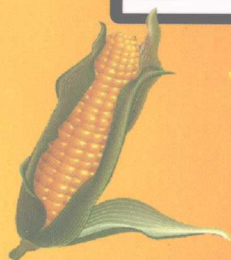




玉米深加工

YUMI SHENJIAGONG

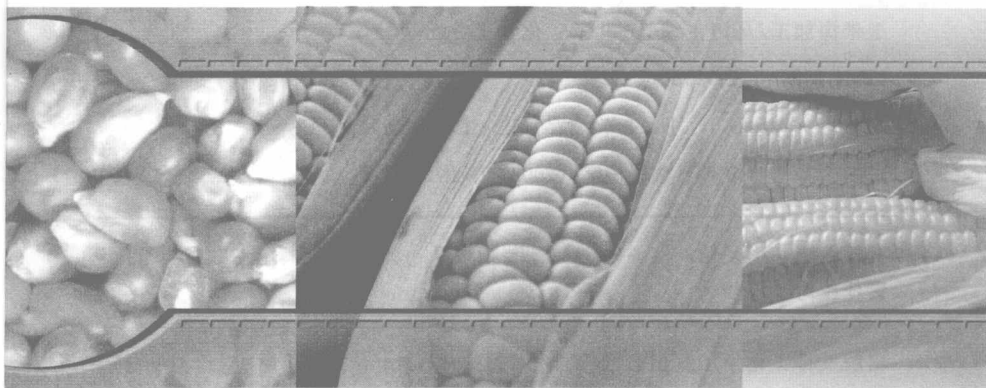


马涛 主编



化学工业出版社

YUMI SHENJIAGONG



化学工业出版社

北京·

本书内容包括玉米籽粒的结构形态和化学成分、玉米食品加工、玉米淀粉与玉米淀粉糖品生产、玉米淀粉改性及其化学品生产、玉米副产品综合利用等。书中详细介绍了各种玉米变性淀粉生产工艺,在淀粉塑料、淀粉超吸水剂与淀粉超吸油树脂等方面,汇集了作者十余年的科研成果和实践经验,对目前国际上重点开发的多孔淀粉、糖代用品及抗性淀粉等最新产品进行了全面介绍。

本书可作为玉米深加工企业生产研发人员的参考书或企业员工培训的教材,也可作为高等院校食品专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

玉米深加工/马涛主编. —北京:化学工业出版社,
2008.6
ISBN 978-7-122-02958-4

I. 玉… II. 马… III. 玉米-食品加工 IV. TS213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第073647号

责任编辑:彭爱铭

装帧设计:韩 飞

责任校对:周梦华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市兴顺印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张7½ 字数197千字

2008年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:23.00元

版权所有 违者必究



前言

玉米是中国重要的粮食作物之一，总产量仅次于稻米与小麦，居第三位。玉米是重要的饲料、食品原料和工业原料，通过对玉米进行深加工与综合利用开发，可获得高附加值的产品，提高玉米全值利用水平，大幅度提升玉米的经济效益。因此，在国外将玉米产业称为“黄金产业”。

近二十多年，我国玉米深加工已有很大发展，除了用于饲料工业外，年加工玉米量已超过 1000 万吨，玉米深加工产品产值约 220 多亿元，为玉米原料产值的 3 倍。发展农村经济，增加农民收入，必须发展粮食深加工，实现农业产业化，即种植、养殖、加工、销售一条龙，才能有效地实现农业、农村、农民经济效益的稳定增长。随着人民物质生活的提高，玉米作主食逐渐减少，而作为工业用粮的比例上升。国家出于粮食安全考虑和扶持地区经济发展，给予产区优惠政策。很多省市也把发展玉米生产作为农业产业化重要组成部分，玉米深加工成为地方经济发展的重点。但是，我国玉米深加工还存在着发展不平衡、加工深度不够、产品缺乏市场竞争力等问题。玉米制淀粉已经供大于求，乙醇也存在同样的市场容量问题，尤其是国家叫停玉米转化燃料乙醇项目，使得问题更加突出。玉米深加工最终究竟应加工成什么产品，怎样的产品结构才适合市场需求，特别是适合我国 13 亿人口的市场，这是一个十分重要的问题。

为了适应玉米深加工及其产业发展的需要，引导玉米产业健康

发展,在收集国内外玉米深加工技术文献资料的基础上,结合作者多年的科研实践,编写了《玉米深加工》一书。本书内容包括玉米籽粒的结构形态和化学成分、玉米食品加工、玉米淀粉和玉米淀粉糖品生产、玉米淀粉改性及其化学品生产、玉米副产品综合利用等。书中详细介绍了玉米变性淀粉生产工艺,在淀粉塑料、淀粉超吸水剂与淀粉超吸油树脂等方面,汇集了作者十余年的科研成果和实践经验,对目前国际上重点开发的多孔淀粉、糖代用品及抗性淀粉等最新产品进行了全面介绍。

新颖、全面、实用是本书的特色。“新颖”即书中的理论、概念、产品、加工技术等均为国内外最新;“全面”即对玉米在食品和非食品领域的应用进行全方位、多层次的开发,提高玉米全值利用水平;“实用”即介绍的玉米深加工技术均来自生产、科研实践,数据翔实,可操作性强。本书可作为玉米深加工企业生产研发人员的参考书或企业员工培训的教材,也可作为高等院校食品专业师生的参考书。

本书在编写过程中,韩立宏、王志永收集了大量的资料,并参与了本书第二章、第三章部分内容的编写工作。

由于学识和能力有限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请广大专家、读者批评指正。

编 者

2008.3



目 录

第一章 绪论

1

- 第一节 玉米深加工的意义 1
- 第二节 玉米深加工国内外发展现状与趋势 4
- 第三节 玉米的分类 6
- 第四节 玉米籽粒的结构形态 8
- 第五节 玉米的化学成分 9

第二章 玉米食品加工

11

- 第一节 普通玉米的食品加工 11
- 第二节 特用玉米的食品加工 27

第三章 玉米生产淀粉及淀粉糖

57

- 第一节 湿法玉米淀粉的生产工艺及设备 57
- 第二节 干法玉米淀粉的生产工艺及设备 62
- 第三节 全糖 67
- 第四节 功能性低聚糖 75
- 第五节 糖醇 76

第四章 玉米淀粉改性及其化学品生产

89

第一节	燃料乙醇	89
第二节	变性淀粉	98
第三节	高吸水性树脂	138
第四节	高吸油性树脂	153
第五节	淀粉塑料	162
第六节	多孔淀粉	173
第七节	抗性淀粉	178
第八节	微球淀粉	187

第五章 玉米副产品综合利用

192

第一节	玉米蛋白生产	192
第二节	玉米油生产	198
第三节	玉米芯制木糖醇	203

参考文献

227

第一章 绪 论



第一节 玉米深加工的意义

一、玉米深加工促进玉米生产的发展

玉米又称玉蜀黍，是世界三大粮食作物之一，又是重要的饲料，由于其单产高，增产潜力大，在农业生产中占有重要的地位。作为工业原料，玉米比甘薯含有较高的脂肪和蛋白质，因而自 20 世纪 50 年代以来，世界上的淀粉、淀粉糖、乙醇工业，愈来愈多地用玉米代替甘薯作原料，这也大大促进了玉米生产的发展。

世界上以美国为玉米第一生产大国，年产 2 亿多吨，其播种面积占全世界 20% 以上，产量占 46%，在近年来的国际玉米贸易中占有 75% 的份额。我国玉米产量为 1.1 亿吨左右，居世界第 2 位。

应该看到，我国玉米产量虽然很高，仅次于美国，但按人均量还是一个低水平。美国年产玉米 2 亿多吨，人均达 770kg 左右。我国人均玉米不到 90kg，所以仅作饲料亦并不富余。目前我国用于饲料的粮食约 5000 万吨，今后随着养殖业的发展，人民生活水平的提高，需要更多的玉米应用于饲料。而工业的发展，特别是食品工业的发展，也需要更多的玉米。所以必须对我国不太富裕的玉米资源，进行合理利用，开展综合利用深度加工。在以玉米为原料的工业企业，实行食品和饲料的联产，更好地提高玉米的经济效益，进一步促进玉米生产的发展。

二、玉米的深加工提升食品工业整体水平

玉米进行综合利用深度加工，可获得耐贮存、营养丰富的食用



氢化油和具有多功能的糖醇。例如：一般消费者不太喜爱食用的玉米胚油，可经精炼氢化，成为食品专用油脂，既保持了植物油的营养，又大大延长了其保存期，用以制取人造奶油、起酥油、代可可脂。也可以经适度氢化用于儿童食品，或用于家庭餐用。特别是方便食品中的用油，可用食用氢化油代替。又如玉米淀粉可制葡萄糖，葡萄糖氢化以后，可以制成山梨醇，山梨醇能被人体代谢，但不易被微生物利用，可以防止腐败，由于它能吸收空气中的水分，所以作为面包添加剂，可以使面包柔软，延长其保存期，美国和日本每年用于食品的山梨醇达 80000t 以上。木糖是由玉米芯提取，是低热量甜味剂，日本将其作为肥胖病人、高血压病人的甜味料，在市场销售有 20 多年，我国每年向日本出口 1000 多吨。木糖经过氢化，成为木糖醇，它具有和蔗糖相同的热量和甜度，但并不增加血糖值，所以是糖尿病人理想的甜味料，而且还具有降低血糖值的功效，可以制取糖尿病人专用的疗效食品。木糖醇还不龋牙，可以作儿童的防龋食品。用木糖醇、山梨醇制的无糖口香糖，在欧洲、北美均有商品出售。

所以，玉米综合利用深度加工，可以为食品更新换代、方便化、多功能化创造条件。

三、玉米深加工的经济效益和社会效益显著

根据玉米的化学成分，除了淀粉外，还含有蛋白质、脂肪、纤维等物质。过去玉米加工因受体制的限制，往往只利用原料中某一组成，而把其他成分当作“三废”处理和排放。这样不仅浪费资源，经济效益低，而且造成环境污染。所以必须把玉米的组成充分加以利用，才能提高其经济效益。

我国淀粉行业 90% 以玉米为原料，多数中小型淀粉厂大致只利用了玉米的 50%~60% 成为商品淀粉，还有以绝干计 20% 的淀粉渣，过去当作粗饲料处理给农民，现在也处于积压状态。尚有原料中的 20% 和废水排出厂外，造成环境污染。如果将玉米进行综合利用深度加工，那么就可以使玉米资源合理利用，就能增加产品的花色品种，提高企业的经济效益，并减轻环境的污染。例如：每



加工 17000t 玉米, 搞单一品种淀粉时, 年产淀粉 10000t, 每吨出厂价 2800 元, 总产值 2800 多万元。如果玉米按每吨 1200 元进厂, 这样单一淀粉生产企业就没有什么利润。玉米的综合利用包括玉米胚、淀粉渣和各种废水, 每万吨玉米, 可分出 700t 玉米胚, 玉米胚榨油, 可得 350t 玉米油, 玉米油经氢化可得 300t 食用氢化油, 可用于制取人造奶油、起酥油等高档食品, 每吨价值上万元, 玉米胚饼 400t 左右, 用作饲料每吨价值 1200 元。玉米胚饼还可以作酱油或饴糖的原料。废水废渣可以回收饲料蛋白粉 700t, 并制取饲料酵母 1000t, 这些均是当前养殖业急需的原料。特别是饲料酵母, 可以代替鱼粉, 对发展养殖业有重要意义。

为了进一步提高玉米加工的经济效益, 还应该对淀粉因地制宜进行深加工。目前广大乡镇企业把淀粉加工成粉丝, 每万吨玉米可得淀粉 6000t, 经改性加工成粉丝 6000t, 每吨价值从 2800 元增加到 5600 元; 如将淀粉转化成葡萄糖, 可以得到 3000t 结晶葡萄糖和 3000t 食用葡萄糖浆, 结晶葡萄糖每吨 6000 元, 食用葡萄糖浆每吨 3500 元, 如将葡萄糖再进一步转成山梨醇, 3000t 葡萄糖可以获得 70% 商品山梨醇 4000t, 每吨 8000 元。山梨醇是制造维生素 C 的原料, 也是食品添加剂的原料。食用葡萄糖浆可以制取饮料或者发酵乙醇后配制各种露酒。

总之, 将玉米进行综合利用, 深度加工, 可使每万吨玉米所得产品的价值, 增值 5~10 倍以上。

综上所述, 玉米的综合利用深度加工, 不仅是发展食品工业和蛋白饲料工业所必需, 而且也是为农业产业化发展所急需。通过综合利用深度加工, 资源得到合理利用, 不仅使企业的经济效益有较大的提高, 而且可以减轻环境的污染。玉米的增产为综合利用深度加工提供了丰富的资源, 而综合利用深度加工又为玉米提供了广阔的出路, 为人民生活提供了丰富的食品, 为养殖业提供了高蛋白饲料来源。进一步促进养殖的发展, 为人民生活增加更多的肉蛋奶创造了条件。这对于实现国民经济中种植、加工、养殖、种植的良好循环, 有着重要的意义。



第二节 玉米深加工国内外发展现状与趋势

一、国外玉米综合利用情况

为节约能源,开辟新能源,美国政府批准含乙醇 10% 的汽油作汽车燃料,近几年美国燃料乙醇生产逐渐增加。

采用玉米生产乙醇,在美国有 3 种方法。

(1) 全粒法 即目前我国传统采用的方法。玉米直接蒸煮,不分离副产品,酒糟浓缩干燥作饲料。

(2) 干法 即玉米经适当粉碎,分出一部分玉米皮和胚芽,将玉米干淀粉制酒精。

(3) 湿法 玉米先生产淀粉,分离胚芽榨油、蛋白粉、纤维蛋白饲料,然后用淀粉浆生产燃料乙醇。每吨玉米可以得到玉米油 30kg,玉米纤维蛋白饲料 219kg,蛋白粉 50kg,乙醇 364L。全部副产品价值为原料的 63%,原料利用率达到 98%~99%。

美国玉米综合利用流程见图 1-1。

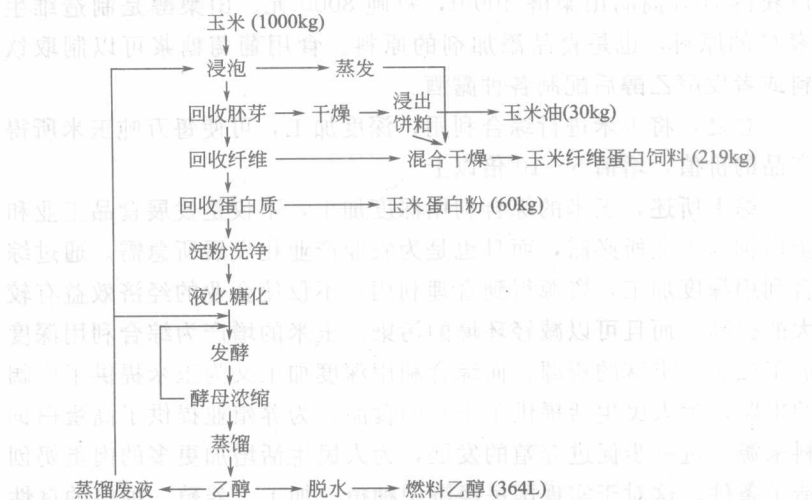
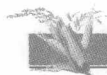


图 1-1 美国玉米综合利用流程图



美国玉米深加工的商品主要是果葡糖浆、乙醇、葡萄糖浆和淀粉。

二、国内玉米深加工与综合利用情况

经过引进国外先进技术和消化吸收,我国淀粉工业的技术进步已有了较大的进展。全国以玉米为原料湿法生产的玉米淀粉达 300 万吨。为国内淀粉糖工业和发酵工业提供了蛋白质含量 0.35%~0.5% 的商品淀粉,从而能为发酵制品生产降低净化负荷、提高产品质量创造有利的条件。但是湿法玉米淀粉生产,一次性投入较大,废水处理任务重,不适于中小型淀粉企业采用。因而我国玉米乙醇生产虽然有几十万吨产量,但基本上是全粒法,即玉米粉碎成粉,直接投料。此外,在我国柠檬酸行业,安徽蚌埠柠檬酸厂也采用玉米粉原料发酵制柠檬酸,使柠檬酸成本大幅度下降,为我国玉米综合利用,开拓了新途径。

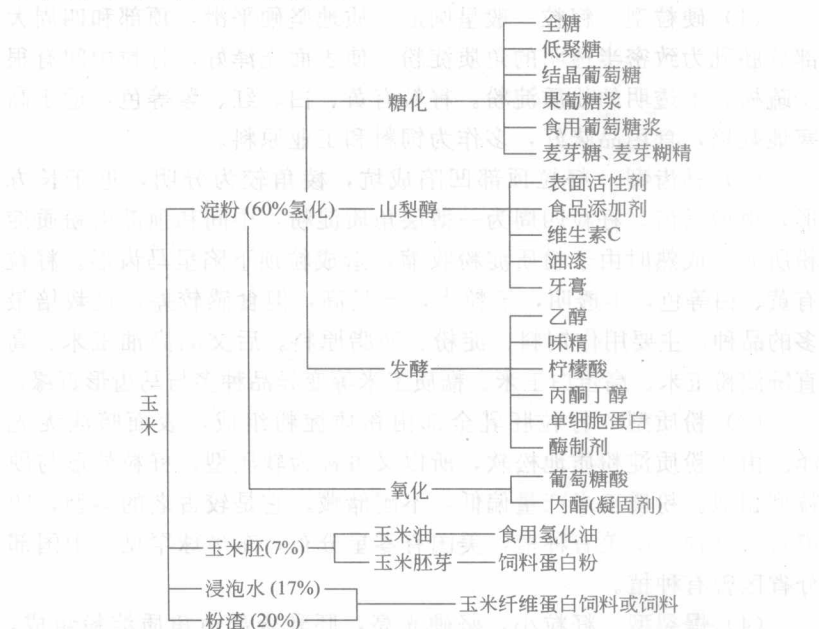


图 1-2 玉米深加工的工业化产品



目前我国玉米深加工还存在着发展不平衡、加工深度不够、缺乏竞争力等问题,玉米制淀粉已经供大于求,乙醇也存在同样的市场容量问题,尤其是国家叫停玉米转化燃料乙醇项目,使得问题更加突出。有些深加工产品如山梨醇,国内生产 70000t,但还进口 80000t,说明市场还有潜力,主要是国内产品要提高竞争力,在提高产品质量,降低生产成本方面加大技术攻关投入。

三、玉米深加工的工业化产品

玉米深加工的工业化产品如图 1-2 所示。

第三节 玉米的分类

1. 分类方式

按照籽粒形状、胚乳性质与有无稃壳,可以分成以下 8 大类型。

(1) 硬粒型 籽粒一般呈圆形,质地坚硬平滑,顶部和四周大部分胚乳为致密半透明的角质淀粉,使表面光泽好,籽粒中间有很少疏松、不透明的粉质淀粉。籽粒有黄、白、红、紫等色,适于高寒地栽培,食用品味好,多作为饲料和工业原料。

(2) 马齿型 籽粒顶部凹陷成坑,棱角较为分明,近于长方形,很像马齿。籽粒四周为一薄层角质淀粉,中间和顶部由粉质淀粉所充。成熟时由于粉质淀粉收缩,造成粒顶下陷呈马齿形。籽粒有黄、白等色,不透明,子粒大,产量高,但食感较差,是栽培最多的品种。主要用作饲料、淀粉、油脂原料。后文的高油玉米、高直链淀粉玉米、高蛋白玉米、糯质玉米等变异品种多与马齿形近缘。

(3) 粉质型 籽粒胚乳全部由粉质淀粉组成,表面暗淡无光泽。由于粉质淀粉质地松软,所以又可称为软质型,籽粒外形与硬粒型相似。粉质玉米产量偏低,不耐储藏。它是较古老的类型,印第安人喜食。南美有种植,美国有零星分布,东半球罕见。中国部分省区曾有种植。

(4) 爆裂型 籽粒小,坚硬光亮,胚乳全部由角质淀粉组成,遇热爆裂膨胀。有的可达原来体积的 20 倍以上。爆裂玉米有圆形



和尖形两种,有黄、白、红、紫等不同粒色。这种玉米产量低,一般专做爆米花用。

(5) 甜质型 籽粒含糖分较多,淀粉较少,成熟后外形呈皱缩或凹陷状。一般在乳熟期采摘,作为嫩玉米食用,茎叶用作青饲料。甜玉米分为普通甜玉米和超甜玉米两种。

普通甜玉米:胚乳由角质淀粉构成,一般种皮较薄,成熟后籽粒呈半透明状。乳熟期含糖分可达8%左右。采摘后一部分糖分会逐渐转化为淀粉,因此甜味就会降低。它含有多量水溶性多糖,故有很好的风味。

超甜玉米:这种玉米的完熟干籽粒外表皱瘪凹陷,并不透明。乳熟期含糖分高达18%~20%,为普通玉米的7~8倍,但胚乳中缺乏水溶性多糖,种皮较厚,不宜用于制罐头。超甜玉米籽粒中糖分转化淀粉的速度比普通甜玉米慢,所以比普通甜玉米存放时间长。

(6) 糯质型 籽粒不透明,无光泽,外观似蜡状,故称蜡质玉米。它的胚乳全部由支链淀粉组成,煮熟后黏软,富于糯性,俗称黏玉米或糯玉米。糯玉米在中国常作为嫩玉米鲜食,或制成各种糕点。它是20世纪初由我国云南传入美国,唯一的不是由美洲育成的商业品种。

(7) 甜粉型 籽粒上部为富含糖分的皱缩状角质,下部为粉质。它比较罕见,在生产上不占地位,只在南美洲一些地方能找到。

(8) 有稃型 每颗籽粒都有颖壳包裹,颖壳顶端有时有芒状物,籽粒坚硬,为始类型,由于脱粒不便,除用作研究玉米起源和进化外,在生产中没有利用价值。

2. 特用玉米

特用玉米是指具有较高的经济价值、营养价值或加工利用价的玉米,其技术含量和遗传附加值较高,国外也称作遗传增值玉米。除马齿型、硬粒型等普通玉米外,所有其他玉米都可算作特用玉米,主要包括以下7种。

(1) 高赖氨酸玉米 普通玉米通过遗传改良,使籽粒中赖氨酸含量提高70%以上的玉米,称优质蛋白玉米或高营养玉米。它的胚



乳赖氨酸含量与普通玉米相比高达 69%，高赖氨酸玉米吃起来感觉鲜、甜、香而适口，嚼之松软而不粘牙齿。主要品种有鲁玉 13 号等。

(2) 高油玉米 子粒胚芽所占比率增大，淀粉减少，含油量比普通玉米平均 50% 以上（含油率可达 20% 以上），它是人工育种创造的一种新型玉米。玉米油是一种高质量食用油。目前我国推广的品种主要有高油 1 号、高油 6 号、高油 115 号、春油号等。

(3) 爆裂玉米 专门用来制作爆玉米花食用的特用玉米。好的爆裂玉米爆裂达 99%，膨胀倍数达 30 倍。一般家庭中用铁锅、微波炉均可加工爆米花，食用简易方便。主品种有黄玫瑰、黄金花、沪爆 1 号、泰爆 1 号等。

(4) 甜玉米 即甜质型玉米。它的用途和食用方法类似于蔬菜的性质，又被称为“蔬菜玉”。它可加工成各种风味罐头。品种主要有苏甜 8 号、超甜 15、东农超甜、甜单 8 号等。

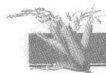
(5) 笋玉米 笋玉米英文名 baby corn，即嫩穗玉米。笋玉米是指专门用来生产玉米笋的专用型品种，幼嫩果穗形似竹笋。专用型品种有鲁笋玉 1 号、冀特 3 号等。

(6) 糯玉米 即糯质型玉米。籽粒中淀粉 100% 为支链淀粉，具有甜、糯、香、软的特点，流通中因为可能混有其他变异种，所以交易时质量必须保证支链淀粉含量在 95% 以上。主要品种有烟糯 5 号、鲁糯 1 号、苏糯 1 号等。

(7) 青贮玉米 以新鲜茎叶（包括穗）生产青饲料或青贮饲料的玉米品种或类型。它的独特之处在于完全符合饲养业的要求。专用型品种有京多 1 号等。

第四节 玉米籽粒的结构形态

玉米籽粒主要由种皮、果皮、胚乳和胚 4 部分组成，如图 1-3 所示。胚乳的结构随玉米的类型而有很大的不同，玉米的胚占籽粒重的 10%~20%，胚将来发育成为玉米植株，由胚芽、胚根鞘、胚根及盾片构成。胚芽中有 5~6 片胚叶，是叶的原始体，盾片中



含有大量的脂肪,普通玉米盾片中含脂肪为 35%~40%。种子下端有一个果梗,与种皮接连,它使籽粒能够附着于穗轴上,并保护胚。脱粒时,果梗常留在种皮上,若去掉果梗则出现黑色覆盖物(黑色层),黑色层的形成,一般标志着籽粒已经成熟。

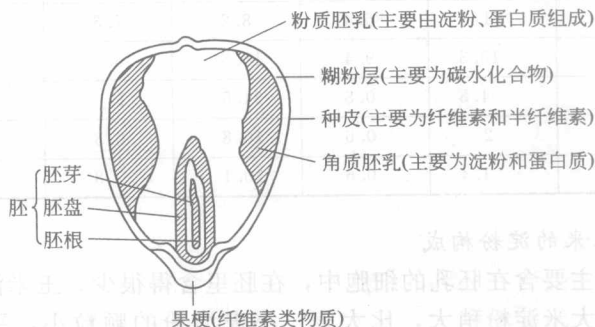


图 1-3 玉米籽粒结构

玉米的种类和用途主要取决于胚乳,淀粉是其主要成分,普通玉米胚乳中致密的角质淀粉与粉质淀粉之比为 2:1。角质淀粉因包裹在蛋白质膜中,相互挤压呈稍带棱角的颗粒,粉质淀粉则近似球状。

第五节 玉米的化学成分

1. 玉米的化学成分

玉米的化学成分如表 1-1 所示。

表 1-1 玉米的化学成分 单位: %

成分	范围	平均值	成分	范围	平均值
水分	7~23	15	灰分	1.1~3.9	1.3
淀粉	64~78	70	纤维	1.8~3.5	2~2.8
蛋白质	8~14	9.5~10	半纤维		5~6
脂肪	3.1~5.7	4.4~4.7	糖分	1.5~3.7	2.5

注:均指质量分数%,下同。



2. 玉米各部位的组分

玉米各部位的组分如表 1-2 所示。

表 1-2 玉米各部位的组分

单位：%

成分/%	全粒	胚乳	胚芽	玉米皮	玉米冠
淀粉	71	86.4	8.2	7.3	5.3
蛋白质	10.3	9.4	18.8	3.7	9.1
脂肪	4.8	0.8	34.5	1	3.8
糖	2	0.6	10.8	0.3	1.6
矿物质	1.4	0.6	10.1	0.8	1.6

3. 玉米的淀粉构成

淀粉主要含在胚乳的细胞中，在胚里含得很少。玉米淀粉粒较小，仅比大米淀粉稍大，比大麦、小麦淀粉的颗粒小，平均粒径 $15\mu\text{m}$ ，高直链淀粉玉米的淀粉颗粒较小，形状也不规则。胚乳中的淀粉，其化学成分也不完全是纯净的，其中还含有 0.2% 灰分、0.9% 五氧化二磷、0.03% 脂肪酸。

玉米淀粉按其结构可分直链淀粉和支链淀粉两种。直链淀粉遇碘呈蓝色，支链淀粉遇碘呈紫红色。直链淀粉的分子大约含有 200 个葡萄糖基，支链淀粉则有 300~400 个葡萄糖基。

普通的玉米淀粉只含 21%~27% 的直链淀粉和 73%~79% 的支链淀粉。用直链淀粉可制成强度较高的食用淀粉薄膜。经人工培育的玉米品种，可以获得含直链淀粉 80% 以上。也可以从直链淀粉和支链淀粉的混合物中，分离直链淀粉。黏玉米品种所含的淀粉，全部为支链淀粉，这种淀粉糊化后透明度大，胶黏力强。

4. 玉米蛋白质

玉米含有约 8%~14% 的蛋白质，这些蛋白质，75% 在胚乳中，20% 在胚芽中，其余在皮部和糊粉层内。

玉米粒中的蛋白质主要是醇溶蛋白和谷蛋白，分别占 40% 左右。而白蛋白、球蛋白只有 8%~9%。因此，从营养角度考虑，玉米蛋白不是人类理想的蛋白质资源。唯独玉米的胚芽部分，其蛋白质中白蛋白和球蛋白分别含有 30%，是一种生物学价值较高的蛋白质。