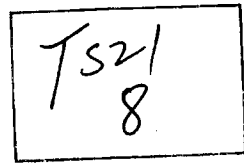


农产品加工与利用手册

（ 植物产品 ）

甘肃省质量能源标准化信息中心



CRC农产品加工与利用:



第二卷 第一分册

植物产品

(美) 伊万 A. 沃尔夫

主译: 张志祥

译: 方新生 刘绳祖

甘肃省质量能源标准化信息中心出版

CRC农产品加工与利用手册

第二卷 第一分册 植物产品

编辑 吕 洮

出版 甘肃省质量能源标准化信息中心

印刷 天水新华印刷厂

书号：甘出字总编第009号

定价：28.50元

开本：787×1092毫米（16开本） 印张：29 字数：208千 印数：1——1,000册

1989年3月第1版第1次印刷

出 版 序 言

本手册译自美国CRC出版物“农产品加工与利用手册”中有关植物产品部分。即着重介绍农产品收获后处理—搬运、贮存和加工的过程。具体地阐述玉米、小米、高粱、稻米、黄豆、大麦等的加工和利用；饲料作物的加工和利用；甘蔗、甜菜、制糖法和利用，以及蜂蜜等农副产品的加工和利用。书中特别是对农作物精加工工艺流程、加工方法和分析结果以及产品在世界各国的需求量情况，都作了精辟的报导，堪称世上仅有的一部完备的宝贵资料，是值得我国读者借鉴的文献。而且，依照该手册可进行新型工艺流程设计，诸如黄豆、花生、油菜籽等精加工方法。致于其出口产品的质量标准和卫生安全方面的要求，正可与国产制品对照参考。

本书适于农业部门，外贸部门、进出口商检部门、营养学研究部门、食品卫生部门、农业大专院校，以及广大农产品加工厂工作人员参考。

本书由兰州大学副教授**张志祥**主译，参加部分翻译的还有方新生，**刘绳祖**。全书由**李泰森**进行过审阅。

由于译，编者水平有限，难免出现一些疵漏或错误，诚望读者指正。

甘肃省质量能源标准化信息中心《促进技术编辑部》

一九八九年一月

前 言

美国农业系统是以土壤、水、植物和动物为起点，以向用户提供制品和材料为终点的。最终的用户是个体消费者，工业企业和外贸部门。他们需要农业制品和材料作为粮食、饲料，或工业原料。

CRC农业丛书中的这一卷论述商品化农产品在收获后的处理，即加工和利用，绝大部分工序是在农场外进行的。因此，本卷较少涉及农业生产、病虫害、土壤施肥等问题和作法以及获得最佳产量的方法，而侧重于叙述把农产品转化为所需形式的复杂工序。在一些章节中，作者为了叙述完整，并能展望前景起见选用了与后几个阶段有关的加工和利用方面的生产数据以及和产品性质有关的生产数据。我们尽量设法统筹安排，避免和本手册的其他各卷在内容上出现重复。

这里所叙述的加工过程通常限于农产品的初加工。例如，我们只涉及食品科学和加工技术的几个方面。要想对数以万计的食品，对以农产品为原料的向消费者提供的数量庞大品种繁多的食品的加工过程进行详细的叙述，恐怕是不切实际的。

当我们认识到农场外的处理、贮存和加工的经济价值后，就自然会明白农产品在收获后进行处理的重要性。在美国约有三分之二的消费市场零售额化费在农产品收获后的处理上。农场外的这种事务性工作需化费四倍于农业劳动的人力，它需要雇佣五倍于农业劳动人数的雇员。其次，劳动生产率等因素和出口加工农产品所带来的经济利益对美国的国民经济具有重大影响。一套农业丛书必须论述农产品从农场转辗到用户手中的几个主要阶段，这是不言而喻的。

本书编者和顾问委员会在主编的参与和有效指导下，成功地编就了一部内容空前丰富的巨著。这部典籍涉猎广泛，在论述农产品的加工和利用方面颇有造诣。

本卷编辑

伊万A.沃尔夫

序

第二卷第一分册和第二分册论述对人和动物的生命至关重要的植物王国里的产品。它们为食品、饲料、纤维以及多种工业品提供原料。

社会城市化使农产品加工成为食物传送系统的一个重要部分。没有这种系统，就不会有今天的城市和城市生活方式。食品加工使居住在城乡的亿万人口获得营养可靠的食物供应。食品加工效率的提高和增加有用制品的产量是降低食品成本和增多食物供应的行之有效的办法。家庭、机关和饭店都要求供应方便食品，要求食品加工工业提供新的食品成分和新的食品品种。在非食用性的应用上，植物产品也必须经过分离和转化，才能加工成所需的使用形态。

食品加工的主要原因有五：一、保存备用；二、去除不可食用的部分；三、破坏或排除有害物质；四、转化为消费者所需要的形态；五、分解为不同的食物成分。第一种原因即保存备用是食品加工的首要原因。

大田作物包括粮食、油籽、糖类和植物饲料，是人体需要的主要营养成分。人类可以直接食用谷物的籽仁或分离后的营养成分，也可以把这些作物及其副产品用作饲料，生产肉类、家禽、奶类、蛋类和鱼类。大田作物也有多种非食用性的用途。不过，几乎在所有情况下，大田作物在收获后必须进行某种方式的加工，才能用作食品、饲料或工业原料。

谷物是谷类植物的种子，包括小麦、玉米、稻米、燕麦、大麦、黑麦、高粱、小米、杂交麦和野生稻。淀粉这种碳水化合物是谷物的主要营养成分。谷物中的蛋白质通常比油籽中的蛋白质小得多。在某些谷类如小麦中，蛋白质具有独特的功能特点，例如可

制成面团。

油籽这个词并非植物分类学上的名称，而是一个综合词，指主要能量来源不是淀粉而是油脂的那些植物种子。油籽也含有主要的蛋白质成分；当油籽脱脂时，蛋白质的含量会相对地增高。油籽可分为两类：含食用植物油的油籽如大豆、花生、棉籽、葵花籽、红花籽、芝麻、油菜籽；含非食用植物油的油籽如亚麻籽、蓖麻籽，脱脂后的油渣通常用作饲料，榨出的油用作工业产品的原料。

糖和植物（甘蔗、甜菜、芦粟）、饲料（紫花苜蓿、小米、暖季与寒季的饲草、三叶草）和这些植物废料中的营养素是在植物的根、茎、叶分离开来，切碎后加以利用，才能获取的。种植糖和植物乃是蔗糖的来源。当前，也有人试验利用高粱作为产生能量的生物量。玉米粉经过酶的转化，也可用作食用增甜剂（果糖糖浆）的一种来源。

饲料和植物废料是动物饲养上非竞争性的能量与氮素的主要来源。在牲畜饲养上能否进一步利用好饲料和植物废料，这取决于我们能否更好地认识决定饲料口味、营养成分和营养利用率的那些因素，取决于对商品化加工品的研制。

如上所述，大田作物是动物和人类获得主要营养素——维生素、矿物质、纤维、蛋白质、糖和油类的极好来源。蛋白质是主要氨基酸的来源，淀粉和糖类是热量和主要的D-葡萄糖的来源，油类是热量和主要脂肪酸的来源。但是种子的首要的生物机能是萌发成一株植物。因之，种子的构成和植物的结构是由植物的营养与发育要求决定的，包括抵御病虫害在内，而不是由人体和动物的营养与生理要求决定的。

收获和加工饲料的方法有几种，为的是

把饲料收藏到生产淡季或非生产季节去喂饲，也为了运输到不生产这些饲料的地区去。加工方法有青贮法，田间晒干法，高温或低温脱水法，或兼用这两种方法。饲料脱水法是一种能量非常集中的加工操作方法。青饲料贮存方法与其说是一项技术，不如说是一门艺术，至今对于如何获得最佳效果、如何保存其中的营养素，对这些必要的条件尚未得出精确的定论。保存饲料中的营养含量和提高利用效率，乃是绝大多数饲料加工工艺的首要目标。贮存干饲料的方式是：在农场里，每1至3吨饲料作为一捆或一堆；如需要运输，可把40—50磅饲料打成一捆或一包。新收割的高蛋白牧草如紫花苜蓿，白色三叶草和百慕大草也能经过压榨，浓缩成几种产品，即含有或不含有类胡萝卜素色素的饲料加工品和浓缩蛋白质。这种加工方法为提高产品价值、降低能源消耗打开了广阔的前景。

有些作物的废料如麦秆、稻秆在收割时就应考虑存放；另一些作物的废料必须晒干，才能加工成副产品。在大多数情况下，作物废料的营养含量和利用效率均很低，必须通过加热、添加化学品或经过发酵处理，才能变成有营养的饲料成分。单胃动物对谷物和油籽的外壳这类副产品通常吸收得极，少甚至反刍动物对这类饲料的消化率也很有限。但某些谷物的谷糠已成为市场上紧缺的反刍动物的粗饲料，经过氨或糖浆处理后即可利用。

糖类作物的加工是把植物中的糖分分离出来，精制成白色或棕色蔗糖。在制取高浓度的果糖糖浆时，需要酶把离析好的玉米淀粉转化为葡萄糖，再转化为果糖，这种加工方法真正代表着由一种没有甜味的淀粉变成糖浆的转化过程。

谷物固其种类和加工的最终目的不同，需采用不同的方法。大多数谷物和某几种油籽在贮存前需要晒干，才能由升降机送入仓

库。谷物和油籽通常需要脱壳（麸皮、谷糠，荚壳、种衣、种皮），否则仓库拒绝收藏。去壳通常由不同程度的敲击捣碎来完成，然后区分开种仁和外壳。有些谷物的外壳必须经过特殊的加工处理，才能成为受人欢迎的食品或饲料成分。

有些种子如棉籽，它的纤维连在外壳上，加工时需用研磨（切断纤维）或化学（加酸）方法，才易于脱壳。小麦、花生等种子的外皮和种衣的色素含量高，必须去壳。去壳的程度还要由产品的最终目的来决定。需要核仁保持完整时，去除种衣就成为一个关键性的程序，这时也许需要放入适当的添加剂。

玉米的特点是玉米颗粒必须在晒干前或在晒干后从玉米棒子上取下来。去掉外皮的玉米可以直接用作饲料，或发酵酿酒；加水研磨成淀粉，可作工业原料或食品原料；晒干后可研磨成玉米粉或碎粒，既可直接食用，也可制成更受人欢迎的玉米粥片。

小麦不作动物饲料，除非生产过剩使小麦的价格降到可以和玉米价格相竞争的地步（营养价值×价格）。小麦的主要用途是制成烤饼或面团。作这种用途的面粉是用干磨法制得的。因为小麦蛋白质（谷朊）的质地优良，可以把小麦水磨成不同的成分——其中淀粉用于工业或供食用，谷朊成为糖果点心、烤制品和生面制品的一种成分，面粉可以在空气中筛选，增高蛋白的浓度。把全麦粒煮成半熟，再干燥成一种食品，称为布尔加（Bulgar）。有相当数量的一部分人不喜欢吃面食，这可能是因为小麦蛋白中有某些特殊物质。

在颗粒小的谷物方面，黑麦和杂交麦通常磨成干粉，单独使用或掺入面粉，制成烤制品。燕麦在煮食或烤食时，只需压碎就能提高淀粉的利用率。高粱、小米和大麦在种植玉米较少的地区用作牲口饲料。但通常需要进行某种方式的加热处理，才能提高其营养成

分的利用率和消化率。整麦也用作早餐食品，或作为慢火墩煮的汤类中的一种用料。但大麦的主要用途是有控制的让它发芽，使酿制的饮料味道更觉醇厚。在美国人的饮食中，大米是马铃薯以外的可供选择的主要食物。大米加工以改变淀粉的结构为主，旨在改进大米的质量特点和使用方便（缩短烹调时间）。由于野生稻的种子构成特点，将它制成供食用的食品时，必须进行有控制的发酵和烘干。

油籽有三种加工方法：一、对整粒油籽进行加工利用；二、除去油籽中的某一种主要成分后，再加工利用；三、把油籽中的某一种主要成分，如油分离出来，制成加工品；剩下的成分主要是蛋白质，其浓度升高了。在许多场合里，这些制成品还可以再次加工成受人欢迎的食品和饲料。

把全部脱脂或部分脱脂的粮食和油料加工成食品的方法有多种，需按制成品的形状有所区别。一、有些籽仁作为天然形式的调味品可以烤制，可以涂料加味，或仿制成其他食品形状；二、有些籽仁可以加工成均匀的奶油状的食品涂料；三、有些籽仁可以发酵，制成东方风味的食品如米沙(miso)；四、有些籽仁可以挤压成各种适用形状，或磨粉，便于烧成粥糊或汤羹；五、有些籽仁需用水溶液或稀盐水浸泡，再将提取物掺水调成基料，制成发酵的或未发酵的系列奶制品如牛奶、冰淇淋、酸乳酪和奶酪。（全脂或部分脱脂的加工成粉状的粮食也可以用作奶制品的基料）。

从历史上看，上述第三种即分离加工法是油籽的主要加工方法。这种加工方法的主要意图是生产食用油和工业用油。它不同于比较简单的粮食加工方法，后者采用干磨或水磨这类物理方法即可分离；油籽必须用压榨法或溶剂提取法，或兼用这两种方法才能生油。由此粗制而成的原油是油籽内各种成分的混合物，包括油脂、有色物质、有味

成分，有时还含有毒化合物，如棉籽油中的棉籽酚和环丙烷脂肪酸，因此务必去除这些有毒成分，才能制成稳定可靠的食用油。排除种子中的这些成分需用另外一套生产工序。需要采用分馏法或化学的和物理的加工方法，才能制成满足某种特定需要的油品或食品成分。

因此，加工是利用大田作物所必需的手段。加工效率的高低是决定加工品价格的主要因素。原料的质量、能源、水源和劳力及其副产品的利用等，都属于加工效率的范围。提高副产品的利用率乃是降低加工总费用的重要因素，但常因人们对副产品的成分缺少足够的了解，所以利用得有限。

加工大田作物的基本原则早已确定，并在过去的几十年里实现了商品化。人们对产量和劳动效率作出了预期的变动和改进。但是这些技术大都是在没有考虑能源、水源限制和环境污染的时代里发展起来的，当时也没有考虑到营养和食品安全等因素。食品安全方面的新问题如致癌物、诱变性、畸形性以及营养标记等新观念已经对当前的食品加工方法的可行性和费用产生了外加的影响。政府对噪音、水源和工厂内外的空气污染所作的规定要求人们改变当前的工艺流程，提高以前认为是废水废气的那些副产品的利用率。随着能源费用的升高和对现有能源的限制，工业生产必须具有最高的能源利用率，在有些情况下需要换用其他形式的能源。水费还在涨价，供水量的限制也越来越多。

每年把大量的大田作物进行加工，制成非食用的材料，其数目之大可以举两个例子来说明。从谷物中分离出来的淀粉用于造纸、纺织、粘合剂、粘结剂、油井钻掘用料、涂层和炸药的数量达到30亿磅。每年从油料作物中提炼出来的油脂约有20亿磅用于油漆、颜料、地板贴面、润滑剂、油脂、肥皂、脂肪酸及其衍生物、塑料及增塑剂。

现在把话题从大田作物转到园艺植物上

来。美国每人每年平均消费约1600磅食物，其中15%即242磅食物为瓜果蔬菜加工品。每人每年消费的瓜菜加工品数量还在继续增长，一向是超过鲜货的消费量。

产品质量和加工效率是加工过程中的两个重要因素。这两种要素中的任何一种都会受到原产品的特点的影响。市场对加工果品和菜蔬的需求和市场价格的一个重要的决定因素是质量，它是由质感（香味、滋味、色泽、软硬）营养、安全等几个因素构成的。有关质量的大多数指标因品种、成熟程度和生长环境的不同而有区别。

在多数情况下，瓜菜的加工量取决于生产量；有时取决于与之竞争的鲜菜市场的供求关系。加工食品的最终消费价格决定于多种因素，包括：一、农作物的质量和利用率；二、加工前的损耗；三、加工效率和经销效率；四、上市的最终商品形式。

虽然新鲜瓜果菜蔬在国内外贸易中大幅度地延长了货架寿命，外国的果品蔬菜生产已经在美国形成了一个极有竞争能力的市场。美国农场主主要从农作物的质量和上市及时两方面与之相抗衡。另外，有些商品的生产效率迅猛增长，以致超过了美国和世界人口的个人消费量。例如，柑橘在人口仅能增长一倍时，可望其产量净增150%。因此预防天气和病虫害等灾难性变化，通过加工收藏好瓜果菜蔬，是提高其利用率的主要手

段，以便将瓜菜加工品源源不断地供应国内外市场。

然而，仅有加工不足以保证加工品的利用水平，并向农场主交付适当的利润。加工品的成本和消费者眼中的加工品价值在产销关系中是互相制约的。食品消费样式的变化要求多种多样的新颖的熟食和加工食品，这种情况可以说明消费者的价值观念正在改变。因此试制新式的食品如马铃薯泥制成的干马铃薯片，把柑橘制成果胶作为副产品，这些是平衡产销关系时必需采取的措施，也是进一步提高加工效率的必然结果，由此向消费者提供在他们心目中价值和费用相等的加工品。

提高园艺植物收获后加工成消费品的效率有两个方面：一、在完成必要的加工步骤时的效率；二、提高商品在消费者心目中的价值。本卷将在适当的章节里叙述有关园艺作物的这些问题和其他一些问题。

除了我们在这里简单提到的那些主要的大田作物和园艺作物外，还有多种重要的极有价值的农业商品和植物产品，本书将在CRC农业丛书的这些卷册和其他有关卷册中进行深入的讨论，以期使用本书的读者能从中获得有价值的资料。

现在我们敬请读者阅读各卷各章中的详细论述，这些卷册均由有关领域内的专家撰著和编纂的。

目 录

谷物

玉米：良种玉米的一般特点.....	(3)
玉米碾磨加工业.....	(21)
玉米的非食用性用途.....	(39)
玉米用作食品和饲料.....	(49)

其它谷物

小麦的加工和利用.....	(55)
高粱和小米.....	(76)
稻米的加工和利用.....	(90)
大麦.....	(115)
燕麦.....	(138)
裸麦.....	(147)
杂交麦的加工和利用.....	(162)
野生稻的生产和加工.....	(196)

饲料

饲料作物的加工和利用.....	(221)
-----------------	-------

制糖原料

甘蔗制糖.....	(305)
甜菜制糖：加工和利用.....	(366)
甜高粱.....	(389)
蜂蜜.....	(396)
碱糖浆.....	(415)

发酵制品和农业副产品

发酵过程中的微生物利用.....	(429)
农业副产品和废料.....	(439)

谷 物

玉米：良种玉米的一般特点

斯坦利 A. 沃森

历史渊源和生理结构

玉米在谷物中是别具一格的。它是唯一的以美洲为发源地的主要谷物。大约在七千到一万年前，墨西哥人把一种名叫大刍莫的野草加以驯化。玉米属于草科植物中的禾木科。当哥伦布在1492年发现这种植物时，美洲土著居民把它作为主食已有几百年历史，唤作Mahyz。哥伦布在1492年把这种植物引进到欧洲时，西班牙人叫它maiz，一直沿用至今，即“玉蜀黍”。它从西班牙越过南欧传入土耳其。

十七世纪时，南欧大规模种植玉蜀黍，从巴尔干半岛一直蔓延到法国南部。这种普遍种植的情况反映在欧洲人对玉米的那些俗名上（表1）*。当英国殖民者发现生长在美洲的玉蜀黍时，他们用了英国人对粮食的一般称呼，即“Corn”（玉米），它至今仍是美国人和加拿大人常用的名称。

玉米的独特性还表现在二雄花穗长在4—6英尺高的茎端，雌花穗长在左腋内。一株玉米有16—25片叶子，但只有中间的4—6片叶子各长一个幼穗。在玉米的大多数退化品种中，只有上部一二个穗能发育成熟。另一些品种如甜玉米，最多可以有六个穗臻于成熟。杆茎底部直径约1英寸，由于表皮厚，故能直立；明显的节结有24—26个。下部的8—10个节结能长出轮状的不定根。上部的轮状根起支撑作用，使杆茎直立。根部扎入土中及周围约5英尺深。有些品种的玉米，尤其是甜玉米，能另行长出支叉，叫做“分

蘖”，也能长出雌穗和雄穗。杂交玉米大都只有一个杆一个穗。

玉米在繁殖前，当幼苗长到60—70天时，雄穗中的花粉完全成熟，这是由该品种的先天早熟性决定的。雌穗伸长，长出几排纵向的对生小穗，每个小穗上开两朵花。除少数品种外，一般只有一朵花长出子房和雌蕊。因此，雌穗的数目总是偶数。柱头迅速伸长，从包住雌穗的种衣顶端长出来，“穗须”可在开花一二天内出现。附在雄穗上的花药散出数百万颗轻颖的花粉，受重力作用或随风落到紧紧包住雌穗的那6—8张种衣顶端的穗须上。花粉管长入穗须，穿入胚珠受精。每个受精卵长成一个颗粒。发育成熟的雌穗通常结出750—1000个籽粒，分列成14排、16排或18排。玉米棒子长6—12英寸，直径1.5—3英寸。玉米是所有粮食中颗粒最大的谷物（表2）。

因为依靠风力授粉，大田里种植的玉米通常是异株传粉。印第安人和种植园主在1925年以前种植的是自由传粉的玉米品种。因为是异株授粉，地区间隔能造就出独特的品种和种族。植物学家已鉴定出25个墨西哥种，16个中美洲种，许多南美洲种和9个美国大陆种，其中有北方硬粒玉米，南方齿状玉米，大平原硬粒玉米和粉质玉米等。

育种和遗传

玉米花穗长在不同的部位上，因此是育种和遗传研究的理想课题。一位有经验的农

*图表附在本文末尾。

工每天可进行玉米人工授粉300—500株，每个雌穗可结出300—1000个籽粒。因此，玉米的遗传特性比起其他植物来，较多地为人们所了解。

玉米有十对染色体，现已测定出数百个基因的位置。未测出的遗传特性还很多。要有分离变异品种的能力，才能培育出在结构和成分上有着明显差异的玉米好品种（表3）。玉米颗粒可以是白色的或黄色的，取决于胚乳中是否存在产生类胡萝卜素色素的基因。它还可以是蓝色、红色或紫色的，这取决于糊粉即种皮的遗传性能。现已培育出蛋白质和含油量高的玉米品种，但在商业上用途有限。

今天，发达国家中的种植园主几乎全都栽种杂交玉米。他们把属于两种近交系的玉米间种在一起，进行大面积的有控制的授粉。在花粉播散前，从准备结籽的那些玉米上剪下雄穗，这样所有雌穗上的穗须只会接受另一种玉米的花粉。用这种方法育成的幼苗即为杂交玉米。它生长迅速，产量高。玉米育种专家采用这些方法，大幅度地提高玉米产量，使之更能抵御虫、病、旱、风等灾害。玉米杂交已成为一件重要的大事。

子房受精后，种子内的细胞迅速分裂，合成淀粉、蛋白质和油，种子便逐渐长大。玉米颗粒经过“乳状阶段”、“面糊状阶段”、“齿状阶段”，接近成熟，籽粒变硬。随着固体物质的积累，在长出穗须50—60天后，成熟颗粒的含水量从60—70%下降到30%左右。如果用作青贮饲料，应在颗粒处于“面糊状阶段”时，即将整株玉米砍下。在成熟籽粒的干物质中，淀粉占72%，蛋白质贮存占9—10%，油类占4.0—5.0%。图1示出玉米颗粒的结构形式，其中胚乳占82%，胚芽占12%。它包在纤维质的种皮内，由顶盖连在玉米芯棒上。游离的油在胚芽内，淀粉都含在胚乳里（表4）。淀粉形成极为微小的细粒，由每个细胞内贮存的蛋白质——玉

米朊和谷朊包围着。

从玻璃状的硬粒玉米、炒用玉米到粉质玉米，成熟胚乳的浓度因品种不同而不同。粉质玉米质软，不透明。齿状玉米的胚乳浓度适中，中央是粉状胚乳，四周是一圈角质状胚乳。经过多少年，人们还只了解粉质玉米的几个基因变种（表3）。直到近几年来，人们才发现这些变种中的“不透明2号”和“粉状2号”含有较高比例的两种主要营养氨基酸，即赖氨酸和色氨酸。在一般的玉米品种里，这两种氨基酸的含量远远不能满足人体或动物正常生长的需要，因为玉米朊这种贮存在胚乳中的蛋白质基本上是不具有这两种氨基酸的。隐性基因 O_2 显然能部分阻止玉米朊在“不透明2号”玉米中的合成，从而使颗粒内的谷朊占有较大的比例。

人们对另几种胚乳变种如蜡状胚乳和甜味胚乳进行遗传学研究，发现了几种控制淀粉合成不同阶段的基因（表3）。普通淀粉含有两种多糖分子，一种是枝状的（支链淀粉），另一种为线形的（直链淀粉）。在蜡状胚乳中，直链淀粉的合成受到遏制，所以玉米颗粒内只含有枝状淀粉。蜡状杂交玉米已成为一种重要的工业原料。（参看有关玉米的其他各章。）另一种变异基因即直链淀粉增量剂，能增加直链淀粉的合成。在甜玉米中，淀粉合成受到含糖基因 Su_1 的部分遏制，从而生成一种复杂的非颗粒状的多糖，叫做植物糖原。甜玉米用作食物时，需在种子处于乳状阶段时采摘。这时，玉米的含糖量高；淀粉合成的时间长，糖分反而下降。另一种变异基因叫做皱瘪 Sh_1 ，能使淀粉合成全部中止，仅仅积聚糖分。把 Sh 和 Su 这两种变异基因结合在一起，育成的甜玉米在初期时甜味更浓，并能在较长的生长时期内甚至采摘后仍保存甜味不变。把变异基因 ae 、 wx 、 du 结合在一起，也能达到类似的效果。

生产情况

玉米是一种世界性谷物，世界各大陆许多国家种植它(表5)。种植区域从加拿大和苏联的北纬58°地区伸展到南半球40°地区，从海平面蔓延到秘鲁安第斯山脉12000英尺的高山上。夏季平均气温必须在66°F以上，夜间最低温度在55°F以上。玉米植株需要较多的水分，约16—25英寸，其中80%是七月和八月份的需要量。若正常雨量低于这个数值，就需要放水灌溉，才能获得好收成。每英亩田地可种植15000—30000株玉米，要施足钾肥、磷肥和氮肥。现在使用的氮肥主要是氨水，在种植前先洒进土壤。使用化学除草剂，可以省去往常的许多除草劳动。

表6和表7统计了美国和所属各州的玉米产量。在过去的十五年里，种植玉米的英亩数约增1500万英亩，亩产量稳定增长，参看图2。这两种因素加起来，使谷物的年产量有了可观的增长。稳定增产依靠改良杂交玉米，更多地施肥和使用除草剂，灌溉旱地，并依靠玉米种植区的适当降雨量。这十一个州的玉米产量占全国的85%。

玉米颗粒的化学成分

多年来，人们对玉米的化学成分进行了全面的研究。关于玉米的许多分析数据已经公布出版，但有些数据的分析方法有问题，或者取样不当。表8、表9、表10和表11对有用的数据大都作了归纳。“均值”一栏中所列出的数值是从那些被认为是精确可靠的数据表中选出来的。艾伦氏的分析值可能最为精确，因为这些数值已用来计算饲料的配置，而且每年更新数字。有些数字的幅度包括非常见的玉米品种的数据在内。例如，在玉米胚蛋白质含量中，伊利诺斯氏低蛋白质品种的蛋白质总量占4.4%，伊利诺斯氏高蛋白质品种的蛋白质占26%；伊利诺斯氏低油品种

的油分占0.75%，伊利诺斯氏高油量品种的油分占18.2%。育种与氮肥能使玉米的蛋白质含量发生变化，这种情况反映在胚乳中的玉米胚蛋白质上。玉米蛋白质不同于小麦蛋白质，不能形成具有粘弹性的面团。因此，玉米粉如果不用碱面，制成的食品松散易碎。

碳水化合物成分在玉米颗粒中占最大的比例，如表8所示。淀粉是贮存在胚乳中的碳水化合物。在丰满的玉米颗粒中，游离糖主要是蔗糖，70—80%的糖贮存在胚芽中(表4)。玉米颗粒被霉菌侵入或者处在发芽初期，这时糖分下降，很容易觉察出来。亚历山大和克里奇氏提供了普通玉米和变异玉米在不同的成熟阶段中的糖分和多糖含量。

玉米细胞壁是由纤维素和半纤维素构成的，但本质素接近于零(0.2%)。这种非晶性半纤维素不难分析为戊聚糖。它不溶于水，但用碱溶液蒸馏种皮，能增加溶解度。它通过阿魏酸，即羟脯氨酸交联键交叉联结在纤维素上。半纤维素的成分是D-本糖50%，L-阿拉伯糖35%，DL-半乳糖8%，葡萄糖醛酸7%。

虽然粗纤维方法已经使用多年，但人们怀疑它是一种有意义的测量方法，正在被测量全部纤维成分的几种方法所取代。纤维是植物的不能溶解不能消化的细胞壁。现在倾向于使用中性去污纤维方法。酸性去污纤维主要用来测量纤维素和本质素。因此，在玉米颗粒中，中性去污纤维大约高于纤维素和戊聚糖的总和。

表9对整粒玉米进行了氨基酸分析。艾氏提供的基本氨基酸数值大概是最可靠的。许多其他作者提供的有关数值却相距甚远。在商业流通中的整粒玉米的氨基酸成分颇为稳定，蛋白质的总含量亦复如此，因为很多种玉米都混杂在一起了。但是如果把各种品种的玉米分开检查，差别就挺大，因为各种颗粒中玉米胚和谷胚的比例不同。多份研究报告报导他们用奥斯本——门德尔氏连续溶剂方

法试验玉米蛋白质的分馏情况：白蛋白溶于水，球蛋白溶于盐，醇溶朊（玉米朊）70%溶于乙醇，谷朊溶于碱。沃尔和保里斯全面评论了有关这些成分及其氨基酸成分的特殊分子结构的新信息。谷朊是一种复杂的交联键的蛋白质；它构成间质，使淀粉微粒嵌在胚乳中。玉米朊以细小球体形式存在于谷朊间质中。这两种朊被认为是贮存的蛋白质，不具有其他特殊的生理功能。

当胚乳细胞成熟时，不再合成复杂的分子，但合成器官的各部分依然存在，还有一些剩余的原料。非蛋白质的氮分包括那些水溶性物质（表8）。不过，胚芽细胞在成熟时保持活性，所以含有种子萌发时进行生命活动所必需的各种物质。这些可溶性化合物以较大的比例（55—70%）存在于胚芽内。能从水溶液浸出物中鉴定出来的其他化合物有同丝氨酸和 β -丙氨酸。游离的氨基酸通常组成蛋白质（表9），此外还有 γ -氨基丁酸，鸟氨酸和氨乙醇。吲哚基醋酸这种植物激素在玉米中的含量约为0.2毫克/公斤。

玉米中的脂类（表10）约有85%存在于胚芽中，浓度为30—38%（表4）；大多数脂类是游离的。结合的脂类约占玉米粒的0.3—0.9%，多数和淀粉结合在一起。甘油三酯酯构成脂类总量的80%，它由三种脂肪酸C16、C18、C20构成，含有0，1，2，3个双键。这三者的比例因遗传而不同，但当前种植的齿状杂交玉米的含油均值为4.45%，标准杂交玉米的含油量幅度为4.0—5.0%。表10列出多种次要的脂类。莫里森和韦伯氏对此有比较详细的论述。关于甾醇， β -谷甾醇为主要成分，占80%，菜子甾醇占12%，豆甾醇占8%。玉米中还有三萜醇和4-甲基甾醇。极脂有单、双半乳糖二脂酸甘油酯。已鉴别出的七种磷脂中的主要成分是磷脂酰胆碱，占64%。极脂在胚芽和胚乳中的含量大致相等，和细胞的成分结合在一起。

黄色素位于胚乳内，浓度不等，白玉米几近于零，硬粒玉米则含量高。 β -胡萝卜素约有60%转化成维生素A，其他胡萝卜素在多数动物体内转化甚少。黄色素不具有营养价值，却是下蛋母鸡和童子鸡的重要饲料，能使蛋黄和鸡皮呈现黄色。类胡萝卜素的数目比其他色素差别更大，因为它在贮存期间缓慢地氧化为无色化合物。

表11表明玉米颗粒中的矿物质成分，因土壤的肥沃程度不同而在数量上有所差别。约有75%的磷以植酸（六磷酸肌醇）的形式存在着，在胚芽中是以三镁盐的形式存在的。动物在摄食时只利用部分的植酸钙镁磷。玉米中重金属的含量低。

表12说明玉米的维生素成分。其数量低于大多数动物所需的数量。大多数水溶性维生素是和细胞成分有关的，不能为有机体所全部利用。

玉米的销售并不以所含的营养成分为依据。由于在市场销售中各种玉米混杂在一起，所以营养成分的差别不大。通常所用的质量参数是美国品级标准（表13）中的那些因素。其中包括水份、检验重量（即松密度，以磅/蒲式耳为单位）、碎粒和杂物的百分比、目测霉粒和黑粒（胚芽受热损坏）的百分比。国内市场所销售的玉米平均水份约为16%，夏季降为14%。为了防止海运出口的玉米发生霉变，水份应低于14.5%。

利 用

玉米主要用作饲料，因为它在牲口饲养方面是费用最省的一种谷物。它的产量高，易于消化吸收，被公认为价廉物美的饲料。其次，大多数民族喜欢吃小麦面包，不爱吃玉米面食。

在美国约有88%的玉米（表14）颗粒和100%的玉米青贮饲料用于牲口饲养。玉米在其他国家的利用率和美国的情况大致相仿，不过拉丁美洲国家以玉米作为人们的一种重要食物。

表14和图2说明美国农场的玉米生产率增长的情况。美国近十年来玉米出口量增长四倍。表15载明了进口玉米的国家。日本是最大主顾。苏联由于本国的玉米产量连年不稳定，也是一个大主顾，但变化多端。

玉米是一种优良的谷物饲料，因为各种牲畜都很爱吃，通常不含有毒素和抗营养成分，易于研磨加工成饲料。表8-12采用化学分析方法说明玉米的营养价值。表16示出不同类型的家畜、家禽对玉米的消化率。

动物营养学家发现：用不同方法加工玉米，能提高牲畜的消化率和吸收率，从而提高变饲料为肉类的比例。表17载明把玉米加工成牲畜饲料的各种方法。最简单的方法是把玉米颗粒捣碎，因为没有谁现在会用整粒的玉米喂牲口。通常碾得较细，以便掺入其他成分制成加工饲料，或者在农场喂饲牲口时，便于拌入蛋白质——矿物质——维生素浓缩剂和补充剂。碾碎能改善牲口对玉米的吸收和利用。

玉米在收割后需要晒干，以便储存。但是如果玉米中的水份为20—35%，米粒质软，牛吃了肥得快。所以有些饲养员在喂饲前把玉米粒泡软，也能收到相同的效果。用丙酸进行处理后，湿谷也可贮存，或可作为青贮饲料。作青贮饲料时，理想的条件是：水份为25—32%，温度为38℃，贮存时间不少于21天。玉米中的糖分便能转化为乳酸。玉米在喂饲牲畜时，通常要轧碎或磨细。遭受霜冻的玉米同样可以利用，不必晒干，以免造成浪费。

表17所列出的几种热处理方法首先用于作为食用牛和奶牛饲料的高粱米和大麦，使其经济效益几乎等同于玉米。（参看论述高粱和小米一章中的表7至表9）有人发现其中的一些加工方法能提高玉米的饲养效率。最有效最普及的方法是焙烤，其次是蒸玉米片。默西埃报道说：由于细菌淀粉酶的作用，蒸过的玉米碎粒能破坏淀粉69%，验实中显

示出来的消化率达到87.5%；如果玉米未经碾磨，受到破坏的淀粉只有10%，消化率仅34%。

把磨碎的饲料放进模子里，就能挤压成球状。加工时，通入蒸汽，产生大量的热量。压成球状的饲料，小的象麦粒，大的象葡萄，形状大小视牲口的大小而定。加工的目的是使牲口在进食时能均匀地吃到多种饲料。它还能使麦麸这样的饲料结成块状，并能提高某些牲畜对某些饲料中所含的热量、蛋白质及磷质的吸收率。把球状饲料捣碎，虽能改善饲料的饲养效果，但能增大家禽的进食量。球状饲料会降低牛的消化率。

奶牛场爱用玉米青贮饲料。在玉米颗粒处于面糊状阶段时，即要把整株的玉米连秆砍下，进行青贮。好的青贮饲料含谷粒35%，茎叶和玉米棒芯约占65%。把砍下的玉米秆放进标准的青贮窖中，让乳酸自然发酵。各种游离的糖类将转化成有机酸；在PH值低达4.0—5.0时，有机酸能起防腐作用。有些青贮饲料可放在密封容器内，以防植物的呼吸作用使干物质受到损失或孳生有害的霉菌。用这两种方法制成的青贮饲料是反刍动物的美味食品。玉米青贮饲料的一般营养成分已列在表18中。“饲料”一栏中的数字是均值，水份占74.4%。表6表明：在美国的玉米种植面积中，约有10%的土地种植用作青贮饲料的玉米。

随着人们对牲畜所需要的营养成分有了越来越多的了解，给不同种类不同年龄的牲畜供给适量的养料和药物，制造混合饲料的工作也已高度专业化。肉类生产商认识到，购买预制的混合饲料或精确配方的补充剂（浓缩剂）能使单位生产成本降到最低点。这些饲料和药物可以自由选择，也可掺加自制的谷物饲料。

为了满足这种要求，饲料加工业已经兴起。美国某些地区的饲料加工厂向方圆50英里内的农场提供现成的混合饲料，它们用大