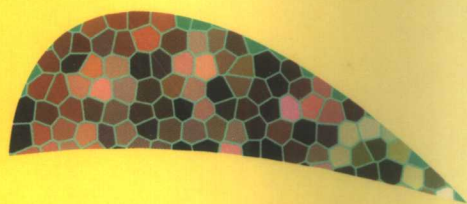
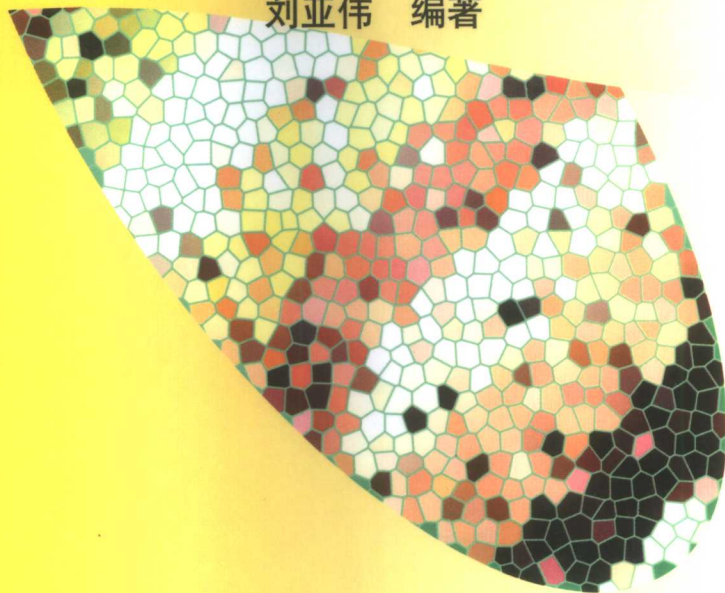


农产品现代加工技术丛书



玉米淀粉生产及转化技术

刘亚伟 编著



化学工业出版社

农产品现代加工技术丛书

玉米淀粉生产及转化技术

刘亚伟 编著

化学工业出版社

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

玉米淀粉生产及转化技术/刘亚伟编著. —北京: 化学工业出版社, 2003. 1
(农产品现代加工技术丛书)
ISBN 7-5025-4053-9

I. 玉… II. 刘… III. 玉米-谷类淀粉-食品加工
IV. TS235.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 101059 号

农产品现代加工技术丛书
玉米淀粉生产及转化技术

刘亚伟 编著

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 焦欣渝 韩 竞

责任校对: 李 林

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 9 $\frac{3}{4}$ 字数 261 千字

2003 年 2 月第 1 版 2003 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4053-9/TS·58

定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

玉米是我国重要的粮食作物之一，其产量居世界第二位。玉米经不同的生产方法和工艺进行深加工，可生产出成千上万种产品，其用途遍布各个领域。随着玉米深加工技术的发展，玉米深加工产品种类越来越多，应用范围越来越广，而且深加工最终产品的生产过程越来越复杂，已不仅仅局限于一、二次的深加工转化，其产品的附加值亦随转化次数的增多而大幅跃升。

玉米淀粉作为重要的可再生工业原料，已愈来愈受到各国的广泛重视，应用最新高科技手段，研究开发以淀粉为原料的各类工业产品及人们生活用品，逐步扩大对淀粉这种可再生资源的利用途径，已取得显著的成就。改革开放以来，我国经济快速发展，各类需求不断增加，对玉米淀粉的极大需求推进了玉米深加工工业的发展；特别是国外先进设备和技术的引进及对主要设备的消化吸收，使我国的玉米深加工工业取得了很大的进步。今后我国玉米深加工工业必将以此为基础，加快技术创新，实行科学管理，优化产业结构，提升企业整体水平，向规模化高效益发展。

本书可作为玉米淀粉加工企业以及以玉米淀粉为原料的其他工业中技术人员、管理人员及生产工人的培训用书，或企业领导者制定新产品开发决策的参考资料，也可作为粮食工程、食品工程、饲料工程、发酵工程及农产品加工相关专业院校师生的参考书。

本书在编写的过程中，参考了国内外许多作者的著作和文章，在此表示感谢。同时感谢郑州工程学院领导及同事们所给予的支持、帮助和宝贵建议。

7AP44.09

由于经验及知识所限，书中定有不妥之处，敬请提出宝贵意见。

编者

2002 年 11 月

于郑州工程学院

内 容 提 要

本书在全面介绍玉米工艺特性的同时，重点介绍了玉米淀粉生产工艺、设备和操作维护，变性淀粉生产技术和分析化验方法；列举了大量的玉米淀粉变性和应用的实例，对目前国际上重点开发的最新产品进行了全面介绍。

本书可作为玉米淀粉加工企业及以玉米淀粉为原料的其他工业中技术人员、管理人员、营销人员及生产工人的培训用书，或企业领导者制定新产品开发决策的参考资料，也可作为粮食工程、食品工程、饲料工程、发酵工程及农产品加工相关专业院校师生的参考书。

目 录

第一章 玉米生产及深加工概况	1
第一节 世界玉米生产	1
第二节 玉米深加工工业发展历史	2
一、玉米精深加工技术发展	4
二、玉米甜味剂开发中的酶技术发展	7
三、从玉米到生物制品技术发展	8
第三节 我国玉米生产发展现状	9
第四节 国外玉米工业发展现状	12
第五节 我国玉米工业发展方向	13
第二章 玉米工艺特性及干法清理	15
第一节 玉米工艺特性	16
一、玉米的类型	16
二、玉米子粒结构	18
三、玉米的物理特性	20
四、玉米的化学特性	23
第二节 玉米干法清理	27
一、玉米中的杂质	27
二、玉米干法清理的依据和方法	28
三、玉米干法清理工艺流程	29
第三章 玉米淀粉生产技术	30
第一节 概述	30
第二节 玉米的浸泡及亚硫酸制备	32
一、玉米的浸泡	32
二、亚硫酸制备	41
三、典型设备	43
第三节 玉米破碎及胚芽的分离和洗涤	45
一、玉米破碎	45

二、胚芽的分离和洗涤	48
三、典型设备	52
第四节 精磨与纤维的洗涤	64
一、精磨与纤维洗涤的基本原理	65
二、精磨及纤维分离与洗涤工艺流程	66
三、精磨与纤维洗涤的工艺条件控制	67
四、典型设备	69
第五节 麸质分离及淀粉洗涤	74
一、细淀粉乳特性	74
二、麸质分离及淀粉洗涤基本原理	75
三、麸质分离及淀粉洗涤工艺流程	78
四、麸质分离及淀粉洗涤工艺条件控制	80
五、典型设备	86
第六节 淀粉机械脱水与干燥	96
一、淀粉机械脱水	96
二、淀粉干燥	98
三、典型设备	102
第七节 典型工艺流程分析	107
一、典型工艺分析	107
二、玉米淀粉生产物料平衡	111
三、淀粉生产水平衡	111
第八节 玉米淀粉生产副产品的处理和综合利用	112
一、玉米浆	114
二、胚芽	120
三、蛋白粉	125
四、玉米纤维	130
第九节 质量控制与检验	131
一、中间产品及工艺过程控制	131
二、设备工艺性能评价	134
三、GB 12309—1990《工业玉米淀粉产品质量检验》	135
附录 A SBN 型淀粉斑点计数器	145
附录 B 微量定氮法	146
第四章 淀粉化学概论	148

第一节 淀粉颗粒结构和特性	148
一、淀粉的形态结构	148
二、淀粉的晶体结构	150
三、淀粉颗粒的轮纹与偏光十字	151
第二节 淀粉的化学特性	152
一、淀粉颗粒的化学组成	152
二、淀粉的分子结构	155
三、淀粉颗粒分子结构	158
第三节 淀粉的物理性质	160
一、淀粉的糊化	160
二、淀粉的老化作用	166
三、淀粉糊特性	168
四、淀粉膜	170
五、淀粉凝胶	172
第五章 变性淀粉生产及应用技术	176
第一节 淀粉变性的基本原理和方法	176
一、淀粉变性的基本原理	176
二、变性淀粉的分类	178
三、基本概念	178
四、变性淀粉生产工艺	181
第二节 转化淀粉	185
一、酸变性淀粉	186
二、次氯酸钠氧化淀粉	189
三、双醛淀粉	193
四、糊精	195
第三节 预糊化淀粉和颗粒冷水溶胀淀粉	200
一、预糊化淀粉	200
二、颗粒冷水溶胀淀粉	203
第四节 交联淀粉	207
一、基本原理	208
二、生产工艺	209
三、基本特性	211
四、用途	213

第五节 酯化淀粉	213
一、淀粉醋酸酯	213
二、淀粉磷酸单酯	218
三、淀粉黄原酸酯	221
四、淀粉烯基琥珀酸酯	223
第六节 醚化淀粉	229
一、羧甲基淀粉	230
二、羟乙基淀粉	236
三、羟丙基淀粉	238
四、阳离子淀粉	241
第七节 接枝淀粉	245
一、基本原理	245
二、生产工艺	247
三、基本特性	248
四、用途	249
第八节 阻抗淀粉	252
一、基本原理	252
二、生产工艺	253
三、特性	253
四、用途	254
第九节 淀粉基脂肪代用品	254
一、基本原理	255
二、生产工艺	255
三、特性	255
四、用途	256
第十节 变性淀粉在食品工业中的应用	256
一、食用变性淀粉的基本变性方法	257
二、变性淀粉在食品中应用	259
第十一节 变性淀粉检测分析	268
一、白度的测定	268
二、氧化淀粉中羧基含量的测定	268
三、氧化淀粉中羰基含量的测定	269
四、双醛淀粉中双醛含量的测定	269

五、交联度的测定	270
六、pH 值的测定	270
七、黏度的测定	271
八、淀粉糊化度及老化度的测定	274
九、蛋白质的测定	275
十、氧化淀粉游离氯的定性检测	275
十一、淀粉醋酸酯取代度的测定	275
十二、淀粉磷酸酯取代度的测定	276
十三、阳离子淀粉取代度的测定	278
十四、羧甲基淀粉取代度的测定	279
第六章 淀粉糖生产技术	280
第一节 淀粉糖品的种类和性质	280
一、淀粉糖品的种类	280
二、淀粉糖品的性质	281
第二节 淀粉酶	285
一、 α -淀粉酶	287
二、 β -淀粉酶	288
三、葡萄糖淀粉酶	289
四、脱支酶	290
五、葡萄糖异构酶	291
第三节 淀粉的酶液化、糖化	292
一、液化	292
二、糖化	295
第四节 淀粉糖生产技术	296
一、液体葡萄糖工艺	296
二、葡萄糖(全糖)	297
三、高麦芽糖浆	298
四、麦芽糊精	298
参考文献	300

第一章 玉米生产及深加工概况

玉米的加工既是农业生产的延伸和深化，又是工业加工的上游产业。玉米全身是宝，除主要成分碳水化合物可作工业利用外，蛋白、纤维等副产物可作饲料，脂肪可制玉米油，在众多的农作物中，它是最具有工、农业综合经济效益的谷物之一。

玉米精深加工是农业增效、农民增收和提高农业生产整体效益的必由之路。玉米精深加工业具有拉动上游农业、推动下游工业发展的作用，并直接影响着农业资源优势向商品优势和经济优势的转变。同时，玉米的综合开发中既有高新技术，又是多种技术的集成，可以形成技术-产品的梯级开发 and 多层增值，形成技术-产品-增值链。因此，发展玉米产后精深加工技术，拉动玉米产前、产中的发展，对于调整农业产业结构，形成新的经济增长点，增加农民收入，加快我国农业的产业化发展等都具有重要的意义。

第一节 世界玉米生产

玉米是世界三大粮食作物之一，年总产量约 6 亿吨；美国和中国玉米产量分别占世界总产量的 34% 和 22%，分列第一位和第二位（见表 1-1）。近一二十年来，我国玉米的播种面积和总产量一直呈上升趋势，常年播种面积 3.2 亿亩，近年发展到 3.7 亿亩，单产已达 320kg 左右，年总产约 1200 亿公斤，年人均占有量 100kg 左右，但仍低于美国 626kg 的水平；我国玉米 75% 左右用作饲料，10% 左右用作食用，15% 左右用作工业原料；美国 90% 以上的玉米均经不同程度的加工和深加工开发，用作工业原料和饲料（见表 1-2）。从现在起到 2030 年，我国粮食生产量和人均占有量将有大幅度的增长，而新增量中，主要不是用作口粮，而是用作饲料和工业原料，所以玉米是我国未来粮食增长中的主要作物之一。

表 1-1 世界玉米年产量/kt

国家及地区	1999~2000 年	2000~2001 年	国家及地区	1999~2000 年	2000~2001 年
阿根廷	17200	15000	罗马尼亚	10500	4000
巴西	31600	38500	南非	10584	8000
加拿大	9096	6800	泰国	3900	4400
中国	128086	105000	乌克兰	1700	3800
埃及	5678	5800	南斯拉夫	9900	5500
匈牙利	7000	4500	欧盟	36962	38890
印度	11470	12000	美国	239549	253208
印度尼西亚	6200	6200	其他	52773	51158
墨西哥	19000	18500	合计	605647	585556
菲律宾	4449	4300			

表 1-2 世界玉米年消耗量/kt

国 别	1999~2000 年	2000~2001 年	国 别	1999~2000 年	2000~2001 年
巴西	33150	35400	马来西亚	2353	2450
加拿大	9359	8900	墨西哥	23411	24300
中国	116900	120000	罗马尼亚	9500	5450
埃及	10178	10300	俄罗斯	1850	1800
匈牙利	5014	4700	南非	7981	8300
印度	11350	12000	南斯拉夫	9325	8850
印度尼西亚	7300	7400	美国	192477	196987
日本	16317	16050	其他	137961	133727
韩国	8400	8300	合计	602826	604914

第二节 玉米深加工产业发展历史

玉米深加工工业开始于美国，从美国的玉米深加工技术发展过程，可以了解玉米深加工的发展历史。

玉米深加工工业开始于美国国内战争期间，以托马斯·金斯福特 (Thomas Kingsford) 开发的玉米淀粉水解工艺为标志。当时，托马斯·金斯福特正在新泽西州泽西市的 Wm. Colgate & Company 小麦淀粉厂工作。小麦淀粉生产需要在温水中浸泡 14~20 天，产生臭味而且生产的淀粉质量差；托马斯·金斯福特决心找到一种更好的生产淀粉的方法。他说服老板采用碱液处理玉米生产淀粉的新

工艺。1844 年，泽西市的工厂成为世界上第一个玉米淀粉生产厂。几年后，托马斯·金斯福特到纽约的奥斯威戈建成他自己的玉米湿磨工厂。到 1857 年，玉米淀粉工业在美国成为重要行业。淀粉是惟一的产品，而最大客户是洗衣业。

淀粉深加工行业的另一项主要进展是于 1866 年用玉米淀粉生产葡萄糖。采用德国化学家科奇霍夫（G. S. C. Kirchhoff）在 1811 年开发的淀粉酸水解技术，早期的玉米淀粉工厂找到了扩大淀粉市场和用途的新方法；这一工业应用和随后的糖化学的进展，起到早期科学与不断成长淀粉技术相结合的作用。随着 15 年后结晶葡萄糖制造工艺的开发，玉米甜味剂等其他产品的开发也开始了。新的甜味剂生产始于 1882 年。1921 年，开发出生产结晶葡萄糖水合物的工艺，与早期的粗糖相比这是一个巨大的进步。葡萄糖的提纯和结晶第一次表明玉米生产的甜味剂在蔗糖工业独占的一些市场中具有竞争性。

在 19 世纪 80 年代，玉米加工业开始认识到玉米中非淀粉部分的价值。将玉米胚与玉米子粒的其他部分分离的工艺生产出多种新产品。在发现玉米的纤维、胚芽和蛋白质可以作为有用的动物饲料配方之前，它们一般是被抛掉。加工厂开始将注意力放在总固体的收率上并寻找改进回收率的方法。1882 年第一次生产出玉米蛋白饲料。随后发现可以从胚芽中提取玉米油。1889 年生产的商品玉米油上市。1893 年，开始回收深加工工艺中用于浸泡玉米的浸泡水，浓缩后用在饲料产品中。在 20 世纪初期淀粉化学、变性食品淀粉以及其他许多重要的工艺技术有了突破性进展。1900 年，酸变性淀粉工业化生产，大约 15 年后，氧化淀粉出现。20 世纪 40 年代早期开发了糯玉米淀粉。随后几年，发现对淀粉进行化学改性可生产多种糯玉米淀粉衍生物，可广泛用在印刷和食品工业。1945 年至 1955 年间，进一步开发出交联糯玉米淀粉、阳离子淀粉和羟乙基淀粉等。

自玉米湿磨工业诞生以来，各种产业化技术创新和改进为这个工业的发展提供了更高效率、更大生产率、更好工作条件以及生产

更优良产品的能力。深加工工业发展的最初 50 年内，大多数工程方面的研究围绕着节约劳动力的主题进行，现在已经成为减少成本的最简易方式。深加工工业还在初期的时候，生产 1t 淀粉需要 20 个工人以上。如果今天还是需要相同的人工，深加工工业现在的雇员将超过 7 千万人。

湿磨工业在工厂工艺方面所取得了三个革命性的成果。它们包括：敞开式工艺向密闭式工艺转移；采用人力的工艺向运用动力设备转变；间歇式工艺系统向连续性工艺系统转化。

一、玉米精深加工技术发展

20 世纪上半期，湿磨工业各工序主要采用重力作用将子粒各部分分离。

玉米装入平底木罐，采用温氢氧化钙溶液浸泡几天。然后用石磨破碎软化的玉米，胚芽在敞开式 U 形容器中用浮选方法同淀粉分离，将浮在容器上方的玉米胚和淀粉悬浮液撇去，淀粉和纤维从容器底部连续排放。淀粉和纤维再经过敞开式的木制覆盖着丝绸或尼龙布的滚筒筛选。淀粉浆送到木罐中用氢氧化钠处理后进行沉降。淀粉浆中的水、未溶解的淀粉和麸质排入下水道中。蒸汽和二氧化硫弥漫在空气中。在淀粉浆中加入新鲜水并送到木制淀粉流槽。流槽一般为 12ft (1ft=0.3048m, 下同) 宽 100ft 长，略有倾斜。浆水从高处往下流经槽面，重的淀粉沉降在槽面上，轻的麸质和部分细小的淀粉颗粒从低处流出。淀粉表面用水冲洗或扫除残留的麸质。淀粉经多次同样的方式或过滤及再打成浆后，再用各种费时的方法干燥。流槽占地很大及需要繁重的人工操作。麸质在巨大的混凝土大池中沉降两天后，加入筛出的纤维放置一周，这种蛋白和纤维混合品由当地的农民驾着自己的马车来购买。

早期玉米深加工工业不断发展，同时可以从生产泵、过滤器、筛网和干燥器的厂商处购买工艺设备。生产厂的数量增多，规模越来越大，功能越来越复杂，可以生产多种产品。二次世界大战以后，发展和变化相当迅速；设备供应商有自身的生产设施，可找到符合要求的员工，玉米深加工工业也具备了资本和扩张的机遇；因而，

新开发的成果和工艺迅速付之实践。

20 世纪上半期，出现了两次显著的变化。第一为了提高产率出现了“逆流式”工艺，原先直接排入下水道的麸质沉降水再循环利用，减少了废水的排放。第二个重要的变化是 20 世纪 20 年代旋转真空过滤机用于淀粉和麸质的脱水。20 世纪 40 年代和 50 年代发生了更多的变化，在各单元操作中引入采用离心力的设备。最重要的变化之一应当是采用离心机取代淀粉和麸质重力分离用的流槽，短短 5 年内，每个厂都进行了相应的改造。离心机可以使淀粉和麸质的分离更容易，提高了麸质中蛋白质的含量，浓缩淀粉乳中蛋白质含量大大下降。

早期的离心机仅用于麸质与淀粉的分离。随着新型离心机的出现，整个工艺中都采用离心分离，淀粉和蛋白质的分离更加彻底。由于专业化设计和易于维护，新型离心机的转速快、处理能力大、卫生。由于离心机具有高性能特性，因而开始应用在工厂的其他工序中。同样，它们取代了用于浓缩麸质的沉淀池、用于洗涤淀粉的过滤机、用于分离淀粉和麸质的流槽，用更小的面积、更高的效率完成同样的工作。离心机的应用具有革命性意义，其原理也应用到其他设备，如水力旋流器和离心筛。水力旋流器用于胚芽的分离，用密闭并联系统代替开放式的沉降分离槽，更加卫生，效率更高，占地面积小，胚芽回收率高。

20 世纪 50 年代早期，水力旋流器引入，用在淀粉的洗涤工艺中。逆流洗涤系统在多级中采用众多小的旋流管。采用旋流器可减少工艺控制，同样也卫生高效。从第一级离心机流出的浓缩淀粉乳流经由 10mm 旋流管组构成的各级，作用是对淀粉乳进行重复的浓缩和稀释。相互连通的各级管道布置，用于除去淀粉中的可溶性和非溶性蛋白质。玉米深加工厂商的良好经济条件促使许多新型机械技术的应用，某些用于战时军事目的仪器、设备和技术引入到玉米深加工厂，自动化仪表记录调整温度、压力、流量和其他工艺参数变化，仪表的应用使设备的布置、连续操作的稳定、生产的集成度，与老的间歇操作系统相比，减少了废物的排放量，产品的品质

也得到了大大的提高。

在战后，石磨被针磨代替。石磨用在胚芽除去后纤维与其他成分的分选，但石磨需要定时由有经验的岩石锻钎工进行保养，以回复碾磨面。碾磨面一般可供连续操作 5 天左右，然后就必须再停工 8h，以进行修理。针磨采用交错排列的圆柱销组成的动盘和静盘。摩擦式细磨采用旋转的刻有凹槽的钢板。新式细磨系统维护少，占地面积小。

20 世纪 60 年代期间，DSM 筛分别代替了滚筒纤维洗筛和胚芽洗涤振动筛。DSM 筛或“曲筛”原先由荷兰国家矿业部开发，用于矿石的分选。实践证明这种筛比老型的滚筒和振动筛紧凑高效，更加容易清洗和保养。曲筛的淀粉、麸质和纤维分离效率高，淀粉和麸质的回收率也更大。

20 世纪 70 年代中期，主要的变化在工厂设计、仪表和控制系统在工厂操作中的应用。从 1975 年到 1985 年，美国建了 12 个新厂。旧的厂房设计将各个工序分别放在各个独立的厂房中，物料通过管道进行输送。新式的设计将所有的主要工艺设备设置在同一个建筑物中，操作者可以通过中央控制室对工艺进行监控，整个系统的废能可回收循环利用。

第一个“计算机总控”的工厂为 Staley 公司 1977 年在印第安纳州的 Lafayette 市建立。从那以后，所有新建的工厂均采用了中央工艺控制计算机系统，老厂也进行改造以进行计算机控制。浸泡工艺的主要改进发生在 20 世纪 70 年代后期，从间歇处理向连续处理发展。在此之前，10 个 1000 蒲式耳玉米容积的成排浸泡罐装满又放空，要完成这样的工艺，需要耗用几个小时及大量的能量和好几个工人。连续操作的思路困扰了深加工工业很长时间，问题在于新鲜玉米和浸泡玉米在同一个罐时的不均匀分布，但最后在浸泡罐壁的角度和浸泡罐的高度上找到了解决方案，新罐设计成玉米随浸泡水连续从上部加入。实践证明这样可以达到间歇操作系统的效果，无需再采用由泵和阀门构成的复杂系统，连续操作的浸泡工艺大大减少了停工时间和劳动强度。