

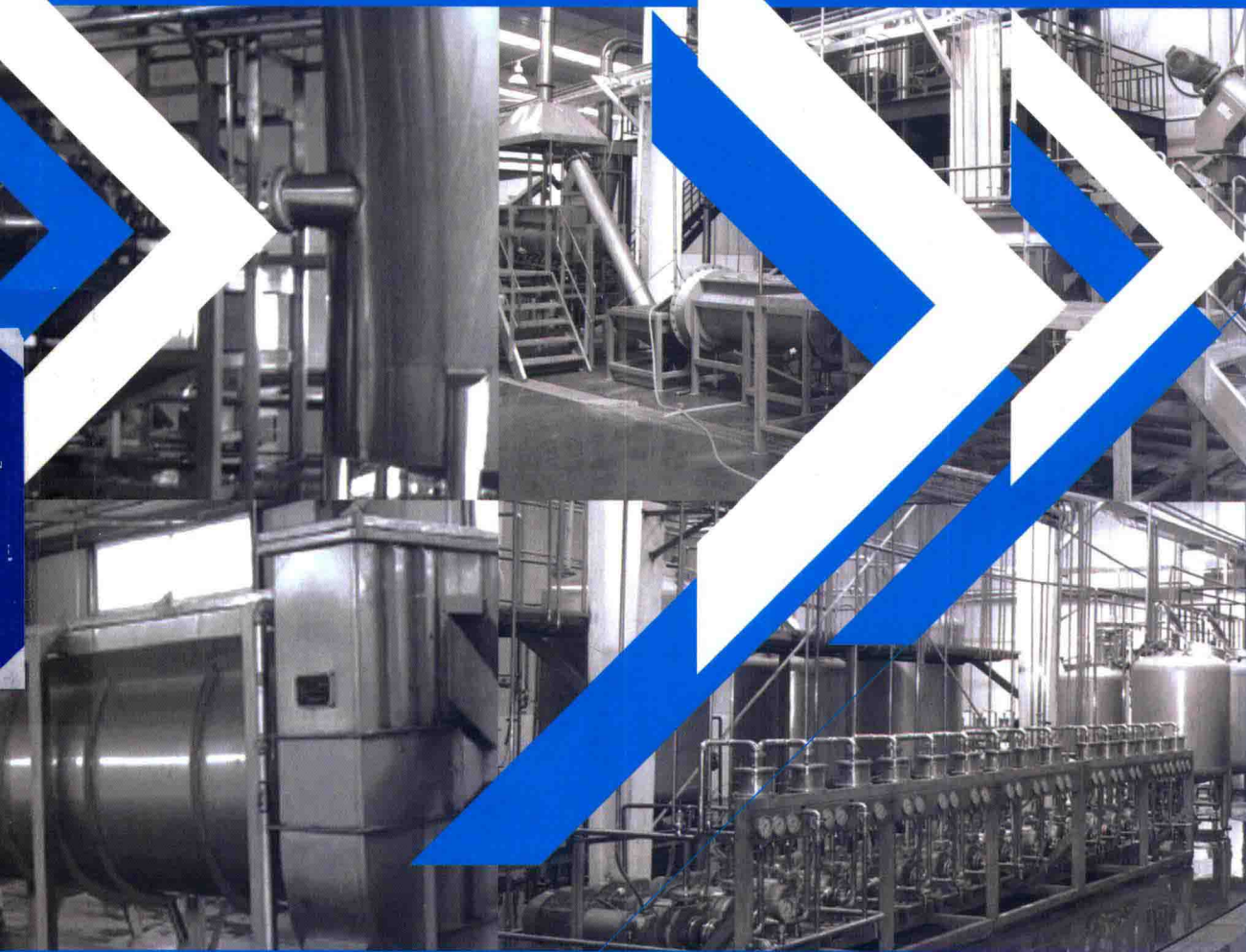
马铃薯科学与技术丛书

马铃薯资源化利用技术

主 编 韩黎明 童丹 原霁虹



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社



马铃薯科学与技术丛书

马铃薯资源化利用技术

主 编 韩黎明 童丹 原霁虹



WUHAN UNIVERSITY PRESS
武汉大学出版社

马铃薯科学与技术丛书

总 主 编：杨 声

副总主编：韩黎明 刘大江

编委会：

主 任：杨 声

副主任：韩黎明 刘大江 屠伯荣

委 员（排名不分先后）：

王 英	车树理	安志刚	刘大江	刘凤霞	刘玲玲
刘淑梅	李润红	杨 声	杨文玺	陈亚兰	陈 鑫
张尚智	贺莉萍	胡朝阳	禹娟红	郑 明	武 睿
赵 明	赵 芳	党雄英	原霁虹	高 娜	屠伯荣
童 丹	韩黎明				

图书在版编目(CIP)数据

马铃薯资源化利用技术/韩黎明,童丹,原霁虹主编. —武汉:武汉大学出版社,2015. 10

马铃薯科学与技术丛书

ISBN 978-7-307-16728-5

I. 马… II. ①韩… ②童… ③原… III. 马铃薯—资源利用
IV. S532

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 204771 号

责任编辑:鲍 玲 责任校对:李孟潇 版式设计:马 佳

出版发行:武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件:cbs22@whu.edu.cn 网址:www.wdp.com.cn)

印刷:荆州市鸿盛印务有限公司

开本:787×1092 1/16 印张:24.25 字数:589千字 插页:1

版次:2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷

ISBN 978-7-307-16728-5 定价:49.00元

版权所有,不得翻印;凡购买我社的图书,如有质量问题,请与当地图书销售部门联系调换。

总 序

马铃薯是全球仅次于小麦、水稻和玉米的第四大主要粮食作物。它的人工栽培历史最早可追溯到公元前 8 世纪到 5 世纪的南美地区。大约在 17 世纪中期引入我国，到 19 世纪已在我国很多地方落地生根，目前全国种植面积约 500 万公顷，总产量 9000 万吨，中国已成为世界上最大的马铃薯生产国之一。中国人对马铃薯具有深厚的感情，在漫长的传统农耕时代，马铃薯作为赖以果腹的主要粮食作物，使无数中国人受益。而今，马铃薯又以其丰富的营养价值，成为中国饮食烹饪文化不可或缺的部分。马铃薯产业已是当今世界最具发展前景的朝阳产业之一。

在中国，一个以“苦瘠甲于天下”的地方与马铃薯结下了无法割舍的机缘，它就是地处黄土高原腹地的甘肃定西。定西市是中国农学会命名的“中国马铃薯之乡”，得天独厚的地理环境和自然条件使其成为中国乃至世界马铃薯最佳适种区，其马铃薯产量和质量在全国均处于一流水平。20 世纪 90 年代，当地政府调整农业产业结构，大力实施“洋芋工程”，扩大马铃薯种植面积，不仅解决了温饱问题，而且增加了农民收入。进入 21 世纪以来，定西市实施打造“中国薯都”战略，加快产业升级，马铃薯产业成为带动经济增长、推动富民强市、影响辐射全国、迈向世界的新兴产业。马铃薯是定西市享誉全国的一张亮丽名片。目前，定西市是全国马铃薯三大主产区之一，建成了全国最大的脱毒种薯繁育基地、全国重要的商品薯生产基地和薯制品加工基地。自 1996 年以来，定西市马铃薯产业已经跨越了自给自足，走过了规模扩张和产业培育两大阶段，目前正在加速向“中国薯都”新阶段迈进。近 20 年来，定西马铃薯种植面积由 100 万亩发展到 300 多万亩，总产量由不足 100 万吨提高到 500 万吨以上；发展过程由“洋芋工程”提升为“产业开发”；地域品牌由“中国马铃薯之乡”正向“中国薯都”嬗变；功能效用由解决农民基本温饱跃升为繁荣城乡经济的特色支柱产业。

2011 年，我受组织委派，有幸来到定西师范高等专科学校任职。定西师范高等专科学校作为一所师范类专科院校，适逢国家提出师范教育由二级（专科、本科）向一级（本科）过渡，这种专科层次的师范学校必将退出历史舞台，学校面临调整转型、谋求生存的巨大挑战。我们在谋划学校未来发展蓝图和方略时清醒地认识到，作为一所地方高校，必须以瞄准当地支柱产业为切入点，从服务区域经济发展的高度科学定位自身的办学方向，为地方社会经济发展积极培养合格人才，主动为地方经济建设服务。学校通过认真研究论证，认为马铃薯作为定西市第一大支柱产业，在产量和数量方面已经奠定了在全国范围内的“薯都”地位，但是科技含量的不足与精深加工的落后必然影响到产业链的升级。而实现马铃薯产业从规模扩张向质量效益提升的转变，从初级加工向精深加工、循环利用转变，必须依赖于科技和人才的支持。基于学校现有的教学资源、师资力量、实验设施和管理水平等优势，不仅在打造“中国薯都”上应该有所作为，而且一定会大有作为。

因此提出了在我校创办“马铃薯生产加工”专业的设想，并获申办成功，在全国高校尚属首创。我校自2011年申办成功“马铃薯生产加工”专业以来，已经实现了连续3届招生，担任教学任务的教师下田地，进企业，查资料，自编教材、讲义，开展了比较系统的良种繁育、规模化种植、配方施肥、病虫害综合防治、全程机械化作业、精深加工等方面的教学，积累了比较丰富的教学经验，第一届学生已经完成学业走向社会，我校“马铃薯生产加工”专业建设已经趋于完善和成熟。

这套“马铃薯科学与技术丛书”就是我们在开展“马铃薯生产加工”专业建设和教学过程中结出的丰硕成果，它凝聚了老师们四年来的辛勤探索和超群智慧。丛书系统阐述了马铃薯从种植到加工、从产品到产业的基本原理和技术，全面介绍了马铃薯的起源与栽培历史、生物学特性、优良品种和脱毒种薯繁育、栽培育种、病虫害防治、资源化利用、质量检测、仓储运销技术，既有实践经验和实用技术的推广，又有文化传承和理论上的创新。在编写过程中，一是突出实用性，在理论指导的前提下，尽量针对生产需要选择内容，传递信息，讲解方法，突出实用技术的传授；二是突出引导性，尽量选择来自生产一线的成功经验和鲜活案例，引导读者和学生在阅读、分析的过程中获得启迪与发现；三是突出文化传承，将马铃薯文化资源通过应用技术的嫁接和科学方法的渗透为马铃薯产业创新服务，力图以文化的凝聚力、渗透力和辐射力增强马铃薯产业的人文影响力和核心竞争力，以期实现马铃薯产业发展与马铃薯产业文化的良性互动。

本套丛书在编写过程中得到了甘肃农业大学毕阳教授、甘肃省农科院王一航研究员、甘肃省定西市科技局高占彪研究员、甘肃省定西市农科院杨俊丰研究员等农业专家的指导和帮助，并对最终定稿进行了认真评审论证。定西市安定区马铃薯经销协会、定西农夫薯园马铃薯脱毒快繁有限公司对丛书编写出版给予了大力支持。在丛书付梓出版之际，对他们的鼎力支持和辛勤付出表示衷心感谢。本套丛书的出版，将有助于大专院校、科研单位、生产企业和农业管理部门从事马铃薯研究、生产、开发、推广人员加深对马铃薯科学的认识，提高马铃薯生产加工的技术技能。丛书可作为高职高专院校、中等职业学校相关专业的系列教材，同时也可作为马铃薯生产企业、种植农户、生产职工和农民的培训教材或参考用书。

是为序。



2015年3月于定西

杨声：

“马铃薯科学与技术丛书”总主编

甘肃中医药大学党委副书记

定西师范高等专科学校党委书记 教授

前 言

马铃薯是世界上继水稻、小麦和玉米之后的第四大粮食作物，其分布广泛，适应性强，种植面积广，产量高，营养丰富，是一种价廉易得的原料。运用先进的技术和设备能够生产出高质量的马铃薯产品，这些产品在很多行业和领域发挥着重要的作用，具有很好的加工利用价值和经济价值。

1995年以来，我国马铃薯种植面积和总产量均居世界首位，成为全球马铃薯生产第一大国。近年来，我国马铃薯加工业得到迅猛发展，正逐步由粗放加工、数量扩张的初级阶段转向精深加工、质量提升的发展阶段，对推动“三农”及相关产业发展、扩大就业和提高城乡居民生活水平作出了重要贡献。

甘肃省定西市是全国三大马铃薯集中产区之一，建成了全国最大的脱毒种薯繁育基地、全国重要的商品薯生产基地和薯制品加工基地。为响应地方政府打造“中国薯都”战略，为马铃薯产业提供人才和技术支持，定西师范高等专科学校在全国率先举办了“马铃薯生产加工”高等教育专业，以期为马铃薯生产加工行业输送基础扎实、实践经验丰富、创新能力强的应用型人才。在教学科研过程中，我们深入田间地头，深入车间一线，开展产学研深度合作，在参阅大量优秀著作、论文等文献资料和网络信息资料，借鉴众多专家学者研究成果的精华，荟萃各地的成熟技术和成功经验，总结工作实践和当地马铃薯产业化发展经验的基础上，经过三年多辛苦工作，编写完成了《马铃薯资源化利用技术》一书。

本书系统介绍了马铃薯加工技术及资源化利用途径。一是以块茎为原料的马铃薯加工技术，主要包括：马铃薯食品加工、马铃薯制糖、淀粉加工、变性淀粉加工技术；二是马铃薯副产物的资源化利用技术，主要包括马铃薯渣处理技术、马铃薯渣饲料生产、单细胞蛋白（SCP）饲料生产、酒精生产、草酸生产、柠檬酸和柠檬酸钙生产、乳酸生产、果胶生产、营养性食品添加剂生产、马铃薯淀粉废水粗蛋白回收技术。在理论指导的前提下，尽量针对生产需要选择内容、传递信息、讲解方法，突出实用技术；尽量选择来自生产一线的成功经验和鲜活案例，引导读者在阅读、分析的过程中获得启迪与发展，传承与创新并重，突出引导性。本书适合大专院校、科研单位、生产企业、农业管理部门从事马铃薯研究、生产、开发、推广人员阅读参考，可作为高职高专院校、中等职业学校马铃薯生产加工相关专业教材，同时可作为马铃薯生产企业、马铃薯种植农户等一线职工和农民的培训教材和参考用书。

本书是《马铃薯科学与技术丛书》之一，由定西师范高等专科学校杨声教授担任丛书总主编并撰写了序言，韩黎明、童丹、原霁虹合作完成编写。编写过程中参阅了国内外诸多学者专家的著作和文献资料，得到了甘肃农业大学毕阳教授、甘肃省农科院王一航研究员、甘肃省定西市科技局高占彪研究员、定西市农科院杨俊丰研究员、甘肃陇西清吉洋

芋集团副总经理杨东林、甘肃圣大方舟马铃薯变性淀粉有限公司副总经理王艇弘、定西农夫薯园马铃薯种薯快繁有限公司总经理刘大江、定西师范高等专科学校贾国江教授、効天庆教授、何启明教授等高等院校、科研院所、生产加工企业专家的指导和帮助，并对最终定稿进行了认真评审论证。在此谨向各位学者专家表示诚挚谢意！

由于作者知识水平和能力的局限，书中难免有错漏不妥之处，敬请同行专家和广大读者批评指正。

作 者

2015 年 5 月

目 录

第1章 马铃薯概述.....	1
1.1 马铃薯的发展历史	1
1.2 马铃薯的生物学特性及其生长发育	3
1.3 马铃薯的产量形成与品质	5
1.4 中国马铃薯栽培区划	8
1.5 中国马铃薯产业优势区域布局规划.....	10
1.6 中国马铃薯产业发展概况.....	13
第2章 马铃薯的利用价值	24
2.1 马铃薯的营养价值.....	24
2.2 马铃薯加工产品概述.....	29
2.3 马铃薯副产物资源化利用途径.....	41
第3章 马铃薯采后处理	49
3.1 马铃薯采后生理活动.....	49
3.2 马铃薯采后处理与运输.....	53
3.3 马铃薯储藏.....	57
第4章 马铃薯食品加工技术	67
4.1 鲜切马铃薯制品.....	67
4.2 脱水马铃薯制品.....	72
4.3 冷冻马铃薯制品.....	83
4.4 马铃薯片加工.....	88
4.5 马铃薯膨化食品	102
4.6 马铃薯三粉加工	112
第5章 马铃薯制糖.....	139
5.1 马铃薯淀粉糖常规生产工艺	139
5.2 马铃薯制糖工艺	146
5.3 普鲁兰多糖生产	153

第 6 章 马铃薯淀粉生产	164
6.1 马铃薯淀粉生产工艺概况	165
6.2 马铃薯输送工艺及设备	166
6.3 马铃薯清洗工艺及设备	173
6.4 马铃薯计量工艺及设备	176
6.5 马铃薯锉磨工艺及设备	182
6.6 马铃薯淀粉与纤维分离工艺及设备	190
6.7 马铃薯淀粉乳旋流洗涤工艺及设备	200
6.8 马铃薯淀粉乳液脱水工艺及设备	210
6.9 马铃薯湿淀粉干燥工艺及设备	223
第 7 章 马铃薯变性淀粉的生产和应用	239
7.1 马铃薯淀粉变性的基本原理和方法	239
7.2 马铃薯变性淀粉的生产及应用	246
第 8 章 马铃薯副产物资源化利用	272
8.1 马铃薯渣处理技术	272
8.2 马铃薯渣饲料生产	275
8.3 单细胞蛋白 (SCP) 饲料的生产	279
8.4 酒精的生产	292
8.5 草酸的生产	298
8.6 柠檬酸和柠檬酸钙的生产	301
8.7 乳酸生产	306
8.8 果胶生产	309
8.9 膳食纤维 (DF) 生产	311
8.10 营养性食品添加剂的生产	314
8.11 马铃薯淀粉废水粗蛋白回收技术	315
第 9 章 马铃薯淀粉废水处理技术	319
9.1 马铃薯淀粉废水来源、特征、水量和水质	319
9.2 马铃薯淀粉废水治理技术路线和工艺流程	322
9.3 马铃薯清洗和输送废水处理工艺	326
9.4 马铃薯淀粉废水末端处理系统——污水处理站	330
9.5 马铃薯淀粉废水预 (物理) 处理系统	332
9.6 马铃薯淀粉废水厌氧生物处理系统	341
9.7 马铃薯淀粉废水水解酸化生物处理系统	347
9.8 马铃薯淀粉废水好氧和缺氧好氧生物处理系统	349

9.9 马铃薯淀粉废水深度处理系统	363
9.10 污泥处理和处置	374
9.11 污水处理工程实例（工艺流程）	377
参考文献	379

第 1 章 马铃薯概述

马铃薯是世界上广泛种植的高营养的重要农作物之一，是继水稻、小麦和玉米之后的第四大粮食作物。中国是全球马铃薯第一生产大国，马铃薯及其相关产业对于扩大就业和提高城乡居民生活水平作出了重要贡献。

1.1 马铃薯的发展历史

马铃薯的发现、传播和人类的活动密切相关。马铃薯在生产上的丰产性，生态上的适应性，经济上的高效益，营养上的丰富价值，使它从被发现以来，沿着传播发展的道路，“改造了欧洲”，“填饱了爱尔兰人的肚子”，产生了“革命”性的影响……

1.1.1 马铃薯的起源

马铃薯起源于南美洲。作为栽培作物，马铃薯在南美洲栽培的历史非常悠久。远在新石器时代人类刚刚创立农业的时候起，在南美洲安第斯山地区居住的印第安人为了生存的需要，在野生植物中寻找可以充饥的东西时，便发现了马铃薯的薯块可以吃，并用木棒、石器掘松土地，栽种马铃薯，获得了下一代马铃薯薯块，这就形成了马铃薯的原始栽培，距今约有 8000 年的历史。

考古学家认为：南美洲秘鲁以及沿安第斯山麓智利沿岸以及玻利维亚等地，都是马铃薯的故乡。马铃薯原产于南美洲秘鲁和智利的高山地区，从南纬 50° 起向北南美、中美等国家延伸到美国南部各州，共有 150 个马铃薯种，其中绝大部分生长在南美洲。根据科学考证，马铃薯有两个起源中心：栽培种的起源中心为秘鲁和玻利维亚交界处的“的的喀喀湖”盆地中心地区，南美洲的哥伦比亚、秘鲁及沿安第斯山麓智利海岸以及玻利维亚、乌拉圭等地区都是马铃薯的故乡。野生种的起源中心则是中美洲及墨西哥，在那里分布着系列倍性的野生多倍体种，即 $2n=24$ ， $2n=36$ ， $2n=48$ ， $2n=60$ 和 $2n=72$ 等种。

通过许多科学工作者的调查研究，现在南美洲有 3 个地方的茄属植物与马铃薯起源有密切关系：一是墨西哥，因为在那里分布有马铃薯的野生种；二是玻利维亚和秘鲁安第斯山区，因为在那里还保存着各种不同的栽培马铃薯较原始的种型；三是智利和附近沿海山区，因为那里同时有各种栽培马铃薯和野生种。现在可以断定，马铃薯的原产地是中安第斯山地区，包括智利北部、秘鲁、玻利维亚、厄瓜多尔以及哥伦比亚等处。但野生种的分布范围，则超出南美洲以外，在墨西哥及美国西南部都有分布。有的学者认为马铃薯共有 7 个栽培种，主要分布在南美洲的安第斯山脉及其附近沿海一带的温带和亚热带地区。最重要的马铃薯栽培种是四倍体种。四倍体栽培种马铃薯向世界各地传播，最初从南美的哥伦比亚将短日照类型引入欧洲的西班牙，经人工选择，成为长日照类型；后又传播到亚

洲、北美、非洲南部和澳大利亚等地。

关于马铃薯起源于南美洲安第斯山中部西麓濒临太平洋的秘鲁、玻利维亚地区，在不同的书籍和文献中多有涉及，也成为公论。到目前为止，人们在南美洲发现的人类村落遗址考证，原始人在南美洲见到野生马铃薯应在14000年以前。马铃薯经印第安人驯化，其栽培历史约有8000年。

1.1.2 马铃薯的发现和传播

马铃薯的发现、传播和栽培给人类带来了巨大的福利。英国科学家沙拉曼（R. Salaman）在论述马铃薯的起源与传播时说：“哥伦布发现新大陆，给我们带来的马铃薯是人类真正有价值的财富之一。马铃薯的驯化和广泛栽培，是人类征服自然最卓越的事件之一。”

1.1.2.1 马铃薯的发现

马铃薯第一次被旧大陆人认识是在1536年，继哥伦布接踵到达新大陆的西班牙探险队员到达马格达雷那河上游，现今哥伦比亚境内万列兹镇索罗科塔村附近，北纬7°的地方，他们第一次见到马铃薯。1538年到达秘鲁的西班牙航海家沈沙·德·勒奥（Sierra De leon）是最早把印第安人培育的马铃薯介绍给欧洲的人。他详细地记录了在这个新国度见到的一切。1553年，他在西班牙塞维利亚城出版了一本书《秘鲁纪事》，欧洲人从西班牙的这本书中第一次知道了马铃薯。

1.1.2.2 马铃薯在欧洲的传播

马铃薯引进欧洲有两条路线：

一路是1551年西班牙人瓦尔德维（Valdeve）把马铃薯块茎带至西班牙，并向国王卡尔五世报告这种珍奇植物的食用方法。但直至1570年才引进马铃薯并在南部地区种植。西班牙人引进的马铃薯后来传播到欧洲大部分国家以及亚洲一些地区。

另一路是1565年英国人哈根（J. Haukin）从智利把马铃薯带至爱尔兰；1581年英国航海家特莱克（S. F. Drake）从西印度洋群岛向爱尔兰大量引进种薯，以后遍植英国三岛。英国人引进的马铃薯后来传播到苏格兰、威尔士以及北欧诸国，又引种至大不列颠王国所属的殖民地以及北美洲。18世纪中期马铃薯已传播到世界大部分地区种植，它们都是16世纪引进欧洲的马铃薯所繁殖的后代。

1.1.2.3 马铃薯在亚洲的传播

马铃薯从海路向亚洲传播有三条路线：一路是16世纪中期和17世纪初荷兰人把马铃薯传入新加坡、日本和中国的台湾；第二路是17世纪中期西班牙人把它携带至印度和爪哇等地；第三路是英国传教士18世纪把马铃薯引种至新西兰和澳大利亚。

1.1.2.4 中国马铃薯的引进及推广

大约在16世纪中期，马铃薯从南北两条路线传入我国并广布于大部分地区。

第一路：马铃薯可能由荷兰人从海路引进京津和华北地区。16世纪北京是全国的政治、经济和文化中心，外国的政治家、商人和传教士纷至沓来，特别是荷兰和日本使臣经天津入京都觐见皇帝，最大可能把马铃薯作为珍品奉献。明末万历年间蒋一葵撰著的《长安客话》（1600—1610）卷2“皇都杂记”，记述北京地区种植的马铃薯名为土豆。《长安客话》所记述的为明代中叶北京城郊的史迹。据推算，明代中叶应限定在1500—1550年。因此，可以认为马铃薯引种北京的下限时间应在1550年以前，距今已有400多

年。徐光启《农政全书》(1628)、清康熙二十一年(1682)编纂的《畿辅通志》、乾隆四年(1739)的《天津府志》、乾隆二十七年(1762)的《正定府志》都有记述。其他还有乾隆年间的《祁州志》和《丰润县志》、雍正年间的《深州志》等,都有关于北京及其附近州县种植马铃薯的记载。

第二路:马铃薯由荷兰人从东南亚引种至中国台湾,之后传入闽粤沿海各省。劳费尔(B. Laufer)在其所著的《美洲植物的传播》一书中谈到,荷兰人斯特鲁斯(H. Struys)1650年访问台湾时看到当地人种植的马铃薯。当时(1622—1662)的台湾尚为荷兰的殖民地,故称马铃薯为荷兰薯;或由荷兰人从爪哇引入,称为爪哇薯。台湾与闽粤地区交往频繁,可能马铃薯很快就被引进沿海地区种植了。康熙三十九年(1700)福建《松溪县志》有马铃薯的记载。乾隆二十五年(1760)的《台湾府志》中,还称马铃薯为荷兰豆,至今闽粤人仍有沿用荷兰薯之名的。在重修乾隆《兴化府莆田县志》中谈到马铃薯:“近有一种,来自台湾,形似莱菔,肉松而色黄,味同甘薯。”显然,福建人是在栽植甘薯之后才认识马铃薯的。

我国17~18世纪的文献中,以四川、陕西、湖北诸省方志中记述马铃薯为最多,这也不排除稍后马铃薯从西南或西北陆路传入的可能性。但缺少可以佐证的文献资料。

我国引进和栽培马铃薯有400多年的历史,并积累了丰富的栽培经验,在近代增加粮食产量和促进农业发展中发挥了重要作用。目前,我国马铃薯种植面积占世界总面积的25%,是世界第一马铃薯种植大国。

1.1.3 国际马铃薯中心(CIP)的建立

在联合国国际农业研究咨询组(CGIAR)的支持下,国际马铃薯中心(International Potato Center, CIP)1972年在马铃薯的故乡——秘鲁利马建立。它是一个非盈利性的独立的科学机构,其宗旨为改善世界粮食品质和增加粮食产量,扩大马铃薯的种植面积,并把马铃薯生产技术列为首要研究和推广工作。总部设有6个系,即遗传资源系、遗传育种系、线虫和昆虫系、病理系、生理系、社会科学系。开展以下10个领域的科学研究:①收集、保存和利用遗传资源;②培育和分配育种材料;③真菌和细菌病害的防治;④病毒及类病毒病的防治;⑤害虫的综合防治;⑥温带马铃薯生产;⑦冷凉地区马铃薯生产;⑧产后技术;⑨种薯技术;⑩马铃薯的食物系统。

每项研究领域下设十几个研究课题。CIP相继在世界各地设立8个地区中心,由中心总部提供经费,采用合同方式,支持各地区科学家开展理论和应用技术研究,以及进行生产培训和专业培训,保证把科研成果及时转让,并使研究和推广有机地结合起来。CIP把世界的马铃薯科研和生产有效地进行组织和协调并取得显著的成绩,受到世界各国的称赞。1985年,国际马铃薯中心在中国北京建立第8个地区马铃薯分中心,负责马铃薯学术交流和开展合作研究。1990年6月18日,CIP创始人之一约翰·尼德尔豪泽(John Niederhauser)荣获联合国粮农组织颁发的世界粮食奖。

1.2 马铃薯的生物学特性及其生长发育

马铃薯(*Solanum tuberosum*; potato),又称土豆、洋芋、山药蛋等,茄科

(*Solanaceae*) 茄属 (*Solanum*) 多年生草本植物, 但作一年生或一年两季栽培。

1.2.1 马铃薯的生物学特性

生产应用的品种都属于茄属马铃薯亚属能形成地下块茎的种 (*Solanum tuberosum* L.), 染色体数 $2n=2x=48$ 。

马铃薯是双子叶种子植物, 植株由地上和地下两部分组成, 按形态结构可分为根、茎、叶、花、果实和种子等几部分。作为产品器官的薯块是马铃薯地下茎膨大形成的结果。一般生产上均采用块茎进行无性繁殖。

地上部分包括茎、叶、花、果实和种子。地上茎呈棱形, 有毛。奇数羽状复叶。聚伞花序顶生, 花白、红或紫色。浆果球形, 绿或紫褐色。种子肾形, 黄色。

地下部分包括根、地下茎、匍匐茎和块茎。地下块茎呈圆、卵、椭圆等形, 有芽眼, 皮红、黄、白或紫色, 多用块茎繁殖。可食用, 是重要的粮食、蔬菜兼用作物。

1.2.2 马铃薯的生长发育

1.2.2.1 马铃薯的生长发育过程

门福义等人根据马铃薯茎叶生长与产量形成的相互关系, 并结合我国北方一作区的生育特点, 将马铃薯的生长发育过程划分为6个生育时期:

①芽条生长期: 从块茎萌芽(播种)至幼苗出土为芽条生长期;

②幼苗期: 从幼苗出土到现蕾为幼苗期;

③块茎形成期: 从现蕾至第一花序开花为块茎形成期;

④块茎增长期: 盛花至茎叶开始衰老为块茎增长期;

⑤淀粉积累期: 茎叶开始衰老到植株基部2/3左右茎叶枯黄为淀粉积累期, 经历20~30d;

⑥成熟收获期: 植株地上部茎叶枯黄(或被早霜打死), 块茎内淀粉积累达到最高值, 即为成熟期。

马铃薯的植株是在一定条件下由根、茎、叶3部分密切配合, 高度协调下生长发育的。播种的块茎萌芽后、幼苗出土前的生长全靠块茎中的养分和幼根从土壤中吸取的水分和营养物质。一旦幼苗出土, 其绿色茎、叶即开始利用光合作用制造养分。随着植株中养分的分配和根、茎、叶的生长发育, 才形成完整的植株生长体系。块茎的产量高低与植株的强弱密切相关。根深叶茂是丰产的基础, 两者是相辅相成的。一方面, 根系发育良好才能从土壤中吸取足够的水分和无机元素, 以供植株各部分生长利用。虽然植株生长需要20多种元素, 但大量的是氮、磷、钾元素, 钙、镁、硫、铁、钠、硼、铜、锰、锌等虽需要量少, 当严重缺乏时, 植株生长发育也会受到影响或出现病症。另一方面, 植株生长所需要的大量有机物质, 是靠叶子的叶绿素在光合作用下形成的。同时不论根部吸收的无机元素或叶子制造的有机成分, 都必须通过茎部组织输送和分配。所以, 植株的生长发育和块茎的膨大增长, 都是根、茎、叶综合协调的结果。

1.2.2.2 马铃薯的生长发育特性

一株由种薯无性繁殖长成的马铃薯植株, 从块茎萌芽, 长出枝条, 形成主轴, 到以主轴为中心, 先后长成地下部分的根系、匍匐茎、块茎, 地上部分的茎、分枝、叶、花、果

实时，成为一个完整的独立的植株，同时也就完成了它的由芽条生长期、幼苗期、块茎形成期、块茎增长期、淀粉积累期、成熟收获期组成的全部生育周期。

马铃薯物种在长期的历史发展和由野生到驯化成栽培种的过程中，对于环境条件逐步产生了适应能力，造成它的独有特性，形成了一定的生长规律。马铃薯具有喜凉、分枝、再生、休眠等特性。

1. 喜凉特性

马铃薯性喜冷凉，是喜欢低温的作物。其地下薯块的形成和生长需要疏松透气、凉爽湿润的土壤环境。块茎生长的适温是 16~18℃，当气温高于 25℃ 时，块茎停止生长；茎叶生长的适温是 15~25℃，超过 39℃ 停止生长。

2. 分枝特性

马铃薯的地上茎和地下茎、匍匐茎、块茎都有分枝的能力。

3. 再生特性

马铃薯的主茎或分枝具有很强的再生特性。在生产和科研上可利用这一特性，进行“育芽掰苗移栽”，“剪枝扦插”和“压蔓”等来扩大繁殖倍数，加快新品种的推广速度。特别是近年来，在种薯生产上普遍应用的茎尖组织培养生产脱毒种薯的新技术，仅用非常小的一小点茎尖组织，就能培育成脱毒苗。脱毒苗的切段扩繁，微型薯生产中的剪顶扦插等，都大大加快了繁殖速度，并获得了明显的经济效果。

4. 休眠特性

马铃薯新收获的块茎，即使给以发芽的适宜条件（温度 20℃、湿度 90%、O₂ 浓度 2%），也不能很快发芽，必须经过一段时期才能发芽，这种现象称为块茎的休眠。

块茎的休眠特性，在马铃薯的生产、储藏和利用上，都有着重要的作用。在用块茎做种薯时，休眠的解除程度，直接影响着田间出苗的早晚、出苗率、整齐度、苗势及马铃薯的产量。块茎作为食用或工业加工原料时，由于休眠的解除，造成水分、养分大量消耗，甚至丧失商品价值。储藏马铃薯块茎时，要根据所储品种休眠期的长短，安排储藏时间和控制窖温，防止块茎在储藏过程中过早发芽，而损害使用价值。储藏食用块茎、加工用原料块茎和种用块茎，应在低温和适当湿度条件下储藏。如果块茎需要作较长时间和较高温度的储藏，则可以采取一些有效的抑芽措施。如施用抑芽剂等，防止块茎发芽，减少块茎的水分和养分损耗，以保持块茎的良好商品性。了解块茎休眠的原因及其萌芽的特性，对于生产和储藏保鲜都具有十分重要的意义。

1.3 马铃薯的产量形成与品质

1.3.1 马铃薯的产量形成

1.3.1.1 马铃薯的产量形成特点

1. 产品器官是无性器官

马铃薯的产品器官是块茎，是无性器官，因此在马铃薯生长过程中，对外界条件的需求，前、后期较一致，人为控制环境条件较容易，较易获得稳产高产。

2. 产量形成时间长

马铃薯出苗后 7~10d 匍匐茎伸长，再经 10~15d 顶端开始膨大形成块茎，直到成熟，经历 60~100d 的时间。产量形成时间长，因而产量高而稳定。

3. 马铃薯的库容潜力大

马铃薯块茎的可塑性大，一是因为茎具有无限生长的特点，块茎是茎的变态仍具有这一特点；二是因为块茎在整个膨大过程中不断进行细胞分裂和增大，同时块茎的周皮细胞也作相应的分裂增殖，这就在理论上提供了块茎具备无限膨大的生理基础。马铃薯的单株结薯层数可因种薯处理、播深、培土等不同而变化，从而使单株结薯数发生变化。马铃薯对外界环境条件反应敏感，受到土壤、肥料、水分、温度或田间管理等方面的影响，其产量变化大。

4. 经济系数高

马铃薯地上茎叶通过光合作用所同化的碳水化合物，能够在生育早期就直接输送到块茎这一储藏器官中去，其“代谢源”与“储藏库”之间的关系，不像谷类作物那样要经过生殖器官分化、开花、授粉、受精、结实等一系列复杂的过程，这就在形成产品的过程中，可以节约大量的能量。同时，马铃薯块茎干物质的 80% 左右是碳水化合物。因此，马铃薯的经济系数高，丰产性强。

1.3.1.2 马铃薯的淀粉积累

1. 马铃薯块茎淀粉积累规律

块茎淀粉含量的高低是马铃薯食用和工业利用价值的重要依据。一般栽培品种，块茎淀粉含量为 12%~22%，占块茎干物质的 72%~80%，由 72%~82% 的支链淀粉和 18%~28% 的直链淀粉组成。

块茎淀粉含量自块茎形成之日起就逐渐增加，直到茎叶全部枯死之前达到最大值。单株淀粉积累速度是块茎形成期缓慢，块茎增长至成熟期逐渐加快，成熟期呈直线增加，积累速率为 2.5~3g/d 株。各时期块茎淀粉含量始终高于叶片和茎秆淀粉含量，并与块茎增长期前叶片淀粉含量、全生育期茎秆淀粉含量呈正相关。即块茎淀粉含量决定于叶子制造有机物的能力，更决定于茎秆的运输能力和块茎的贮积能力。

块茎中淀粉含量的绝对增加和相对增加是淀粉粒不断增大和各种大小淀粉粒之间比例不断变化的结果。全生育期块茎淀粉粒直径呈上升趋势，且与块茎淀粉含量呈显著或极显著正相关。

块茎淀粉含量因品种特性、气候条件、土壤类型及栽培条件而异。晚熟品种淀粉含量高于早熟品种，长日照条件和降雨量少时块茎淀粉含量提高。壤土上栽培较黏土上栽培的淀粉含量高。氮肥施用量多则块茎淀粉含量低，但可提高块茎产量。钾能促进叶子中的淀粉形成，并促进淀粉从叶片流向块茎。

2. 干物质积累分配与淀粉积累

马铃薯块茎产量形成和淀粉积累不仅受同化产物的生产、积累的影响，而且与同化产物的分配转移有密切关系。马铃薯一生单株同化产物积累呈“S”形曲线变化。经 C^{14} 标记研究发现，出苗至块茎形成期干物质积累量小，且主要用于叶部自身建设和维持代谢活动，叶片中干物质积累量占全部干物质的 54% 以上。块茎形成期至成熟期干物质积累量大，并随着块茎形成和增长，干物质分配中心转向块茎，块茎中积累量约占 55% 以上。成熟期，由于部分叶片死亡脱落，单株干重略有下降，而且原来储存在茎叶中的干物质的

20%以上也转移到块茎中去,块茎干重占总干重的75%~82%。总之,全株干物质在各器官分配前期以茎叶为主,后期以块茎为主,单株干物质积累量越多。则产量和淀粉含量越高。

1.3.2 马铃薯的品质

马铃薯按用途可分为食用型、食品加工型、淀粉加工型、种用型几类。不同用途的马铃薯其品质要求也不同。

1.3.2.1 鲜食马铃薯

鲜食薯的块茎,要求薯形整齐、表皮光滑、芽眼少而浅,块茎大小适中、无变绿;出口鲜薯要求黄皮黄肉或红皮黄肉,薯形长圆或椭圆形,食味品质好,不麻口,蛋白质含量高,淀粉含量适中等。块茎食用品质的高低通常用食用价来表示。食用价=蛋白质含量/淀粉含量 $\times 100$,食用价高的,营养价值也高。

1.3.2.2 食品加工用马铃薯

目前,我国马铃薯食品加工产品有炸薯条、炸薯片、脱水制品等,但最主要的加工产品仍为炸薯条和炸薯片。二者对块茎的品质要求有:

1. 块茎外观

表皮薄而光滑,芽眼少而浅,皮色为乳黄色或黄棕色,薯形整齐。炸薯片要求块茎为圆球形,直径40~60mm为宜。炸薯条要求薯形长而厚,薯块大而宽肩者(两头平),直径在50mm以上或重量在200g以上。

2. 块茎内部结构

薯肉为白色或乳白色,炸薯条也可用薯肉淡黄色或黄色的块茎。块茎髓部长而窄,无空心、黑心、异色等。

3. 干物质含量

干物质含量高可降低炸片和炸条的含油量,缩短油炸时间,减少耗油量,同时可提高成品产量和质量。一般油炸食品要求22%~25%的干物质含量。干物质含量过高,生产出来的食品比较硬(薯片要求酥脆,薯条要求外酥内软),质量变差。由于比重与干物质含量有绝对的相关关系,故在实际生产中,一般用测定比重来间接测定干物质含量。炸片要求比重高于1.080,炸条要求比重高于1.085。

4. 还原糖含量

还原糖含量的高低是油炸食品加工中对块茎品质要求最为严格的指标。还原糖含量高,在加工过程中,还原糖和氨基酸进行所谓的“美拉德反应”(Maillard Reaction),使薯片、薯条表面颜色加深为不受消费者欢迎的棕褐色,并使成品变味,质量严重下降。理想的还原糖含量约为鲜重的0.1%,上限不超过0.30%(炸片)或0.50%(炸薯条)。块茎还原糖含量的高低,与品种、收获时的成熟度、储存温度和时间等有关。

1.3.2.3 淀粉加工用马铃薯

淀粉含量的高低是淀粉加工时首要考虑的品质指标。因为淀粉含量每相差1%,生产同样多的淀粉,其原料相差6%。作为淀粉加工用品种的马铃薯其淀粉含量应在16%或以上。块茎大小以50~100g为宜,大块茎(100~150g以上者)和小块茎(50g以下者)淀粉含量均较低。为了提高淀粉的白度,应选用皮肉色浅的品种。