. 中国果树, (1): 1 – 4.
- Liu Meng-jun. 2009. Wild fruit crops in China. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 刘孟军. 2009. 中国野生果树. 北京: 中国农业出版社.
- Liu Xu, Li Li-hui, Li Yu, Fang Wei. 2018. Crop germplasm resources: advances and trends. Journal of Agriculture, 8 (1): 1 – 6. (in Chinese)
- 刘 旭, 李立会, 黎 裕, 方 洵. 2018. 作物种质资源研究回顾与发展趋势. 农学学报, 8 (1): 1 – 6.
- Long San-qun. 2019. Status and prospect of new plant varieties protection in China. Chinese Flower & Horticulture, 19: 26 – 27. (in Chinese)
- 龙三群. 2019. 中国植物新品种保护现状与展望. 中国花卉园艺, 19: 26 – 27.
- Pu Fu-shen. 1990. Description of fruit germplasm resources-record items and evaluation criteria. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 蒲富慎. 1990. 果树种质资源描述符 – 记载项目及评价标准. 北京: 中国农业出版社.
- Wang Li-rong. 2012. Review for the past three decades and developmental suggestions for fruit germplasm resource in China. Journal of Plant Genetic Resources, 13 (3): 343 – 349. (in Chinese)
- 王力荣. 2012. 我国果树种质资源科技基础性工作 30 年回顾与发展建议. 植物遗传资源学报, 13 (3): 343 – 349.
- Wang Li-rong, Guo Jian, Cao Ke, Zhu Geng-rui, Fang Wei-chao, Chen Chang-wen, Wang Xin-wei, Li Yong. 2019. SNP locus in linkage with round or flat character of peach fruit shape, molecular marker based on locus, and application there of. China: CN104962627B. (in Chinese)
- 王力荣, 郭 健, 曹 珂, 朱更瑞, 方伟超, 陈昌文, 王新卫, 李 勇. 2019. 与桃果形圆、扁性状连锁的 SNP 位点、基于该位点的分子标记及其应用: 中国, CN104962627B.
- Wang Li-rong, Zhu Geng-rui, Fang Wei-chao. 2012. Peach genetic resource in China. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 王力荣, 朱更瑞, 方伟超. 2012. 中国桃遗传资源. 北京: 中国农业出版社.
- Wang P, Luo Y, Huang J, Gao S, Zhu G, Dang Z, Gai J, Yang M, Zhu M, Zhang H, Ye X, Gao A, Tan X, Wang S, Wu S, Cahoon E B, Bai B, Zhao Z, Li Q, Wei J, Chen H, Luo R, Gong D, Tang K, Zhang B, Ni Z, Huang G, Hu S, Chen Y. 2020. The genome evolution and domestication of tropical fruit mango. Genome Biology, 21 (1): 60.

- Wang Shu-min, Lu Xin-xiong, Li Li-hui. 2014. Technical Specification for reproduction and regeneration of crop germplasm resources. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. (in Chinese)
- 王述民, 卢新雄, 李立会. 2014. 作物种质资源繁殖更新技术规程. 北京: 中国农业科学技术出版社.
- Wang Su-ke, Li Xiu-gen, Yang Jian, Wang Long, Xue Hua-bai, Su Yan-li, Wang Lei. 2016. Current situation and perspective of pear breeding for last two decades in China mainland. *Journal of Fruit Science*, 33 (S1): 10 – 23. (in Chinese)
- 王苏珂, 李秀根, 杨 健, 王 龙, 薛华柏, 苏艳丽, 王 磊. 2016. 我国梨品种选育研究近 20 年来的回顾与展望. *果树学报*, 33 (S1): 10 – 23.
- Wang Z, Miao H, Liu J, Xu B, Yao X, Xu C, Zhao S, Fang X, Jia C, Wang J, Zhang J, Li J, Xu Y, Wang J, Ma W, Wu Z, Yu L, Yang Y, Liu C, Guo Y, Sun S, Baurens F C, Martin G, Salmon F, Garsmeur O, Yahiaoui N, Hervouet C, Rouard M, Laboureau N, Habas R, Ricci S, Peng M, Guo A, Xie J, Li Y, Ding Z, Yan Y, Tie W, D'Hont A, Hu W, Jin Z. 2019. *Musa balbisiana* genome reveals subgenome evolution and functional divergence. *Nature Plants*, 5 (8): 810 – 821.
- Wei Xiao-xia, Ye Xin-fu, Yu Wen-quan. 2019. Wild fruit trees in Fujian Province. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press. (in Chinese)
- 韦晓霞, 叶新福, 余文权. 2019. 福建省野生果树图志. 北京: 中国农业科学技术出版社.
- Xing Y, Liu Y, Zhang Q, Nie X, Sun Y, Zhang Z, Li H, Fang K, Wang G, Huang H, Bisseling T, Cao Q, Qin L. 2019. Hybrid *de novo* genome assembly of Chinese chestnut (*Castanea mollissima*). *GigaScience*, 8 (9): 9.
- Xu Q, Chen L L, Ruan X, Chen D, Zhu A, Chen C, Bertrand D, Jiao W B, Hao B H, Lyon M P, Chen J, Gao S, Xing F, Lan H, Chang J W, Ge X, Lei Y, Hu Q, Miao Y, Wang L, Xiao S, Biswas M K, Zeng W, Guo F, Cao H, Yang X, Xu X W, Cheng Y J, Xu J, Liu J H, Luo O J, Tang Z, Guo W W, Kuang H, Zhang H Y, Roose M L, Nagarajan N, Deng X X, Ruan Y. 2013. The draft genome of sweet orange (*Citrus sinensis*). *Nature Genetics*, 45 (1): 59 – 66.
- Xu Qiang, Wang Xia, Xu Yuan-tao, Deng Xiu-xin. 2020. A co-dominance InDel molecular marker for identifying single embryo and multiple embryos of citrus and application there of. China: CN105603096B. (in Chinese)
- 徐 强, 王 霞, 徐远涛, 邓秀新. 2020. 鉴别柑橘单胚和多胚的共显性 InDel 分子标记及其应用. 中国, CN105603096B.
- Li Y, Wang L R. 2020. Genetic resources, breeding programs in China, and gene mining of peach: a review. *Horticultural Plant Journal*, 6 (4): 205 – 215.
- Yu De-jun. 1979. Taxonomy of Chinese fruit trees. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 俞德浚. 1979. 中国果树分类学. 北京: 农业出版社.
- Zeng L, Tu X L, Dai H, Han F M, Lu B S, Wang M S, Nanaei H A, Tajabadipour A, Mansouri M, Li X L, Ji L L, Irwin D M, Zhou H, Liu M, Zheng H K, Esmailzadeh A, Wu D D. 2019. Whole genomes and transcriptomes reveal adaptation and domestication of pistachio. *Genome Biology*, 20 (1): 79.
- Zhang J, Zhang W, Ji F, Qiu Q, Song X, Bu D, Pan G, Ma Q, Chen J, Huang R, Chang Y, Pei D. 2020. A high-quality walnut genome assembly reveals extensive gene expression divergences after whole-genome duplication. *Plant Biotechnology Journal*, 18 (9): 1848 – 1850.
- Zhang L, Hu J, Han X, Li J, Gao Y, Richards C M, Zhang C, Tian Y, Liu G, Gul H, Wang D, Tian Y, Yang C, Meng M, Yuan G, Kang G, Wu Y, Wang K, Zhang H, Wang D, Cong P. 2019. A high-quality apple genome assembly reveals the association of a retrotransposon and red fruit colour. *Nature Communications*, 10 (1): 1494.
- Zhao Y P, Fan G, Yin P P, Sun S, Li N, Hong X, Hu G, Zhang H, Zhang F M, Han J D, Hao Y J, Xu Q, Yang X, Xia W, Chen W, Lin H Y, Zhang R, Chen J, Zheng X M, Lee S M Y, Lee J, Uehara K, Wang J, Yang H, Fu C X, Liu X, Xu X, Ge S. 2019. Resequencing 545 ginkgo genomes across the world reveals the evolutionary history of the living fossil. *Nature Communications*, 10 (1): 1 – 10.
- Zheng Hui-zhang, Li Jian, Wang Shou-cong. 2004. Fruit germplasm resources in Tibet. Beijing: China Agriculture Press. (in Chinese)
- 郑惠章, 李 健, 王守聪. 2004. 西藏果树种质资源志. 北京: 中国农业出版社.