

果树育种40年回顾与展望

邓秀新¹, 王力荣², 李绍华³, 张绍铃⁴, 张志宏⁵,
丛佩华⁶, 易干军⁷, 陈学森⁸, 陈厚彬⁹, 钟彩虹¹⁰

(¹华中农业大学园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070; ²中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009;
³中国科学院植物研究所, 北京 100093; ⁴南京农业大学园艺学院, 南京 210095; ⁵沈阳农业大学园艺学院, 沈阳 110161;
⁶中国农业科学院果树研究所, 辽宁兴城 125100; ⁷广东省农业科学院果树研究所, 广州 510640; ⁸山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安 271018; ⁹华南农业大学园艺学院, 广州 510642; ¹⁰中国科学院武汉植物园, 武汉 430074)

摘要: 改革开放以来,我国果树遗传改良与品种选育研究取得长足进展。据不完全统计,主要的11种果树选育了1 968个品种(含砧木),有力支撑了我国果树产业的快速发展,为我国果树实现鲜果供应期延长、品质提升、栽培模式改变提供了保障。细胞工程技术广泛应用于果树遗传改良,分子标记开始在育种中应用,提高了育种效率。我国果树基因组学研究发展迅速,进入世界先进行列。培育多样化品种满足不同用途和不同人群的需求,以及培育抗性好、适合省力化栽培的品种将是未来果树品种发展的方向。

关键词: 果树;遗传改良;品种;生物技术;组学

中图分类号: S66 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2019)04-0514-07

Retrospection and prospect of fruit breeding for last four decades in China

DENG Xiuxin¹, WANG Lirong², LI Shaohua³, ZHANG Shaoling⁴, ZHANG Zhihong⁵, CONG Peihua⁶,
YI Ganjun⁷, CHEN Xuesen⁸, CHEN Houbin⁹, ZHONG Caihong¹⁰

(¹Key Laboratory of Horticultural Plant Biology (Ministry of Education), Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China; ²Zhengzhou Fruit Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China; ³Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China; ⁴College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, Jiangsu, China; ⁵College of Horticulture, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, Liaoning, China; ⁶Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, Liaoning, China; ⁷Guangdong Fruit Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, Guangdong, China; ⁸College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, Shandong, China; ⁹College of Horticulture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, Guangdong, China; ¹⁰Wuhan Botanical Garden, Chinese Academy of Science, Wuhan 430074, Hubei, China)

Abstract: The fruit genetic improvement & breeding has achieved a great progress since late of 1970s. A total of 1968 cultivars/varieties of scion and rootstock have been bred or registered during the past four decades based on counting 11 fruit types; as has been promoting the rapid development of fruit industry in China, and supporting the extension of supply season, quality enhancement as well as improvement of culture practice efficacy. Cytological engineering technologies has widely used in fruit genetic improvement, molecular marker assisted selection is being used for fruit breeding, these have increased the breeding efficiency. Genomics research on fruits developed quickly during the past years in China, and has harvested cut-edged results. The trends for fruit breeding in the future includes diversified cultivars/varieties to meet different demands of consumers and processing, better resistances to bio/abio-stresses, and less-labor culture practice.

Key words: Fruit; Genetic improvement; Cultivar; Biotechnology; Genomics

收稿日期: 2019-02-12

接受日期: 2019-02-22

基金项目: 国家现代农业产业技术体系(CARS)

作者简介: 邓秀新, 男, 中国工程院院士、副院长, 民盟中央副主席, 中国科协副主席, 华中农业大学教授、博士生导师。

E-mail: xxdeng@mail.hzau.edu.cn

伴随着改革开放的进程,我国水果产业(不含西瓜)迅速发展,总产量从1978年的657万t发展到2017年的1.7亿t,增长了26倍。人均占有量从不到7 kg发展到120 kg。在所有农作物中,增幅位居前列。充足的供给改变了水果作为礼品的历史,使其成为广大人民的日常消费品,为人们生活健康提供了物质保障。与此同时,果树产业的发展为我国多地农村经济社会发展以及广大农民脱贫致富提供了产业依靠。

40年来,我国果树育种工作从小到大。猕猴桃育种变化最为显著,改革开放以前,我国没有猕猴桃栽培,只有野生猕猴桃,且基本没有商业销售。经过40年的发展,我国培育了一批猕猴桃新品种^[1-2]。特别是新世纪以来,红肉和黄肉猕猴桃品种进入市场,也改变了人们对该水果的认知。如今,我国猕猴桃栽培面积为13.33余万hm²,成为了一种新兴水果。

过去的40年,我国果树品种改良研究大体可划分为3个阶段。第一个阶段为1978—1995年,我国各级农业科研机构开展果树资源调查整理、品种比较试验,发掘了一批地方良种,也培育出一批当时生产上需要的品种。这期间的品种以丰产为主要特征,例如‘秦冠’苹果、‘国庆一号’温州蜜柑、‘黄花’梨、‘京亚’葡萄等。第二个阶段为1996—2007年,由于科研体制变化及部分研究机构改制等原因,育种工作出现停顿。第三个阶段为2008年以后,特别是国家现代农业产业技术体系建立后,我国果树育

种进入有序发展阶段,一批新品种进入产业。尤其是近几年,我国先后牵头或自主完成了甜橙、梨、猕猴桃等果树基因组测序^[3-5],并对桃的品质性状、柑橘多胚性状等开展了研究,取得突破性进展^[6-7]。这些工作对加快果树品种改良具有里程碑式意义。

1 主要成绩

改革开放以来的40年,我国果树育种取得了可喜的成绩^[8-9]。据不完全统计,苹果、柑橘等11种果树在过去40年间共选育了1 968个品种(系),其中,接穗品种(系)1 925个,砧木品种(系)43个(表1)。选育品种数最多的是桃、葡萄,分别达到566个和325个。选育品种多的树种除了育种者努力和育种工作传承较好外,还与这两种果树童期短、育种周期相对较短有一定联系。柑橘、香蕉杂交培育的品种少,主要是由于其特殊的生物学特性,杂交育种效率低。如栽培香蕉是三倍体,无籽;柑橘多数品种具有多胚性,通过有性杂交进行遗传改良的难度较大。从生产利用的品种看,起源于我国的几种果树,依赖资源优势,生产中栽培自主选育的品种比例较高,如桃、梨、柑橘和猕猴桃。引进的果树,生产中栽培外来品种的比例较高,如苹果、草莓等。相比而言,接穗品种选育较多,砧木育种滞后。砧木育种主要在几个大树种中开展。苹果中,利用地方资源杂交选育了矮化砧木‘中砧一号’,新近,又选育出了具有无融合生殖特性的砧木品种‘青砧一号’,表现出很好

表 1 主要果树品种选育情况(1978—2018 年)
Table 1 Current situation of main fruit tree breeding (in 1978—2018)

树种 Fruit tree species	合计 Total	小计 Subtotal	芽变选择 Sport selection		杂交育种 Cross breeding		资源发掘/实生选种/诱变育种等 Selection by germplasm resource/ seedling/mutation et al.		砧木品种(系)个数 Rootstocks cultivars number	
			个数 Number	占比 Proportion?/%	个数 Number	占比 Proportion/%	个数 Number	占比 Proportion/%		
桃 Peach	566	565	73	12.9	492	87.1	0	0.0		1
杏 Apricot	91	91	4	4.4	31	34.1	56	61.5		0
草莓 Strawberry	117	117	3	2.6	106	90.6	8	6.8		0
苹果 Apple	257	243	78	32.1	165	67.9	0	0.0		14
梨 Pear	228	210	48	22.9	153	72.9	9	4.3		18
葡萄 Grape	325	317	56	17.7	261	82.3	0	0.0		8
香蕉 Banana	10	10	8	80.0	2	20.0	0	0.0		0
猕猴桃 Kiwifruit	180	180	16	8.9	4	2.2	160	88.9		0
柑橘 Citrus	113	111	86	77.5	7	6.3	18	16.2		2
荔枝 Litchi	45	45	0	0.0	0	0.0	45	100.0		0
龙眼 Longan	36	36	2	5.6	10	27.8	24	66.7		0
合计 Total	1 968	1 925	374	19.4	1 231	63.9	320	16.6		43

的矮化潜力^[10]。柑橘上从我国地方资源中发掘出耐缺铁的砧木品种‘资阳香橙’。

1.1 育种途径

按品种选育途径进行分析,11种果树19.4%的接穗品种来自芽变选种,63.9%来自杂交育种,16.6%来自实生选种或诱变育种等。值得指出的是,不同树种,育种的主要途径存在明显差异。以芽变选种途径为主的有柑橘、香蕉和苹果等。杂交育种途径为主的有草莓、桃和葡萄。龙眼、荔枝、猕猴桃及杏则主要依赖实生选种,从自然或农家品种中提纯复壮。

果树育种者以前把果树育种途径归结为“查引选育”4个字,即资源调查发掘野生和地方良种,例如猕猴桃的不少品种是通过此途径从野生材料中选育的。40年来,通过野生资源调查方式挖掘优良资源并使其逐步发展成为产业的首推猕猴桃。从表1看出,猕猴桃品种的88.9%来自资源发掘。除了猕猴桃外,东北的蓝靛果、山西的欧李和南方的八月瓜(木通)也是野生资源发掘和驯化的案例。引种筛选是世界各国解决品种急用的途径。我国果树产业中,相当一部分品种来自引进筛选。特别是在1994—2006年期间,在国家支持下,通过引进苹果、柑橘等果树品种,丰富了我国的品种资源。从引进的资源中,筛选出了十分优秀的品种,并在产区广泛推广。例如从日本引进的‘富士’苹果,目前仍然占我国苹果栽培面积的大部分。如今,引进的脐橙、杂柑品种在柑橘产业中发挥着重要作用。严格讲,引种不属于遗传改良范畴,但引种在产业发展中具有重要作用。选种包括实生选种和芽变选种。过去,农民家种植的果树多数是通过实生繁殖,因此,从农家品种选择和提纯复壮,也属于实生选种的范畴。在新疆杏品种选育中,主要通过此途径获得了一批品种^[11]。芽变选种主要是利用体细胞变异或嫁接产生的嵌合现象,从果园中直接选出优良的变异类型,进而成为品种。我国的柑橘品种多数通过此途径选育^[12]。表1中可以看出,柑橘77.5%的品种来自芽变,远高于果树的平均水平。如‘早红’‘赣南早’等脐橙品种等均是通过了此途径选育。特别是‘早红’脐橙是嫁接产生的嵌合体,或称为嫁接杂种。实生选种、芽变选种以及野生资源发掘均属于利用自然变异。4个字中的“育”主要指杂交育种,通过有性杂交实现遗传重组,获得新的基因型(品种

或品系)。我国在桃、梨、葡萄等果树杂交育种中取得了较好的成绩。过去,我国杂交育种途径培育的柑橘品种几乎为零,经过40年的努力,我国通过此途径育出了‘金秋砂糖橘’、‘金煌’和‘大雅柑’等品种。

1.2 育种目标

40年来,果树育种目标经历了从追求产量到追求品质以及培育不同成熟期品种的变化。早期培育的品种如‘秦冠’,丰产性好。近些年,几种主要果树选育目标:第一是品质。例如,柑橘和葡萄的无籽品种选育,提高了食用品质。通过芽变选种从普通琯溪蜜柚选育出果肉红色以及橙色的品种,并在生产中大面积推广。通过杂交育种培育了肉质细嫩水分多风味浓的梨品种以及含酸量较高的苹果榨汁专用品种。第二是成熟期。主要选育早熟和晚熟品种,以柑橘为例,选育出10月上市的脐橙品种,比过去的品种早了1个月上市,通过杂交和芽变等途径培育出了晚熟宽皮橘‘砂糖橘’、‘奉节晚橙’、‘大雅柑’等晚熟品种,有效延长了上市时间,为实现鲜果周年供应提供了品种保障。再如桃,通过利用我国地方资源,杂交培育了早熟和晚熟桃品种,将原来只有2个多月上市期延伸到7个月;苹果也选育出晚熟的品种^[13]。第三是抗病。近年,随着病害的增加,抗病育种受到重视。通过杂交途径培育出了抗香蕉枯萎病的‘中蕉9号’等品种^[14]。第四是提高生产效率。例如不需授粉的梨品种、短枝型苹果品种、不需要套袋色泽也较好的苹果品种等。

1.3 育种基础

40年来,我国果树育种基础得到夯实。自20世纪80年代以来,先后建立了10余种果树的国家种质资源圃,包含了从大宗果树苹果、柑橘到小水果草莓和蓝莓等。加上一些地方或单位自己建设的资源圃,为我国果树遗传改良研究打牢了基础。进入新世纪,随着我国经济的发展和投入经费的增加,资源圃的运行和评价得到加强,我国果树资源迁地露地保存系统和表型评价数据库建设得到加强。2008年开始,在国家支持下,先后建立了包括主要果树种类的现代农业果树产业技术体系7个,柑橘、苹果、梨、葡萄、香蕉、荔枝、龙眼、桃、李等果树的资源研究、育种和繁育得到相对稳定的支持。我国果树育种由过去间断性、随机性朝着有计划、有岗位开展育种的方向发展。近十年来,一大批果树新品种进入

产业,提升了我国果树产业的竞争力,极大丰富了我国果品市场。

1.4 育种技术

改革开放以来,一批新技术应用于果树遗传改良中,提高了育种效率。这些技术主要有细胞工程技术(胚胎抢救、细胞融合、试管繁殖与微芽嫁接等)和分子标记辅助选择技术(MAS)。胚胎抢救技术有效克服了胚胎败育或果实成熟而胚胎尚未发育完全等问题,在果树育种中得到广泛应用。在桃、杏和葡萄等果树的早熟品种选育中,该技术发挥了重要作用,取得了很好的效果,如桃品种‘春雷’,葡萄‘沪培1号’和‘沪培2号’就是通过胚胎抢救选育出来的早熟品种,果实发育期55天。初步统计可以看出,40年来,选育的早熟桃新品种90%采用了该技术。柑橘中采用胚胎抢救技术主要是解决珠心胚干扰问题,培养出了一批三倍体无核株系^[15]。我国已形成了一套完整的细胞融合培育无核柑橘品种的技术体系。20世纪80年代,细胞融合技术研究在我国取得成功,先后在柑橘、猕猴桃和苹果等果树上开展了研究。后来,只有在柑橘上坚持下来,并建立起一套完整的原生质体培养、融合再生技术,创造了一批柑橘种间和属间体细胞杂种,进而与二倍体杂交经过胚胎抢救得到一批三倍体无核柑橘类型。再进一步发展为通过细胞融合转移胞质基因,创造出原生质体融合培育二倍体无核胞质杂种的新育种路径;研究人员将温州蜜柑与HB柚子进行细胞融合,获得了转温州蜜柑CMS的二倍体柚无核品种‘华柚2号’,成为世界第一例通过细胞融合直接创造的植物新品种^[16]。分子标记辅助选择技术的应用相对较晚。新世纪以来,各类分子标记包括RAPD、SSR、SNP等陆续应用于果树杂交后代的早期选择,在梨、桃、苹果和柑橘等树种的育种中得到应用。试管繁殖技术也就是离体繁殖技术主要应用于种苗和珍贵材料的繁殖和保存中,在香蕉等果树中广泛应用。该技术通过离体培养,解决了过去草本果树繁殖效率不高而且传病的问题,彻底解决了香蕉等果树的繁殖问题。如今,几乎全部香蕉苗是通过该技术繁殖。微芽嫁接及试管嫁接是在离体条件下,将微小的芽原基(尚无维管束分化的茎尖组织)嫁接在无菌的试管播种的砧木上,达到脱除病毒“提纯复壮”的目的,在柑橘等果树中得到应用。人们在实践过程中,将试管不易生根的材料通过试管嫁接,或直接将试管不

生根(无根)的茎芽嫁接在柔嫩的砧木上(类似于胚芽嫁接),用石蜡带包扎或用夹子适度固定嫁接口。可以促进试管材料或实生播种材料的生长,加快育种进程,提高育种效率。值得指出的是,自20世纪90年代以来,果树转基因研究已经在我国开展,但目前尚无品种或品系进入生产。

1.5 遗传育种人才

40年来,我国果树遗传育种队伍发展很快,已形成了完整的人才培养体系。目前,每年培养的果树遗传改良和育种方面的博士和硕士分别在50名和300名以上。

2 几种主要果树育种进展

2.1 苹果

在我国果树产业中,苹果产量排第一,面积比柑橘稍小,位居第二。尽管从日本引进的‘富士’品种栽培面积占我国苹果的2/3,但我国育种成绩和遗传改良的进步还是有可圈可点的地方。我国有40多个农业科研院所和大专院校、250余名科技人员先后参与了苹果育种的研究^[17],40年来共选育243个接穗品种。20世纪70年代,培育出的‘秦冠’曾有大面积种植,表现丰产。随着时间的推移,特别是‘富士’进来后,栽培面积逐步减少。育种人员在‘富士’的基础上选育出了芽变品种‘烟富’,果实色泽等性状有一些改进,目前有26.67万hm²的栽培面积;选育出的抗性较好的‘寒富’栽培也达到13.33万hm²。近10年,我国苹果杂交育种产生了近40万株的杂交后代,是目前杂交群体最多的国家^[18];一些优系在陕西等地开始进入生产^[19]。值得指出的是,我国砧木育种近年有较快的进展,以矮化、抗性强为目标,已培育出14个品种(系),包括‘中砧1号’、具有无融合生殖特性的‘青砧1号’等^[18]。

2.2 柑橘

由于珠心胚干扰,柑橘育种主要依赖芽变选种和资源发掘。40年来,我国共选育了111个品种,其中,77.5%来自芽变,资源发掘等途径占14.4%;只有6.3%的品种是人工杂交而来。从果园和农家资源中发掘的新品种成为了我国自主选育品种的主体。柑橘育种目标主要是无核和早熟。例如从地方资源选育出的‘琯溪蜜柚’、‘砂糖橘’,栽培面积分别超过13.33万hm²,均是无籽(或少籽)。进入新世纪,通过杂交途径,我国培育出了有一定栽培面积的新品种,

例如‘金秋砂糖橘’等。芽变选种选育的‘早红’脐橙是嵌合体品种,为温州蜜柑与脐橙的周缘嫁接嵌合体,遗传稳定。果皮为甜橙、果肉为温州蜜柑。果实10月上旬成熟,挂树可以到翌年初,成为一个采果时间最长的品种,在三峡秭归等地种植。从‘纽荷尔’脐橙选育出的早熟品种‘赣南早’、‘龙回红’和‘赣南1号’等开始在产业中应用。

2.3 梨

我国梨的类型多、分布广,资源丰富,我国开展梨育种工作较早,而且坚持较好。据不完全统计,我国有40多个科研院所、大专院校及个别企业参与了梨育种研究工作^[20]。已育成新品种200余个。在熟期方面,早熟品种的上市时间已经提早到6月底,改变了过去集中在8月—9月上市的局面。选育的品种栽培面积在6.67万hm²以上的有‘黄花’、‘黄冠’和‘翠冠’。近年来,育种者做了大量杂交组合,为新品种的培育奠定了坚实基础。

2.4 桃

我国桃育种研究连续性和系统性较好,加上桃结果较快,辅助一些生物技术,育种成效明显。40年来培育了565个品种。‘雨花露’成为20世纪90年代的主要鲜食白肉品种,曾达到4万hm²的规模。后来,‘春美’、‘京玉’等白肉品种栽培面积均超过3.33万hm²。这些品种主要改良了果实大小或果肉品质。选育了需冷量低(400~650 h)的品种^[21]。选育的‘映霜红’成熟期晚,果实发育期达200 d。值得一提的是,黄桃和油桃育种工作,通过几代人的努力,经多次杂交,培育出了一系列新品种。蟠桃基本上实现了味甜、果大、丰产的目标^[22]。如‘中蟠桃11号’和‘瑞蟠4号’。选育的‘锦绣’黄肉桃加工品种栽培面积达4.67万hm²;‘曙光’、‘中油桃4号’等油桃品种丰富了品种类型。

2.5 葡萄

我国葡萄育种朝着鲜食和加工两个方向发展。40年来已取得丰硕成果,共培育出葡萄新品种325个。其中,鲜食葡萄品种248个,酿酒、制汁等加工品种44个。鲜食品种主要围绕熟期、香味、无核、果肉硬度等方向进行改良^[23]。目前,有超过50家单位或个人在开展育种工作^[24],比较系统的有中国科学院植物所等单位,培育了10多个京字号品种和北字号酿造品种。‘京亚’在生产中超过6.67万hm²,成为三大鲜食品种之一。

2.6 荔枝、龙眼

荔枝育种主要针对熟期、蕉核、果大等性状开展,育种途径主要是实生选种,从农家品种资源中选择优良单株。40年来,选育了45个品种,全部来自实生选种途径。这一情况反映出该树种育种工作还处于经验育种阶段,尚未进入设计或人工杂交育种时代。育种方向是朝着晚熟发展,如‘双肩玉荷包’,推广面积达到2万hm²,还有‘井岗红糯’和‘马贵荔’等新品种均属于晚熟类型。40年来,龙眼选育了36个品种,多数也是通过实生选育而来,通过杂交获得两个品种。

2.7 草莓

草莓育种起步于20世纪50年代,当时只有沈阳农业大学等3家单位进行育种工作^[25]。近年来,随着城郊农业发展,草莓种植面积增大,品种选育工作也取得了较快进展,如培育出外观漂亮、风味浓郁、抗病性强、耐贮运的品种‘艳丽’,已累计推广2600多hm²。

2.8 猕猴桃

过去40年,猕猴桃育种主要以资源发掘为主。上世纪70-80年代,通过资源发掘选育了160余份优异资源。通过杂交培育出了‘金艳’,栽培面积达到1.67万hm²。培育的‘红阳’栽培面积曾达到4万多hm²,风靡一时,由于抗溃疡病能力弱,导致栽培面积逐步减少。

2.9 杏

杏的育种主要通过实生选种,例如,新疆通过实生选种培育了8个品种,选育的‘明星杏’、‘赛买提’和‘树上干’等品种在南疆推广13.33余万hm²;通过杂交育种,近几年先后选育出了‘红丰’、‘新世纪’等品种。

3 存在的不足与展望

值得指出的是,目前我国栽培的果树品种有相当比例来自引进。如苹果,达到2/3;对目前规模化栽培的80余个柑橘品种分析表明,约有一半的品种来自我国自主选育或传统的地方品种,另一半来自引进;草莓、樱桃、葡萄也有较高比例。这一结果一方面反映果树品种国际交流多,另一方面也反映我国果树育种还有差距。这种差距的原因,第一是我国果树育种起步晚,而且中间还有停顿。果树育种是一个周期较长的过程,根据日本的统计,培育一个

果树新品种的时间平均24年左右。第二是育种的几个要素,即育种者、经费支持等变化较多。起步晚、中间停顿,以及工作机制等因素导致我国自主选育的品种特别是突破性的品种还不多,与发达国家存在着差距。

除了以上现实外,不足的地方还有下列方面:第一、针对加工的品种选育滞后或产业应用不好。第二,部分果树类型,围绕产量和耐贮藏目标选育的品种多,消费者反映是我国果实品质下降较多,“桃没有桃味”,“葡萄没有原来的葡萄味”。反映出过去我们在追求高产耐贮藏和好运输时,原有风味丧失或下降比较明显。这个问题虽然不能全算在品种上,但不能说没有联系。第三,育种手段上,如何将先进的分子技术与常规手段结合提高早期筛选效率,如何将各育种单位联合起来,真正做到分工协作,还任重道远。

我国是世界第一果品生产大国,同时也是第一消费大国。广阔的市场,多样化的需求为育种者提供了宽广的舞台。2008年以来,主要果树建立起相对稳定的国家现代农业产业技术体系,设专岗稳定给予经费支持育种。这些均是我国果树育种扬帆远航的基础。进入新时代,果树育种将朝着下列方向发展:第一、满足不同人群和不同用途需求,培育多样化、个性化的品种;第二、优质绿色安全是未来农产品的发展方向,为此需培育抗性强,品质优、耐贮运以及满足机械化、省力化栽培的品种;第三、育种手段将综合运用现代生物学等各种先进技术,提升育种效率,培育新品种的时间将逐步缩短^[18,26]。

参考文献 References:

- [1] 陈兴涛,岁立云,刘晓敏,李征宇,董伟.我国猕猴桃育种现状及发展趋势[J].四川农业科技,2016(8):48-49.
CHEN Xingtao, SUI Liyun, LIU Xiaomin, LI Zhengyu, DONG Wei. Current situations and prospect of kiwifruit breeding in China[J]. Sichuan Agricultural Science and Technology, 2016 (8): 48-49.
- [2] 钟彩虹,黄宏文,李大卫,韩飞,张鹏,刘小莉.中华猕猴桃复合体跨倍性杂交亲和性研究[J].园艺学报,2017,44(增刊):2489.
ZHONG Caihong, HUANG Hongwen, LI Dawei, HAN Fei, ZHANG Peng, LIU Xiaoli. Studies on cross-ploidy hybridization compatibility in *Actinidia chinensis* var. *chinensis* complex [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2017, 44(Suppl.): 2489.
- [3] HUANG S X, DING J, DENG D J,....., LIU Y S. Draft genome of the kiwifruit *Actinidia chinensis*[J]. Nature Communication, 2013, DOI: 10.1038/ncomms3640.
- [4] WU J, WANG Z W, SHI Z B,....., ZHANG S L. The genome of the pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.)[J]. Genome Research, 2013, 23:396-408.
- [5] XU Q, CHEN L L, RUAN X A,....., RUAN Y J. The draft genome of sweet orange (*Citrus sinensis*) [J]. Nature Genetics, 2013: 45(1): 45-66. Doi:10.1038/ng.2472.
- [6] CAO K, ZHENG Z J, WANG L R,....., WANG J. Comparative population genomics reveals the domestication history of the peach, *Prunus persica*, and human influences on perennial fruit crops[J]. Genome Biology, 2014, 15:415.
- [7] WANG X, XU Y T, ZHANG S Q,....., XU Q. Genomic analyses of primitive, wild and cultivated citrus provide insights into asexual reproduction[J]. Nature Genetics, 2017, 49(5). DOI: 10.1038/ng.3839.
- [8] 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.果树学科百年发展回顾[J].农学学报,2018(1):24-34.
DENG Xiuxin, SHU Huairui, HAO Yujin, XU Qiang, HAN Mingyu, ZHANG Shaoling, DUAN Changqing, JIANG Quan, YI Ganjun, CHEN Houbin. Review on the centennial development of pomology in China[J]. Journal of Agriculture, 2018(1): 24-34.
- [9] 陈学森,郭文武,徐娟,丛佩华,王力荣,刘崇怀,李秀根,吴树敬,姚玉新,陈晓流.主要果树果实品质遗传改良与提升实践[J].中国农业科学,2015,48(17):3524-3540.
CHEN Xuesen, GUO Wenwu, XU Juan, CONG Peihua, WANG Lirong, LIU Chonghuai, LI Xiugen, WU Shujing, YAO Yuxin, CHEN Xiaoliu. Genetic improvement and promotion of fruit quality of main fruit trees [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2015, 48(17):3524-3540.
- [10] 郝玉金,沙广利.苹果营养系砧木选育进展[J].落叶果树,2018,50(1):3-7.
HAO Yujin, SHA Guangli. Progress in apple rootstock breeding [J]. Deciduous Fruits, 2018, 50(1): 3-7.
- [11] 杨丽,孙浩元,张俊环,王玉柱.我国杏育种研究进展[J].北方园艺,2011(12):170-172.
YANG Li, SUN Haoyuan, ZHANG Junhuan, WANG Yuzhu. Brief introduction of research progress on the breeding of apricot in China[J]. Northern Horticulture, 2011(12): 170-172.
- [12] 邓秀新.世界柑橘品种改良的进展[J].园艺学报,2006,32(6):1140-1145.
DENG Xiuxin. Advances in worldwide citrus breeding[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2006, 32(6): 1140-1145.
- [13] 王强,丛佩华.中晚熟苹果新品种‘华庆’[J].园艺学报,2018,45(9):1857-1858.
WANG Qiang, CONG Peihua. A new medium-late ripening apple cultivar ‘Huaqing’ [J]. Acta Horticulturae Sinica, 2018, 45(9): 1857-1858.
- [14] 邵秀红,窦同心,林雪茜,盛鸥,邓贵明,毕方铖,胡春华,李春雨,易干军,杨乔松.香蕉对枯萎病的抗性机制研究现状与展望[J].园艺学报,2018,45(9):1661-1674.

- SHAO Xiuhong, DOU Tongxin, LIN Xuexi, SHENG Ou, DENG Guiming, BI Fangcheng, HU Chunhua, LI Chunyu, YI Ganjun, YANG Qiaosong. Research status and prospects on resistance mechanisms to fusarium wilt of Banana[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45 (9): 1661-1674.
- [15] 宋健坤, 朱世平, 谭美莲, 郭文武, 邓秀新. 沙田柚(2x)×柑橘异源体细胞杂种 NS(4x)的三倍体后代遗传分析[J]. *园艺学报*, 2012, 39(6): 1021-1026.
- SONG Jiankun, ZHU Shiping, TAN Meilian, GUO Wenwu, DENG Xiuxin. Genetic analysis of triploid progenies from Shatian pummelo(2x)× citrus allotetraploid somatic hybrid NS(4x) [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2012, 39(6): 1021-1026.
- [16] GUO W W, XIAO S X, DENG X X. Somatic cybrid production via protoplast fusion for citrus improvement[J]. *Scientia Horticulturae*, 2013, 163: 20-26.
- [17] 过国南, 阎振立, 张恒涛, 张顺妮, 刘珍珍. 我国早、中熟苹果品种的生产现状、选育进展及发展展望[J]. *果树学报*, 2009, 26 (6): 871-877.
- GUO Guonan, YAN Zhenli, ZHANG Hengtao, ZHANG Shunni, LIU Zhenzhen. Current situation of production of early and mid season apple cultivars in China and progress in breeding for early and mid season apple cultivars[J]. *Journal of Fruit Science*, 2009, 26(6): 871-877.
- [18] 束怀瑞. 关于苹果产业新动能的几点思考[J]. *落叶果树*, 2018, 50(2): 1-2.
- SHU Huairui. Several notes on the new kinetic energy of apple industry[J]. *Deciduous Fruits*, 2018, 50(2): 1-2.
- [19] 石金瑞, 刘潇然, 刘翠华, 赵政阳, 李瑞, 王聪, 任小林. ‘瑞阳’及其亲本‘秦冠’和‘富士’苹果香气物质的比较[J]. *西北农业学报*, 2018, 27(7): 977-987.
- SHI Jinrui, LIU Xiaoran, LIU Cuihua, ZHAO Zhengyang, LI Rui, WANG Cong, REN Xiaolin. Comparative analysis of aroma compounds in ‘Ruiyang’ and its parent cultivars ‘Fuji’ and ‘Qinguan’ [J]. *Acta Agriculture Boreali- occidentalis Sinica*, 2018, 27(7): 977-987.
- [20] 王苏珂, 李秀根, 杨健, 王龙, 薛华柏, 苏艳丽, 王磊. 我国梨品种选育研究近 20 年来的回顾与展望[J]. *果树学报*, 2016, 33 (增刊): 10-23.
- WANG Suke, LI Xiugen, YANG Jian, WANG Long, XUE Huabai, SU Yanli, WANG Lei. Current situation and perspective of pear breeding for last two decades in China mainland[J]. *Journal of Fruit Science*, 2016, 33(Suppl.): 10-23.
- [21] 王力荣, 朱更瑞, 左覃元, 方伟超. 短低温桃和油桃育种进展[J]. *果树科学*, 2000, 17(1): 57-62.
- WANG Lirong, ZHU Gengrui, ZUO Qingyuan, FANG Weichao. Reviews of chilling peach and nectarine breeding[J]. *Journal of Fruit Science*, 2000, 17(1): 57-62.
- [22] 赵剑波, 郭继英, 陈青华, 姜全. 我国蟠桃种质资源及育种进展[J]. *江苏农业科学*, 2012, 40(7): 149-151.
- ZHAO Jianbo, GUO Jiying, CHEN Qinghua, JIANG Quan. Advances in germplasm resources and breeding of flat peach in China[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2012, 40(7): 149-151.
- [23] 姜建福, 孙海生, 刘崇怀, 樊秀彩, 张颖. 2000 年以来中国葡萄育种研究进展[J]. *中外葡萄与葡萄酒*, 2010(3): 60-69.
- JIANG Jianfu, SUN Haisheng, LIU Chonghuai, FAN Xiucui, ZHANG Ying. Research progress of grape breeding in China since 2000[J]. *Sino-Overseas Grapevine & Wine*, 2010(3): 60-69.
- [24] 李绍华, 梁振昌. 中国科学院植物研究所葡萄科研六十载[J]. *生命世界*, 2018(4): 28-35.
- LI Shaohua, LIANG Zhenchang. Research progress of grape research for six decades in Institute of Botany, the Chinese Academy of Sciences[J]. *Life World*, 2018(4): 28-35.
- [25] 王桂霞, 张运涛, 董静, 张利喜. 中国草莓育种的回顾和展望[J]. *植物遗传资源学报*, 2008, 9 (2): 272 -276.
- WANG Guixia, ZHANG Yuntao, DONG Jing, ZHANG Lixi. Retrospection and prospect of strawberry breeding in China[J]. *Journal of Plant Genetic Resources*, 2008, 9 (2): 272 -276.
- [26] 冯轶, 许雪峰, 张新忠, 吴婷, 王忆, 韩振海. 苹果矮化砧木致矮机理的研究进展[J]. *园艺学报*, 2018, 45 (9): 1633-1641.
- FENG Yi, XU Xuefeng, ZHANG Xinzhong, WU Ting, WANG Yi, HAN Zhenhai. Progress of dwarfing mechanism of apple rootstock[J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 2018, 45 (9): 1633-1641.