

谢从华,柳俊. 中国马铃薯科技发展与创新之回顾[J]. 华中农业大学学报, 2021, 40(4): 16-26.

DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2021.04.003

中国马铃薯科技发展与创新之回顾

谢从华,柳俊

农业农村部马铃薯生物学与生物技术重点实验室/国家蔬菜改良中心华中分中心/
湖北省马铃薯工程技术研究中心(华中农业大学),武汉 430070

摘要 科学技术是产业发展的支撑,解决产业发展面临的问题始终是马铃薯科研的宗旨。推翻清朝帝制后中国始有系统的马铃薯科学研究,迄今仅百余年历史,而每个阶段均有其突出的目标和彰显的成就。20 世纪 30 年代起步的品种筛选和杂交育种奠定了 50 年代首次品种更新的基础,单产显著提高。新中国成立后,“六五”到“九五”的全国马铃薯科研攻关,系统开展了育种、种植区划、种质资源评价和良种繁育研究,支撑了产业的快速发展,使中国成为最大的马铃薯生产国。新世纪以来的应用研究和应用基础研究为马铃薯产业的提质增效提供了有力支撑。尤其是处于学科前沿的马铃薯性状遗传调控研究,增强了技术创新和科技竞争的潜力,将进一步提升马铃薯在保障国家粮食安全和满足健康生活需求方面的战略地位。

关键词 马铃薯; 育种; 种植区划; 种质资源评价; 良种繁育; 脱毒种薯; 科技创新

中图分类号 S 532 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2021)04-0016-11

马铃薯自作为国家的粮食作物始才有相关的育种、栽培技术研究,距今仅约百年,而技术的创新与发展则主要彰显于近半个世纪。

1 马铃薯科学技术研究的历史回顾

科学技术是我国马铃薯产业发展的关键因素之一。从引进之初的种植技术摸索、推广过程中的品种适应性选择,及至当今品种选育、种薯繁育、高产高效栽培及贮藏加工技术研发,科学研究始终围绕社会经济发展需求不断深化和提升。

我国 1991 年以前马铃薯总产量的增加主要取决于栽培面积的扩大,其后,尤其是进入 21 世纪以来,单产提高成为主要的贡献因素。栽培面积的扩大依赖于种植区域的扩展,生态环境条件和农业耕作制度因此更加复杂,品种对环境的适应性则尤为重要。选择适宜的品种、配套相应的栽培技术,成为我国马铃薯科学研究历史上首先需要解决的问题。

我国系统的马铃薯科学技术研究可追溯到 20 世纪早期。南京国民政府中央农事试验场于 1914—1916 年开展了马铃薯栽培试验,通过切块减少用种

量,以解决种薯供应不足的问题^[1]。1932 年成立了实业部管辖的中央农业实验所,1934 年实业部任命金陵大学管家骥教授主持马铃薯改良工作,于 1934—1945 年在国内首次系统开展了马铃薯科学研究。笔者检阅我国马铃薯史料时,偶见网上拍卖的管家骥先生《我国马铃薯研究工作历史》之手稿和《全国马铃薯改进计划草案》复写稿的部分图片(见 <http://book.kongfz.com/15045/146690001/>),实为国内最早的马铃薯研究著述,堪称宝贵,憾未见正式刊印。从可辨文字中看出,马铃薯改良始于抗战前夕。管先生在论述马铃薯研究的起因时写道,“失地日广,军稽民食日趋严重,政府为粮食之大量增产,遂命本人主持马铃薯之改进及增产工作”。是时,全国马铃薯栽培面积 357 867 hm²,年产 242.73 万 t,单产远低于欧美,管先生认为“实由于品种之良莠不齐,栽培方法之未臻妥善,肥料之缺乏,以及病虫害之滋蔓有以致之”。因此,马铃薯改良计划的工作内容包括调查、引种、区域试验、育种、繁殖推广等。杨珉的博士学位论文《中央农业实验所与中国农业改进(1932—1949)》^[2]亦根据当时的统计、工作

收稿日期: 2021-03-09

基金项目: 国家现代农业(马铃薯)产业技术体系(CARS-09)

谢从华, E-mail: xiech@mail.hzau.edu.cn

报告及后人的相关研究论文,对中央农业实验所的马铃薯改良工作进行了较为系统的整理,其时的工作重点是解决粮食增产而进行的品种引进筛选和育种工作。1934—1937年,管家骥等从全国各地搜集整理马铃薯地方品种,并从英、美等国引进了14个优良品种,筛选出“卡它丁”(Katabdin)“七百万”(Chippewa)“纹白”(Warba)和“黄金”(Golden)等4个优良品种,在南京、武功和定县等地示范种植,产量均在500 kg/667 m²以上,产量比当地品种成倍增长。1938年后因战争而转至贵州继续进行。1943年,协助工作的美国马铃薯专家戴兹创(Dykstra T P)自美国引进52个马铃薯品种,3年内分别在成都、贵阳、威宁、武功等地进行区域试验,筛选出“火玛”(Houma)、“西北果”(Sebago)、“红纹白”(Red Warbe)和“七百万”(Chippewa)等4个产量高、品质好、抗病性较强的优良品种,在西南、西北、华北推广应用了较大面积。

马铃薯杂交育种则始于1940年1月从美国明尼苏达大学获硕士学位后回国的杨鸿祖先生,其先后任四川省农业科学研究所粮食作物组技正(1940—1942)和中央农业实验所技正(1943—1949)。佟屏亚在《中国马铃薯栽培史》一文中引用了杨鸿祖对这段工作的回忆^[3],其间5次从国外引进了74个品种(系)、62个杂交组合、45个自交系和19个野生种,在四川彭县白鹿山基地开展试验,从中筛选鉴定和选育出10多个优良品种。同时还开展了地方品种的收集鉴定工作及播种期、种植方式、密度、种薯选择、缩短休眠处理和肥料试验等栽培技术研究,总结分析了农民高山换种、平原秋播就地留种等防止退化的技术。这段时期,杂交选育了“292-20”“小黄山芋”“B76-43”等品种。1952年,四川万县地区巫山县(现重庆市万州区)晚疫病流行,造成严重春荒,遂引进“B76-43”等3个抗晚疫病材料种植,其中“B76-43”表现抗病高产,被当地定名为“巫峡”并予以推广。“292-20”于20世纪50年代初由东北农业科学研究所引进试种,表现出丰产性好、耐病毒病、高抗晚疫病,定名为“多子白”,在黑龙江省大面积推广,后又扩大到内蒙古自治区及山西雁北地区,年均种植面积约20万hm²。这些优良品种成为当时马铃薯生产的主栽品种。中央农业实验所时期的工作正如管家骥先生在《我国马铃薯研究工作

历史》手稿中所述,在当时艰困之环境下,“虽马铃薯事业因限于人力物力之不足未克充分发展,但我国马铃薯改进工作之基础实如斯初奠”。

1950年以来,马铃薯科研紧密围绕国家社会经济发展需求,队伍不断充实,学科不断完善,工作不断深入,为马铃薯产业发展提供了有力支撑。

我国从事马铃薯科研的人数由1949年前以中央农业实验所为主体、少数地方参加的20余人,1950年代增加到21个科研院所和农业院校从业人员达53人的规模,其时从事马铃薯科研的主要学科带头人有中国农业科学院的林世成、程天庆、朱明凯,黑龙江省的李景华、孙慧生、滕宗璠,吉林省的李宝树、张畅,河北省的傅龄义、田夫,内蒙古自治区的张鸿逵,山东省的蒋先明,湖北省的刘介民,四川省的杨鸿祖等^[3]。1988年全国发展到4个专业研究所(黑龙江省农业科学院克山马铃薯研究所、内蒙古农业科学院马铃薯小作物研究所、湖北恩施南方马铃薯研究中心、辽宁省本溪市马铃薯研究所)以及遍及29个省市(区)的74家科研机构和20所农业院校共377人的研究团队^[4]。进入21世纪以来,我国马铃薯科研队伍更加壮大。到2009年,全国有13个省级以上科研机构、18所大学、29个地县级企事业单位设有专门的山铃薯研究机构,科研人员500余人。学科领域从最初的品种鉴定筛选和栽培技术试验扩展到今天的遗传育种、栽培生理、种薯繁育、植物保护、贮藏加工、产业经济等涉及全产业链的应用技术和基础研究。近20年来,随着国家科技管理体制的变革,面向产业发展需求设立的国家产业技术体系、科技重大专项等,进一步吸引和聚集了更多的马铃薯科研、技术推广、产业开发方面的人力资源,与马铃薯第一大生产国的地位逐步相适应。

20世纪50—60年代,我国的山铃薯科研工作重点主要围绕新品种选育与推广进行。针对第一个五年计划增产粮食的迫切需求,《中华人民共和国发展国民经济的第一个五年计划(1953—1957)》提出,“农业机关和科学研究机关,应该认真地研究和培植薯类的优良品种,研究薯类的防治腐烂、改良储藏和加工的方法”。20世纪50年代初,针对品种单一、晚疫病抗性差、产量低而不稳的问题,马铃薯主产区先后开展了国内外的品种收集、整理和评定,共筛选评定出39个优良品种,相继在不同产区推广应用的

有“多子白”“小叶子”“Epoka”(又名“波友1号”,译名“疫不加”)“Everest”(又名“波兰2号”,译名“疫畏它”)“Mira”(又名“德友1号”,译名“米拉”)和Anemone(译名“白头翁”)等^[4]。表现优良的品种还有四川高抗晚疫病的“巫峡”“丰收”,耐旱力强的“火玛”、品质优良的“乌洋芋”,吉林抗瓢虫的“延边红”,广东省抗高温和退化的“兰花”,江苏省抗退化的“上海红”,以及适应性广的“男爵”等。这些品种的推广应用,有效降低了马铃薯晚疫病的危害,提高了产量,有力地支撑了1960年代我国全国范围内的首次品种更新。

从1970年代末开始,我国马铃薯科研工作停滞一个阶段后逐步恢复,并进入了一个快速发展的历史时期。保障粮食安全仍然是我国国民经济发展的重中之重。针对品种退化严重和产量低而不稳,马铃薯育种和良种繁育成为国家“六五”至“八五”期间马铃薯科技攻关的重点。1982年9月,原国家科委和农牧渔业部在北京香山举行了马铃薯育种和良种繁育技术重点课题攻关论证会,组织全国相关单位进行科技攻关。1983年由朱明凯、杨鸿祖、李景华、程天庆、以凡、滕宗璠等,任专家组成员,组成“全国马铃薯抗病、优质、高产新品种选育攻关课题组”,承担国家“六五”科技攻关项目,育成并推广“克新1号”“虎头”“东农303”等新品种9个及一批优良品系。在种质资源整理、鉴定、筛选研究方面,于1983年完成了全国马铃薯品种资源的整理与编目工作,同时建成一批良种繁育基地^[4]。

1986—1990年“七五”计划期间,马铃薯科技攻关的内容进一步拓展,形成了“马铃薯新品种选育及良种良法配套技术”“马铃薯实生种子及杂种优势研究”和“马铃薯亲本筛选与创新、品种(系)的抗病性鉴定及品质分析”3个专题,由黑龙江省农业科学院克山马铃薯研究所、东北农学院、中国农业科学院蔬菜花卉研究所、四川省农业科学院作物研究所、内蒙古呼伦贝尔盟农业科学研究所、湖北恩施南方马铃薯研究中心等15家机构分别承担。《国家“七五”科技攻关项目马铃薯各专题通过国家验收》^[5]报道,通过杂交育种及辐射诱变技术,选育出适于加工和食用与加工兼用品种4个,适于鲜薯出口的品种2个,早熟和适于二季作栽培的品种7个,中晚熟食用品种6个,育种技术和品种专用性得到改进和提升。

“七五”期间还因地制宜建立了脱毒种薯的良种繁育体系并使其不断完善,采用蛭石或草炭为基质工厂化生产脱毒微型薯,首次将微型薯用于马铃薯脱毒种薯繁殖,提高了种薯质量和繁殖速度。总结出马铃薯间作套作种植技术,缩短了作物的共生期,提高了复种指数,增加了产量,提高了效益。杂交实生籽作为种用材料,以种子繁殖杂交实生薯作为种薯,对脱毒种薯生产受限地区减少退化具有应用价值。我国“七五”期间通过对近缘栽培种的群体改良和与普通栽培种配合力的测定,选育出杂种优势强、性状分离程度小的杂交组合14个,配制杂交籽23 kg,推广杂种实生薯面积8 933 hm²,使我国成为世界上第一个将马铃薯杂交种子应用于生产的国家。随着脱毒种薯繁育技术的成熟、生产成本降低和种薯生产体系的规范,加上马铃薯栽培种自交衰退严重,杂交后代遗传分离问题不能克服,其后杂交实生籽在繁种上的利用逐步由脱毒种薯取代。针对马铃薯育种资源匮乏问题,“七五”期间专题开展了以近缘栽培种群体改良和特殊基因型材料筛选为重点的资源创新研究,筛选出22份新型栽培种材料、6份孤雌生殖诱导材料、26份2n配子材料,促进了马铃薯种间杂交育种工作。

“八五”期间,国家重点科技项目(攻关)计划继续把农业科技攻关放在首位,坚持不懈地抓好我国主要农作物的良种培育,建立从育种研究到良种繁育推广的种子科学体系。“马铃薯新品种选育及育种技术研究”组织了全国优势单位参与攻关。据“八五”国家攻关马铃薯课题组1994年工作会议纪要^[6],1991—1994年,马铃薯科技攻关项目参与机构共育成加工、鲜薯出口和食用新品种11个,初步实现了品种在用途类型方面的配套,新品种推广近134万hm²。加强了以工厂化生产脱毒小种薯为核心的脱毒种薯生产技术和脱毒种薯繁育体系研究,加快了脱毒种薯的推广,1991—1994年共累计推广脱毒薯而积36.5万hm²。以体细胞变异筛选抗青枯病材料,拓宽了抗病材料创制的技术途径。

1983—1995连续13a国家科技攻关项目的支持使马铃薯科学研究形成了顶层规划、整体布局、合作实施的大科研格局。根据不同生产区域和消费需求,选育出各种类型的品种,为全产业链发展打下了基础。拓宽种质资源形成共识,新型栽培种的利用

在资源创新上起到了先导作用。符合我国国情的种薯繁育体系初步形成,微型薯的利用提高了种薯繁殖效率,促进了脱毒种薯应用,成为提高产量的关键措施。

随着改革开放的深入,我国开始并不断加强马铃薯科学研究的国际合作,尤其是与国际马铃薯中心(International Potato Center, CIP)在资源和技术引进方面的合作,有力促进了我国马铃薯科研工作的发展。据《国际马铃薯中心在中国——30年友谊、合作与成就》^[7]一书介绍,1978—2013年我国自CIP共引进野生种、地方品种、高代品系和杂交实生种子等各种类型马铃薯资源约6000份,有效改善了我国马铃薯育种资源缺乏的状况。从引进的品种中,筛选推广了“中心24”(原名 Serrena)、“冀张薯8号”(原名 Tacana)等11个优良品种。从引进的杂交组合中选育的新品种“合作88”,至2009年在云南等地累计种植面积达39万hm²。利用引进的新型栽培种作亲本,至2013年共育成新品种50多个。资源更新极大地充实了我国马铃薯品种选育的物质基础,有效拓展了马铃薯遗传改良的研究范畴。

我国人均耕地面积和水资源均低于世界平均水平,科技进步是突破资源和市场对我国农业双重约束的根本出路。为了提升国家和区域创新能力,增强农业科技自主创新,保障国家粮食安全、食品安全,实现农民增收和农业可持续发展,国家于2007年出台了《现代农业产业技术体系建设实施方案(试行)》,依托具有创新优势的中央和地方科研力量及科技资源,围绕产业发展需求,以50个优势农产品为单元,以产业为主线,建设从产地到餐桌、从生产到消费、从研发到市场各个环节紧密衔接、环环相扣、服务国家目标的现代农业产业技术体系,以提升农业科技创新能力,增强我国农业竞争力。国家马铃薯产业技术体系于2008年依托中国农业科学院蔬菜花卉研究所组建,由各功能研究室组成的研发中心和设在主产区的综合试验站构成。“十二五”期间设有育种与种薯繁育、栽培与土肥、病虫害防控、机械、贮藏加工、产业经济等6个功能研究室和31个综合试验站,聘任有26位岗位科学家和31位综合试验站站长,“十三五”分别增加到32人和36人,团队成员236人,还有分布于155个示范县的技术推广骨干465人,包含了马铃薯产业链各环节的主

要研发和推广技术力量。国家马铃薯产业技术体系主要针对社会经济发展需求和产业面临的关键问题,重点开展品种改良、增产增效栽培技术、主要病虫害防控技术的研发与示范。马铃薯重要性状的遗传解析与调控、病害传播与致病机制、贮藏品质控制机制等既是技术研发的主要内容,也是前瞻性研究的重要领域。马铃薯产业技术体系同时开展了相关栽培和加工机械、品质检测技术研发以及马铃薯产业经济研究,建立并逐步完善了马铃薯产业基础数据平台。除了技术研发与示范之外,马铃薯产业技术体系还承担了国家应急性技术服务,为抵御灾害、减少损失提供了技术支撑。产业技术体系的建设,从产业发展的国家层面凝聚了科研力量,通过促进科研与生产结合的管理模式,使产业技术体系的技术研发与优势产业发展需求对接,支持了各地农业农村经济发展。据2020年8月在宁夏西吉举行的国家马铃薯产业技术体系成果发布会介绍,12年来,体系参与机构育成马铃薯新品种200余个,研发各类新技术260余项,研制新工艺新设备新产品70余件,制订各类标准和规程130项,获得国家专利、新品种权和软件著作权等近200项,为马铃薯产业高质量发展提供了有力的科技保障。

基础研究是探索科学规律,为应用技术创新提供理论基础的重要领域。如果说我国是马铃薯生产大国而不是科技强国,其关键在于基础研究的落后。这一现象在国家自然科学基金项目的支持下不断得到改观。据科学网(www.sciencenet.cn)统计,1986—2019年,国家自然科学基金为马铃薯相关基础和应用基础研究共立项403个,投入总经费达到1.5032亿元。我国马铃薯科研机构获批国家自然科学基金的项目数亦表现出逐年增加的趋势,2015年以来每年超过30项,2019年达到45项。在自然科学基金项目中,属于生命科学范畴的达255项,占总项目数的63.3%,其中农学基础与作物学和植物保护学分别为154项和96项,占生命科学类项目的60.4%和37.6%,说明马铃薯生物学领域的研究主要集中在重要农艺性状和抗性改良上。立项数处于前10位的学科还包括食品科学、植物营养、微生物、遗传学与生物信息学、植物学、生态学以及工程类,全产业链的相关基础和应用基础研究不断拓展。从基金项目类别上可以看出,地区科学基金项目、青年

科学基金项目、面上项目居前3位,分别为141项、117项和116项,说明马铃薯基础研究符合主产区农业发展的战略需求,马铃薯共性的科学问题受到了生物学领域尤其是该领域青年学者的关注。值得一提的是,马铃薯还获得了20项“国际(地区)合作与交流项目”,进一步拓展和深化了国际合作领域与内容。承担国家自然科学基金项目的机构主要集中在大学和省级以上科研院所,获批9项以上的有甘肃农业大学(38项)、华中农业大学(34项)、内蒙古农业大学(20项)、中国农业大学(19项)、云南农业大学(19项)、甘肃省农业科学院(15项)、宁夏大学(14项)、中国农业科学院蔬菜花卉研究所(13项)、山东农业大学(11项)、内蒙古大学(11项)、福建农林大学(10项)、西北农林科技大学(9项)等。承担项目达到3项以上的学者有16人,主要集中在上述机构。这些机构既是我国马铃薯科学研究高学历人才培养的主要基地,也是马铃薯生物学研究的主体力量。国家自然科学基金项目方面马铃薯科学研究还获批了2项重点项目、2项国家杰出青年科学基金项目、2项联合基金项目和2项应急管理项目,一批具有竞争力的创新型人才脱颖而出。

论文是学术交流的主要载体和成果展示的重要平台。笔者在伦敦大学留学期间曾检索了1989年前近百年的马铃薯相关英文文献,属于国人发表的仅见2例(基于主要文摘目录检索,恐有疏漏)。这既说明我们国际交流的缺乏,也反映了我国马铃薯科研水平的差距。然而近10年来,随着对马铃薯基础研究的不断系统化和深入,我国在马铃薯生物学领域的国际活跃度迅速提升。2011—2020年7月,全球植物科学类别共发表SCI收录的马铃薯研究论文2478篇(Web of Science: <http://apps.webof-knowledge.com>),其中华中农业大学发文41篇,中国农业大学和甘肃农业大学各发文31篇,分列第11和14位。我国马铃薯研究团队近年来不仅在马铃薯生物学领域发文数量较多,而且在品质改良和晚疫病抗性调控机制研究方面处于学科前沿。在国家自然科学基金项目的支持下,华中农业大学马铃薯团队从2003年起开展了马铃薯块茎低温糖化调控分子机制的研究。最近10年该领域共发表SCI收录论文112篇,其中华中农业大学发表21篇,占18.75%,高于美国农业部(8.04%)、美国威斯康辛

大学麦迪逊分校(6.25%)、新西兰植物食品研究所(5.37%)等从事该领域研究的相关机构,活跃度名列前茅。该团队揭示了调控低温糖化的QTL位点、关键基因、代谢途径和蛋白质复合物^[8-14],开发的分子标记成功应用于加工品种选育。国家自然科学基金项目有关马铃薯晚疫病研究共立项43项,主要涉及抗病遗传、持久抗性机制、病原菌致病因子、流行病学、植物-病原互作等领域。近5年来,全球在晚疫病研究领域共发表SCI收录论文486篇,华中农业大学、福建农林大学各发表16篇,并列全球第6位。在高被引的11篇文章中,我国学者有2篇^[15-16],分别占被引用数的第1位和第3位,研究成果得到国际同行的普遍关注。这些基础研究和应用基础研究为提升我国马铃薯产业发展的竞争力打下了良好的基础。

2 马铃薯科学研究的重要创新

不同于欧洲马铃薯引入后最先由植物学家进行了相关研究后再推广种植^[17],我国马铃薯引入后则为民间以充饥粮而扩散,科学研究实则起步较晚。自1950年代以来,经过几代人的不懈努力,科技创新为我国马铃薯产业发展提供了主要技术支撑。本文难以数言而纳全部,仅列举奠定了我国马铃薯产业发展基础和先于世界而有提升产业竞争潜力的事例,以彰显科技进步之效。

2.1 科学划分了我国马铃薯种植区域,为产业发展奠定了基础

种植区域的划分是根据作物生物学特性和地区生态环境条件,因地制宜划分适种区域,以反映作物的空间差异及由环境条件所形成的作物的生长发育特点,是研究作物生产制约因素,为进行产业发展提供方向与措施的基础。滕宗璠等^[18]根据1974—1980年的实地考察和相关资料分析,结合马铃薯生物学特性,参照地理、气象和气候指标,将我国马铃薯种植区域划分为4个栽培区,即北方一季作区、中原二季作区、南方二季作区和西南一、二季作垂直分布区。该划分以气象因素作为基本依据。北方一季作区无霜期110~170 d,大于5℃积温2000~3500℃,分布在昆仑山脉、唐古拉山、巴彦克拉山和黄土高原海拔700~800 m至古长城以北,包括黑龙江、辽宁(除辽东半岛)、河北北部、山西北部、内

蒙古、陕西北部、宁夏、甘肃、青海东部和新疆天山以北地区。该区一年一熟,2017年种植面积193万 hm^2 ,占全国约39.7%,总产占全国的39.9%^[19]。该区域最大的限制因素是降雨量少、蒸发量大、出苗期干旱重。中原二季作区无霜期180~300 d,大于5℃积温3500~6500℃,分布于北方一季作区以南、大巴山和苗岭以东、南岭和武夷山以北,包括辽宁、河北、山西和陕西南部、湖北和湖南东部以及河南、安徽、山东、江苏、浙江等地区。该区域可春、秋两季种植,2017年种植面积401066 hm^2 (不含山东、河南省),占全国的8.3%,总产占全国的9.3%。该区域最大的限制因素是种薯生产不匹配,秋作种薯来源不足。南方二季作区分布在苗岭、武夷山以南区域,含广西、福建、广东、海南、台湾等省(区)。该区无霜期300 d以上或全年无霜,大于5℃积温5500~9500℃。冬、春两季种植,2017年种植面积152066 hm^2 (不含台湾),占全国约3.1%,总产占全国的3.3%。时有发生冬作霜冻及晚疫病和青枯病危害是该区生产的主要限制因素。西南一、二季作垂直分布区含云、贵、川、黔、渝、藏及湖北、湖南两省西部,高山冷凉,无霜期短,多雨寡照,一年一熟。低山河谷无霜期长,春早夏长,冬暖高湿,低山可种植春、秋两季,与中原二季作相似;河谷则可秋、冬二季作,与南方二季作区类同。2017年种植面积2375333 hm^2 ,占全国约48.9%,总产占全国的47.6%。该区地形地貌复杂,生态条件悬殊,种植制度多样,间作套种比例大,主要障碍因素是晚疫病危害和高产栽培技术问题。四大种植区域的划分为马铃薯适应不同生态条件和农业制度的高产高效栽培、马铃薯育种目标选择和产业发展规划制订提供了科学依据。

2.2 整理编目了国家马铃薯种质资源,为遗传资源的保存和利用打下了基础

资源缺乏是我国马铃薯育种的瓶颈。20世纪50年代至70年代育成品种的亲本主要为“多子白”“卡它丁”“疫不加”“紫山药”“米拉”“白头翁”“小叶子”等7个品种^[20],突破性性状改良效果不明显,资源研究迫在眉睫。从1979年开始,由黑龙江省农业科学院马铃薯研究所牵头,组织全国主要马铃薯育种单位开展了品种资源鉴定和编目。该项目进行了24种植物学和生物学性状的鉴定,归并了同种异名

和同名异种材料,于1983年出版了《全国马铃薯品种资源编目》^[21]。纳入编目的马铃薯种质资源共832份,包括我国育成品种93份和优良品系171份,地方品种123份,引进鉴定推广品种27份,引进品系材料302份,近缘栽培种和野生种116份。这些资源集中保存在中国农业科学院国家种质库,1996年转至国家种质克山马铃薯试管苗库。该库还保存有由国际马铃薯中心和其他国家引进的有关资源材料、新育成品种、新收集地方品种等,总数达2600余份,是我国马铃薯杂交育种和遗传研究的重要材料。

2.3 育成不同类型的优良品种,支撑了产业发展

我国开展马铃薯杂交育种60多年来,基本上解决了生产上对品种的迫切需求,为马铃薯推广种植和单产提高起到了关键作用。据不完全统计,我国自1950年代初开展杂交育种以来,共育成马铃薯品种约500个。1983年前重点针对产量低和晚疫病危害严重问题育成93个品种^[20],约50个在生产上推广应用,使全国马铃薯良种推广面积达到80%以上。其中,黑龙江省农业科学院马铃薯研究所1968年育成的“克新1号”,在1983年种植面积达到293333 hm^2 ^[4],因其高产、耐旱,至今在北方一季作区仍有大面积栽培。在“六五”至“八五”全国马铃薯育种攻关期间,我国共审定品种32个^[5-6]。1995年以后,育成中薯、晋薯、鄂薯、春薯、郑薯、陇薯、青薯、川芋、云薯、华薯等系列品种,高产、优质、专用、适合产区和生产需求的品种特性更加突出,到2006年育成品种270多个^[22],其间,2000年审定的高产高抗晚疫病品种“鄂马铃薯3号”,2004年在西南山区推广面积达133333 hm^2 ,与20世纪50年代引进品种“米拉”和60年代育成品种“克新1号”共居前3位^[23]。2018年由50多家育繁推机构组成了“政产学研用”相结合的国家马铃薯良种科研攻关联合体,已登记马铃薯品种151个,品种类型日益丰富,为满足国民经济发展对马铃薯的需求提供了有力支撑。

2.4 创造种间抗青枯病、抗霜冻等重要种质,创新了远缘资源利用的途径与方法

马铃薯栽培种与大多数野生种杂交不亲和,细菌性青枯病和霜冻抗性等重要性状一直难以得到改良,农药和农艺措施效果不佳,成为世界性的难题,对我国马铃薯生产的影响也随气候变化日益加重。

利用叶肉原生质体融合途径,华中农业大学于 2003 年获得了栽培种 *S. tuberosum* 和野生种 *S. chacoense* 的抗青枯病体细胞杂种^[24],2013 年获得了马铃薯栽培种与茄子(*S. melongena*)的抗青枯病体细胞杂种^[25]。通过进一步的细胞遗传学研究,筛选获得具有马铃薯栽培种遗传模式的材料^[26-28],明确了抗性遗传位点,开发了辅助选择的分子标记^[26-30],经过杂交育种,获得首例抗青枯病新品种“华薯 14 号”。栽培种马铃薯不耐霜冻,北方一季作区的早霜、中原二季作区和西南一、二季作垂直分布区的早霜或倒春寒、南方一季作区的倒春寒等均会对生产形成威胁,尤其在薯块膨大期,“一夜霜冻全军覆没”的现象并不少见。通过体细胞融合,华中农业大学首次实现了 *S. malmeanum* 与栽培 *S. tuberosum* 的原生质体融合,随后利用体细胞杂种与普通栽培种回交,回交后代经冬季(极端低温 -8°C)自然冻害和室内电导率测定(LT_{50})筛选,成功创制了具有 *S. malmeanum* 血缘的马铃薯抗寒基础育种材料^[31];另一方面,通过 $2n$ 配子筛选和利用,首次将抗霜冻二倍体野生种 *S. malmeanum* ($\text{EBN}=1$) 的抗性资源经常规杂交方式导入到霜冻敏感的二倍体野生种 *S. chacoense* ($\text{EBN}=2$) 和 *S. tuberosum* 双单倍体 ($\text{EBN}=2$) 中,通过进一步的细胞遗传学和基因组学等研究,证实了 EBN 假说,揭示了 *S. malmeanum* 与不同马铃薯种杂交过程中 $2n$ 配子的形成机制不同,为 $2n$ 配子进行马铃薯野生种资源利用提供了理论支撑。对三倍体杂交后代与 *S. chacoense*、*S. tuberosum* 进行回交,对回交后代抗霜冻极端基因池进行测序分析,在 2 号和 5 号染色体上定位了抗霜冻区段,获得了抗霜冻筛选的分子标记,为育种利用提供了亲本材料和精准选择技术^[32]。

2.5 创新种薯繁育技术,建立了适于国情的脱毒种薯繁育体系

我国马铃薯脱毒种薯生产始于 20 世纪 70 年代中后期组织培养脱毒技术的引进,种薯生产周期沿用国外四级无确定年限的体制(GB 4406—1984 种薯)。然而,我国种薯生产的集约化程度低,分散的小农式生产、漫长的繁育年限,使种薯质量不能得到保证,达不到增产效果。直到 21 世纪初,我国马铃薯的脱毒种薯应用比例仍低于 30%。缩短繁育年限成为我国马铃薯种薯能否推广应用的关键,这既

是无性繁殖植物带有共性的科学问题,也是提高马铃薯单产需要解决的核心技术问题。20 世纪 80 年代末的“七五”期间,山东省农业科学院蔬菜研究所、山西省农业科学院高寒区作物研究所、内蒙古呼伦贝尔盟农业科学研究所、东北农业大学等机构在茎尖脱毒和切段快繁的基础上,采用蛭石或草炭为基质,在温室、网室、温床等隔离条件下工厂化生产微型薯,提高了繁殖速度^[5]。“八五”期间,进一步加强了以工厂化生产微型薯为核心的脱毒种薯生产技术和脱毒种薯繁育体系研究(国家攻关 85-004-03 课题工作会议,1994),初步建立起以组织培养条件生产的脱毒试管苗或试管薯、设施隔离条件生产原原种(微型薯)、田间环境隔离条件生产原种、一级种和二级种 4~5 a 的种薯生产体系(国家标准 GB 18133-2012)。微型薯工厂化生产提高了单位面积的繁殖系数,质量得到有效控制,繁种周期较国外缩短 1 倍。四川省农业科学院作物研究所创新研制出基于营养液电导率和 pH 值精准调控的马铃薯雾培原原种(微型薯)高效生产物联网自动化设施和技术,包括新式箱体、优质苗源、氮素调控等方面的高效雾培关键技术,升级优化了原原种雾培生产新技术体系^[33]。

试管薯是试管苗在结薯诱导下通过组织培养形成的块茎,与常规块茎具有相同的生理和遗传特性^[34],能充分利用组织培养设施进行周年生产,可以取代试管苗作为原原种生产的“育种家种子”。华中农业大学马铃薯生物学与生物技术研究团队经过对块茎形成分子生理机制进行系统研究,创建了试管薯高效生产技术体系^[34-38],较试管苗生产率提高 3~5 倍,成本降低 30% 以上,首次实现了试管薯产业化生产,配套建立了“二年制”脱毒种薯生产体系。这是目前为止周期最短的种薯生产技术,有效降低了种薯“再退化”风险和种薯质量管理成本,符合我国农业生产实际,被称为马铃薯种薯生产技术的革命。

2.6 结合产业需求的功能基因组研究,创新了马铃薯遗传改良的理论和技術

生命科学的快速发展是 21 世纪的重要特征,功能基因组研究则是连接生命科学与产业的桥梁。2011 年我国科学家参与的马铃薯基因组测序^[39]为马铃薯功能基因组研究提供了重要的参考平台,我

国科学工作者在一些重要性状调控研究领域亦取得了具有应用价值的创新性成果。

晚疫病是全球性多发病害,我国马铃薯产业每年因此造成的直接损失保守估计高达200亿元。病原菌的快速变异导致品种由个别主效基因控制的垂直抗性极易丧失,持久抗性的利用则因其机制复杂而长久未能突破。我国学者通过对卵菌植物受体蛋白的研究,在马铃薯上获得了能识别不同卵菌并对卵菌具有广谱抗性的首个植物受体蛋白ELR^[16],被Nature Asia评价为“开启了马铃薯广谱持久抗性育种的新途径,对保障粮食安全、减少农药施用具有重要意义”(Nature Asia/Research highlights, March 31, 2015)。华中农业大学利用国际马铃薯中心晚疫病抗性分离群体,定位了持久抗性的数量性状位点^[40],通过对该位点测序和基因功能分析,克隆了控制持久抗性的R8基因^[41]。对从500多份资源材料中经晚疫病接种鉴定获得的94份中抗水平以上的材料进行抗病基因组成分析证明,含R8基因的材料高达80.8%,来自国际马铃薯中心、云南、甘肃、湖北、河北、重庆的33份材料及加拿大仅含R8基因的材料,表现出抗病至免疫水平^[42],说明R8基因在晚疫病持久抗性育种中具有重要的利用价值。

薯片、薯条、全粉等占马铃薯加工产品的85%以上^[43],而原料低温贮藏时还原糖的累积是影响产品品质的关键因素,称为“低温糖化”。这是我国马铃薯品种不适于上述产品加工的根本原因,抗低温糖化成为马铃薯加工品质改良亟待解决的问题。蔗糖转化酶催化蔗糖分解成还原糖,其活性直接与马铃薯块茎的低温糖化有关。我国学者首次发现马铃薯中存在由蔗糖转化酶、转化酶抑制蛋白和SnRK1激酶组成的蛋白质复合体,精确调控转化酶活性;建立了蔗糖代谢途径马铃薯低温糖化的分子作用模式;通过QTL分析,证实了低温糖化是由多个微效基因控制的性状,首次揭示不同位点间的加性效应,建立了基于4个标记共同选择的分子标记辅助选择技术,为马铃薯低温糖化性状改良提供了理论依据和途径^[10]。

长日照抑制结薯决定了马铃薯对栽培区域的适应性,其调控机制既是马铃薯进化研究的一个热点,也关系到马铃薯广适品种的选育。华中农业大学创建了结薯对光周期反应具有明显差异的遗传材料,

经系统研究,首次证明光敏色素F与光敏色素B形成异源蛋白质二聚体,通过稳定马铃薯光周期节律蛋白来抑制长日照结薯^[44]。该研究首次提出了光敏色素调控马铃薯结薯对光周期响应的分子模式,深化了对马铃薯长日照适应性进化的认知,为品种选择和改良提供了新的技术途径和基因资源。

马铃薯为同源四倍体,自交衰退严重,长期以来获得自交系的努力均没有成功,杂种优势难以利用。中国农业科学院深圳基因研究所联合国内相关机构开展了旨在利用二倍体杂种优势的马铃薯自交不亲和研究,利用CRISPR/Cas9基因组编辑技术,对马铃薯控制自交不亲和的*S-RNase*基因进行定点突变,获得了自交亲和的二倍体马铃薯,并通过自交获得了不含有Cas9元件的马铃薯新材料,突破了马铃薯自交不亲和障碍,为在二倍体水平选育自交系,开展马铃薯杂种优势利用提供了新的技术途径^[45]。

马铃薯自引进传播以来,救民于水火,建功于安邦,同中华民族近代的发展与复兴息息相关,虽小而有大为,惟其环境之广适及粮食作物和经济作物兼具之异禀所赋。当今世界正经历百年未有之大变局,粮食安全面临前所未有的新挑战。中国社会科学院农村发展研究所和中国社会科学出版社联合发布的《中国农村发展报告2020》预测,到“十四五”末,我国粮食可能出现1.3亿t左右的短缺,其中谷物类粮食缺口可能达到2500万t,这一缺口数量约占2018年我国谷物总产的4.16%,占谷类粮食消费的15.43%。在当今国际经济、科技、文化、安全、政治等格局发生深刻调整的背景下,全球粮食市场的不确定性增加,更加突出了我国保障粮食安全的重要性和紧迫性。马铃薯在应对气候变化、食物生产、营养健康、农业资源的合理与持续利用方面,在以国内市场需求为主体的农业供给侧结构性改革中将更加彰显其造福于民的战略支撑作用。

致谢 在有关中国马铃薯的历史沿革3篇系列文章付梓之际,衷心感谢云南农业大学农学与生物学院郭华春教授给予的马铃薯品质方面的专业意见,感谢四川省农业科学院作物研究所何卫研究员提供的有关马铃薯研究历史的信息以及提出的初稿修改意见,感谢国家食品与营养咨询委员会陈萌山研究员提供的国内马铃薯生产相关数据,感谢华中

农业大学园艺林学学院宋波涛教授、田振东教授和杜鹃博士协助整理相关研究项目和论文数据,感谢农业农村部马铃薯生物学与生物技术重点实验室同仁对文稿编辑提供的帮助。

参考文献 References

- [1] 中国农业百科全书编辑部. 中国农业百科全书: 农作物卷(上). 北京: 中国农业出版社, 1991. Editorial Department of Encyclopedia of China Agriculture. Encyclopedia of China agriculture; crop volume (Part 1) [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1991 (in Chinese).
- [2] 杨珉. 中央农业实验所与中国农业改进(1932—1949)[D]. 南京: 南京农业大学, 2011. YANG M. The Central Research Institute of Agriculture and the improvement of Chinese agriculture (1932—1949)[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2011 (in Chinese with English abstract).
- [3] 佟屏亚. 中国马铃薯栽培史[J]. 中国科技史料, 1990, 11(1): 10-19. TONG P Y. History of potato cultivation in China[J]. China historical materials of science and technology, 1990, 11(1): 10-19 (in Chinese).
- [4] 滕宗璠. 40年来我国马铃薯科技事业的发展与取得的主要成就[J]. 马铃薯杂志, 1989, 3(3): 129-133. TENG Z P. The development and main achievements of China's potato science and technology in the past 40 years[J]. Chinese potato journal, 1989, 3(3): 129-133 (in Chinese).
- [5] 陈伊里. 国家“七五”科技攻关项目马铃薯各专题通过国家验收[J]. 马铃薯杂志, 1991, 5(1): 1-2. CHEN Y L. National “Seventh Five-year” science and technology project potato subjects passed national acceptance[J]. Chinese potato journal, 1991, 5(1): 1-2 (in Chinese).
- [6] 国家攻关 85-004-03 课题工作会议. “八五”国家攻关马铃薯课题(85-004-03)1994年工作会议纪要[C]. 马铃薯杂志, 1994, 8(4): 228-229. National Task Force 85-004-03 Working Conference. Summary of the 1994 working conference on the “Eighth Five-Year” national key potato task (85-004-03) [C]. Chinese potato journal, 1994, 8(4): 228-229 (in Chinese).
- [7] 卢肖平, 谢开云. 国际马铃薯中心在中国——30年友谊、合作与成就[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2014. LU X P, XIE K Y. CIP in China: 30 year friendship, cooperation, success [M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2014 (in Chinese).
- [8] 宋波涛, 田振东, 杨文杰. *sAGP* 基因增强表达对马铃薯淀粉和还原糖的影响及安全性评价[J]. 中国马铃薯, 2006, 20(1): 39-41. SONG B T, TIAN Z D, YANG W J. The effect and safety evaluation of enhanced expression of *sAGP* gene on potato starch and reducing sugar[J]. Chinese potato journal, 2006, 20(1): 39-41 (in Chinese).
- [9] 张迟, 谢从华, 柳俊, 等. RNA 干涉对马铃薯内源酸性转化酶活性的影响[J]. 中国农业生物技术学报, 2008, 16(1): 108-113. ZHANG C, XIE C H, LIU J, et al. Effects of RNA on regulation of endogenous acid invertase activity in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers [J]. Journal of agricultural biotechnology, 2008, 16(1): 108-113 (in Chinese with English abstract).
- [10] LIN Y, LIU T, LIU J, et al. Subtle regulation of potato acid invertase activity by a protein complex of StvacINV1-StIn-vInh2B-SbSnRK1[J]. Plant physiology, 2015, 168: 1807-1819.
- [11] HOU J, ZHANG H, LIU J, et al. Amylases StAmy23, StBAM1 and StBAM9 regulate cold-induced sweetening of potato tubers in distinct ways[J]. Journal of experimental botany, 2017, 68: 2317-2331.
- [12] LIU T, FANG H, LIU J, et al. Cytosolic glyceraldehyde-3-phosphate dehydrogenases play crucial roles in controlling cold-induced sweetening and apical dominance of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers[J]. Plant cell and environment, 2017, 40: 3043-3054.
- [13] LIU X, CHEN L, SHI W L, et al. Comparative transcriptome reveals distinct starch-sugar interconversion patterns in potato genotypes contrasting for cold-induced sweetening capacity[J/OL]. Food chemistry, 2020, 334: 127550 [2021-03-09]. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127550>.
- [14] XIAO G, HUANG W, CAO H, et al. Genetic loci conferring reducing sugar accumulation and conversion of cold-stored potato tubers revealed by QTL analysis in a diploid population[J/OL]. Frontiers in plant science, 2018, 9: 00315 [2021-03-09]. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00315>.
- [15] WANG M, WEIBERG A, LIN F M, et al. Bidirectional cross-kingdom RNAi and fungal uptake of external RNAs confer plant protection[J/OL]. Nature Plants, 2016, 2: 151 [2021-03-09]. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.151>.
- [16] DU J, VERZAUX E, CHAPARRO-GARCIA A, et al. Elicitin recognition confers enhanced resistance to *Phytophthora infestans* in potato[J]. Nature plants, 2015, 1(4): 15034 [2021-03-09]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27247034/>. DOI: 10.1038/nplants.2015.34.
- [17] HAWKES J G. The potato crop[M]. London: Chapman and Hall, 1978.
- [18] 滕宗璠, 张畅, 王永智. 我国马铃薯适宜种植区域的分析[J]. 中国农业科学, 1989, 22(2): 35-44. TENG Z P, ZHANG C, WANG Y Z. Study on China's potato -cultivation divisions[J]. Scientia agricultura sinica, 1989, 22(2): 35-44 (in Chinese with English abstract).
- [19] 国家统计局农村社会经济调查司. 改革开放三十年农业统计资料汇编[G]. 北京: 中国统计出版社, 2019. Rural Social and Economic Survey Department, National Bureau of Statistics. A compilation of agricultural statistics in the thirty years of reform and opening-up [G]. Beijing: China Statistics Press, 2019 (in Chinese).

- [20] 程天庆.关于改进我国马铃薯育种工作的商榷[J].马铃薯杂志, 1987,1(8):32-35.CHEN T Q. Discussion on improving the work of potato breeding China[J]. Chinese potato journal, 1987,1(8):32-35(in Chinese).
- [21] 黑龙江省农业科学院马铃薯研究所.全国马铃薯品种资源编目[G].哈尔滨:黑龙江科学技术出版社,1983.Potato Research Institute,Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences. National catalogue of potato varieties resources[G]. Harbin:Heilongjiang Science and Technology Press,1983(in Chinese).
- [22] 金黎平.我国马铃薯育种和品种应用[J].农业技术与装备,2007(9):14-15.JIN L P. Potato breeding and variety application in China[J]. Agricultural technology and equipment, 2007(9): 14-15(in Chinese).
- [23] 谢开云,屈冬玉,金黎平,等.中国马铃薯生产与世界先进国家的比较[J].世界农业,2008(5):35-38,41.XIE K Y, QU D Y, JIN L P, et al. Comparison of potato production in China and advanced countries in the world[J]. World agriculture, 2008(5):35-38,41(in Chinese).
- [24] 蔡兴奎.马铃薯原生质体融合创造抗青枯病新资源及其遗传分析[D].武汉:华中农业大学,2003.CAI X K. Creation and genetic analysis of new germplasm resistant to *Ralstonia solanacearum* via cell fusion in potatoes[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2003 (in Chinese with English abstract).
- [25] YU Y, YE W, HE L, et al. Introgression of bacterial wilt resistance from eggplant to potato via protoplast fusion and genome components of the hybrids[J]. Plant cell reports, 2013, 32: 1687-1701.
- [26] GUO X, XIE C, CAI X, et al. Meiotic behavior of pollen mother cells in relation to ploidy level of somatic hybrids between *Solanum tuberosum* and *S. chacoense* [J]. Plant cell reports, 2010, 29: 1277-1285.
- [27] CHEN L, GUO X, XIE C, et al. Nuclear and cytoplasmic genome components of *Solanum tuberosum* (+) *S. chacoense* somatic hybrids and three SSR alleles related to bacterial wilt resistance[J]. Theoretical and applied genetics, 2013, 126: 1661-1872.
- [28] CHEN L, GUO X P, WANG H B, et al. Tetrasomic inheritance pattern of the pentaploid *Solanum chacoense* (+) *S. tuberosum* somatic hybrid (resistant to bacterial wilt) revealed by SSR detected alleles[J]. Plant cell tissue and organ culture, 2016, 127: 315-323.
- [29] LIU T, YU Y, CAI X W, et al. Introgression of bacterial wilt resistance from *Solanum melongena* to *S. tuberosum* through asymmetric protoplast fusion[J]. Plant cell tissue and organ culture, 2016, 125: 433-443.
- [30] WANG H, CHENG Z, WANG B, et al. Combining genome composition and differential gene expression analyses reveals that *SmPGH1* contributes to bacterial wilt resistance in somatic hybrids[J]. Plant cell reports, 2020, 39: 1235-1248.
- [31] 赵庆浩.利用野生种 *Solanum mltmeanum* 的体细胞融合材料创制马铃薯抗寒种质资源. [D]. 武汉:华中农业大学, 2020. ZHAO Q H. Creation of potato germplasm with cold resistance via wild species *Solanum mltmeanum*'s somatic hybrids [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [32] 涂卫.*Solanum mltmeanum* 2n 卵形成机制解析及马铃薯抗寒资源创制[D].武汉:华中农业大学, 2020. TU W. Deciphering of 2n egg formation in *Solanum mltmeanum* and creation of freezing tolerance germplasm of potato[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020 (in Chinese with English abstract).
- [33] WANG C, WANG X, WANG K, et al. Manipulating aeroponically grown potatoes with gibberellins and calcium nitrate[J]. American journal of potato research, 2018, 85: 351-361.
- [34] LIU J, XIE C. Correlation of cell division and cell expansion to potato microtuber growth *in vitro*[J]. Plant cell, tissue and organ culture, 2001, 67: 159-164.
- [35] LIU J, XIE C. Minimizing tuber size approaching to an innovation of novel seed potato system; Proceedings of International Conference on Engineering and Technological Sciences 2000. Session 6. Technology innovation and sustainable agriculture [C]. Beijing: New World Press, 2000: 469-470.
- [36] 朱德蔚.植物组织培养与脱毒快繁技术[M].北京:中国科学技术出版社,2001.ZHU D W. Plant tissue culture and detoxification and rapid propagation technology[M]. Beijing: Science and technology of China press, 2001(in Chinese).
- [37] 马崇坚,谢从华,柳俊,等.内源生长物质在马铃薯试管块茎形成中的作用[J].华中农业大学学报,2003,22(4):389-394.MA C J, XIE C H, LIU J, et al. The functions of endogenous growth regulators on tuberrization of potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* [J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2003, 22(4): 389-394(in Chinese with English abstract).
- [38] 陈振光.植物组织培养与试管育苗[M].北京:中国农业科学技术出版社,2003.CHEN Z G. Plant tissue culture and *in vitro* propagation[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2003(in Chinese).
- [39] The Potato Genome Sequencing Consortium, XU X, PAN S, CHENG S, et al. Genome sequence and analysis of the tuber crop potato[J]. Nature, 2011, 475: 189-195.
- [40] LI J, LINDQVIST-KREUZE H, TIAN Z, et al. Conditional QTL underlying resistance to late blight in a diploid potato population[J]. Theoretical and applied genetics, 2012, 124: 1339-1350.
- [41] JIANG R, LI J, TIAN Z, et al. Potato late blight field resistance from QTL *dPI09c* is conferred by the NB-LRR gene *R8*[J]. J Exp Bot, 2018, 69, 1545-1555.
- [42] 丁德骏.马铃薯晚疫病抗性资源筛选、抗病基因组成及水平抗

- 性相关 SNP 位点分析[D].武汉:华中农业大学,2020.DING D J. Screening of potato late blight resistance resources, composition of resistance genes and analysis of SNP loci related to horizontal resistance[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2020(in Chinese with English abstract).
- [43] KEIJBETS M J H. Potato processing for the consumer: developments and future challenges[J]. *Potato research*, 2008, 51: 271-281.
- [44] ZHOU T, SONG B, LIU T, et al. Phytochrome F plays critical roles in potato photoperiodic tuberization[J]. *The plant journal*, 2019, 98: 42-54.
- [45] YE M, PENG Z, TANG D, et al. Generation of self-compatible diploid potato by knockout of S-Rnase[J]. *Nature plants*, 2018, 4: 651-654.

Development and innovation of science and technology of potato in China

XIE Conghua, LIU Jun

Key Laboratory of Potato Biology and Biotechnology, Ministry of Agriculture and Rural Affairs / National Center for Vegetable Improvement (Central China) / Potato Engineering and Technology Research Center of Hubei Province (Huazhong Agricultural University), Wuhan 430070, China

Abstract Science and technology is the support of industrial development, and solving the problems faced by industrial development has always been the purpose of scientific research on potato. Only after the overthrow of the Qing Dynasty monarchy, China began systematic scientific researches on potato. So far it has only a history of more than a hundred years. Magnificently, each stage has its outstanding goals and remarkable achievements. The variety screening and hybrid breeding started in the 1930s laid the foundation for the first variety renewal in the 1950s, with a significant increase of yield. Continuous support by the national potato science and technology projects during the "Sixth Five-Year Plan" to "Ninth Five-Year Plan" in China encouraged a systematic research on breeding, cultivation zoning, germplasm evaluation and seed potato propagation which accelerated a rapid development of the industry, so that China has become the largest potato producer in the world. The application and applied basic research since the new century has provided a strong support for improving quality and efficiency of potato industry. In particular, the studies on genetic regulation of potato traits, which is at the forefront of the disciplines, have enhanced the potential of technological innovation and competition in science and technology, and will further promote the strategic position of the potato in ensuring national food security and meeting the needs of healthy life.

Keywords potato; breeding; cultivation zoning; germplasm evaluation; seed potato propagation; virus-free seed potato; scientific and technological innovation

(责任编辑:张志钰)