

新中国果树科学研究70年——梨

王文辉³, 王国平², 田路明³, 李秀根⁴, 吕晓兰⁵, 张玉星^{1*}, 张江红¹, 曹玉芬³

(¹河北农业大学, 河北保定 071001; ²华中农业大学, 武汉 430070; ³中国农业科学院果树研究所, 辽宁兴城 125100;

⁴中国农业科学院郑州果树研究所, 郑州 450009; ⁵江苏省农业科学院, 南京 210014)

摘要:新中国成立70年来,我国梨树科学研究成果丰硕,在有些领域取得了重大突破,为梨产业的可持续发展作出了重要贡献。本文系统总结了新中国成立以来,我国梨在种质资源、遗传育种、栽培模式与技术、病虫害防控、采后贮藏与加工、果园机械等方面的研究进展,以及不同发展阶段的重要成果,展望了未来的发展方向。

关键词:梨; 新中国; 70年; 科学研究; 回顾; 展望

中图分类号: S661.2 文献标志码: A 文章编号: 1009-9980(2019)10-1273-10

Fruit scientific research in New China in the past 70 years: Pear

WANG Wenhui³, WANG Guoping², TIAN Luming³, LI Xiugen⁴, LÜ Xiaolan⁵, ZHANG Yuxing^{1*}, ZHANG Jianghong¹, CAO Yufen³

(¹Hebei Agricultural University, Baoding 071001, Hebei, China; ²Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, Hubei, China; ³Institute of Pomology, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xingcheng 125100, Liaoning, China; ⁴Zhengzhou Fruit Research Institute, China Academy of Agricultural Sciences, Zhengzhou 450009, Henan, China; ⁵Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, Jiangsu, China)

Abstract: Pear research has achieved fruitful achievements and gained great breakthrough in some fields during the seventy years since the founding of the People's Republic of China, which made important contributions to the sustainable development of pear industry. This paper is an evolutionary review of the pear industry in China including the recent progress in pear germplasm evaluation, genetic breeding, cultivation pattern and technology, prevention and control of diseases and insect pests, post-harvest storage and processing, and orchard machinery, and finally presented the trend of future development in these research fields.

Key words: Pear; New China; 70 years; Scientific research; Review; Prospect

梨是中国第三大果树,也是最具优势特色的果树之一。中国梨资源极为丰富,除西洋梨外,梨的其他栽培种均原产中国^[1],我国生产上应用的前10个主栽品种均为中国品种;我国梨树栽培历史悠久,据文献记载已有3 000余年栽培历史^[2];目前,中国梨栽培面积、产量和出口量均居世界首位。

新中国成立70年来,梨树生产和科研事业取得了举世瞩目的成就^[3-4]。从1949年到2017年,梨树栽培面积由12.1万hm²增加到92.10万hm²,产量由35.2万t增加到1641.0万t,面积增加了7.6倍,产量增加了46.6倍;平均每hm²产量由4 033.5 kg增加到17 817 kg,增加了4.4倍,中国梨年产总量占世界

的比例由改革开放前的14.3%增加到现在的67.8%。本文主要从梨树资源、遗传育种、栽培技术、病虫害防治、贮藏加工和机械化管理等方面回顾发展历史、总结成果、展望未来。

1 梨种质资源研究

1.1 历史回顾

1949—1965年,梨种质资源研究主要是资源调查、分类和育种利用^[5]。以俞德浚等为代表的中国学者开展了梨种质资源调查和分类研究工作^[6]。起源于我国的梨属植物共13个种,国外专家在中国命名了8个种,如杜梨(*Pyrus betulaefolia* Bge.)、秋子

收稿日期:2019-09-16 接受日期:2019-10-05

该文所有作者及其单位排名不分先后,按作者姓氏笔画排序。

*通信作者 Author for correspondence. Tel: 0312-7528320, E-mail: jonsonzhyx@163.com

梨(*P. ussuriensis* Maxim.)、白梨(*P. bretschneideri* Rehd.)、豆梨(*P. calleryana* Decne)、川梨(*P. pashia* Buch.-Ham. ex D.Don)、褐梨(*P. phaeocarpa* Rehd.)、沙梨(*P. pyrifolia* (Burm.f.) Nakai)、麻梨(*P. serrulata* Rehd.)，俞德浚命名了5个种，如新疆梨(*P. sinkiangensis* Yü)、木梨(*P. xerophila* Yü)、滇梨(*P. pseudopashia* Yü)、河北梨(*P. hopeiensis* Yü)、杏叶梨(*P. armeniacaefolia* Yü)。1956年开展第一次全国作物种质资源普查，中国果树所通过汇集各省梨资源调查报告，蒲富慎和王宇霖主编了《中国果树志(第三卷梨)》(1963)，对梨属植物分类特征、分布、品种特性等进行了详细的图文描述。1966—1976年，文化大革命期间，梨种质资源的研究工作基本没有进展。

1977—1993年，在建立国家梨种质资源圃的基础上，开展了更加深入的资源评价和利用研究。1979年5月，中国农业科学院在重庆召开的“全国果树科学研究规划会”决定建立国家果树种质资源圃。1981年开始第二次全国农作物种质资源普查，同年开始国家梨种质资源圃的建设任务，“国家果树种质梨、苹果圃(兴城)”1988年通过农业部验收，另外建成的还有“国家果树种质沙梨圃(武汉)”以及保存有梨资源的云南昆明、新疆轮台和吉林公主岭的特色果树资源圃。此期间主要开展了梨资源茎尖培养、抗寒、抗病、矮化性状、染色体倍性鉴定评价以及杂交育种。

1994—2004年，由于梨资源方面科研经费有限，研究主要以繁种更新、农艺性状和品质性状评价为主。2005年至今，随着对果树科研经费的增加，陆续对梨种质资源开展鉴定评价标准制定、抗性评价、果实性状等的研究，并利用分子技术对梨资源的遗传演化、亲缘关系、分子身份证和基因组多样性等进行研究。2014年起开始第三次全国作物资源普查，各相关单位也开展梨资源的考察收集工作，进一步丰富了资源保存类型。

1.2 重要成果

近10多年来，随着科研经费的增加，我国梨科研工作者在梨种质资源表型鉴定、抗性鉴定、果实性状评价、功能成分鉴定、分子标记评价、转录组和基因组学研究等方面开展了大量研究工作。在参考国际标准的基础上，曹玉芬等编著《梨种质资源描述规范和数据标准》(2006)，并制定农业行业标准4项《农作物种质资源鉴定技术规程 梨》(NYT 1307—

2007)、《农作物优异种质资源评价规范 梨》(NYT 2032—2011)、《梨种质资源描述规范》(NY/T 2922—2016)和《梨黑星病抗性鉴定技术规程》(NY/T 3345—2019)，地方行业标准一项《秋子梨品质评价技术规程》。张绍铃团队首次组装并注释‘砀山酥梨’的基因组图谱^[7]，梨资源的重测序分析发现梨起源于我国西南地区，经过亚欧大陆进行传播，东方梨与西洋梨分别经历了独立驯化的过程^[8]。曹玉芬团队完成首个野生杜梨基因组图谱组装，为梨功能基因挖掘、梨属植物驯化及野生资源利用提供了重要信息^[9]。目前，已为800多份梨资源建立了分子身份证，为500余份梨资源进行了全基因组测序，构建了梨基因组数据库。根据多年的鉴定数据，曹玉芬等主编了《中国梨品种》(2014)，以图文并茂的形式介绍部分优良梨品种资源。相关国家梨种质资源圃作为公益性共享服务平台，已为梨相关教学、科研和生产应用提供大量的接穗、果实、花粉、叶片和其他科技服务，为梨科研生产提供了有力支撑。

1.3 未来展望

明确梨种质资源优异经济性状的基因功能，挖掘及利用重要梨果品质及农艺性状优异基因，阐明关键效应新基因在育种中的价值与有效利用途径。为梨分子辅助育种进入实际应用阶段提供大量可用基因资源，大幅度提高育种早期选择效率，加快育种进程。

开展梨核心种质抗病性的精准评价，通过梨树主要病害抗性精准评价及基因鉴定与利用，完成抗病基因鉴定和功能验证，并应用指导梨抗病育种。实现梨种质资源抗病性精准评价及明确相关抗病性基因，对培育抗病品种，从根本上防治梨树病害，实现优质、高效、安全生产至关重要。

梨种质资源离体保存技术研究及应用，建立梨树种质资源低温和超低温保存过程中基因型和表观遗传学等方面的遗传稳定性检测技术体系。

2 梨品种选育研究

2.1 育种理论研究与创新

为了创新梨育种理论和提高梨品种选育的效率，我国梨育种工作者系统研究了梨主要性状的遗传规律，为梨育种技术的发展奠定了理论基础。

在童期性状的遗传领域，我国学者通过对不同组合、不同种类杂交后代群体的观察研究，得出了梨

杂种童期的长短不仅受遗传因素的影响,也受地域和生长强弱的影响;比较而言,砂梨的后代一般童期较短,而白梨和秋子梨的童期较长,西洋梨和新疆梨的童期最长;同一杂种后代群体生长在南方亚热带地区比生长在寒带的童期要短。李秀根等研究表明:梨的早实性或童期无论是种间杂种或种内杂种,其后代均表现出广泛的分离,并具有趋中性,童期是多基因控制的数量性状^[10]。梨童期的长短在正反交情况下,与互作母本或父本无关,不呈母性遗传。

在果实外观性状遗传领域,学者们通过研究,明确了梨果形的遗传较为复杂,而且受环境条件的影响较大^[11]。圆形和扁圆形对圆锥形和卵圆形为显性。果实大小属于数量性状遗传,受多因子控制,杂交后代往往广泛分离。多个研究团队发现,梨杂交后代的单果质量平均值均小于亲中值,表现为连续的分选趋势,不同组合呈现中庸回归或向小果回归的趋势。梨果皮色泽的遗传也较为复杂,黄色对绿色呈显性;褐色对绿色呈显性,且表现为质量性状遗传。

在果实内在品质遗传方面,多数研究者认为,梨果肉的脆软性状表现为独立的显性遗传,脆肉对软肉为显性。梨脆肉性状为质量性状,受两对基因控制。梨果实含糖量表现为数量性状,呈正态分布;杂种后代果实含酸量为数量性状,果实肉质性状表现为质量性状,脆肉对软肉为显性。梨的抗寒性表现为以加性效应为主的数量性状遗传,同时也受非加性效应(显性效应、上位效应)的影响。董星光等通过对黄冠×鸭梨杂交组合后代接种分析,结果表明139株F₁代中,抗病为71株,感病为68株,符合1:1的比例,认为梨黑星病性由主效单基因控制^[12]。

2.2 选育技术

2.2.1 引种 新中国成立之后,我国先后从日本、意大利、英国、美国、德国、新西兰、比利时、韩国等国引进大量的种质资源。据不完全统计,迄今为止,我国从国外引进梨种质资源130多份,其中一些材料经过短时间的栽培试验,现已用于生产,产生了较大经济效益。如‘巴黎’‘红茄梨’‘幸水’‘新世纪’‘秋月’‘圆黄’‘黄金梨’等。

2.2.2 选种 (1)芽变选种。我国通过梨芽变选相继选出了很70多个优良芽变品种(系),如‘红南果’‘早酥红’‘金秋梨’‘金花4号’等。这些芽变新品种在生产发挥了较大作用。(2)实生选种。即为不知父

本的杂交选种。通过此方法我国学者先后选育出了40多个新品种,有些在市场中发挥了积极作用。如‘杭青’‘矮香’‘早生新水’等。

2.2.3 杂交育种 新中国成立70年来,我国科研院所和大专院校约有41个单位、100多位专业研究人员从事梨杂交育种工作,现已选育出228个各具特色的新品种。其中一些品种已大面积栽培,给生产者带来可观的收益,为我国梨产业做出了极大贡献,其产业贡献率在50%以上。如‘早酥’‘黄花’‘翠冠’‘黄冠’‘红香酥’‘玉露香’‘中梨1号’‘翠玉’‘新梨7号’等。

2.2.4 砧木育种 我国梨砧木育种虽然起步较晚,但是也取得了一定的成绩。如紧凑型矮化砧木中矮1、2、3、4、5号和矮化、嫁接亲和性好、易繁殖、抗逆性强的K系矮化砧木等。上述砧木的培育填补了我国没有梨矮化砧木的空白。

2.3 分子辅助育种

2.3.1 分子标记与连锁图谱构建 随着分子生物学技术和基因测序技术的不断发展,中国梨科技工作者开发了与梨果实主要性状紧密连锁的分子标记,如宋伟等筛选得到了与果实形状紧密连锁的SSR标记(CH02b10和CH02f06)两对引物均可区分,梨果实的圆形和非圆形,判断准确率分别达到91.67%和96.67%。张树军等以‘鸭梨’×‘雪青’F₁代群体为试材,开发出与抗黑星病基因遗传距离分别为5.2和8.3 cM的分子标记^[13]。宋伟等以‘黄金梨’与‘砀山酥梨’的F₁代群体为试材进行研究,获得了与梨果实褐皮性状相连锁的SSR标记,该团队还获得了与梨果实形状和矮化基因相关的分子标记^[14]。吴俊等采用简化基因组测序技术(RADseq)开发SNPs、SSRs标记,并建立了梨的高密度连锁图谱^[15]。薛华柏等利用‘满天红’×‘红香酥’杂交组合双亲及339个杂种单株进行研究,开发出了与东方梨红皮/绿皮性状遗传距离为2.5 cM的紧密连锁的InDel标记,利用该标记对群体中尚未结果单株的果实皮色进行了预测,获得了理想的效果^[16]。

2.3.2 全基因组测序与组装 2012年由南京农业大学张绍铃课题组牵头,利用‘砀山酥梨’为材料完成了世界上首个梨基因组的测序与组装^[7]。组装梨基因组512.0 Mb,占梨基因组全长的97.1%,通过高密度遗传连锁图谱将序列定位到了17条染色体上,共注释到42 812个蛋白编码基因;以‘八月红’×‘砀

山酥梨'杂交 F_1 群体构建了高密度SNP(单核苷酸多态性)遗传连锁图谱,发现了2 005个SNP标记位点并将它们定位在了17条染色体上,鉴定出了396个抗病相关的基因,为开发更多与梨农艺性状紧密连锁的分子标记提供了有力的支撑。

2.4 育成品种

经检索统计,新中国成立以来,共育成梨品种351个,其中通过审(认、鉴)定、登记、品种权、备案的237个。育成品种中包括杂交育成的228个,芽变育成的71个,实生选育成的42个,诱变育成的9个(表1)。其中产业贡献率最高(栽培面积在20 000 hm^2 以上)的品种有7个。他们分别是'黄花梨'、'早

表1 新中国成立后育成的梨品种数量统计

Table 1 Statistics of new pear varieties after the founding of New China

育种方式 Breeding method	品种数量 Number of varieties							
	审定 Examination	鉴定 Identification	认定 Confirmation	登记 Register	品种权 Variety right	备案 Record	其他 Others	合计 Total
杂交 Cross	110	24	4	3	16	8	63	228
芽变 Bud mutation	19	12	2	2	1	1	34	71
实生 Seedling	13	7	1	1	1	4	16	43
诱变 Mutagenesis	2	6	0	0	0	0	1	9
合计 Total	144	49	7	6	18	13	114	351

注:表中数据审(认、鉴)定、登记、备案的品种与获得品种权有重复。

Note: The varieties number of examination, identification, confirmation, register, record repeat with the number of variety right.

酥'、'翠冠'、'黄冠'、'中梨1号'、'红香酥'、'玉露香'。

3 梨栽培技术研究

3.1 历史回顾

新中国成立初期,我国梨树生产技术水平整体偏低,突出表现为经验管理,生产粗放,产量低,病虫害严重^[1]。由于经济落后和缺乏专职科研队伍,因此栽培技术研究基本处于空白阶段。进入50年代后期,是我国梨树栽培技术研究的起步阶段,主要是针对梨园管理粗放、单位面积产量低等问题,以提高产量为目标开展综合技术研究,很大程度上是施肥、灌水、修剪、授粉和病虫害防治等常规技术的综合应用^[7],在当时生产管理起点低的情况下,产量大幅提高,由7 500~9 000 $kg \cdot hm^{-2}$ 提高到15 000~30 000 $kg \cdot hm^{-2}$ 。这一阶段栽培研究的特征是常规技术的集成与普及。60年代初至改革开放前,生产中存在的核心问题依然是管理水平差导致的产量低。对此,以河北省农科院昌黎果树所为代表,开展了“鸭梨高产稳产优质栽培技术与理论研究”,1957—1977年历经20年的研究与推广取得了显著试验效果,实现了试验园'鸭梨'产量120 000~161 900 $kg \cdot hm^{-2}$,为'鸭梨'高产优质提供了理论依据和配套技术^[3],获得全国科技大会奖和国家科技进步二等奖。

80年代至90年代初是我国梨树大发展时期。据我国梨核心产区河北省统计,1986年全省面积达12.4万 hm^2 ,7年增加6.6万 hm^2 ,其中1984—1986年

3年发展了近6.0万 hm^2 ,平均每年增加2.0万 hm^2 。其间生产上需要解决的主要问题是幼树早果丰产和成龄树高产稳产^[3]。河北省农科院石家庄果树研究所开展了“乔砧梨树密植丰产栽培技术研究”,在我国首次创建了“乔砧梨树密植丰产配套技术”,开创了梨树现代栽培新模式,实现了幼树定植3年结果5年丰产的生产目标。此外,河北、山东、新疆、安徽、辽宁等省份分别在'鸭梨'、'荏梨'、'香梨'、'酥梨'、'南国梨'等成龄园高产稳产研究方面均取得了良好成果,进一步提高了梨园产量,并克服了大小年结果现象。

90年代中期至20世纪末,随着高产栽培技术的普及,梨园单位面积产量的提高和新发展幼树大量进入结果期,加之果农盲目追求产量导致果品质量下降等原因,我国梨主产区出现了严重的卖果难、梨园经济效益大幅下滑的现象,突出表现为'鸭梨'、'酥梨'和'南国梨'等传统优良品种。在这一背景下,河北、山东等省率先提出了提质增效生产新理念,提高果实品质栽培技术研究成为这一时期的核心领域。河北农业大学等单位1994—1999年立项系统研究了'鸭梨'果实品质发育特性和优质调控技术^[2],在我国率先建立了梨优质栽培技术体系,明确了'鸭梨'优质丰产的树相指标和叶片营养元素含量指标,建立了叶分析指导平衡施肥的计算机专家系统,技术成果的推广应用,显著提高了试验示范县'鸭梨'品质,1997、1998年实现了我国'鸭梨'首次直销美

国、加拿大和澳大利亚的市场突破,为后来我国加入WTO扩大梨果出口作出了积极贡献^[9]。

进入21世纪以来,梨生产科研的重点任务是提质增效、品种结构调整和低产果园的改造。针对提质增效的生产和栽培技术研究在全国展开,河北、安徽、山西、湖北、河南、江苏、山东等省相继取得了大批研究成果,并应用于生产;品种结构的调整山东省起步早,大量引进日本、韩国梨品种优化品种结构,抢得市场先机。河北省将老龄梨园改造和品种结构调整结合起来,大力发展以‘黄冠’为突出代表的‘圆黄’‘中梨1号’‘黄金梨’等新品种,‘鸭梨’‘雪花梨’面积比例由原来的86%降为64%。其间,河北农业大学研究提出了集树体改造和品种更新为一体的老龄梨园改造技术,并发明了大树高接换优的“嵌芽接”方法,在生产上得到了大面积推广。随着产业的发展,劳动力成本飙升的问题愈加突出,省力省工栽培成为科研和生产的当务之急,河北农业大学等自2005年开展了此项研究,历经8年在我国率先研究建立了梨“四化”栽培模式(矮密化,省力化,机械化,标准化),受到业内高度关注,在全国得到了迅速推广应用。2009年国家启动了“国家梨产业技术体系”建设专项,在栽培技术领域分别设置了土壤与水分管理、养分管理、树体管理、花果管理、果园生态与环境综合治理和生理障碍调控6个研究领域,每个领域组建了岗位专家团队,体系专项的启动显著壮大了梨科技人员队伍,从此,梨栽培技术研究步入了更加全面、系统和深入的新时期。经过10余年的持续研究,河北农业大学、南京农业大学、安徽农业大学、浙江大学、湖北农科院果茶所等单位取得大批研究成果,将我国梨科研和生产水平推向了新高度。

3.2 重要成果

2000年以来,随着梨产业蓬勃发展对栽培技术需求的提高,国家、地方财政科研经费的不断增加,通过全国科技人员潜心钻研和通力合作,涌现出了大批技术水平高、实用性强的科技成果,对促进梨整体生产水平的提升和产业转型升级作出了重大贡献。

3.2.1 栽培模式创新方面 为解决我国梨园种植模式落后、生产用工成本高、劳动力紧缺这些迫切问题,河北农业大学等单位历经8年研究,创建了梨“四化”栽培模式及配套技术体系,实现了梨园生产机械化、省力化和标准化,较常规梨园降低生产成本

40.2%,提高经济收入2.6倍,被政府、产区、企业誉为引领我国梨栽培制度变革,加快传统生产向现代模式转变的标志性成果。2011年以来,成果已被河北、山西、辽宁、新疆、北京、湖北、云南和上海等全国16个省市自治区采用,新建“四化”模式示范、生产园2万余hm²。河北省近10年新发展梨园1.3万余公顷,几乎全部采用该技术成果。

3.2.2 营养与施肥方面 为解决我国长期以来果园施肥以经验为主,盲目性大、科学性差的问题,河北农业大学、安徽农业大学等单位在揭示梨树营养特性和需肥规律的基础上,研发出梨营养诊断指导平衡施肥的技术体系和计算机专家系统,建立了‘鸭梨’‘黄冠’‘雪青’等品种优质丰产叶片营养元素含量标准^[9],研制出“梨有机—无机专用平衡肥料”。这一成果实现了梨园由传统的经验施肥向数字化精准施肥的技术突破,为梨树生产减施化肥提供了技术支撑和保证。

3.2.3 在优质调控技术方面 为提高果品质量,实现提质增效,南京农业大学、湖北农科院果茶所、安徽农科院园艺所和河北农业大学等单位,在揭示果实发育特性基础上,构建了梨树优质丰产的栽培技术体系,特别是在省力化修剪、培肥地力、液体授粉等方面实现了单项技术的新突破,在广泛的生产应用中取得良好效果。

3.3 未来展望

3.3.1 由单一技术研究向系统技术转变 果园生产管理很难靠单一技术的突破实现整体水平的提高,应从资源利用、技术体系、可持续发展的整体考虑,采用多学科协作方式,建立梨树栽培转型升级的技术体系,从而解决生产中的重大问题。

3.3.2 加快现代栽培模式的示范与推广 结合老龄低效梨园的更新和现代园区建设,加快传统落后栽培模式的更新,实现果园生产矮密化、省力化、机械化和标准化。

3.3.3 研究建立智慧果园数字系统 研究果园环境参数、个体及器官生长发育模型、园相树相表型组参数,以及环境因子对树体、器官影响的相关分析,为实施果园管理智能化控制技术提供理论依据。

3.3.4 研究建立生态果园管理系统 遵循循环农业理论、绿色发展理念,研究生态果园的要素构成和评价系统、资源循环利用技术、生态环境治理技术等,建立生态果园生产管理系统。

3.3.5 研究建立大苗繁育体系 研究加快苗木繁育的关键技术、工厂化育苗工艺流程以及促枝成花技术,构建大苗繁育技术体系,为生产提供成形快、结果早、整齐度好的高规格苗木。

4 梨病虫害防控研究

4.1 历史回顾

1949—1965年期间,我国对梨腐烂病、梨小食心虫等一些梨树病虫害的发生危害状况、发生规律与防治进行了研究,生产上推广以化学农药为主的一系列防治措施,使梨树主要病虫害的危害曾基本上得到了控制^[18]。但因有机氯、有机磷农药的广泛应用,害虫天敌大量被杀伤,原受到众多天敌抑制的次要害虫叶螨类,危害日益严重。1966—1976年文化大革命期间,梨树病虫害防治技术的研究工作受到严重干扰,基本处于停顿状态。

1977—1993年大发展时期,对梨腐烂病、梨黑斑病、梨黑星病、梨轮纹病、梨锈病、梨小食心虫、梨大食心虫、梨木虱、叶螨类、蚜虫类等多种梨树病虫害的综合防治技术开展了大量研究,并在生产上逐步推广综合防治措施,主要梨产区形成了较为完善的梨小食心虫和梨黑星病等病虫害的预测预报和综合防控技术体系,一大批可替代化学农药的新技术和新产品在各梨产区进行了示范与推广。1994—2004年低潮期,梨树病虫害的防治技术研究虽然有一些进展,但在理论与技术上均未取得明显的突破^[19]。

2005年至今,我国梨树病虫害的防治技术研究取得明显进步,各梨产区的病虫害防控技术水平均有显著提升。深入揭示了害虫与天敌、害虫与寄主和害虫与环境之间的关系及重要病虫害的发生规律,为正确制定病虫害综合治理方案提供了理论依据^[20]。大力开展了梨园病虫害的农业防治、物理防治和生物防治技术与产品研究,并在生产中推广和应用。在进一步完善对主要病虫害灾变规律、预测预报研究的同时,还开展了病虫害防治的经济阈值和监测系统的研究,并积极推广和使用计算机远程识别、病虫害的自动化监测、病虫害预警等先进技术 in 病虫害控制中的应用。

4.2 重要成果

应用生物技术,尤其是分子生物学方法,使腐烂病、炭疽病、轮纹病等梨病虫害种类的鉴定取得突破性

进展,为有效防治提供了更科学的依据^[21]。长期以来,我国对梨腐烂病病原菌种类及其归属的认识一直参考日本的研究结果,认为梨腐烂病与苹果腐烂病是由相同的病原菌所致。近些年研究发现梨腐烂病病原菌与苹果腐烂病病原菌在形态和致病性上具有明显的差别。二者在培养特性、致病性及r-DNA核苷酸序列均存在明显差异,证实梨腐烂病病原菌为梨腐烂病菌,而苹果腐烂病的病原菌则为苹果黑腐皮壳。梨轮纹病与干腐病不是两种不同的病害,而是由同一种葡萄座腔菌所引起的同一病害的两种症状表现。梨炭疽病的病原不只是胞胶炭疽菌一种,在我国栽培梨上至少有12种刺盘孢菌可导致炭疽病,其中果生炭疽菌和暹罗刺盘孢为优势种群。

强化梨树病虫害综合防治技术的研究与应用,尤其是防治措施与栽培措施相结合,使一些历来防治困难的病虫害得到了有效控制。从我国北方梨区梨腐烂病数十年的流行史不难看出,每逢栽培管理水平下降的年份或梨园,如土壤和肥水管理粗放,密枝密果,片面追求高产,树体负载过重,即导致树体抗病能力减弱,病情急剧加重。而梨树立地条件好,土层厚,有机质含量高,肥水条件好,树皮中贮藏营养多,愈伤能力强,周皮形成好,发病就轻。近些年来梨产区腐烂病的防治,采取以培养树势为中心,以及及时保护伤口、减少树体带菌为主要预防措施,以病斑刮除药剂涂抹为辅助手段的综合防治方法,获得了很好的防控效果。

基本建立了梨树病虫害以有效地降低化学农药的施用量和梨果的农药残留量为目标,以绿色防控为核心,农业防治、物理防治、生物防治与科学的化学农药防治相结合的综合治理技术体系。严格植物检疫,有效地阻止了检疫性危险病虫害的侵入和蔓延;强化了农业防治在病虫害防控中的作用,选育出一批抗病虫品种;实施精准与适时用药,使农药利用率和防治效果明显提高;加强生物防治与物理防治技术与产品的研发和应用,筛选出一批有明显拮抗效果的生防菌株及其活性代谢产物,害虫天敌、诱捕器和迷向产品得到广泛利用;梨病毒检测与脱除技术的研发取得重要进展,生产上开始建立无病毒苗木生产基地。

4.3 未来展望

将针对梨园生态和梨果安全、降低生产成本、促进梨产业可持续发展的问题,着重研究梨树病虫害

监测预警与生态治理技术,并针对不同生态区域集成技术模式,建立相应技术规程。

未来重点任务有:梨主要病虫害成灾机制的研究和新发、突发病虫害的快速精准鉴定;梨病虫害动态监测预警信息平台的建立与可能流行区域的预测;通过筛选适宜复合种植的农作物种类、或对害虫及传病媒介有趋避或诱集作用、或对天敌有保护作用的植物种类,创新梨的种植模式及改变或优化梨的栽培方式;开发新的天敌资源与新型生物源活性农药,研发RNAi干扰防控和免疫调控新技术与新产品,通过细胞工程、基因工程等先进的技术手段研发梨的抗病虫品种,梨无病毒苗木生产逐步实现产业化与设施化。

5 梨贮藏加工研究

5.1 历史回顾

5.1.1 梨保鲜贮藏 利用自然冷源的传统贮藏方式升级改造阶段(新中国成立后至20世纪80年代初)。新中国成立后,随着农村集体经济组织的建立,梨果生产开始恢复,大规模国营、社营、社队合营的梨园相继建成,产量随之增大,带动了梨果贮藏。此阶段,梨果贮藏主要还是利用自然冷源的土窑洞、通风库、地窖、闲置房屋等传统贮藏方式。如晋中部、陕北的土窑洞,辽西和安徽砀山、河北魏县等的半地下或全地下通风库贮藏。各产区在生产实践过程中,贮藏经验不断总结,技术日臻完善。土窑洞和通风库等在设计建造、通风(温湿度调节)和贮藏管理方面更加科学合理,梨果贮藏量更大,贮藏时间也相对延长。70年代后期始,在土窑洞、通风库等基础上,塑料薄膜包装等简易气调保鲜和防腐处理技术开始应用。50年代末天津等城市商业部门营建大型机械冷藏库,开始梨果冷藏试验。

现代冷藏起步阶段(20世纪70年代初—2000年)。为确保城市水果基本供应及外贸出口之需,国家商业、供销和外贸等部门先后兴建或改建了一批水果冷藏库,开启了我国梨果现代冷藏时代。1968年北京建造我国第一座水果专用机械冷藏库,1976年河北沧州地区供销社在泊头投资建造当地第一座冷藏库,1978年藁城外贸修建冷藏库。80年代中、后期,受外贸出口和市场带动,我国梨产业迎来第一个高速发展阶段,产量随之陡增,河北等主产区迎来冷藏库建设高峰。上世纪70年代以来,我国梨果冷

藏库建设经历了“由大、中城市到县城、村镇,由销地贮藏到产地贮藏的转变,由国家建设到民营、集体建设,冷场规模由大型向小型化发展再到集中发展的趋势”。“鸭梨”是当时主栽品种,也是主要出口品种,贮藏期间黑心,严重影响了“鸭梨”商品质量和出口。1974年中国科学院植物研究所等单位从病因及其产生机制层面发表了2篇“‘鸭梨’黑心病的研究”文章,开启了梨果现代贮藏科学和技术研究之先河。随后,“六五”和“七五”期间国家科技攻关课题“水果贮藏保鲜技术研究”开展了“鸭梨”黑心采后综合防控技术研究。

冷藏大发展时期(2000年至今)。20世纪90年代以来,我国梨产业进入第二个发展高峰,随着梨种植面积的不断扩大,产量快速增加,贮藏设施发展滞后,出现“卖果难”。进入新世纪,北方各主要梨产区冷藏库快速发展,冷藏能力不断增加,如河北冀中南梨产区、新疆巴州梨产区、晋陕酥梨产区、辽宁南果梨产区、安徽砀山梨产区等,气调冷藏库从无到有,且有增加的趋势,有效缓解梨果集中上市造成的销售压力。目前梨总贮藏能力540万t左右,冷藏能力约440万t,其中气调冷藏约50万t。上述地区目前使用的大型冷藏库和气调冷藏库主要为2000年以后建造或改造。此阶段,梨优新品种多元化发展,品种更新加速,比如国内选育的“黄冠”“红香酥”“新梨7号”“玉露香”“翠冠”等,从日韩引进的“黄金”“丰水”“圆黄”等砂梨品种,早熟西洋梨品种“红茄”“三季”等,还有传统地方品种,如“库尔勒香梨”“南果梨”等。随着梨果产量快速增加,贮藏设施和相应贮藏保鲜技术需求矛盾陡增。近30余年,由于套袋、有机肥投入不足、化肥不合理使用等因素,果实品质下滑,贮藏期间虎皮、黑心等生理问题突出。针对梨果黑心及黑皮等贮藏过程中容易发生的生理病害,研发出精准冷藏、气调保鲜、1-MCP处理等相结合的梨果贮藏保鲜关键技术,有力保障了梨产业健康持续稳定发展。

5.1.2 梨果加工 新中国成立后,随着城市果品加工业的发展,梨糖水罐头、梨脯、梨膏、梨酒等逐渐由国营或集体企业工业化生产。传统梨加工制品,如梨干、泡梨、烤梨、煮梨、梨醋、梨酱、梨糖浆、梨蜜饯、梨糕、梨丝、饴糖、糖稀、野梨蛋糕等也常见于产区农家作坊,其中梨干加工最多,过去梨干多是日晒而成,新中国成立后,河北等梨主产区大力推广烘房烤

干,梨干产量和质量都大有提高,成为当时出口的土特产品。河北在梨的综合利用方面也做了有益探索。一些传统制作方法,如泡梨等在西南、东南梨区一直深受消费者欢迎。

改革开放后,尤其是近20年,我国梨产量高速增长,为梨果加工带来机遇,加工用梨持续增长。目前,加工用梨占到总产量的8%以上。加工品类上,除了传统的梨糖水罐头外,形成了梨浓缩梨汁、梨汁和梨汁饮料等现代化产业集群,并成为世界梨罐头和浓缩梨汁生产和出口第一大国。梨罐头在包装、规格方面向着新颖、小容量、方便化方向发展。2000年以来,我国梨果罐头尤其是西洋梨罐头出口迅速增长,2013年达到6.87万t。我国浓缩梨汁生产和销售两旺,年生产70°Brix浓缩梨汁5万t左右,80%以上出口。梨果传统加工品,如梨膏、梨干、梨酒、梨醋、梨脯、梨糖及梨果冻等进一步扩大。梨果加工新产品、新工艺,如梨真空冻干产品、梨益生菌发酵饮料也取得了新进展。

5.2 重要成果

2000年以来,国家科技支撑项目、农业部公益性行业专项、国家重点研发计划项目等均涉及到梨采后保鲜贮运,国家自然科学基金资助了梨褐变相关生理与分子机制研究^[22]。2008年国家启动建设国家梨产业技术体系,并设有“采后保鲜贮运”和“梨果加工”岗位,分别负责梨果贮运和加工。

理论研究方面,梨黑心发生机制有了新的突破,明确了‘鸭梨’急降温造成的黑心,急降温只是表象,黑心与果心自身生理代谢特性及其具有较高浓度的CO₂有关。另外,解析了黄冠梨果面褐变(鸡爪纹)、酥梨等虎皮发生机制并提出了防控措施。应用技术方面,研究构建了‘玉露香’‘红香酥’‘新梨7号’‘黄金’‘丰水’‘圆黄’‘红茄’‘三季’‘翠冠’等10余个选育或引进优新梨品种的贮运保鲜技术体系;传统品种‘鸭梨’‘酥梨’‘雪花’‘库尔勒香梨’‘南果梨’等贮藏技术水平不断完善提升;梨果电商销售包装和保鲜技术取得突破,电商销售渠道比例快速增加;新型乙烯拮抗剂1-MCP和高透湿透气膜在梨采后应用等。通过上述理论和技术的突破,鲜梨实现周年供应,有效缓解集中上市压力,保障了梨产业健康可持续发展 and 实现一些地方脱贫致富。

加工方面,梨罐头产量和出口量居世界第一,专用加工品种筛选,包装小型化、多样化、方便化。梨

果汁浑浊褐变等防控技术等日臻完善,梨浓缩汁工艺技术以及装备水平不断提升。梨加工装备逐步实现机械化、自动化与智能化。加工副产物皮渣精深加工及综合利用不断成熟完善,果胶、膳食纤维、天然色素、天然果香精等提取、纯化和加工技术方面有所突破。

5.3 未来展望

未来中国和亚洲将成为全球最具活力的新鲜水果市场。随着物质生活水平的提高,消费者对梨果品质要求不断提高,既要求果实新鲜,又要求果实风味佳、色泽好、脆度够、香气浓。单独依靠冷藏技术已经不能满足市场对高品质梨果周年供应的需求,气调冷藏是保障梨等大宗水果周年保质供应的基础,水果气调冷藏装备、气调技术参数研发是未来梨采后重点任务之一^[23]。品质提升、减损增值基础理论与技术研究,保障果业健康可持续发展,仍将是今后一段时间的研究重点。优新品种采收与贮藏保鲜技术研发,传统品种贮运技术的标准化。代谢组学和大数据等应用,逐步实现对梨果采后品质变化和贮藏寿命精准预测。梨果采后分等分级,以及贮藏管理的标准化、省力化、自动化、智能化也是未来发展的趋势。

梨加工比例不断扩大,人们对水果及其加工品的质量安全和品质提出了更高要求,消费需求向多层次多样化转变。加工产品多元化,食用更加便捷化。鲜榨梨汁、梨膏、脆片、果粉、果醋、果胶、冻梨^[24]、烤梨等休闲加工产品产业逐步形成壮大。梨果止咳、生津、润肺、化痰、醒酒等营养保健的科学机制逐步解析,功能性成分挖掘与开发也将成为研究热点。

6 梨园机械研究

6.1 历史回顾

自20世纪80年代以来,我国果园管理陆续使用带动力的机械,例如手动式喷雾器、手提式打穴机、手扶拖拉机等手动半机械化工具,果园生产虽然逐渐应用了部分机械作业,但作业项目少、机具不配套,基本上还是以手工为主^[25]。据统计,2010年之前全国果园综合机械化率不足10%。我国果园机械研发起步虽然晚,但近10年发展迅速,目前全国范围内的果园机械基本解决了从无到有和可以使用的问题,在技术研发和栽培模式上也有一定的成功尝

试。当前,我国果园综合机械化水平依然不足30%,其中机械中耕率30%,机械施肥率18%,机械植保率46%,机械修剪率12%,机械采收率2%,机械转运率53%。机械化率相对较高的植保和转运环节,不乏采用小型电动(机动)人工辅助工具进行的操作。果园综合机械化率虽然较10年前的10%有了一定的增长,但增长速度非常缓慢^[26]。这主要受限于80%以上的老旧果园种植模式更新缓慢,造成机械无法下田,用工量多、劳动强度大、时效性强的环节,都未实现机械化作业。

6.2 重要成果

“十二五”以来,在政策、技术、装备、经营主体等多因素的共同作用下,果园机械化成为农机化发展中的一个全新的增长点。果园机械、栽培领域相关科研院所、企业等联合攻关,不断突破果园机械化薄弱环节技术瓶颈,以农机农艺相融合的方式,创新研发、筛选集成与优化提升了作业高效、适应性强、自动化程度高的果园机械化生产装备。当前全国相关研发团队围绕果园全程机械化各环节创新研发的技术和产品日益丰富,例如梨产业技术体系机械化岗位研发的3WGF系列果园风送喷雾机、3WQF-1000型牵引式果园风送喷雾机、2FG-50D果园有机肥深层混施机(双链深松机、有机肥条形投放机)、组合式果园避障割草机、多功能运载平台、手持疏花器、枝条粉碎机等多种果园机械装备,实现了果园全程机械化关键技术装备集成,初步构建了现代果园机械化生产技术模式^[26],并面向现代园区、农机合作组织、果业公司等推广应用,快速提升现代果园综合机械化水平,切实解决劳动力短缺、作业效率低、劳动力成本占比过高的产业问题,促进果品生产可持续发展。

6.3 未来展望

“智能化技术推动农业绿色发展”已成为发达国家农机技术的发展动向和趋势^[27-28]。如病虫害预测模型和植保智能控制技术、智能识别除草机等,普遍使用提高化肥使用效率的具有深施肥功能的机具,大量使用畜禽粪便施肥机,大量使用定向、变量、精准施药机械以提高农药利用率,减少施用量。精准喷洒农药或者直接适用机械的方式防止病虫害,减少农药施用量,用机械化植保代替化学植保。如基于果树生长模型的智能化管理系统开发,根据果树长势、微量元素状况、叶片表征等信息,系统进行

自主判断形成诊断方案,进而自动进行灌溉、施肥等作业。如农机装备的无人驾驶与自主作业技术,操作者通过电脑或者APP操控农机室外作业,甚至可实现一键式启动与农机自主作业的功能。随着电子技术、传感器技术、光谱探测技术,以及5G通讯技术的发展应用,果园机械化即将升级为智能化。

参考文献 References:

- [1] 中国农业科学院果树研究所. 中国果树栽培学[M]. 北京: 中国农业出版社, 1959.
Institute of Pomology of Chinese Academy of Agricultural Sciences. Chinese fruit tree cultivation[M]. Beijing: China Agriculture Press, 1959.
- [2] 张玉星. 果树栽培学各论(北方本)[M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2011.
ZHANG Yuxing. Fruit growing for individual tree(Northern version)[M]. 3rd Edition. Beijing: China Agriculture Press, 2011.
- [3] 郝荣庭. 中国鸭梨[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
XI Rongting. 'Yali' pear of China[M]. Beijing: China Forestry Press, 1999.
- [4] 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, 8(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, 8(1): 24-34.
- [5] 中国农业科学院果树研究所主编. 中国果树志第三卷(梨)[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1963.
Institute of Pomology of Chinese Academy of Agricultural Sciences. Chinese fruit tree records(volume 3, pear)[M]. Shanghai: Shanghai Technology and Science Press, 1963.
- [6] 俞德浚. 华北的梨[M]. 北京: 科学出版社, 1958.
YU Dejun. Pears of northern China[M]. Beijing: Science Press, 1958.
- [7] WU J, WANG Z W, SHI Z B, ……., ZHANG S L. The genome of the pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.)[J]. Genome Research, 2013, 23(2): 396-408.
- [8] WU J, WANG Y T, XU J B, ……., ZHANG S L. Diversification and independent domestication of Asian and European pears[J]. Genome Biology, 2018, 19(1): 77.
- [9] DONG X G, WANG Z, TIAN L M, ZHANG Y, QI D, HUO H L, XU J Y, LI Z, LIAO R, SHI M, WAHOCHO S A, LIU C, ZHANG S M, TIAN Z X, CAO Y F. De novo assembly of a wild pear (*Pyrus betuleafolia*) genome[J]. Plant Biotechnology Journal, 2019, DOI: 10.1111/pbi.13226.
- [10] 李秀根, 魏闻东, 张冬梅. 梨杂种生长势与童期关系的分析[J]. 北方果树, 1991(4): 10-13.
LI Xiugen, WEI Wendong, ZHANG Dongmei. Analysis on the relationship between Juvenile phase and vigor of hybrid pear seedlings[J]. Northern Fruits, 1991(4): 10-13.
- [11] 王宇霖, 魏闻东, 李秀根. 梨杂种后代亲本性状遗传倾向的研

- 究[J]. 果树科学, 1991, 8(2): 75-81.
- WANG Yulin, WEI Wendong, LI Xiugen. Studies on the trends of inheritance of commercial characteristics of crossed Chinese pear parents in their progenies[J]. Journal of Fruit Sciences, 1991, 8(2): 75-81.
- [12] 董星光, 田路明, 曹玉芬. 梨种质资源对黑星病抗性评价[J]. 植物遗传资源学报, 2012, 13(4): 571-576.
- DONG Xingguang, TIAN Luming, CAO Yufen. Evaluation of resistance to Scab in pear germplasms[J]. Journal of Plant Genetic Resources, 2012, 13(4): 571-576.
- [13] 张树军, 张绍铃, 吴俊, 王迎涛, 李勇, 李晓. 与梨黑星病抗性基因连锁的 AFLP 标记筛选及 SCAR 标记转化[J]. 园艺学报, 2010, 37(7): 121-128.
- ZHANG Shujun, ZHANG Shaoling, WU Jun, WANG Yingtao, LI Yong, LI Xiao. Identification of AFLP-derived SCAR markers linked to the pear scab resistance gene[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(7): 121-128.
- [14] 宋伟, 王彩虹, 田义轲, 田伟, 殷豪. 梨果实褐皮性状的 SSR 标记[J]. 园艺学报, 2010, 37(8): 1325-1328.
- SONG Wei, WANG Caihong, TIAN Yike, TIAN Wei, YIN Hao. SSR molecular markers linked to the fruit russet skin of pear[J]. Acta Horticulturae Sinica, 2010, 37(8): 1325-1328.
- [15] WU J, LI L T, LI M, KHAN M A, LI X G, CHEN H, YIN H, ZHANG S L. High-density genetic linkage map construction and identification of fruit-related QTLs in pear using SNP and SSR markers[J]. Journal of Experimental Botany, 2014, 65(20): 5771-5781.
- [16] XUE H B, SHI T, WANG F F, ZHOU H K, YANG J, WANG L, WANG S K, SU Y L, ZHANG Z, QIAO Y S, LI X G. Interval mapping for red/green color in Asian pears using a modified QTL-seq method[J]. Horticulture Research, 2017, 4: 1-10.
- [17] 河北省农业科学院果树研究所主编. 河北省果树志(第一集)[M]. 保定: 河北人民出版社出版, 1959.
- Institute of Pomology of Hebei Academy of Agricultural Sciences. Fruit Tree Records in Hebei Province (volume 1) [M]. Baoding: Hebei People's Publishing House, 1959.
- [18] 中国农业科学院果树研究所, 中国农业科学院柑橘研究所. 中国果树病虫害志[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 1994: 46-53.
- Institute of Pomology of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Citrus Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences. Chinese fruit tree pest records[M]. 2 ed. Beijing: China Agriculture Press, 1994: 46-53.
- [19] 中国农业科学院植物保护研究所. 中国农作物病虫害[M]. 2 版. 北京: 中国农业出版社, 1996: 697-707.
- Institute of Plant Protection of Chinese Academy of Agricultural Sciences. Pests and disease of crops in China[M]. 2 ed. Beijing: China Agriculture Press, 1996: 697-707.
- [20] 张绍铃. 梨学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2013: 551-699.
- ZHANG Shaoling. Science of pear[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2013: 551-699.
- [21] 中国农业科学院植物保护研究所, 中国植物保护学会. 中国农作物病虫害[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2014: 761-798.
- Institute of Plant Protection of Chinese Academy of Agricultural Sciences, China Society of Plant Protection. Pests and diseases of crops in China[M] 3 ed. Beijing: China Agriculture Press, 2014: 761-798.
- [22] 张平, 陈绍慧. 我国果蔬低温贮藏保鲜发展状况与发展[J]. 制冷与空调, 2008, 8(1): 5-10.
- ZHANG Ping, CHEN Shaohui. Prospects and development situation in low temperature storage for fruit and vegetable in China [J]. Refrigeration and Air-conditioning, 2008, 8(1): 5-10.
- [23] 王文辉, 贾晓辉, 杜艳民, 王志华. 我国梨生产与贮藏现状、存在问题与发展趋势[J]. 保鲜与加工, 2013, 13(5): 1-8.
- WANG Wenhui, JIA Xiaohui, DU Yanmin, WANG Zhihua. Current situation, problems and development trend of production and storage of pear in China[J]. Storage and Process, 2013, 13(5): 1-8.
- [24] 王文辉, 佟伟, 贾晓辉. 我国冻梨生产历史、产业现状与问题分析. 保鲜与加工[J]. 保鲜与加工, 2015, 15(6): 1-6.
- WANG Wenhui, TONG Wei, JIA Xiaohui. Investigation and analyses of the frozen pear production history, present situation and the industrial problems[J]. Storage and Process, 2015, 15(6): 1-6.
- [25] 蒋耀. 八十年代国内外农机化新技术[M]. 北京: 农村读物出版社, 1984.
- JIANG Yao. The new technologies in agricultural mechanization during 1980s[M]. Beijing: Rural Reading Press, 1984.
- [26] 常有宏, 吕晓兰, 蔺经, 薛新宇, 王中华. 我国果园机械化现状与发展思路[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(6): 21-26.
- CHANG Youhong, LÜ Xiaolan, LIN Jing, XUE Xinyu, WANG Zhonghua. Present state and thinking about development of orchard mechanization in China[J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2013, 34(6): 21-26.
- [27] 汪懋华. 中国农业机械化发展战略研究[M]. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- WANG Maohua. Study on agricultural mechanization development in China[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008.
- [28] 宋树友, 孙学权. 世界农业机械化发展要览[M]. 北京: 北京农业大学出版社, 1991.
- SONG Shuyou, SUN Xuequan. The agricultural mechanization development in the world[M]. Beijing: Beijing Agricultural University Press, 1991.