

应用型本科院校特色教材



GAODENG XUEXIAO ZHUANYE JIAOCAI

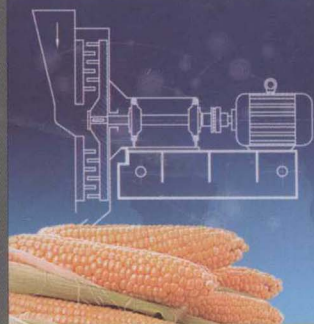
• 高等学校专业教材 •

[高校教材]

淀粉与淀粉制品工艺学

余平 石彦忠 主编

TECHNOLOGY OF STARCH AND
DERIVED PRODUCTS



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

淀粉与淀粉制品工艺学/余平, 石彦忠主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2011. 7

高等学校专业教材

ISBN 978-7-5019-8263-9

I. ①淀… II. ①余… ②石… III. ①淀粉-生产工艺 IV. ①TS234

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 101580 号

责任编辑: 白洁 涂润林

策划编辑: 白洁 责任终审: 唐是雯 封面设计: 锋尚设计

版式设计: 宋振全 责任校对: 晋洁 责任监印: 张可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 北京君升印刷有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2011 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 18

字数: 460 千字

书号: ISBN 978-7-5019-8263-9 定价: 36.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

101363J1X101ZBW

前 言

随着人们对可再生资源利用的重视,近年来淀粉及其深加工行业发展极其迅速,其产品广泛应用于食品、医药、纺织、造纸、建筑、燃料、化工等行业,并且应用领域不断拓宽。

本教材是根据当前淀粉与淀粉深加工工业的发展,结合目前我国应用型高等学校教学与科研的课程内容和体系改革的需要,并结合目前生产实际,由多年从事该专业教学与科研工作的专业教师与国内大型淀粉深加工骨干企业的工程技术人员共同编写而成。本书在内容选择、顺序安排、知识深浅度等方面遵循教学规律,可满足专业教学的需要。

淀粉制品种类繁多,应用范围极其广泛。根据多数企业产品结构特点和高校相关专业教学计划安排,本书共阐述了以下四部分内容:

第一部分为本书的第一章,比较详细地叙述了本教材后续课程中涉及的有关淀粉的基础理论知识,它是淀粉提取和淀粉深加工的技术基础。

第二部分为本书的第二章至第六章,论述了不同淀粉质原料的湿法淀粉提取技术以及淀粉副产物的综合利用技术。考虑到玉米是主要的淀粉资源,也是提取淀粉所需工艺最复杂的原料,因此玉米淀粉提取技术作为教材的重点。考虑到低脂玉米粉应用的发展潜力,增设了干法玉米粉提取技术相关内容。

第三部分为本书的第七章和第八章,介绍了淀粉糖生产的基本理论和各种淀粉糖生产的特点和关键技术。淀粉糖既是食品、制药、化工等行业的原料,也是微生物发酵的底物。利用微生物可将淀粉糖进一步转化为乙醇、多元醇、酮、有机酸、氨基酸、微生物多糖、酶制剂、单细胞蛋白、抗生素、激素等多种产品,相关技术可参阅有关专著。

第四部分为本书的第九章,阐述了各种变性淀粉的生产方法、性质及相关应用领域。

以上各部分所述内容,包括了各类产品生产的基本原理、工艺流程、典型设备和技术参数。

本书由李凤祥、刘长姣编写第一章并制作、校对全部插图,石彦忠、车丽娟编写第二、三、四、六章,陈宇飞编写第五章,余平、冷进松编写第七、八章,张浩东编写第九章。全书由余平、石彦忠统稿。

本书在编写过程中,得到了吉林工商学院领导和相关淀粉及深加工企业工程技术人员的的大力支持和指导,有关学者和专家对本书提出了许多宝贵意见,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中缺陷与错误在所难免,恳切希望批评指正。

编者

目 录

绪 论	1
一、淀粉资源与应用	1
二、世界淀粉深加工产业现状与发展趋势	2
三、国内淀粉工业现状与发展趋势	4
四、本教材重点内容	6
第一章 淀粉结构与性质	7
第一节 淀粉的分子结构	7
一、淀粉分子的基本构成单位	7
二、直链淀粉的分子结构	10
三、支链淀粉的分子结构	12
四、直链淀粉和支链淀粉结构、性质比较	13
第二节 淀粉颗粒	13
一、淀粉颗粒的形状	13
二、淀粉颗粒的轮纹结构	14
三、淀粉颗粒的偏光十字	15
四、淀粉颗粒的微结晶结构	15
第三节 淀粉的理化性质	17
一、淀粉的吸附性质	17
二、淀粉的溶解度	18
三、淀粉的润胀	18
四、淀粉的糊化	19
五、淀粉的回生	22
六、淀粉颗粒的膨胀能力和临界浓度	25
七、淀粉的化学性质	26
第四节 直链淀粉和支链淀粉的分离	26
一、原淀粉中直、支链淀粉含量	26
二、直链淀粉和支链淀粉的分离	27
第二章 湿法玉米淀粉提取工艺	30
第一节 概 述	30
一、玉米的分类与特性	30
二、玉米淀粉湿法提取工艺	35
第二节 玉米清理	37
一、玉米中杂质的分类与分离原理	37

二、杂质清理设备与工艺流程	38
第三节 玉米浸泡	43
一、浸泡作用与机理	43
二、浸泡效果影响因素	46
三、浸泡方法与工艺流程	48
四、亚硫酸制取方法	52
五、玉米浸泡新技术	53
第四节 玉米破碎与胚芽分离	56
一、玉米破碎	56
二、胚芽分离	57
三、玉米破碎与胚芽分离工艺流程	59
四、玉米破碎与胚芽分离效果的影响因素	60
第五节 玉米精磨与纤维分离	61
一、精磨	61
二、纤维分离	63
三、精磨与纤维分离工艺流程	64
四、精磨与纤维分离效果影响因素	65
第六节 麸质分离与淀粉洗涤	65
一、粗淀粉乳的化学组成与精制原理	65
二、麸质分离	66
三、淀粉洗涤	70
四、麸质分离与淀粉洗涤工艺流程	70
五、麸质分离与淀粉洗涤效果影响因素	72
第七节 产品脱水与干燥	73
一、淀粉脱水与干燥	73
二、副产品脱水与干燥	75
第八节 湿法玉米淀粉生产工艺典型实例	80
一、工艺流程的分类与特点	80
二、水循环途径	80
三、工艺用水的平衡计算	81
四、典型实例	83
五、生产过程管理与自动控制	85
第九节 产品包装与储藏	86
一、产品包装	86
二、产品贮存	86
第三章 玉米淀粉生产副产品的综合利用	88
第一节 浸泡液的综合利用	88
一、玉米浆制备	88
二、植酸的提取	91

三、其它综合利用	93
第二节 玉米蛋白的综合利用	94
一、玉米蛋白的特性	94
二、醇溶蛋白的提取	95
三、玉米黄色素的提取	96
四、其它综合利用	97
第三节 玉米胚芽的综合利用	97
一、玉米胚芽的成分	97
二、玉米胚芽制油工艺	98
三、玉米胚芽饼的利用	101
第四节 玉米皮渣的综合利用	101
一、玉米皮渣用于制饲料	101
二、其它综合利用	101
第五节 生产污水处理	102
一、污水排放标准与淀粉工业废水	102
二、污水处理工艺流程	103
第四章 薯类淀粉提取工艺	105
第一节 概述	105
一、薯类原料	105
二、薯类淀粉提取工艺	108
第二节 薯类淀粉生产设备	108
一、原料输送设备	108
二、鲜薯洗涤设备	109
三、破碎设备	110
四、细胞液分离设备	111
五、纤维的分离与洗涤设备	112
六、淀粉洗涤设备	113
七、淀粉乳的脱水与干燥设备	114
第三节 马铃薯淀粉生产工艺	114
一、离心筛法	114
二、曲筛法	115
三、全旋流器法	116
第四节 木薯、甘薯淀粉生产工艺	117
一、木薯淀粉	117
二、甘薯淀粉	118
第五节 薯类淀粉生产副产品的综合利用	119
一、细胞液水的综合利用	119
二、粉渣的综合利用	119

第五章 其它谷类、薯类淀粉提取工艺	120
第一节 小麦淀粉提取工艺	120
一、原料简介	120
二、提取工艺	122
第二节 大米淀粉提取工艺	125
一、原料特性	125
二、提取工艺	125
第三节 豆类淀粉提取工艺	127
一、绿豆淀粉	127
二、豌豆淀粉	129
第六章 低脂玉米粉生产工艺	131
第一节 概述	131
一、低脂玉米粉特性	131
二、生产工艺流程	132
第二节 玉米水汽调质	132
一、调质目的和要求	132
二、调质设备	133
第三节 玉米脱皮与破糝	135
一、脱皮与破糝目的和要求	135
二、脱皮与破糝设备	135
第四节 分级与提胚	138
一、分级目的和提胚原理	138
二、分级与提胚设备	139
三、分级提胚工艺流程	142
第五节 压胚磨粉	142
一、压胚磨粉目的和原理	142
二、辊式磨粉机	143
三、压胚磨粉工艺流程与技术参数	145
第六节 低脂玉米粉加工工艺流程实例	146
第七章 淀粉糖生产工艺基础	149
第一节 概述	149
一、淀粉糖	149
二、淀粉糖生产的方法及特点	150
第二节 酸水解法制糖	151
一、酸水解法制糖原理	151
二、酸水解法制糖工艺	157
第三节 酶法制糖	162
一、淀粉酶	162

二、酶法制糖技术	172
第四节 糖化液的精制	181
一、糖化液中杂质	182
二、糖化液的精制	182
第五节 淀粉糖生产自动控制技术	190
一、生产过程参数的自动检测	190
二、淀粉糖生产自动控制系统实例	191
第八章 淀粉精品生产工艺	194
第一节 淀粉糖的种类与性质	194
一、淀粉糖种类	194
二、淀粉糖的性质	195
第二节 转化糖浆生产工艺	198
一、麦芽糊精	198
二、中、高转化糖浆	200
三、麦芽糖浆	202
四、低聚糖	206
第三节 结晶葡萄糖生产工艺	210
一、葡萄糖产品分类与应用	210
二、结晶葡萄糖生产原理	211
三、结晶原理	212
四、影响葡萄糖结晶的因素	213
五、葡萄糖结晶设备	213
六、结晶葡萄糖生产工艺	216
第四节 果葡糖浆生产工艺	221
一、生产原理	221
二、生产工艺	223
三、性质与应用	228
第五节 糖醇生产工艺	229
一、山梨醇	229
二、麦芽糖醇	231
三、其它糖醇	233
第九章 变性淀粉生产工艺	234
第一节 概述	234
一、变性淀粉的概念与分类	234
二、变性淀粉的应用	235
三、变性淀粉的生产工艺与设备	237
第二节 预糊化淀粉(α 化淀粉)	239
一、基本原理	239

二、生产工艺	239
三、性质与应用	240
第三节 酸变性淀粉	241
一、基本原理	241
二、生产工艺	241
三、性质与应用	243
第四节 氧化淀粉	243
一、基本原理	243
二、生产工艺	244
三、性质与应用	245
第五节 交联淀粉	246
一、基本原理	246
二、生产工艺	247
三、性质与应用	248
第六节 酯化淀粉	249
一、淀粉磷酸酯	249
二、淀粉醋酸酯	252
三、淀粉烯基琥珀酸酯	253
第七节 醚化淀粉	254
一、羧甲基淀粉	255
二、羟烷基淀粉	258
三、阳离子淀粉	261
第八节 功能性变性淀粉	262
一、抗性淀粉	262
二、多孔淀粉	265
三、淀粉性脂肪替代物	267
第九节 食用变性淀粉的安全性	268
一、食用变性淀粉的安全控制	268
二、食用变性淀粉的相关规定与指标	270
参考文献	273

绪 论

淀粉是仅次于纤维素的来源广泛的可再生资源，是植物能量贮存的形式之一，主要存在于植物的果实、种子、块根、块茎中，是空气中二氧化碳和水经光合作用合成的产物。尽管自然界中含淀粉的农作物和野生植物很多，但适合工业化生产淀粉的原料却较少，生产淀粉的原料要求具有淀粉含量高、产量高、价格低，易于储存和加工，副产品利用价值高等特点。

目前，淀粉生产中应用较多的原料主要有玉米、小麦、甘薯、马铃薯和木薯等，其次是大米、高粱、豆类等。世界各国淀粉生产的原料各不相同，美国用玉米，欧洲用马铃薯，中国和亚洲其它国家使用玉米和甘薯。从总趋势上看，采用玉米为原料生产淀粉及淀粉转化产品的越来越多，玉米淀粉占淀粉生产总量的 80% 以上。薯类淀粉的价格高于玉米淀粉，其用途为转化附加值较高的淀粉深加工产品。

淀粉的深加工主要指以淀粉或淀粉质为原料，利用生物酶制剂催化转化技术、微生物发酵技术等现代生物工程手段并辅以物理、化学方法进一步转化生成淀粉衍生物产品的过程。主要包括发酵制品（氨基酸、有机酸、酶制剂、酵母等）、淀粉糖（葡萄糖、麦芽糖、糊精、高果葡糖浆、功能性低聚糖等）、多元醇（山梨醇、麦芽糖醇、乙二醇、丙二醇等）、酒精类（食用酒精、工业酒精、燃料乙醇等）和各种功能各异的变性淀粉。目前研究的重点是以淀粉为原料转化环保材料、工程塑料和合成纤维等高科技产品。

淀粉及淀粉深加工制品广泛应用于食品、医药、化工、造纸、纺织、石油钻井等各个领域，在国民经济发展过程中发挥越来越大的作用。

一、淀粉资源与应用

商品淀粉可分为四类：第一类为谷类淀粉（玉米、小麦、高粱和大米）；第二类为块茎（马铃薯）、块根（木薯、葛根和甘薯）和髓（西米）淀粉；第三类为蜡质淀粉（蜡质玉米、蜡质高粱和蜡质大米）；第四类为豆类淀粉（绿豆、豌豆和蚕豆）。我国的商品淀粉主要品种有玉米淀粉、马铃薯淀粉、小麦淀粉和木薯淀粉。

1. 谷类淀粉

国际上成熟的玉米淀粉生产工艺有湿法和干法两种。目前主要以湿法加工为主，在分离淀粉的同时，还可以得到玉米胚芽、玉米蛋白、玉米纤维、浓缩玉米浆等经济价值较高的副产品。玉米淀粉占全部商品淀粉总量的 80% 以上。其价格低廉，应用广泛，可转化为葡萄糖、玉米糖浆、高果糖浆等高附加值产品，也是生产氨基酸、酒精、味精等发酵工业产品的重要原料。玉米淀粉的应用特性相对较差，需经化学改性后应用于食品、纺织、造纸、日用化工、石油、环保等领域。

小麦淀粉生产工艺主要是采用湿法分离技术，将小麦粉分为大颗粒淀粉、小颗粒淀粉和面筋蛋白。由于面筋蛋白具有较高的营养价值和功能特性，其商品价值较高。小麦淀粉可进一步转化为变性淀粉、淀粉糖、味精、柠檬酸等高附加值产品。由于在无碳复写纸中得以应用，近年来小麦淀粉的产量有所增加，但与玉米淀粉的产量相比，小麦淀粉属于小品种

淀粉。

在提取大米淀粉的同时，还可以提取米蛋白，淀粉糟（饲料）等。大米淀粉与其它谷物淀粉相比，其颗粒小且分布均匀，具有独特的性能和用途。大米淀粉的颗粒和均质后的脂肪球具有几乎相同的尺寸，与脂肪有相似的质感，可以在某些食品中替代部分脂肪；具有良好的可消化性，消化率高达98%~100%，适用于婴儿食品和老年特殊食品；大米淀粉由于极小的颗粒直径和较大的表面积和良好的崩解度，可用于高档药品的成型和黏合。大米淀粉常用于多孔淀粉和抗性淀粉等功能性淀粉的生产。

2. 薯类淀粉

马铃薯淀粉产量占淀粉总产量的8%~10%，居第二位。马铃薯淀粉颗粒大，含有天然磷酸基团，具有糊化温度低、糊黏度高、弹性好等特点，其特殊的功能是其它淀粉不可替代的，被广泛应用于食品、纸张、纺织品、胶黏剂和钻井等工业领域。

木薯淀粉以泰国和巴西产量最高，近年来在我国南方部分地区产量有所上升。木薯淀粉是一种典型的根类淀粉，其性质明显区别于谷类淀粉，而与马铃薯淀粉相似，但没有马铃薯淀粉突出。作为马铃薯淀粉的替代品主要用于食品和胶黏剂的生产。

3. 蜡质玉米淀粉

蜡质玉米淀粉具有100%的支链淀粉，其相对分子质量比直链淀粉小10多倍，食用消化率比普通玉米淀粉高20%，具有较高的黏度、膨胀力和透明性，其凝沉性弱。这些优良的品质特性赋予蜡质玉米淀粉具有较特殊的功能和用途，现已成为生产变性淀粉的优质原料，作为增稠剂、乳化剂、黏着剂而广泛应用于调味品、香肠、汤羹罐头、冷冻食品 and 各类快餐方便食品中，在造纸工业、纺织工业和黏着剂工业中也有着良好的应用前景。

4. 豆类淀粉

豆类淀粉主要包括绿豆淀粉、豌豆淀粉和蚕豆淀粉。豆类淀粉含有较高的直链淀粉，淀粉凝胶强度较大。由于绿豆淀粉的价格较高，而豌豆淀粉的性质与绿豆淀粉的性质相似，其主要用途是替代绿豆制取粉丝。

二、世界淀粉深加工产业现状与发展趋势

美国淀粉资源深度开发利用水平是世界上最先进的。玉米是美国的主要农作物，其总产量、出口量、加工量和人均消费量均为世界第一。在淀粉深加工中，主要以玉米淀粉为原料。了解美国淀粉工业发展历史，分析和研究其发展趋势，对提高我国淀粉加工产业化水平，做大做强国内淀粉深加工工业具有一定的借鉴作用。

（一）美国淀粉工业发展历史

美国淀粉工业发展大约经历了三个主要阶段：

1. 19世纪美国国内战争以后

1848年，ThomasKingsford首先建立了仅有70个雇员的玉米加工厂，到了1880年，在玉米加工业方面，它已成为世界上最大的玉米产品销售公司。该公司生产的“银光”牌玉米淀粉销售到整个美国和英国，公司发展到员工近千人，每天可生产玉米淀粉35t。ThomasKingsford的工厂之所以被认为是美国玉米加工业的起源，是因为当时它具备了规模化生产，并使用了广告手段，有大量的出口贸易。该公司在商业上的成功，吸引了人们对玉米加工业的投资，竞争开始出现，到1879年美国已出现了大约140家玉米淀粉工厂。

当时，玉米淀粉主要用于洗衣店和食品原料。19世纪末，以玉米淀粉为原料生产甜味

剂实现了商业化。它标志着玉米淀粉已从一种终端产品变成了中间产品，玉米糖浆以其低廉的价格在糖果、啤酒、酿造等其它工业部门打开了市场。巨大的利润导致了对玉米加工业投资的大量增加，其中包括对淀粉研究的投资。

2. 第二次世界大战前的玉米加工业

虽然第一次世界大战对西方文明和经济是一场可怕的灾难，但它却给美国商人带来了利益。蔗糖的短缺导致了对玉米甜味剂需求量的大增，制造商开始用玉米糖浆代替蔗糖用于糖果、面包和果酱的制作。战时的特殊条件刺激了美国玉米糖浆业的繁荣，给美国玉米淀粉和玉米葡萄糖制造商带来了可观的利益。然而，随着战争的结束，玉米加工业和其它工业一样很快便进入19世纪20年代的经济大萧条。直到1922年一些较大的工厂才重新扩大经营，并开始在国外建立贸易机构，少数大的公司开始在国外建厂。

第二次世界大战前的40多年期间，美国的玉米加工技术有了新的进展，一是玉米加工开始走综合利用的途径，如玉米胚油进入市场；二是利用糯玉米淀粉经化学改性生产一系列衍生物，用于食品等行业；三是在玉米糖浆的生产工艺方面Staley公司开发了用酸和淀粉酶相结合的专利技术生产玉米糖浆。与传统的酸水解相比，玉米糖浆在甜度、风味和黏稠度等方面的质量明显提高。

3. 20世纪40年代玉米加工业的繁荣

第二次世界大战以后，美国玉米产业迅速崛起，除了畜牧业消耗和原粮出口外，在食品、化学工业领域的应用达到了相当高的水平。

第二次世界大战又一次给美国玉米加工业带来了经济效益，吸取第一次世界大战后的教训，第二次世界大战后美国玉米加工业，并未出现上次战争后的生产过剩危机。这期间的技术进步，主要反映在玉米加工过程实现了自动控制。一些新的变性淀粉，如阳离子淀粉、羟乙基淀粉、交联淀粉在造纸和食品工业等领域打开了更大的市场。战争期间，玉米酒精作为替代能源用于汽油中。

(二) 美国淀粉工业现状与发展趋势

美国之所以成为现代玉米深加工产业的开拓者和最发达国家，主要是因为具有多种优势条件。首先是其拥有占世界总产量40%的玉米原料资源，其次是美国拥有巨大的玉米深加工产品的消费市场，另外无论是基础理论研究，还是在实用技术的应用方面，美国都具有深度开发和利用玉米资源的技术手段。美国淀粉工业呈现如下特点：

1. 玉米资源由单一化开发利用转向综合化开发利用

玉米综合化开发利用途径完全覆盖了单一化开发利用路线。采用玉米综合化开发利用路线，可以有效突破传统的、只加工生产低附加值产品的玉米初加工业的局限和束缚，开拓加工生产包括醇、氨基酸、低聚糖和多糖、酶制剂、单细胞蛋白、抗生素等高附加值产品在内的现代玉米产业，从而提高到发展“玉米产业经济”的高度。

2. 由开放型短产业链转向封闭型长产业链

玉米资源利用采用“循环经济发展模式”。在玉米综合化开发利用路线下，传统的直线开放型短产业链即只能生产一种或两种产品的玉米加工业生产模式逐渐被淘汰，代之而兴起的是现代封闭型长产业链的玉米工业化加工模式。对玉米资源多次性开发利用，初加工后的副产物经过无害化处理又作为资源二次、三次乃至更多次被利用了，完成对资源的“减量化使用、无害化再使用和循环化使用”。如采用玉米湿磨生产工艺，利用玉米的多价值属性分别加工出多种产品。利用玉米胚芽生产高营养玉米油；利用玉米蛋白生产高蛋白饲料。另

一方面生产出的淀粉通过延长产业链进一步加工出多种下游产品。玉米淀粉经过发酵制取乙醇外，还可以制作变性淀粉用于食品工业、纺织业、造纸业及黏结剂等；玉米酶法制取麦芽糊精和高果糖浆及一系列高纯度的葡萄糖下游产品，如氨基酸、维生素、柠檬酸和乳酸等。

3. 燃料乙醇生产由以玉米淀粉为主转向多种可替代淀粉的纤维原料

美国现代玉米深加工工业发展新趋势体现在大力开发用玉米纤维和多种可替代淀粉原料生产燃料乙醇。研究开发者寻求把加工过程中产生的价值较低的玉米纤维，利用基因工程将玉米纤维高效率地转化成价值较高的乙醇，将玉米加工中的副产品就地利用。开发利用可替代淀粉转化生产燃料乙醇，研究用木薯淀粉、大麦淀粉、高粱淀粉、黑麦淀粉及甘薯淀粉等生产燃料酒精的替代原料。

4. 湿磨玉米淀粉新产品开发

利用湿磨玉米淀粉可以开发多种新产品。美国采用淀粉生产新工艺，把玉米淀粉转化为可生物降解聚合物，替代传统的石化塑料，用来制造注塑产品、塑料薄膜和履膜纸。

5. 由传统工艺技术转向现代新型工艺技术

美国在发展玉米深加工工业中不断进行科技创新，重点研发在节能、节水、提高产品质量、提高效率和效益、降低成本费用和减轻环境污染等方面的新技术、新工艺和新设备。

(1) 乳酸和琥珀酸等有机酸生产采用膜分离与细菌连续发酵生物反应器耦合技术和双极膜电渗析分离技术，赖氨酸生产采用连续离子交换法进行分离提纯等。

(2) 采用快脱纤维法和快脱胚芽法。采用这两种新方法，主要创新点在于把玉米湿磨系统中的某些优点融入干磨工艺中，提高加工效率，提升饲料副产品的价值。此外经过改造的研磨技术有效提高了发酵罐的实际产量。

(3) 开发高浓度（VHG）发酵法。采用固形物含量高于30%新发酵法的技术要求是，通过加入酶制剂或通过双重磨碎实现浆液具有高糖浓度、低黏度。其特点是在理想发酵条件下可产生20%~30%的乙醇，用水量比常规发酵法减少，需要冷却的发酵物料和蒸馏物料量较少，因而降低了能源成本。

(4) 减少能源消耗新加工技术。研究和开发出无需用蒸汽对淀粉进行液化就可以从淀粉中酶解出葡萄糖，开发高活性、高效益的淀粉转化酶等。

(5) 玉米醇溶蛋白萃取法。从玉米干磨和湿磨中获取的玉米醇溶蛋白，是一种可生物降解的物质，在食品与化妆品领域极有应用价值。但是，采用从玉米中回收和提纯玉米醇溶蛋白的方法代价极高。现在开发一种玉米油和玉米蛋白萃取新工艺。

三、国内淀粉工业现状与发展趋势

（一）国内淀粉工业发展历程

我国是世界上玉米产量仅次于美国的第二大玉米生产国。近年来，玉米产量稳定在1.4亿t左右，占世界玉米总产量的18%。玉米的主要用途为食品、饲料和工业转化。玉米的工业转化虽然在玉米消费的数量上不及饲料加工和食品加工，但其加工产品种类多，功能独特，用途广泛，产品附加值高，因此被称为“黄金产业”，在一定程度上代表着玉米加工业的发展未来。

20世纪50年代前，我国仅有几家淀粉作坊，直到20世纪50年代中期从前苏联引进第一个现代化的淀粉生产线，才开始了我国的淀粉工业。进入21世纪之后，国内淀粉及淀粉制品加工业得到迅速发展，产品种类逐年增多。2001年工业转化玉米1250万t，到2009年

已达到 4100 万 t 以上，增长速度年平均 25% 以上，而同期的玉米产量每年只增长不到 4.8%。

当前我国的结晶葡萄糖、味精、柠檬酸、赖氨酸和糖醇产量居世界第一位，淀粉糖总量居世界第二位。国家玉米深加工行业“十一五”规划发展目标确定为到 2010 年，味精产量达到 190 万 t，柠檬酸 100 万 t，酶制剂 75 万 t，酵母 25 万 t，淀粉糖 820 万 t，合计 1210 万 t，消耗玉米 2000 万 t。

在“十一五”期间，淀粉深加工业规模、产量、品种和生产技术水平都有了快速的发展，生产工艺和技术装备明显提升，酶工程技术、微生物技术、自动控制技术、高效精制和分离技术等高新技术推动了国内淀粉深加工业进入高科技时代。超微粉碎技术、模拟流动床分离技术、磁力搅拌高压加氢技术、三元催化剂应用技术、膜分离技术、连续结晶技术、薄板换热多效蒸发技术、连续离子交换技术及磁性催化剂分离技术的应用，使淀粉深加工进入了新的发展阶段。淀粉转化的高端产品——功能性低聚糖、玉米化工醇生产技术已达到世界先进水平。功能性异麦芽糖、结晶麦芽糖醇、山梨醇、甘露醇、多元醇等淀粉深加工品种的产量和生产技术、装备水平已经进入世界前列。近年来涌现出的长春大成集团、鲁洲集团、西王糖业、保龄宝集团等一大批世界级淀粉深加工企业，带动了功能食品、功能饮料、功能乳品等相关行业的快速发展。

由于淀粉深加工业的迅速崛起，到 2007 年工业转化消耗玉米已经接近 2000 万 t，玉米产量与工业转化玉米量过大的矛盾日益突出。国家相关部委为了降低食品安全风险，保证玉米深加工行业的健康发展，由国家发展和改革委员会在 2007 年年底出台了《关于促进玉米深加工健康发展的指导意见》，进一步规范了行业中的不良竞争行为。意见要求到 2010 年，玉米深加工企业的原料利用率达到 97%，玉米消耗量比目前下降 8%，单位产值能耗降低 20%，单位工业增加值用水量降低 30%，主要污染物排放总量减少 15%。

在今后几年中，国家将严格控制玉米深加工项目盲目投资和低水平重复建设，通过合理布局，优化产品结构，重点发展淀粉糖、多元醇等国内供给不足的产品；稳定以玉米为原料的普通淀粉生产；控制发展味精等国内供需基本平衡和供大于求的产品；限制发展以玉米为原料的柠檬酸、赖氨酸等供大于求的出口导向型产品以及以玉米为原料的食用酒精和工业酒精的生产。

（二）国内淀粉工业发展趋势

1. 加快产业结构调整 and 战略布局，促进玉米深加工工业良性发展

淘汰低水平、高消耗、污染严重的企业，发展玉米深加工大型骨干企业集团，提高产业的集中度和核心竞争力，加强科技研发，增强自主创新能力，不断提高产业整体的技术水平，促进玉米深加工工业进入高科技、高产出、高效益的快速发展阶段。

2. 加强对玉米淀粉加工副产品综合利用的研究

在玉米湿法生产淀粉的过程中，不仅要关注 70% 的淀粉及转化产品，也应重视 30% 副产品的回收和综合利用。玉米中淀粉以外的副产品包括玉米皮、蛋白粉、胚芽等。玉米胚芽中的营养素有卵磷脂、胡萝卜素、谷胱甘肽、低聚糖等具有较大的应用价值；玉米麸质中的醇溶蛋白、谷蛋白等具有良好的应用前景；玉米皮可用于生产膳食纤维，丰富的木糖、阿拉伯糖属于功能性食品的基料；玉米浸泡液可转化高生物学价值的饲料酵母蛋白粉。开展玉米副产品深层次利用的研究，可以提高玉米的综合利用效率并转化增值空间，降低资源消耗，实现清洁生产，减少污染物排放的种类和数量，努力实现建设环境友好型玉米加工企业。

3. 积极开展玉米深加工新产品的开发

在玉米深加工与转化中，应大力应用生物技术、自动控制等高新技术。在淀粉转化产品的研制和生产中以酶工程技术、微生物工程技术为核心，发展酶制剂生产，筛选和培育具有新的转化功能的优良菌株，为研制新型淀粉转化产品创造条件。由于果糖的甜度是蔗糖的1.5倍，其能量却降低了36%~50%，F-90高纯度果糖浆及结晶果糖非常适用于糖尿病人和老年人；生物发酵产品如乙二醇、L-乳酸、1,4-丁二酸、1,3-丙二醇等淀粉化工产品也具有较广泛的应用领域。

4. 不断进行技术创新，提高玉米加工业产值和经济效益

加强淀粉深加工新技术、新工艺的研究，开展重点装备的研发，积极应用先进的生物技术、色谱分离技术、膜分离技术以及喷射、超微、自动化控制等技术，实现产业升级。近年来，膜分离技术、色谱分离技术在淀粉糖、糖醇、有机酸等生产中得以应用，山梨醇氢解制多元醇、结晶果糖、淀粉基可降解材料等先进技术的应用和新产品的研发，提高了产品的质量和产率，增加了淀粉深加工新产品的应用领域。目前正在开发和研究的包括低脂玉米粉生产及应用技术、如何提高纤维素酶、半纤维素酶制剂的性能和使用效果等，用于粗淀粉原料生产淀粉糖中，配合淀粉酶水解，既能减少糖渣的数量，又能增加可发酵糖的量，提高糖的产率及干物质的利用率，降低生产成本。

四、本教材重点内容

本教材从加工技术角度出发，详细地阐述了淀粉的基本理论，淀粉提取方法及物理、化学与酶法淀粉深加工转化技术。从原料和产品角度出发，详细地阐述了各种淀粉质原料的淀粉提取方法，淀粉糖生产的基本原理、方法与各种淀粉糖品生产的关键技术，各种变性淀粉的生产原理与生产技术、主要性能和应用领域。在淀粉转化和淀粉深加工领域推广应用的高新技术和新产品的生产方法也作了简要介绍，学生可以及时了解行业的最新发展动态。

关于淀粉的微生物发酵技术，由于涉及产品种类多、技术复杂并且独立形成体系，因此请参看其它有关专著。

通过本教材知识的学习，学生可以掌握淀粉提取与深加工技术的基础理论和生产方法，为淀粉生物转化技术的学习和淀粉深加工产品的开发奠定专业基础。

第一章 淀粉结构与性质

淀粉的结构包括化学结构、空间结构、分子构象和淀粉颗粒的微结晶结构。在淀粉分子结构中，化学结构是基本的结构，决定高级结构、空间结构和淀粉的性质。不同植物来源的淀粉分子因其结构的差异而具有不同的特性。只有掌握了淀粉的结构知识，才能对淀粉的特征和性能做出充分的解释。在工业生产中，淀粉的结构和性质是确定制取工艺的依据。同时，有关淀粉分子结构的理论也可为淀粉的深度加工以及在发酵工业中的应用提供理论依据。

第一节 淀粉的分子结构

一、淀粉分子的基本构成单位

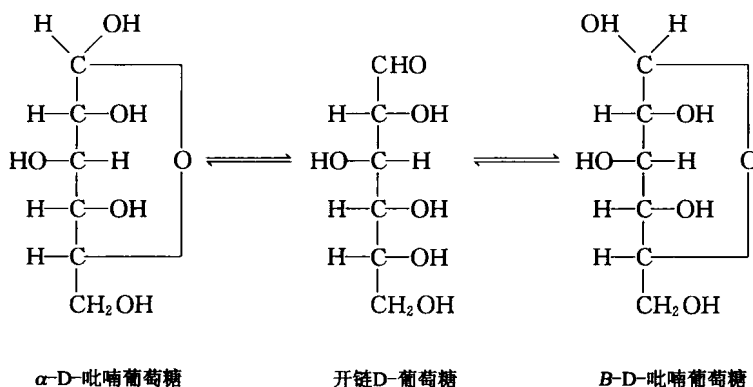
淀粉是高分子碳水化合物，属同聚多糖，其基本构成单位为 α -D-吡喃葡萄糖，分子式为 $C_6H_{12}O_6$ 。相邻葡萄糖分子之间脱去一个水分子形成糖苷键，将葡萄糖残基连接在一起即形成淀粉分子。

1. α -D-吡喃葡萄糖

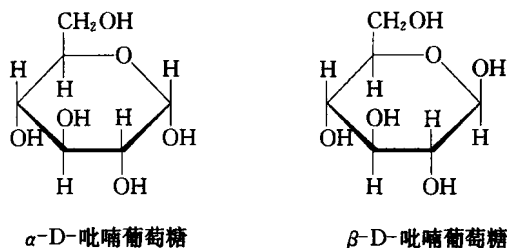
α -D-吡喃葡萄糖的构型分 D 型和 L 型。与 $-CH_2OH$ 相邻的 C_5 上的羟基在碳原子右边者称为 D 型，左边者为 L 型。天然产物中的葡萄糖都为 D 型。

葡萄糖的链状结构不稳定，实际上在晶体状态或水溶液中的葡萄糖多数是以环状结构存在。葡萄糖链上的 C_4 或 C_5 上的羟基可与醛基形成环状半缩醛结构，分别形成五元环或六元环结构。 C_1 与 C_5 成环为六元环，称为吡喃环； C_1 与 C_4 成环为五元环，称为呋喃环。淀粉中的葡萄糖单位是以吡喃环存在的。

环状结构的形成使醛基碳原子 C_1 成为手性碳原子， C_1 上的羟基可有两种不同的构型。在 D 型结构中， C_1 上的 $-OH$ 在右边的为 α 型，在左边的为 β 型。因此环状结构的 D-葡萄糖就有 α -D 和 β -D 两种异构体存在。



上述葡萄糖环状结构是采用 Fischer 式表示法表示的。为了更准确地反映糖分子的立体构型，Haworth 式将葡萄糖写成六角平面的环状结构，称为吡喃糖。葡萄糖写成五角平面形的环状结构，称为呋喃糖，此式可以更清晰准确地表示出各碳原子和基团之间的相对位置。

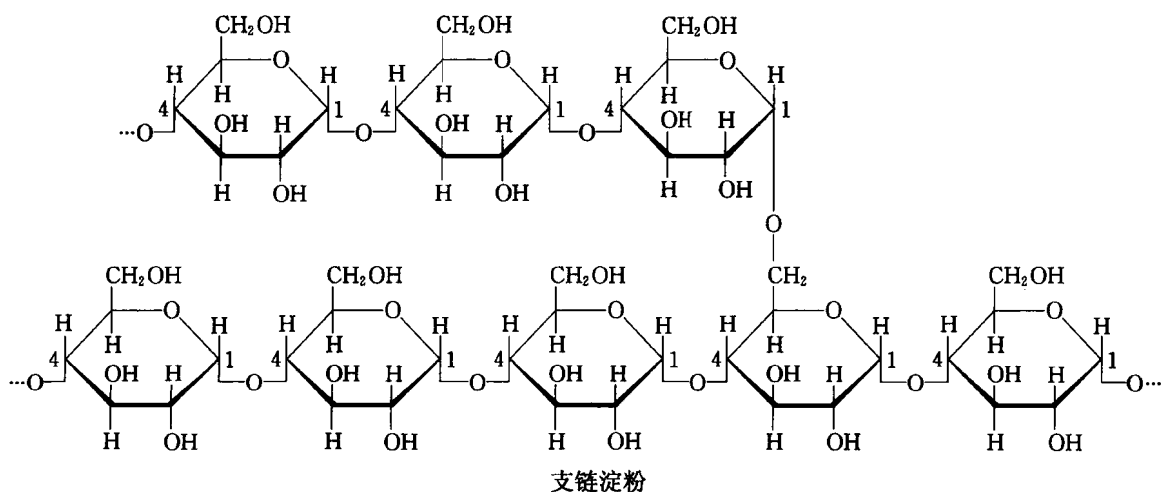
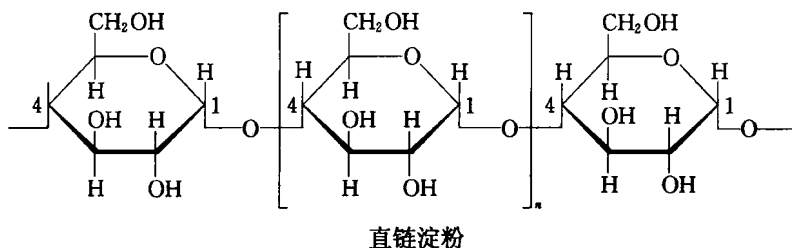


Haworth 式分子结构表示法

葡萄糖在水溶液中，链式和环式、吡喃型和呋喃型、 α 型和 β 型可以互相转变并同时存在，但以吡喃环状结构为主。

2. 淀粉分子的构成

对淀粉分子链构成的研究表明，淀粉分子分为直链分子和支链分子，分别称为直链淀粉和支链淀粉。



直链淀粉是 α -D-吡喃葡萄糖基单位通过 α -1,4 糖苷键连接成的线形聚合物；而支链淀粉是 α -D-吡喃葡萄糖基单位通过 α -1,4 糖苷键连接成直链，再经由 α -1,6 糖苷键将直链支到另一直链上，而形成的高支化聚合物。20 世纪 50 年代后研究发现，淀粉还