

现代食品深加工技术丛书

甘薯深加工技术

Sweet Potato Processing Technology

木泰华 孙红男 张 苗 王 成 等 编著



科学出版社

现代食品深加工技术丛书

甘薯深加工技术

SWEET POTATO PROCESSING TECHNOLOGY

木泰华 孙红男 张 苗 王 成等 编著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

我国甘薯资源丰富,是仅次于稻谷、玉米和小麦之后的第四大主要粮食作物,在国民经济中占有重要地位。本书对甘薯淀粉及其系列产品、甘薯蛋白、甘薯膳食纤维、甘薯果胶、甘薯颗粒全粉、甘薯花青素、甘薯绿原酸的生产加工技术进行系统详细介绍,从而为我国甘薯资源的深加工与综合利用提供理论基础与技术支持。与此同时,本书还对甘薯深加工系列产品的物化及功能特性进行深入探讨,并对上述产品在食品、医药及化妆品领域的应用进行综述,这对于促进甘薯加工业的良性循环及产业结构升级具有重要意义。

本书可供国内大专院校和科研院所食品工艺学相关专业的本科生、研究生,企业研发人员,以及爱好、关注食品工艺学的读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

甘薯深加工技术 / 木泰华等编著. —北京:科学出版社,2014.12

(现代食品深加工技术丛书)

ISBN 978-7-03-041909-5

I. ①甘… II. ①木… III. ①甘薯-食品加工 IV. ①TS215

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 218076 号

责任编辑:贾 超 高 微 / 责任校对:鲁 素

责任印制:赵德静 / 封面设计:东方人华

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 12 月第 一 版 开本:720×1000 1/16

2014 年 12 月第一次印刷 印张:21

字数:400 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

“现代食品深加工技术丛书” 编写委员会

主 编 孙宝国

副主编 金征宇

编 委 (以姓氏拼音为序)

曹雁平	程云辉	段长青	哈益明	霍贵成	江连洲
孔保华	林 洪	林亲录	刘新旗	陆启玉	马汉军
马美湖	木泰华	单 杨	孙金才	王 静	王 强
王凤忠	魏益民	谢明勇	徐 岩	杨贞耐	叶兴乾
张 泓	张 敏	张 慊	张 偲	张春晖	张德权
张丽萍	张名位	赵谋明	周光宏	周素梅	

秘 书 贾 超

联系方式

电话:010-6400 1695

邮箱:jiachao@mail. sciencep. com

《甘薯深加工技术》

编撰委员会

主任委员 木泰华

副主任委员 孙红男 张苗 王成

委员 (以姓氏拼音为序)

陈井旺 邓福明 何伟忠 李鹏高 刘兴丽

马梦梅 梅 新 彭小燕 王晓梅 席利莎

熊志冬 张燕燕

丛 书 序

食品加工是指直接以农、林、牧、渔业产品为原料进行的谷物磨制、食用油提取、制糖、屠宰及肉类加工、水产品加工、蔬菜加工、水果加工和坚果加工等。食品深加工其实就是食品原料进一步加工,改变了食材的初始状态,如把肉做成罐头等。现在我国有机农业尚处于初级阶段,产品单调,初级产品多,而在发达国家,80%都是加工产品、精深加工产品。所以,这也是未来一个很好的发展方向。随着人民生活水平的提高,科学技术的不断进步,功能性的食品深加工将成为我国居民消费的热点,需求量大,市场前景广阔。

改革开放 30 多年来,我国食品产业总产值以年均 10% 以上的递增速度持续快速发展,已经成为国民经济中十分重要的独立产业体系,成为集农业、制造业、现代物流服务业于一体的增长最快、最具活力的国民经济支柱产业,成为我国国民经济发展极具潜力的新的经济增长点。2012 年,我国规模以上食品工业企业 33 692 家,占同期全部工业企业的 10.1%,食品工业总产值达到 8.96 万亿元,同比增长 21.7%,占工业总产值的 9.8%。预计 2015 年食品工业总产值将突破 12.3 万亿元。随着社会经济的发展和人民生活水平的提高,食品产业在保持持续上扬势头的同时,仍将有很大的发展潜力。

民以食为天。食品产业是关系到国民营养与健康的民生产业。随着国民经济的发展和人民生活水平的提高,人民对食品工业提出了更高的要求,食品加工的范围和深度不断扩展,所利用的科学技术也越来越先进。现代食品已朝着方便、营养、健康、美味、实惠的方向发展,传统食品现代化、普通食品功能化是食品工业发展的大趋势。新型食品产业又是高技术产业。近些年,具有高技术、高附加值特点的食品精深加工发展尤为迅猛。考虑到国内食品加工起步晚、中小企业多、技术相对落后,导致产品在市场上的竞争力弱,特组织了国内外食品加工领域的专家、教授,编著了“现代食品深加工技术丛书”。

本套丛书由多部专著组成,不仅包括传统的肉品深加工、稻谷深加工、水产品深加工、禽蛋深加工、乳品深加工、水果深加工、蔬菜深加工,而且包含了新型食材及其副产物的深加工、功能性成分的分离提取,以及现代食品综合加工利用新技术等。

各部专著的作者由国内工作在食品加工、研究第一线的专家担任。所有作者都根据市场的需求,详细论述食品工程中最前沿的相关技术与理念。不求面面俱到,但求精深、透彻,将国际上前沿、先进的理论与技术实践呈现给读者,同时还附有便于读者进一步查阅信息的参考文献。每一部对于大学、科研机构的学生或研究者来说都是重要的参考。希望能拓宽食品加工领域科研人员和企业技术人员的思路,推进食品技术创新和产品质量提升,提高我国食品的市场竞争力。

中国工程院院士



2014年3月

前 言

甘薯俗称红薯、白薯、地瓜、番薯、红苕、山芋等。原产于拉丁美洲，于明朝万历年间传入我国，至今已有 400 多年栽培历史。甘薯栽培具有低投入、高产出、耐干旱和耐瘠薄等特点，是仅次于水稻、小麦和玉米的主要粮食作物。在我国，甘薯主要用于制备淀粉及其制品如粉丝和粉条。在甘薯淀粉生产过程中会产生大量的薯浆、薯渣、薯皮和藤蔓等副产物。研究表明，上述副产物中含有蛋白、膳食纤维、果胶、花青素、绿原酸等多种功能成分，对调节人体机能有着重要作用。加强甘薯及其副产物中营养与功能性成分的研究与开发应用，对于促进甘薯加工业的良性循环及产业结构升级、改善人们的饮食结构具有重要意义。

近年来，本团队承担了“现代甘薯农业产业技术体系建设专项”、“国家科技支撑计划专题——甘薯加工适宜性评价与专用品种筛选”、“甘薯蛋白深加工技术的研究与开发”、“甘薯淀粉加工废液中蛋白回收技术中试与示范”、“甘薯深加工关键技术研究产业化示范”、“农产品加工副产物高值化利用技术引进与利用”等项目或课题。在甘薯加工研究领域进行了十余年的深入研究，攻克了一批关键技术，取得了一批科研成果，培养了一批技术人才。在此基础上编写了《甘薯深加工技术》一书。本书内容共 7 章：第 1 章介绍甘薯淀粉及其系列产品的生产工艺、物化特性和应用；第 2 章介绍甘薯蛋白的生产工艺、生物活性、功能特性及其在食品、医药等领域的应用；第 3 章介绍甘薯膳食纤维的生产工艺、生物活性、物化特性及其在食品、保健品等领域的应用；第 4 章介绍甘薯果胶的生产工艺、生物活性、物化特性及其在食品中的应用；第 5 章介绍甘薯颗粒全粉的开发背景、生产技术和工艺要点及其在食品领域的应用；第 6 章介绍甘薯花青素的研究现状、提取纯化工艺、稳定性、生物活性及其在医药、食品及化妆品等领域的应用；第 7 章介绍甘薯绿原酸的研究现状、提取纯化工艺、生物活性、稳定性及其在食品、医药保健、日用化工等领域的应用。本书是在本团队近年来研究工作的基础上撰写的，内容上更加突出系统性、新颖性与创新性。本书旨在为甘

薯的深加工与综合利用提供有益的参考和指导,进而为我国甘薯加工产业的科技创新提供技术支撑。

第1章由张苗、邓福明编著,第2章由陈井旺、李鹏高、熊志冬编著,第3章由王晓梅、马梦梅编著,第4章由梅新、彭小燕、张燕燕编著,第5章由王成、何伟忠编著,第6章由刘兴丽、木泰华编著,第7章由孙红男、席利莎编著。在编著过程中参考了国内外有关专家学者的论著,在此向他们表示最衷心的感谢。

鉴于作者水平所限以及甘薯深加工与综合利用领域发展迅猛,书中内容难免有不妥或疏漏之处,恳请各位读者批评指正。

木泰华

2014年1月

目 录

丛书序

前言

第 1 章 甘薯淀粉及其系列产品	1
1.1 概述	1
1.1.1 甘薯及甘薯淀粉	1
1.1.2 甘薯淀粉的结构与形态	1
1.1.3 甘薯淀粉的化学成分	4
1.1.4 甘薯淀粉的特性	5
1.1.5 甘薯粉丝及粉条	8
1.1.6 甘薯抗性淀粉	9
1.2 甘薯淀粉及其系列产品生产工艺	10
1.2.1 甘薯淀粉生产工艺	10
1.2.2 甘薯粉条及粉丝生产工艺	11
1.2.3 甘薯抗性淀粉生产工艺	13
1.3 甘薯淀粉及其系列产品物化特性	15
1.3.1 酸浆法与旋流法甘薯淀粉的结构和物化特性	15
1.3.2 酸浆法与旋流法甘薯淀粉粉条的品质比较	24
1.4 甘薯淀粉的应用	29
参考文献	30
第 2 章 甘薯蛋白	35
2.1 概述	35
2.1.1 甘薯蛋白的来源及结构特点	35
2.1.2 甘薯蛋白的生产工艺研究现状	37
2.1.3 甘薯蛋白的生物活性	37
2.1.4 甘薯蛋白的物化特性	38
2.2 甘薯蛋白的生产工艺	39
2.2.1 溶剂对甘薯蛋白提取效果的影响	39
2.2.2 盐析法	41
2.2.3 等电点沉淀法	42
2.2.4 泡沫分离法	44

2.2.5 超滤法	48
2.2.6 热变性法	51
2.2.7 甘薯蛋白的纯化方法	54
2.3 甘薯蛋白的生物活性	55
2.3.1 抗氧化活性	55
2.3.2 甘薯蛋白的胰蛋白酶抑制活性	58
2.3.3 甘薯蛋白的抗癌活性	59
2.3.4 预防肥胖和减肥降脂作用	60
2.4 甘薯蛋白的功能特性	63
2.4.1 甘薯蛋白的溶解性	64
2.4.2 甘薯蛋白的乳化特性	65
2.4.3 甘薯蛋白的凝胶特性	74
2.4.4 甘薯蛋白的结构特性	75
2.4.5 甘薯蛋白发泡性及泡沫稳定性	78
2.4.6 甘薯可溶性蛋白质持水和持油能力	80
2.5 甘薯蛋白的应用	80
参考文献	81
第3章 甘薯膳食纤维	86
3.1 概述	86
3.1.1 膳食纤维的定义	86
3.1.2 膳食纤维的组成	86
3.1.3 膳食纤维的分类	87
3.1.4 膳食纤维的提取方法	87
3.1.5 膳食纤维的物化功能特性	88
3.1.6 膳食纤维防治肥胖症的作用机制	89
3.2 甘薯膳食纤维生产工艺	91
3.2.1 物理筛分法	91
3.2.2 筛分与酶解结合法	93
3.2.3 生物技术法	94
3.2.4 化学分离法	97
3.2.5 化学试剂-酶结合法	97
3.3 甘薯膳食纤维生物活性	98
3.3.1 甘薯膳食纤维预防肥胖症的功效	98
3.3.2 甘薯膳食纤维治疗肥胖症的功效	106
3.3.3 甘薯膳食纤维的其他作用	113

3.4 甘薯膳食纤维物化特性	114
3.4.1 不同因素对甘薯膳食纤维持水能力的影响	114
3.4.2 不同因素对甘薯膳食纤维吸水膨胀性的影响	115
3.4.3 温度对甘薯膳食纤维持油能力的影响	117
3.4.4 不同因素对甘薯膳食纤维黏度的影响	117
3.4.5 不同品种甘薯膳食纤维的持水能力	118
3.4.6 不同品种甘薯膳食纤维的吸水膨胀性	119
3.4.7 不同品种甘薯膳食纤维的持油能力	120
3.5 甘薯膳食纤维的应用	120
参考文献	124
第4章 甘薯果胶	130
4.1 概述	130
4.1.1 果胶的分布	130
4.1.2 果胶的化学结构	131
4.1.3 果胶结构的研究方法	133
4.1.4 果胶的制备	134
4.1.5 果胶的功能特性	135
4.2 甘薯果胶的生产工艺	140
4.2.1 甘薯果胶的提取工艺流程	140
4.2.2 果胶溶液中半乳糖醛酸含量的测定	141
4.2.3 甘薯果胶得率和半乳糖醛酸含量的影响因素	141
4.2.4 甘薯果胶提取工艺参数的优化	143
4.3 甘薯果胶的生物活性	145
4.3.1 pH 改性甘薯果胶的制备	145
4.3.2 热改性甘薯果胶的制备	145
4.3.3 细胞培养	146
4.3.4 甘薯果胶对癌细胞存活率的影响	146
4.3.5 甘薯果胶对癌细胞增殖的影响	146
4.3.6 甘薯果胶对癌细胞转移的影响	150
4.4 甘薯果胶物化特性	158
4.4.1 甘薯果胶黏度分析	158
4.4.2 甘薯果胶的胶凝性	161
4.4.3 甘薯果胶的乳化特性	170
4.5 甘薯果胶的应用	182
参考文献	184

第5章 甘薯颗粒全粉	189
5.1 甘薯颗粒全粉的开发背景	189
5.2 甘薯颗粒全粉生产技术及工艺要点	189
5.2.1 甘薯颗粒全粉生产加工技术	189
5.2.2 甘薯颗粒全粉生产加工工艺要点	190
5.3 甘薯颗粒全粉的加工应用	193
5.3.1 甘薯颗粒全粉在面包中的应用	193
5.3.2 甘薯颗粒全粉在饼干中的应用	195
5.3.3 甘薯颗粒全粉在面条中的应用	197
5.3.4 甘薯颗粒全粉在浓浆食品中的应用	198
参考文献	198
第6章 甘薯花青素	200
6.1 概述	200
6.1.1 花青素简介	200
6.1.2 甘薯花青素研究现状	204
6.2 甘薯花青素的制备	212
6.2.1 甘薯花青素的提取	212
6.2.2 甘薯花青素的纯化	222
6.3 甘薯花青素的稳定性	226
6.3.1 温度对甘薯花青素稳定性的影响	226
6.3.2 压力对甘薯花青素稳定性的影响	227
6.3.3 不同 pH 加热处理对甘薯花青素稳定性的影响	227
6.3.4 不同溶剂处理对甘薯花青素热降解的影响	229
6.4 甘薯花青素生物活性	235
6.4.1 甘薯花青素解酒及对急性酒精性肝损伤作用研究	235
6.4.2 甘薯花青素对亚急性酒精性肝损伤作用研究	242
6.5 甘薯花青素的应用	249
参考文献	251
第7章 甘薯绿原酸	261
7.1 概述	261
7.1.1 绿原酸类物质的组成及结构	261
7.1.2 绿原酸类物质的生物活性	263
7.1.3 绿原酸类物质的提取、分离纯化方法	265
7.1.4 绿原酸类物质的定性定量分析方法	267

7.2 甘薯绿原酸的制备工艺	269
7.2.1 甘薯茎叶前处理	269
7.2.2 总酚含量的测定	270
7.2.3 甘薯茎叶绿原酸类物质的粗提取	270
7.2.4 AB-8 大孔吸附树脂纯化甘薯茎叶绿原酸	270
7.2.5 纯化所得甘薯茎叶绿原酸类物质的 HPLC 分析	275
7.3 甘薯绿原酸的生物活性	277
7.3.1 甘薯绿原酸类物质的体外抗氧化活性	278
7.3.2 甘薯绿原酸类物质的抑菌活性	282
7.3.3 甘薯绿原酸类物质的醛糖还原酶抑制活性	283
7.3.4 甘薯绿原酸类物质的抗癌活性	284
7.3.5 甘薯绿原酸类物质的其他生物活性	284
7.4 甘薯绿原酸的稳定性	285
7.4.1 不同 pH 溶剂体系对甘薯绿原酸加工稳定性的影响	285
7.4.2 不同热处理对甘薯茎叶绿原酸加工稳定性的影响	286
7.4.3 不同光照条件对甘薯茎叶绿原酸加工稳定性的影响	288
7.5 甘薯绿原酸的应用	290
参考文献	291
附录 1 甘薯蛋白生产线	298
附录 2 甘薯膳食纤维生产线	299
附录 3 甘薯果胶生产线	300
英文缩略词表	301
关键词索引	305
图索引	311
表索引	316

第 1 章 甘薯淀粉及其系列产品

1.1 概 述

1.1.1 甘薯及甘薯淀粉

甘薯(*Ipomoea batatas* Lam.),通常也称番薯、白薯、红苕、山芋、红薯、地瓜等,是旋花科一年生草本植物。据联合国粮食及农业组织(FAO)统计,2010 年世界上有 100 多个国家种植甘薯,亚洲产量第一,占 91.4%,非洲产量次之,占 5.1%,其次是拉丁美洲,欧洲种植较少。亚洲种植面积较大的国家有中国、日本、韩国、越南、印度尼西亚等(Zhu et al.,2011)。自 16 世纪(明朝)以来,甘薯就成为我国最重要的作物之一,在我国的种植面积极大,从南部的海南省到北部的黑龙江省均有种植(陆漱韵等,1998)。现今,我国每年的甘薯产量约 1.17 亿 t,约占世界 90%的甘薯产量和基因资源。而淀粉是甘薯的主要组成成分,占其干重的 50%~80%(Aina et al.,2009;Zhu et al.,2011)。因此,甘薯是一种理想的淀粉资源和能源作物。

甘薯淀粉在食品、化工及医药行业上起着重要的作用。在工业上,原料经过初加工,可生产出天然淀粉和改性淀粉。经过对天然淀粉和改性淀粉的深加工,即可生产出多种淀粉产品,如葡萄糖、麦芽糖淀粉酶、糖类代用物、柠檬酸、山梨糖醇、维生素 C 等(蔡辉儒等,2008)。在食品中,甘薯淀粉不仅可作为加工材料还可作为食品添加剂,除可制造粉丝、粉条、凉粉、粉皮等产品外,还能添加在食品中作为增稠剂、稳定剂或组织增强剂,以改善食品的持水性、控制水分流动和保持食品储藏质量(蔡辉儒等,2008;Aina et al.,2009)。在众多加工农产品中,淀粉应用范围最广。淀粉及其制品不仅可用于汤类、肉类、调味品、面包、饮料等食品中,而且还可用于纺织品、纸、燃料、胶黏剂、塑料、油漆等产品的加工生产。而淀粉的结构、组成及其特性是决定其应用的重要指标(Chen,2003)。

1.1.2 甘薯淀粉的结构与形态

1. 直链和支链淀粉

淀粉是由单一类型的糖单元组成的高分子多糖。淀粉的基本构成单位为 D-葡萄糖,D-葡萄糖脱去水分子后经由糖苷键连接在一起所形成的共价聚合物就是淀粉分子。与其他植物类淀粉相同,甘薯淀粉的结构主要是由直链淀粉和支链淀

粉两种聚合物所构成。

1) 直链淀粉结构

直链淀粉的结构通常以直链淀粉的平均聚合度(DP)表示,其中数量平均聚合度(DP_n)和质量平均聚合度(DP_w)是 DP 最常用的表示方法。同时,把 DP 的范围称为表观聚合度分布。甘薯直链淀粉的 DP_n 为 3025~4400, DP_w 为 5400, DP 的分布范围为 840~19 100(高嘉安,2001)。甘薯淀粉的 DP_w/DP_n 比值较低,为 1.3,表明甘薯淀粉的相对分子质量分布较窄,聚合度分布均匀程度高,并且相对分子质量小于 DP_n 的较多(高嘉安,2001)。

有关甘薯直链淀粉相对分子质量的报道较多,Namutebi 等(2003)发现甘薯淀粉中直链淀粉的平均相对分子质量是 367 000~521 000,远高于 Zhang 和 Oates (1999)报道的 83 000~141 000。上述差异,可能是由于甘薯品种的不同所致,还可能是由于不同的测定方法是造成的。

2) 支链淀粉的结构

从支链淀粉结构模型可以看出,淀粉分子有复杂的分枝构成,为了便于分析结构,把构成淀粉分子的链分成 A、B、C 三种,并以专门用语做出了相应的规定。其中,A 链是还原性末端经由 α -1,6 键与 B 链或 C 链相连接的链;B 链是连有一个或多个 A 链,还原性末端经由 α -1,6 键与 C 链相连接的链;C 链是含有还原性末端的主链,支链淀粉中含有一条 C 链,因此 C 链一端为还原性末端,一端为非还原性末端。支链淀粉一般以平均链长度(CL)来衡量其链长度。链长度是指每个非还原末端基的链所具有的葡萄糖残基数。图 1.1 为甘薯支链淀粉的结构示意图,其结构与其他淀粉相似。甘薯支链淀粉一般以 B 链(CL>11 葡萄糖残基数/链的长链)为主,A 链(CL≤11 葡萄糖残基数/链的短链)比 B 链短。研究表明,甘薯支链淀粉的链长 CL 分布在 6~45 葡萄糖残基数/链之间,其中 CL 在 6~10、11~15、16~20、21~30 和 30~45 葡萄糖残基数/链之间所占支链淀粉总 CL 分布的比例分别是 12.4%~15.2%、33.2%~33.8%、22.9%~24.6%、21.1%~23.0%、6.3%~7.1%(Namutebi et al.,2003)。

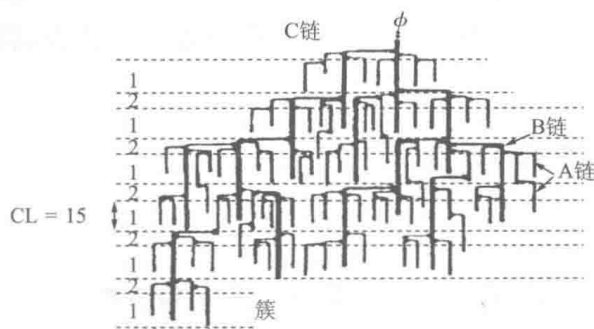


图 1.1 甘薯支链淀粉的结构示意图(Aina et al.,2009)

2. X射线衍射类型

淀粉具有稳定的晶体区域,晶体区域被认为是在颗粒中支链淀粉分子的有序排列结构。不同的淀粉可分为“A”、“B”或“C”型(“C”是介于“A”和“B”型之间的混合型)。甘薯淀粉以“A”类型为主(蔡辉儒等,2008),还有“C”型(Zhu et al., 2011)或介于“A”和“C”型之间的CA类型(Ahmed et al., 2010; Noda et al., 1996; Noda et al., 2001)。图1.2所示的是三种不同甘薯淀粉的广角X射线衍射图谱(Namutebi et al., 2003),这三种甘薯淀粉均在 15.0° 、 17.0° 、 17.8° 和 23° (2θ)左右出现衍射峰,是典型的“A”型淀粉(Noda et al., 1996)。甘薯淀粉的晶型在特定条件下也可能会发生转变,如利用超高压技术可将“A”型甘薯淀粉转变成“B”型甘薯淀粉(Ong et al., 1994; 高嘉安,2001);而通过降低甘薯种植环境温度,“C”型甘薯淀粉也可逐渐转变成为“B”型甘薯淀粉(Noda et al., 2001)。甘薯淀粉的结晶度通常为38%,高于其他木薯(37%)和马铃薯(28%)淀粉的结晶度(高嘉安,2001)。

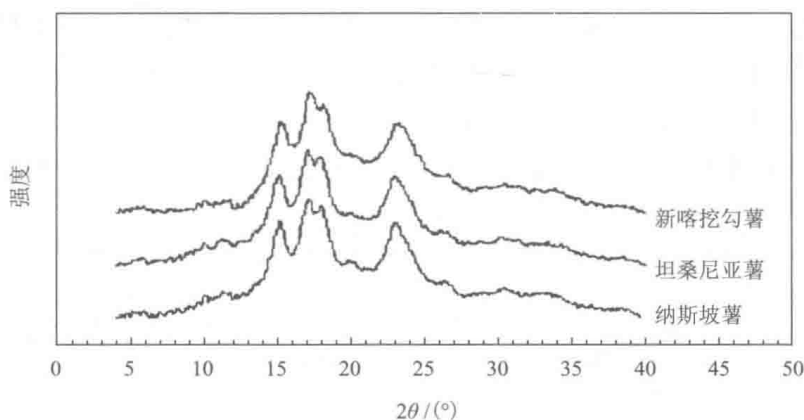


图1.2 三种不同甘薯淀粉的广角X射线衍射图谱

3. 甘薯淀粉的形态及大小

天然淀粉颗粒的形态和大小主要取决于淀粉的来源,这些性质的差异可以通过光学显微镜或电子显微镜进行测定。由表1.1可知,甘薯淀粉的颗粒形状多呈多边形或圆形,部分呈椭圆和铃铛状。粒径分布范围为 $3.4\sim 27.5\mu\text{m}$,平均粒径为 $8.4\sim 15.6\mu\text{m}$ 。不同甘薯淀粉的粒径大小不一,而同一种甘薯淀粉的粒径也会随着甘薯的生长成熟而逐渐升高(Kitahara et al., 2002),但是土壤的肥沃程度与甘薯种植和收获日期对其颗粒大小影响甚微(Noda et al., 1996; Noda et al., 1997)。此外,甘薯淀粉颗粒的大小对其淀粉的膨胀势、溶解度及消化率等特性均有影响,通常淀粉的颗粒越大,其膨胀势和溶解度越大,而消化率明显降低(Zhang, 2001)。