

马铃薯试验研究方法

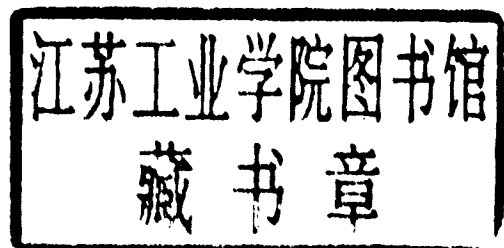
马铃薯试验 研究方法

●●● 张永成 田丰 编著

中国农业科学技术出版社

马铃薯试验研究方法

张永成 田 丰 编著



中国农业科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

马铃薯试验研究方法/张永成, 田丰编著. —北京: 中国农业科学技术出版社, 2007. 4

ISBN 978 - 7 - 80233 - 215 - 7

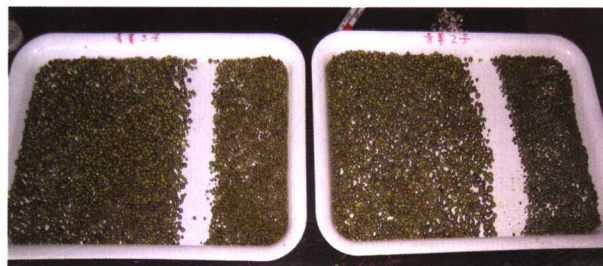
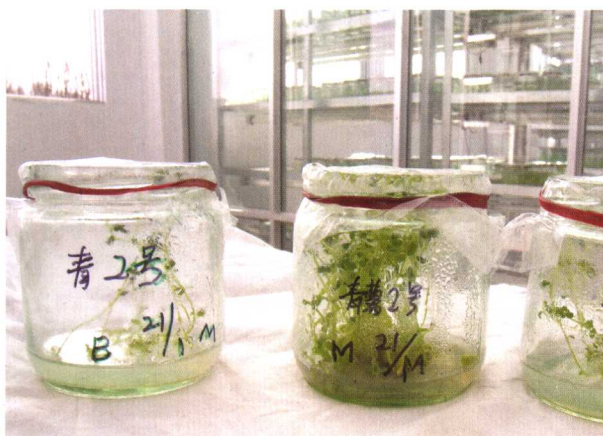
I. 马… II. ①张…②田… III. 马铃薯—品种试验—研究方法 IV. S532.037

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 024938 号

责任编辑 冯凌云
责任校对 贾晓红
出版发行 中国农业科学技术出版社
北京市中关村南大街 12 号 邮编: 100081
电 话 (010) 68919704 (发行部) (010) 62150862 (编辑室)
(010) 68919703 (读者服务部)
传 真 (010) 62189012
网 址 [http: //www. castp. cn](http://www.castp.cn)
经 销 者 新华书店北京发行所
印 刷 者 北京雅艺彩印有限公司
开 本 880mm × 1230mm 1/16
印 张 16.625
字 数 500 千字
版 次 2007 年 4 月第 1 版 2007 年 4 月第 1 次印刷
印 数 1 ~ 1 500 册
定 价 48.00 元

版权所有 · 翻印必究





序 一

张永成同志 1979 年来到青海省农林科学院后，一直从事马铃薯育种研究、教学、栽培推广等工作，主持参加过省、部级科研工作 24 项，获省部级科技成果奖 24 项，育成了青薯系列品种 10 个（菜用型的青薯 168，高淀粉的青薯 2 号、青薯 3 号、青薯 4 号，早熟的青薯 7 号，抗旱、早熟的青薯 5 号，食品加工型的青薯 6 号、青薯 8 号等）。获国家级审定品种 3 个，获国家品种“后补助”3 个。获省部级科技进步奖特等奖 1 项，一等奖 1 项，二等奖 4 项，三等奖 2 项，获国家科技进步奖特等奖 1 项，二等奖 1 项。其中红皮马铃薯青薯 168 高产耐贮存、属于菜用型马铃薯新品种，早在 1986 年选育成功，现已在青海、宁夏、甘肃、陕西、新疆、西藏等省区每年推广种植 200 多万 hm^2 ，并获首届中国农业博览会优良产品奖，获青海省科技展览一等奖，青海省科技进步三等奖，获青海省农林科技进步二等奖，获宁夏回族自治区科技进步二等奖，获农业部丰收计划三等奖。高淀粉马铃薯新品种青薯 2 号，淀粉含量高达 25.83%，高出全国 77 个审定品种 10 个百分点，该品种还获得了 2004 年国家科技进步二等奖、获青海省科技进步一等奖，获第六届中国杨凌农业博览会“后稷金像奖”。青薯 3 号，通过了省级和国家级品种审定，获国家品种“后补助”资助，获第十二届中国杨凌高新农业博览会“后稷金像奖”，获国家“农转资金”项目资助。张永成长期主持全国和西北地区马铃薯区域试验项目，主持马铃薯新品种选育和丰产栽培技术研究及推广项目，获青海省青年科技奖一项，获国家科委“振华科技扶贫奖”一项，共发表论文 50 多篇，并于 2001 年撰写了《马铃薯综合栽培技术》一书。

目前世界马铃薯种植面积为 2 000 万 hm^2 ，总产量 3 亿 t，我国种植 500 万 hm^2 ，是世界第一大马铃薯生产大国。青海省位于青藏高原的东北部，凡是典型的立体农业、有种植业的地方，几乎都有马铃薯的分布。马铃薯在青海分布的海拔在 1 800 ~ 3 000 m，冬季寒冷而漫长，夏季短暂而凉爽，平均无霜期不足 70 d，年平均降雨量不到 300 mm，旱、冻、霜、雹及风沙是主要的自然灾害。生态环境脆弱，制约着农业的发展，能适应的作物不多，一年一熟，且不稳产。这样的环境条件适合于马铃薯的生长，马铃薯产量高，品质好。改革开放以前，青海省的马铃薯播种面积只有现在的一半，耕作粗放、品种老化、产量低而不稳，只能满足当地群众鲜食的需求，基本上没有外销，马铃薯的研究只是停留在形态水平，研究手段少。一把尺子、一杆称是马铃薯试验研究的全部家当，加工业只是一些简陋粗淀粉加工。最近几年，随着新农村建设的实施、农业结构的调整、农业产业化发展，青藏高原地区马铃薯的播种面积不断扩大、单位面积产量进一步提高，不同用途的专用型马铃薯新品种层出不穷，以精淀粉、酒精、熟食品为产品的马铃薯深加工厂已大量地发展起来。青海马铃薯已远销香港、广东等发达地区。马铃薯的科研教学也不断深入，已经进入生理生化、染色体、基因水平，研究方法和手段也丰富多彩。马铃薯的研究内容也在不断增加：在马铃薯的形态特征、生长发育规律、块茎形成机理、块茎休眠和贮藏、种薯生理、矿物质营养和施肥、水分及灌溉、光合作用、群体结构、淀粉形成和积累、内外源激素、脱毒种薯特性、实生种子特性、地上部分与地下部分的相关性、形态特征与生理特性的相关性、品质（营养品质、加工品质、商品品质）特性等一系列栽培生理问题，进行了全面、系统、深入的研究。

张永成同志在马铃薯育种工作中有扎实的育种理论基础，同时在马铃薯试验研究方面积累了丰富的经验，对自己培养的研究生严格要求，治学严谨。他与青海大学田丰教

授一起编写了《马铃薯试验研究方法》一书，该书针对高原地区的低温、低湿、强光照、低氧气的气候特点，海拔差异大、地形各异的地势特点，以及马铃薯的生长发育特点等，将马铃薯试验的基本理论方法与马铃薯试验的实际操作紧密结合，采用了大量的试验研究示例，图文并茂。该书从马铃薯的田间试验到实验室试验，从地上部分的研究到地下部分的研究方法，从马铃薯的形态特征到生理生化，从产量结构到品质特性研究方法进行了全面的介绍，特别是对马铃薯多种生理性状进行了详细的介绍，使每一种研究方法在不失其理论指导的前提下，更具有实用性和可操作性。该书可作为作物育种栽培专业的研究生、本科生实习用教材，也可作为从事马铃薯研究、生产、加工工作者的参考用书，对马铃薯科学研究的深入和生产加工、马铃薯产业化进一步发展，有较高的应用价值和参考意义。

青海省人大常委会副主任

郭生 研究员

2007年1月8日

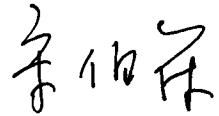
序 二

马铃薯是茄科茄属多年生草本块茎植物，在我国已有 400 多年的栽培历史。是世界上仅次于水稻、小麦、玉米的第四大粮食作物，同时又是一种重要的蔬菜作物，还是缓解当前世界能源紧缺的重要的生物质能源作物，具有很大的应用潜力。马铃薯因其对生育期要求不严而成为重要的救灾作物。目前世界马铃薯种植面积为 2 000 万 hm^2 ，我国种植 500 万 hm^2 ，是世界第一大马铃薯生产大国。是青海省的主要粮菜兼用作物，也是具有优势的一大经济作物，其经济增长点高于其他任何作物。产量高，营养丰富，抗逆性、抗病性强，适应性广，耐贮藏。是淀粉加工和食品加工的主要原料。马铃薯淀粉广泛应用于工业、农业、国防、冶金、化工、医药、纺织、印染、建筑等各个领域。随着西部大开发和种植业结构调整，随着市场经济的飞速发展，随着马铃薯淀粉加工和食品加工业的兴起，马铃薯的种植面积成倍增加，马铃薯产业化格局逐步形成，因此有必要对马铃薯作物进行深入细致的研究。从作物的内部质量性状入手，利用生理生化手段，对马铃薯的生长发育规律、块茎形成机理、块茎休眠和贮藏、种薯生理、矿物质营养和施肥、水分及灌溉、光合作用、群体结构、淀粉形成和积累、内外源激素、脱毒种薯特性、实生种子特性等一系列栽培生理问题进行全面、系统、深入的研究，是马铃薯研究领域的主要方面。

张永成同志现任全国马铃薯专业委员会委员，青海省农林科学院研究员，青海大学硕士生导师，第六届中国作物学会理事，享受国务院政府特殊津贴专家。长期从事马铃薯育种栽培工作，勤勤恳恳、勤奋好学、工作踏实、学术严谨，有着扎实的马铃薯育种理论基础，在近 30 年的马铃薯育种研究中、特别是在 20 世纪 80 年代马铃薯育种经费严重短缺的情况下，仍然坚持马铃薯的育种试验研究，积累了丰富的试验研究实践经验，积累了 400 多份的马铃薯试验材料，为以后青藏高原地区乃至全国马铃薯的育种研究以及新品种的育成打下了坚实的基础。已先后育成了 10 个不同类型的马铃薯新品种（菜用型的青薯 168，高淀粉的青薯 2 号、青薯 3 号、青薯 4 号，早熟的青薯 7 号，抗旱早熟的青薯 5 号，食品加工型的青薯 6 号、青薯 8 号等）用于生产实践，其中 3 个品种获国家级品种审定，有 3 个品种获国家“后补助”，青薯 168 和青薯 2 号已成为西北地区的主栽品种之一，获得了较高的社会经济效益。青薯 2 号获国家科技进步二等奖。2001 年，由青海人民出版社出版了他本人参加编写的《马铃薯综合栽培技术》一书。现根据当前马铃薯的生长发育、育种栽培方面试验研究的需要，整理了近 30 年在马铃薯育种栽培方面试验研究资料，和青海大学田丰教授一起撰写了《马铃薯试验研究方法》一书。正确的试验研究方法是保证试验结果正确可靠的前提。随着马铃薯应用需求的不断扩大，马铃薯产业的迅速发展，对马铃薯的研究内容也不断扩大、细化、深入，马铃薯的试验研究方法和技术也随着计算机的应用、分析仪器的发展而快速发展。该书紧跟当前马铃薯的生长发育、栽培育种方面试验研究的需要，介绍了我国马铃薯在育种、栽培、种薯生产、加工等方面的试验研究方法的概况，马铃薯田间试验设计、室内实验设计的基本原理、产生误差的原因及克服的方法，马铃薯试验研究常用的试验设计方法及

统计分析方法, 马铃薯常规育种的主要过程, 马铃薯生长发育的试验研究方法, 马铃薯光合、呼吸、蒸腾能力研究方法, 马铃薯植株体内营养物质测定, 马铃薯块茎的贮藏物质及测定, 马铃薯水分生理研究方法, 马铃薯生长发育常见酶的测定, 马铃薯抗逆性物质测定, 并以附录形式介绍了马铃薯室内测定时所需的一些基本物质的特点和配制等。该书的编写特点是将试验的理论方法与实际操作紧密结合, 采用了大量的试验研究示例, 使内容图文并茂, 从马铃薯的田间试验到室内试验, 从地上部分的研究到地下部分的研究, 使研究方法具有实用性和可操作性, 是指导研究生、本科生实习的教材和马铃薯研究工作者的参考用书; 对马铃薯科学研究项目的深入进展有较高的应用价值和参考意义。

原国际马铃薯中心驻京办事处主任
中国农业科学院蔬菜花卉研究所研究员



2007 年 2 月

前 言

马铃薯 (*Solanum tuberosum* L.), 是世界上仅次于水稻、小麦、玉米的第四大粮食作物, 在我国已有 400 多年的栽培历史, 目前世界马铃薯种植面积为 2 000 万 hm^2 , 总产量 3 亿 t, 我国种植面积 500 万 hm^2 , 是世界第一大马铃薯生产大国。马铃薯产量的高低和品质的优劣, 对马铃薯产业化发展至关重要。随着我国农业结构、种植业结构的调整, 马铃薯的应用范围不断扩大、利用链条不断延长、马铃薯的种植面积不断增长、品质不断提高, 促使马铃薯的栽培、育种、加工方面的研究方法不断发展。特别是仪器测定方法的迅速发展, 计算机在马铃薯研究中的广泛应用, 进一步促进了马铃薯试验研究方法的精细化、准确化、快速化的发展。马铃薯的产量和品质, 除主要决定于品种的遗传特性外, 还受外界环境和栽培技术等制约。马铃薯栽培生理就是在一定的品种、环境、栽培技术水平等条件下, 利用生理生化研究手段, 对马铃薯生长发育规律及其高产优质栽培技术机理进行研究的一门学科。我国在马铃薯的生长发育规律、块茎形成机理、块茎休眠和贮藏、种薯生理、矿物质营养和施肥、水分及灌溉、光合作用、群体结构、淀粉形成和积累、内外源激素、脱毒种薯特性、实生种子特性等一系列栽培生理问题进行了全面、系统、深入的研究。马铃薯脱毒微型薯形成机理、各类植物激素和调节剂应用效果及机理、无土栽培等方面的研究取得很大进展, 某些方面达到国际先进水平。

马铃薯生理成分分析, 是一门研究马铃薯生理成分的组成及含量的方法和原理的科学, 马铃薯生理成分的数据是描述马铃薯生理成分分布和含量的资料。马铃薯生理成分营养成分含量的多寡, 是马铃薯营养资源的利用和开发、马铃薯加工业生产质量控制、马铃薯食品检测和监督、农业生产和商业流通等发展的基础和技术支持, 也是马铃薯育种所必不可少的依据。

近 10 年来, 仪器分析作为一种新技术和新学科, 在国际上迅速发展起来, 它为农业科学提供了一个崭新的手段, 已使农业科学取得了一系列的重大成果和惊人的突破。

近年来我国马铃薯产业发展很快, 种植面积迅速增加, 马铃薯研究在不断的深入和拓宽, 为了满足生产发展的需要, 需要对马铃薯进行深入细致的研究。鉴于在马铃薯研究领域具有实用和较易操作的书籍较少, 并为了使从事马铃薯教学、科研和生产的工作人员在此研究方面有章可循, 笔者总结了自己近 30 年的马铃薯育种、栽培、贮藏以及试验室工作经验和教学经验, 针对不同层次马铃薯研究者的知识水平、从注重应用出发, 将试验的理论方法与实际操作紧密结合, 特编写《马铃薯试验研究方法》一书。

全书共 11 章, 第一章介绍是我国马铃薯在育种、栽培、种薯生产、加工等方面的试验研究方法的概况; 第二章介绍马铃薯田间试验设计、室内实验设计的基本原理, 产生误差的原因及克服的方法; 第三章介绍了马铃薯试验研究常用的试验设计方法及统计分析方法; 第四章介绍了马铃薯常规育种的主要过程; 第五章介绍了马铃薯生长发育的试验研究方法; 第六章介绍了马铃薯光合、呼吸、蒸腾能力研究方法; 第七章介绍了马铃薯植株体内营养物质测定; 第八章介绍了马铃薯块茎的贮藏物质及测定; 第九章介绍

了马铃薯水分生理研究方法；第十章介绍了马铃薯生长发育常见酶的测定；第十一章介绍了马铃薯抗逆性物质测定；最后以附录形式介绍了马铃薯室内测定时的一些基本物质的特点和配制等。

本书编写时将试验的理论方法与实际操作紧密结合，采用了大量的试验研究示例，图文并茂。从马铃薯的田间试验到室内试验，从地上部分的研究到地下部的研究，将马铃薯多个生理性状进行了详细的介绍，使研究方法具有实用性和可操作性，是指导研究生、本科生实习的教材和马铃薯研究工作者的参考用书；对马铃薯科学研究项目的深入进行有较高的应用价值和参考意义。这对推动该研究领域的试验研究水平的提高以及促进国民经济的发展，具有现实意义和指导意义。

本书能够顺利出版，与青海省农林科学院领导的热情关心，青海省科技厅、处领导的大力支持是密不可分的，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免出现差错，望读者批评指正。

编 者

2006年12月11日

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 马铃薯试验研究概况	(1)
第二节 马铃薯的特点	(10)
第三节 马铃薯样品的现代分析技术	(11)
第二章 马铃薯田间试验方法	(15)
第一节 试验方案的制定	(15)
第二节 马铃薯田间试验设计的基本原则	(16)
第三节 马铃薯田间试验和实验室试验误差来源及克服途径	(17)
第四节 实验室试验的要求及质量控制	(22)
第三章 常用的试验设计方法和试验分析方法	(27)
第一节 顺序排列的试验设计与分析	(27)
第二节 随机设计及试验分析	(28)
第三节 正交试验的设计及统计分析	(38)
第四节 直线回归设计及试验分析	(42)
第五节 曲线回归分析	(53)
第六节 最优回归试验设计与分析	(56)
第七节 多元直线回归与通径分析	(74)
第八节 主成分分析及聚类分析	(79)
第四章 马铃薯育种试验研究方法	(86)
第一节 国内外马铃薯育种现状	(86)
第二节 马铃薯品种筛选的目标、内容和方法	(87)
第三节 马铃薯品种筛选程序	(87)
第四节 完全双列杂交配合力分析	(108)
第五章 马铃薯生长发育研究方法	(116)
第一节 马铃薯生长研究方法	(116)
第二节 叶面积测定方法	(120)
第三节 根系研究方法	(123)
第四节 实生种子生活力的测定	(131)
第六章 马铃薯光合、呼吸、蒸腾能力研究方法	(133)
第一节 光合生产率(净同化率)的测定	(133)
第二节 光合作用利用太阳能效率的计算	(133)
第三节 光合强度的测定	(133)
第四节 称重法测定植物的蒸腾速率	(137)
第五节 呼吸速率的测定	(138)
第七章 马铃薯植株体内营养物质测定	(142)
第一节 植物体内蛋白质氮和非蛋白质氮的测定	(142)
第二节 植物体内可溶性蛋白质含量的测定	(147)
第三节 植物体内硝态氮含量的测定	(149)
第四节 马铃薯组织中氮、磷、钾快速测定	(151)

第八章 马铃薯块茎的贮藏物质及测定	(154)
第一节 马铃薯块茎的贮藏物质	(154)
第二节 马铃薯分析用样本材料的准备	(162)
第三节 干物质的测定	(166)
第四节 淀粉含量的测定	(166)
第五节 还原糖和可溶性糖含量的测定	(169)
第六节 维生素含量的测定	(171)
第七节 蛋白质含量的测定	(183)
第八节 全磷量的测定——钼蓝比色法	(185)
第九节 全钾量的测定——火焰光度计法	(186)
第十节 块茎酚类物质的含量测定	(187)
第九章 马铃薯水分生理研究法	(189)
第一节 水分状况研究法	(189)
第二节 植物组织含水量的测定	(190)
第三节 植物组织中自由水和束缚水含量的测定	(191)
第四节 植物组织水势的测定	(193)
第十章 马铃薯常见酶的测定	(195)
第一节 用电泳技术测定马铃薯常见酶	(195)
第二节 用化学方法测定马铃薯常见酶	(217)
第十一章 马铃薯抗性物质测定	(225)
第一节 植物组织中游离氨基酸总量的测定	(225)
第二节 抗坏血酸氧化酶、多酚氧化酶活性的测定	(227)
第三节 过氧化物酶活性的测定	(228)
第四节 植物细胞渗透势的测定	(229)
第五节 植物组织逆境伤害程度的测定——电解质外渗量法	(231)
第六节 植物体内游离脯氨酸含量的测定	(232)
第七节 植物组织中超氧化物歧化酶活性测定	(233)
第八节 植物组织中过氧化氢含量及过氧化氢酶活性测定	(235)
第九节 抗坏血酸含量及抗坏血酸过氧化物酶活性的测定	(237)
第十节 植物组织中丙二醛含量的测定	(238)
附录	(241)
附录一 滴定标准液的配制	(241)
附录二 常用洗涤液的配制和使用方法	(246)
附录三 实验室常用标准缓冲液的配制	(246)
附录四 国际单位制的基本单位	(249)
附录五 植物内源激素及其主要性质	(250)
附录六 常见的植物生长调节物及其主要性质	(250)
附录七 维生素及其主要性质	(251)
附录八 几种渗透溶液的配制表	(252)
附录九 实验室安全及防护知识	(252)

第一章 概 述

第一节 马铃薯试验研究概况

马铃薯和水稻、小麦、玉米一样，是世界上四大粮食作物之一。它是人民群众生活中不可缺少的粮菜兼用作物，也是一大经济作物，其经济增长点高于其他任何作物，是工业加工和食品加工的重要原料。随着西部大开发和种植业结构调整以及市场经济的发展，马铃薯加工业迅猛兴起，不仅使农民种植马铃薯有了出路，而且价格不断增长，从而提高了广大群众种植马铃薯的积极性。近年来，马铃薯种植面积成倍增长。为了适应当前形势发展的需要，迎接西部大开发，搞好种植业结构调整，促进马铃薯产业化的形成与发展，应加大新品种的选育和繁殖力度，培育高产、抗病、优质以及市场适销对路的新品种，大力推广新品种，扩大种植面积，提高单位面积产量，加速成果转化步伐，达到增产增收的目的。把马铃薯育种、栽培、良种繁殖、商品生产、加工、销售有机地结合起来，使马铃薯这一资源优势、产品优势和科技优势，最终转化为商品优势和经济优势，让这一新兴产业为群众的脱贫致富和国民经济的长足有效发展，做出应有的贡献。

一、马铃薯育种

目前国内外在马铃薯遗传变异研究方面采用的手段有：有性杂交（品种间和种间杂交）、花药培养、秋水仙加倍、辐射育种、细胞融合、实生籽（TPS）利用等。主要育种目标包括高产育种、品质育种和抗性育种。在遗传育种中，马铃薯的很多重要性状是按单基因方式遗传的，如一些抗病性状、花色、皮色等。但马铃薯育种中所涉及的绝大多数重要的有经济价值的性状，都是数量性状，如：产量、块茎大小、数目、比重、干物质含量、晚疫病田间抗性、含糖量、炸片颜色、薯条食味、抗旱性等一般受多基因控制，并易受环境条件的影响。因此，其后代分离呈连续性分布，一般应用数量方法研究，在常规育种中，必须系统地测定亲本的配合力，用科学的方法代替经验性直观的组合配制方法，通过对马铃薯品质性状（块茎干物质含量、淀粉含量、还原糖含量、蛋白质含量、维生素C含量）的遗传研究和分析，弄清其遗传规律，提出合理的选择方法，提高选择的有效性，缩短育种年限。所以说，研究马铃薯的性状遗传，对提高品种选育水平意义重大。

二、马铃薯栽培

目前世界各国在马铃薯高产栽培技术方面，采用先进手段对其生长发育进行研究，以期获得较高的产量水平。俄罗斯等国，应用计算机评价土壤水分状况，预报灌溉量和灌溉日期。我国内蒙古等地对马铃薯高产栽培技术进行系统研究，建立了高产数学模型，从宏观和微观的角度对种植密度、水分、施肥量、肥料配比等进行了研究与分析，结合计算机辅助系统优化，选出最优组合方案，达到高产、稳产、优质、低耗的目的。另外，国内在马铃薯产业化进程方面，随着种薯生产、加工技术的发展，许多马铃薯主产区已初步形成产业化生产。对马铃薯栽培中相关的技术进行多方面的研究示范，在快繁技术和种薯繁育体系建立、高产高效栽培技术和旱地肥水管理技术研究、粮薯间套作高产栽培技术研究、加工技术研究、病虫害防治等方面取得了一批成果，并推广到生产中。部分地区已形成以加工企业为骨干，千家万户为主体的基地化栽培、区域化布局、规模化经营、社会化服务、企业化加

工的产、加、销一条龙的马铃薯产业化格局，且呈现出良好的势头。种薯在生产中获得显著效果，地膜覆盖、三肥配施、适时早播、合理密植等技术逐步推广。在微型快繁的种薯繁殖方法上，特别是在切繁、露地培育基辅料，提高单株结薯量方面，获得多项重要发现。

马铃薯产量的高低和品质的优劣，对马铃薯产业化发展至关重要。马铃薯产量和品质除主要取决于品种的遗传特性外，还受外界环境和栽培技术等制约。马铃薯栽培生理就是在一定的品种、环境条件、栽培技术水平等条件下，利用生理生化研究手段，对马铃薯生长发育规律及其高产优质栽培技术机理进行研究的一门学科。我国在该研究领域起步较晚，20世纪70年代开始，以内蒙古农业大学门福义、刘梦芸等一批专家学者为代表，对马铃薯的生长发育规律、块茎形成机理、块茎休眠和贮藏、种薯生理、矿物质营养和施肥、水分及灌溉、光合作用、群体结构、淀粉形成和积累、内外源激素、脱毒种薯特性、实生种子特性等一系列栽培生理问题，进行了全面、系统、深入的研究，相继取得一批重要的科研成果。进入20世纪90年代后，特别是90年代后期，陆续又有一批学者和科技人员，对马铃薯脱毒微型薯形成机理、各类植物激素和调节剂应用效果及机理、无土栽培等方面进行研究，取得很大进展，某些方面达到国际先进水平。先后出版《马铃薯栽培生理》专著和高等农业院校马铃薯栽培学教材（三版次），发表学术论文数百篇填补了我国该研究领域的空白。这些研究成果，均具有重要学术意义和较高的实用价值，有力地推动了我国马铃薯产业化发展和学术水平的提高。青海省农林科学院张永成研究员，对马铃薯的生长发育规律和块茎形成规律进行了深入细致的研究，从马铃薯生长量的测定入手，进行了地上部分和地下部分性状相关性的研究，获得了马铃薯诸多数量性状遗传参数，包括遗传力、遗传相关系数、遗传进度以及遗传变异系数。特别是在选择指数的估算及其应用研究，在马铃薯育种中，使理论和实际相结合，对准确的选育品种、提高选择效率，有一定的指导意义。在马铃薯栽培生理研究方面，采用饱和D设计和多元回归设计等方法，对马铃薯高产栽培农艺措施进行了研究，为指导大田高产稳产提供了可靠的理论依据。

马铃薯生育时期的划分，目前国内外无统一的标准。有的把马铃薯生育时期划分为苗期生长、茎叶生长和块茎生长3个阶段；还有人根据块茎形成过程，划分为匍匐茎伸长期、块茎形成期、块茎膨大期和块茎完熟期4个时期；蒋先明（1984）则将马铃薯生长过程划分为三段五期，即发芽期、幼苗期、发棵期、结薯期、休眠期。门福义等（1980）则根据马铃薯茎叶生长与产量形成的相互关系，把马铃薯的生育过程划分为6个生育时期，即芽条生长期、幼苗期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期、成熟收获期，是目前国内生产及教学普遍采用的划分方法。上述块茎形成和块茎增长时期是马铃薯生育最关键的两个时期，前者是决定单株块茎数多少的时期，后者是决定块茎大小的时期，也是需水、需肥最多的两个时期。

马铃薯块茎的形成过程是由匍匐茎形成和匍匐茎顶端膨大两个阶段所组成。这两个阶段的发育是受不同因素所制约。匍匐茎是马铃薯地下茎节上的腋芽呈水平生长的侧枝，是一个在结构上极其有效的运输器官。成熟匍匐茎横切面上皮层、维管束和髓部各部分，分别占匍匐茎直径的34%、19%和47%。在大田栽培条件下，匍匐茎发生的早晚因品种、播种期、种薯生理年龄、环境条件而有很大变化，一般在出苗后7~10d发生，在出苗后15d左右就已形成了全生育期总匍匐茎的50%以上。每个单株形成的匍匐茎，并不都能顶端膨大形成块茎，匍匐茎的成薯率一般为75%左右（门福义等，1982）。

马铃薯块茎形成的同时，块茎体积也在不断增大，单个块茎从开始形成至停止增大约经历80~90d，单株块茎体积以出苗后40~80d增长最快，该期增长速率是块茎形成初期和后期的2~2.8倍。这段时间增加的块茎鲜重占总鲜重的40%~50%，其干重占总干重的50%~60%。

在大田生产上，马铃薯是用块茎作种，种薯生理特性对后代植株生长发育和产量品质具有重要的影响。

构成作物干物质产量的90%以上是光合产物，产量形成与光合作用有着非常密切的关系。叶片是进行光合作用的主要器官，叶片光合能力的强弱、叶面积的合理动态变化及叶面积指数的大小，直接关系到产量的高低。马铃薯叶片光合强度在整个生育期间的变化表现为生育前期和后期较高，而中

期偏低；一天中，则是上午高，中午和下午低；不同叶位则是中层叶片最高，其次是下层叶片。随叶片密度增大，中下层叶片光合强度降低。马铃薯一生中叶面积的消长过程可分为上升期（出苗至盛花期）、稳定期（盛花至终花）和衰落期。以上升期早而快、峰值高、稳定期长、衰老慢的植株产量高。最大叶面积指数在等行距配置下，适宜范围为 3.3 ~ 5.1，宽窄行配置由于改善了田间通风透光条件，最大叶面积指数可适当增大（门福义等，1984）。施肥、灌水。使用脱毒种薯、生长调节剂等措施之所以能增产，其重要原因之一就是增大了叶面积指数，并使其动态变化趋于合理化。从光合势与块茎产量的关系来看，高产群体不仅要有较高的光合势，而且在各个生育阶段要有合理的分配比例。总光合势在 30 万 ~ 40 万 m^2/d 的范围内，幼苗期占 3% ~ 5%，块茎形成期至块茎增长期占 70% ~ 78%，淀粉积累期占 20% ~ 25%，是高产的光合势分配指标（门福义等，1982）。

光合产物是块茎产量形成的物质基础，因此光合产物的积累、分配和转移，与产量形成有密切的关系。全株干物质积累量愈大，块茎产量愈高。特别是茎叶干重在块茎增长前迅速增长，之后缓慢增长，淀粉积累期缓慢下降，至成熟时茎叶干重占全株总干重 15% 的，有利于块茎产量的形成。

马铃薯产量形成与群体结构密切相关。密度过大时对产量的不利影响，主要表现为植株分枝少，茎叶生长量、大薯百分率、单株块茎数、单株块茎产量均减少，而小薯率增加。当密度达一定水平以上，密度增加时不再增加光能利用率，但密度的增加会显著增加单位面积上的薯块数，而使单薯重量下降，影响产品质量。

增施 N 肥可以促进茎叶生长，提高叶面积指数和光合势，并使植株生长中心的和营养中心的转移适当推后，延缓叶片衰老，增加后期光合势，显著提高块茎的膨大速率，增加结薯数和大中薯的比率，从而达到增产。

磷肥对马铃薯的增产效果因土壤的具体条件和施肥方法而异。N、P 配合施用促进植株对 P 的吸收，并可促进茎叶生长，防止生长中心过早转移，延长绿叶存续时间，促进淀粉积累期的光合作用。

钾素可促进叶片中碳水化合物向块茎中运输，延迟叶片的衰老进程，增强叶片的光合作用，显著提高产量。所以对喜钾的马铃薯作物施钾，其效果是非常明显的。

一般情况下，生产 1 000kg 块茎，需吸收 N、P、K 分别为 4.38kg、0.79kg、6.55kg 左右，各个时期植株中 N、P、K 的浓度均以 K 为最高，N 次之，P 最少。全生育期 N、P、K 的吸收速度随生长发育的推移呈单峰曲线变化，N、P 的最快吸收期是块茎形成期，平均每日每株吸收量分别为 45mg 和 7.5mg，K 的最快吸收期是块茎增长期，平均每日每株吸收 54mg。在三要素吸收强度最大的块茎形成至块茎增长期，N、P、K 吸收量分别为最大吸收量的 52% ~ 59%、68%、50%。不同生育时期对 N、P、K 的吸收比例不同，随生育的推移需 P、K 的比例逐步增加，需 N 的比例则逐渐减少。随着马铃薯生长中心的转移，N、P、K 在各器官的分配比例也发生相应的变化。苗期至块茎形成期，N、P 的分配以叶为中心，K 以茎为中心；块茎增长期 P、K 在块茎和茎叶的分配近于 1:1，N 的分配中心仍然是茎叶；淀粉积累期 N、P、K 的分配中心均以块茎为主，且茎叶中的 N、P、K 也迅速向块茎中转移；成熟期 N、P、K 的转运率分别达到 67%、77%、74%。

随着 N、P、K 等肥料施用水平和马铃薯产量的持续提高，微量元素变得相对不足，用 B、Cu、Mn、Zn、Mo 等微量元素溶液浸种或进行叶面喷施，可提高叶片叶绿素含量，提高光合作用速率，从而有利于块茎膨大和产量的提高。适宜的 B、Mo 配施还可提高 SOD、POD、NR 的活性，降低 MDA 含量与自动氧化速率，促进马铃薯体内细胞保护酶活性的提高，抑制膜脂过氧化作用，改善体内生理生化代谢。

马铃薯是需水较多的作物，其蒸腾系数为 400 ~ 600。旱地马铃薯产量与年降水量呈显著正相关，但不同生育时期灌水或降水的分布，对产量有不同的影响，现蕾期灌水对提高产量和改善品质具有决定性的作用，此期灌水在干旱年份较对照增产 30.4%，湿润年份亦增产 6.5%。这是因为此期灌水可扩大光合作用规模，延长光合作用时间，提高光合效率。

淀粉含量的高低是马铃薯品质优劣的重要指标。对茎淀粉积累生理基础的研究，发现一系列相关指标，为育种家选育新品种和为制定提高淀粉含量的栽培措施提供了理论依据。

块茎淀粉含量与单株叶面积、单株干物重、单株茎数、单株块茎数、叶片或茎秆中淀粉含量、叶片中还原糖及可溶性糖含量、叶绿素 b 含量、块茎淀粉粒直径呈正相关；与茎秆、块茎可溶性糖、还原糖含量变化相关性不强，但生育后期与茎秆可溶性糖含量呈显著正相关。块茎淀粉含量与叶绿素总量、叶绿素 a、叶绿体基粒数、基粒片层数及匍匐茎维管束横切面占匍匐茎横切面百分比呈正相关趋势。

淀粉积累过程始终有酶参与，所以酶活性强弱，常能影响淀粉积累能力强弱。不同品种各时期蔗糖转化酶活性大小与块茎淀粉含量、淀粉积累速度呈显著负相关或负相关；淀粉磷酸化酶活性与块茎淀粉含量无明显相关，而与淀粉积累速度呈正相关。

刚收获的块茎尚处在浅休眠状态，呼吸强度较高，随着休眠的加深，呼吸强度逐渐降低，深休眠阶段呼吸降到最低点，随着休眠的觉醒，呼吸强度又开始增高。王合理（1999）报道，在低温贮藏条件下，呼吸强度由收获初期的 $18.6\text{mgCO}_2/\text{g}$ 降到贮藏两周后的 $5\text{mgCO}_2/\text{g}$ 。贮藏期间呼吸强度变化与含糖量变化没有明显的相关性。贮藏期间块茎散失水分，使表皮皱缩，外观质量下降。水分损失的因贮藏温度和湿度而异，在相对湿度 70% ~ 90%、温度 $10 \sim 14^\circ\text{C}$ 和相对湿度 60% ~ 80%，温度 $13 \sim 17.5^\circ\text{C}$ 两种贮藏条件下，前者水分损失率达 7.47%，后者达 21.3%。为了保证块茎的贮藏质量，贮藏的相对湿度应保持在 80% ~ 93%（孙茂林等，2002）。

贮藏期间块茎淀粉和干物质含量逐渐降低，但不同品种或同一品种在不同阶段降低的速率不同。处于休眠期间的块茎，淀粉降低速率很慢，通过休眠后随芽条的生长淀粉下降速率增大。低温贮藏一定时期后经高温回暖，淀粉含量又有增加，其增加的幅度，在品种间呈极显著的差异。

低温糖化后的块茎可进行高温回降处理，回降的程度取决于回降前的基数值、回降处理的温度和处理时间。回降前还原糖含量高的品种，其回降速度也快。

三、马铃薯种薯生产

提高马铃薯种薯生产水平是一项巨大的生物技术工程。种子质量的好坏对产量的高低影响较大，也直接左右着新品种的推广速度。

目前，我国种薯生产已经由科研单位的小规模生产，转变为企业为主角的大规模生产；从以示范推广为主要目的转变为以商业利益为主的企业行为，而促使这种转变的主要原因是技术的成熟和市场的开拓。如果说作为示范推广尚可允许一定特殊性的话，比如不同的质量标准、不同的规格等，但是作为商业生产、特别是作为重要的农业生产资料——种薯的生产，其质量标准和产品规格就成为了规范生产者行为的重要因素。由于种薯生产和运输的特殊性，导致各地纷纷建立自己的种薯繁殖体系。这种小规模繁殖体系往往是从脱毒、病毒检测，到良种繁育自成体系，难免造成良莠不齐的种薯质量。因此，种薯生产之间的差异不仅仅来源于技术和市场，其管理体制的不完善也是其重要原因。

微型薯生产技术在国内外尚有不同解释。按国际惯例，微型薯应该是来自于试管的微型块茎，就是在通过对培养基的调整，诱导种苗在容器内形成的微型块茎，一般直径在 3 ~ 5mm。另一种解释是脱毒苗扦插在温室内的特殊基质上所获得的微型块茎，其直径一般在 10mm 以上，有的可能达到 30mm 以上。尽管这两种方式所获得的块茎的生物学质量无大差别，但体积上的差异和生理状态的差异则是很大的，因此其利用的方式和效果完全不同。由于微型薯只是作为种薯繁殖的基础材料，生产上的需求并不是很大，所以采用何种方式完全是根据各自的条件和技术熟练程度而决定。

对于容器内诱导微型薯的技术，我国的一些研究单位做了较多的研究，主要集中在培养基的改良和培养条件的调控。目前，通用的是采用全程液体培养基技术，就是在试管苗培养阶段向容器内注入脱毒苗发育培养基，待试管苗发育到满瓶后，倒出原培养基，重新注入诱导块茎培养基。这种技术的优势是生产方便，单位空间内的繁殖倍数较高，适合教学或研究单位兼顾种薯生产的单位应用。其缺点是微型薯体积较小，生理状态差异较大，休眠期差异大，给下一世代的繁殖带来了一定的麻烦。

对于通过扦插来获得微型薯的技术，在一些规模比较大的生产单位用的比较多。该技术体系的关