

粮食加工 副产物利用技术

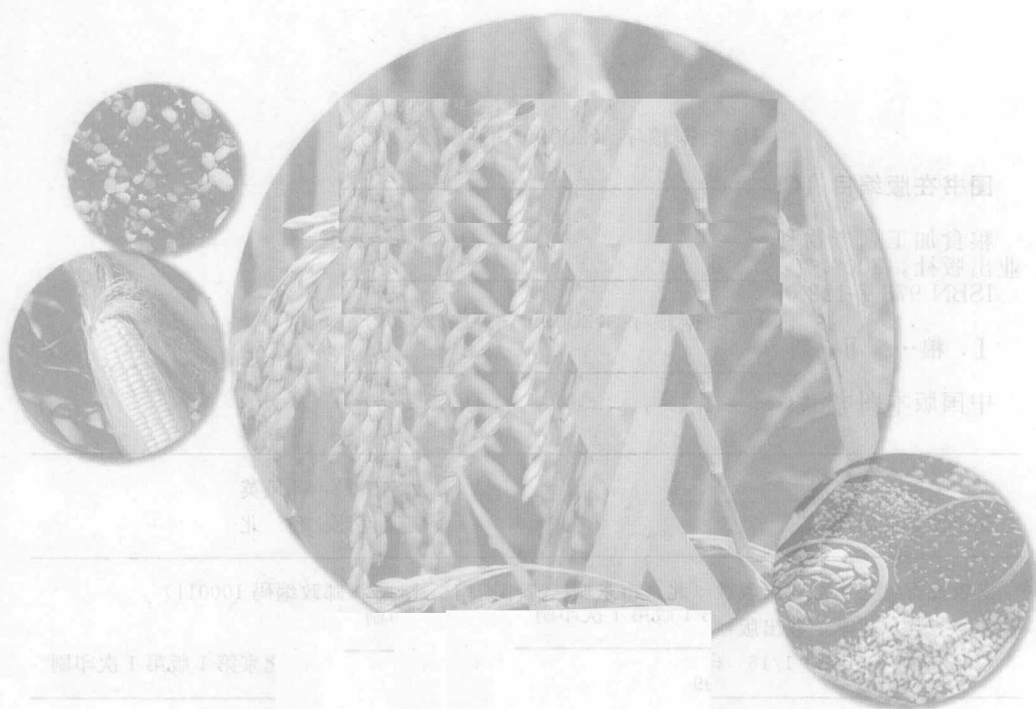
刘亚伟 编著



化学工业出版社

粮食加工 副产物利用技术

刘亚伟 编著



化学工业出版社
· 北京 ·

元 00.00 36.00 50.00

本书主要介绍了小麦、玉米和稻谷的工艺品质特性,产品和中间产品的物理、化学和功能特性,生产工艺和设备,重点介绍了玉米蛋白粉、玉米胚芽、玉米纤维、玉米浆等玉米加工副产物利用技术,小麦麸皮、小麦胚芽、小麦谷朊粉等小麦加工副产物利用技术,稻壳、米糠、碎米等稻谷加工副产物利用技术,并列举了大量的粮食加工副产物生产应用的实例,对目前国际上重点开发的最新产品也进行了全面介绍。

本书可作为粮食加工企业以及以粮食为原料的其他工业中,技术人员、管理人员、营销人员或生产工人的培训用书,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。

图书在版编目(CIP)数据

粮食加工副产物利用技术/刘亚伟编著. —北京:化学工业出版社, 2009.7

ISBN 978-7-122-05590-3

I. 粮… II. 刘… III. 粮食副产品-利用 IV. TS210.9

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 077252 号

责任编辑:侯玉周

文字编辑:孙凤英

责任校对:周梦华

装帧设计:杨北

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:化学工业出版社印刷厂

720mm×1000mm 1/16 印张13 1/4 字数270千字 2009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:36.00元

版权所有 违者必究

前 言

粮食安全是我国面临的重大问题,影响粮食安全的因素,不只是粮食数量的问题,更关键的是粮食的有效利用、减少人为的浪费。长期以来,我国粮食加工行业只注重于粮食籽粒部分成分的分离提取和食用,其余副产物不加工利用,甚至成为污染源。随着社会的发展,人们认识到了这个问题,近几年我国各地引进和建设了大量以粮食为原料进行副产物深加工的工厂(车间),大学和科研机构积极进行研究,粮食加工副产物利用产业得到很大发展。

我国的粮食开发利用还处于初级阶段,精深加工转化率很低,主要作为原料供应或以初级产品销售,附加值低。充分有效地利用粮食资源,扩大工业应用范围,是粮食精深加工的发展方向。粮食作为一种再生资源,拥有巨大的深层次开发和应用潜力。粮食不仅可以作为人们的主食,还具有广泛的工业用途;研究粮食加工副产物在食品及非食品领域的应用,扩大粮食的增值利用途径,加强高附加值功能性产品开发,提高增值利用水平,将促进我国粮食生产稳定发展。发展粮食加工副产物精深加工技术,就是根据市场需要,通过对粮食精深加工产品的产业化开发和高附加值、高新技术产品的开发,拓宽粮食副产物精深加工产品的市场,开辟新的转化、升值渠道,全面推进粮食加工副产物精深加工产业发展,大幅度提高粮食副产物精深加工产品在国内外市场的竞争力和占有率。变废为宝,实现粮食加工业的循环经济发展,以粮食精深加工产业为龙头,带动农业结构的调整和农村经济的发展。

本书重点介绍了小麦、玉米和稻谷的工艺品质特性,产品和中间产品的物理、化学和功能特性,生产工艺和设备,重点介绍了玉米蛋白粉、玉米胚芽、玉米纤维、玉米浆等玉米加工副产物利用技术,小麦麸皮、小麦胚芽、小麦谷朊粉等小麦加工副产物利用技术,稻壳、米糠、碎米等稻谷加工副产物利用技术,对目前国际上重点开发的最新产品进行了全面介绍。本书可作为粮食副产物精深加工企业以及以粮食为原料的其他工业中,技术人员、管理人员、营销人员或生产工人的培训用书,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。

本书编写过程中,参考了国内外许多作者的文章和著作,在此表示感谢。同时感谢河南工业大学有关领导、老师及同事们所给予的支持、帮助和宝贵建议。

由于经验及知识所限,书中定有不妥之处,敬请读者提出宝贵意见。

刘亚伟

2009年3月

于河南工业大学

目 录

第一章 粮食工艺特性	1
第一节 玉米工艺特性	1
一、玉米的类型	1
二、玉米籽粒结构	2
三、玉米的物理特性	4
四、玉米的化学特性	6
五、玉米的加工特性	8
第二节 小麦工艺特性	9
一、小麦籽粒结构特性	9
二、小麦分类与质量标准	15
三、小麦物理特性	16
四、小麦化学特性	17
第三节 稻谷工艺特性	29
一、稻谷籽粒的形态特征和籽粒结构	29
二、稻谷分类与质量标准	30
三、稻谷的色泽、气味与表面状态	31
四、谷物籽粒的粒形与粒度	31
五、稻谷的容重	31
六、稻谷的千粒重	31
七、稻谷主要化学成分	31
第二章 粮食加工工艺	33
第一节 玉米湿法加工工艺	33
一、玉米的浸泡	33
二、玉米破碎及胚芽的分离和洗涤	38
三、精磨与纤维的洗涤	41
四、麸质分离及淀粉洗涤	42
五、淀粉机械脱水与干燥	47
第二节 小麦加工工艺	50
一、小麦制粉工艺	50

三、小麦湿法加工技术	54
第三节 稻谷加工工艺	64
一、工艺目的及要求	64
二、砻谷及砻下物分离	65
三、谷糙分离	66
四、碾米	66
五、成品处理及副产品整理	68
第三章 玉米加工副产物利用技术	71
第一节 玉米浆利用技术	72
一、玉米浆生产工艺及设备	72
二、玉米浆的特性	75
三、玉米浆综合利用	75
第二节 玉米纤维利用技术	77
一、玉米纤维的特性	77
二、玉米纤维的综合利用	77
三、玉米纤维生产膳食纤维	77
第三节 玉米胚芽利用技术	78
一、胚芽榨油生产工艺及设备	79
二、玉米油和胚芽饼的特性	80
三、玉米油和胚芽饼的利用	81
第四节 玉米蛋白粉利用技术	82
一、蛋白粉生产工艺及设备	82
二、蛋白粉的特性	84
三、玉米醇溶蛋白	85
第四章 小麦加工副产物利用技术	89
第一节 小麦麸皮利用技术	89
一、小麦麸皮的组成	89
二、小麦麸皮的利用	89
三、小麦糊粉层的结构及特性	93
四、小麦麸皮戊聚糖提取及纯化技术	99
第二节 小麦胚芽利用技术	103
一、脱脂麦胚蛋白粉的功能特性	103
二、脱脂麦胚蛋白粉的食品应用	104
三、小麦胚油的开发利用	105
第三节 小麦谷朊粉加工利用技术	106

一、小麦谷朊粉的特性	106
二、小麦谷朊粉改性技术	110
三、小麦谷朊粉在面粉质构重组中的应用	115
四、谷朊粉在食品工业中的应用	118
五、谷朊粉在饲料工业中的应用	119
六、质构化小麦蛋白的性质和应用	119
七、谷朊粉的应用领域	123
第五章 稻谷加工副产物利用技术	125
第一节 稻壳利用技术	125
一、稻壳的结构特性和化学组成	125
二、稻壳的工业应用	125
三、在能源领域的应用	127
四、在建材领域的应用	128
第二节 米糠利用技术	128
一、米糠的结构特性和化学组成	128
二、米糠油的提取	129
三、米糠油的功能特性	131
四、米糠油利用	132
五、米糠油的营养功能及在食品中应用	133
六、脱脂饼粕的利用	133
七、米糠多糖	133
第三节 碎米利用技术	135
一、碎米淀粉生产	135
二、碎米淀粉的性质	136
三、碎米分离蛋白的特性	137
四、碎米粉的应用	137
第六章 碎米淀粉分子改性修饰技术	139
第一节 淀粉修饰的基本原理和方法	139
一、修饰淀粉的基本原理	139
二、基本概念	140
三、修饰淀粉生产工艺	141
第二节 转化淀粉	144
一、碎米酸变性淀粉	145
二、次氯酸钠氧化碎米淀粉	146
三、双醛淀粉	149

四、糊精	151
第三节 预糊化淀粉和颗粒冷水溶胀淀粉	155
一、预糊化淀粉	155
二、颗粒冷水溶胀淀粉	156
第四节 交联淀粉	160
一、基本原理	160
二、生产工艺	161
三、基本特性	162
四、用途	163
第五节 酯化淀粉	164
一、碎米淀粉醋酸酯	164
二、碎米淀粉磷酸单酯	167
三、碎米淀粉烯基琥珀酸酯	170
第六节 醚化淀粉	174
一、碎米羧甲基淀粉	174
二、碎米羟丙基淀粉	178
第七节 抗性淀粉	180
一、基本原理	180
二、生产工艺	181
三、特性	181
四、用途	183
第八节 淀粉基脂肪代用品	185
一、基本原理	186
二、生产工艺	186
三、特性	186
四、用途	187
第七章 碎米淀粉糖生产技术	188
第一节 淀粉糖品的种类、性质及用途	188
一、淀粉糖品的种类	188
二、淀粉糖品的性质	189
第二节 淀粉酶	192
一、 α -淀粉酶	193
二、 β -淀粉酶	194
三、葡萄糖淀粉酶	195
四、脱支酶	196

161	五、葡萄糖异构酶.....	196
162	第三节 碎米淀粉的酶液化和糖化.....	197
163	一、液化.....	197
164	二、糖化.....	199
165	第四节 淀粉糖生产技术.....	199
166	一、液体葡萄糖工艺.....	199
167	二、葡萄糖（全糖）.....	200
168	三、高麦芽糖浆.....	201
169	四、麦芽糊精.....	201
170	参考文献.....	203

第一章 粮食工艺特性

第一节 玉米工艺特性

一、玉米的类型

按我国国家标准(GB 1353—1999)的规定,玉米分为以下三类。

第一类为黄玉米:种皮为黄色,并包括略带红色的黄色玉米。

第二类为白玉米:种皮为白色,并包括略带淡黄色或粉红色的白色玉米。

第三类为混合玉米:混入本类以外玉米超过5.0%的。

根据玉米的粒形、硬度及用途的不同,将玉米分为普通玉米和特种玉米两类。

(1) 普通玉米 可以分为以下几类。

马齿型:籽粒呈马齿形,胚乳的两侧为角质,中央和顶端均为粉质。

硬粒型:籽粒呈圆形或短方形,胚乳周围全是角质。

中间型:马齿型和硬粒型各占一半。

硬偏马型:硬粒型占75%左右。

马偏硬型:马齿型占75%左右。

(2) 特种玉米 特种玉米是指具有特殊用途的各种玉米的总称。

① 高赖氨酸玉米 所谓高赖氨酸玉米就是籽粒中赖氨酸含量较普通玉米有较大提高的一种玉米类型。高赖氨酸玉米的特点是籽粒蛋白质中玉米醇溶蛋白比例下降,优质的玉米谷蛋白比例相应提高,其结果使籽粒赖氨酸含量提高。目前大田栽培的高赖氨酸玉米的籽粒赖氨酸已达0.35%,色氨酸达0.20%,高出普通玉米1~2倍。由于玉米籽粒醇溶蛋白的减少,高赖氨酸玉米籽粒多为不透明的粉质胚乳,色泽灰暗,充实度较差,其加工品质较低。目前已有半硬粒型的高赖氨酸玉米杂交种,对上述不良性状有所改善。

② 高直链玉米 这种玉米的特点是淀粉中的直链淀粉含量特别高,普通玉米中的直链淀粉含量为25%左右,而高直链玉米淀粉的直链淀粉含量可达到80%。与普通玉米相比,高直链玉米的蛋白质和脂肪含量比较高,但淀粉的含量较低,约为58%~66%;淀粉的颗粒较小并且形状不规则,湿法加工淀粉出率较低。高直链玉米淀粉需进行加压糊化,其淀粉膜特性很好。

③ 高油玉米 高油玉米是籽粒具有较高脂肪含量的一类玉米的总称。高油玉米籽粒油分高达8%~15%,甚至更高。高油玉米的油分85%集中在籽粒胚中,因

此高油玉米都具有大胚特性。

④ 甜玉米 甜玉米是指在乳熟期或蜡熟期，籽粒中含有多可溶性糖的一类玉米。这类玉米在乳熟期采收，较普通玉米含有更多的低聚糖和水溶性多糖（WSP），因而食之较甜，加上 WSP 引起的黏质，构成了甜玉米的特有风味。乳熟期的甜玉米可以用来鲜食或加工成罐头，因此又称之为果蔬玉米。

⑤ 爆裂玉米 爆裂玉米是指那些玉米籽粒在常压条件下容易被膨爆成玉米花的玉米类型。爆裂玉米属硬粒型，籽粒较小，产量较低，角质胚乳比例很高，能够在常压下加温膨胀形成玉米花，且其膨胀倍数远远大于普通玉米。

⑥ 糯玉米 糯玉米又称蜡质玉米，起源于我国，是普通玉米的突变类型。其特点是籽粒淀粉构成中几乎 100% 是支链淀粉。这样，糯玉米的食用品质就和糯米相当。能够代替糯米制成多种食品。

二、玉米籽粒结构

玉米主要由皮层、胚乳、胚芽和根帽等部分组成，见图 1-1。

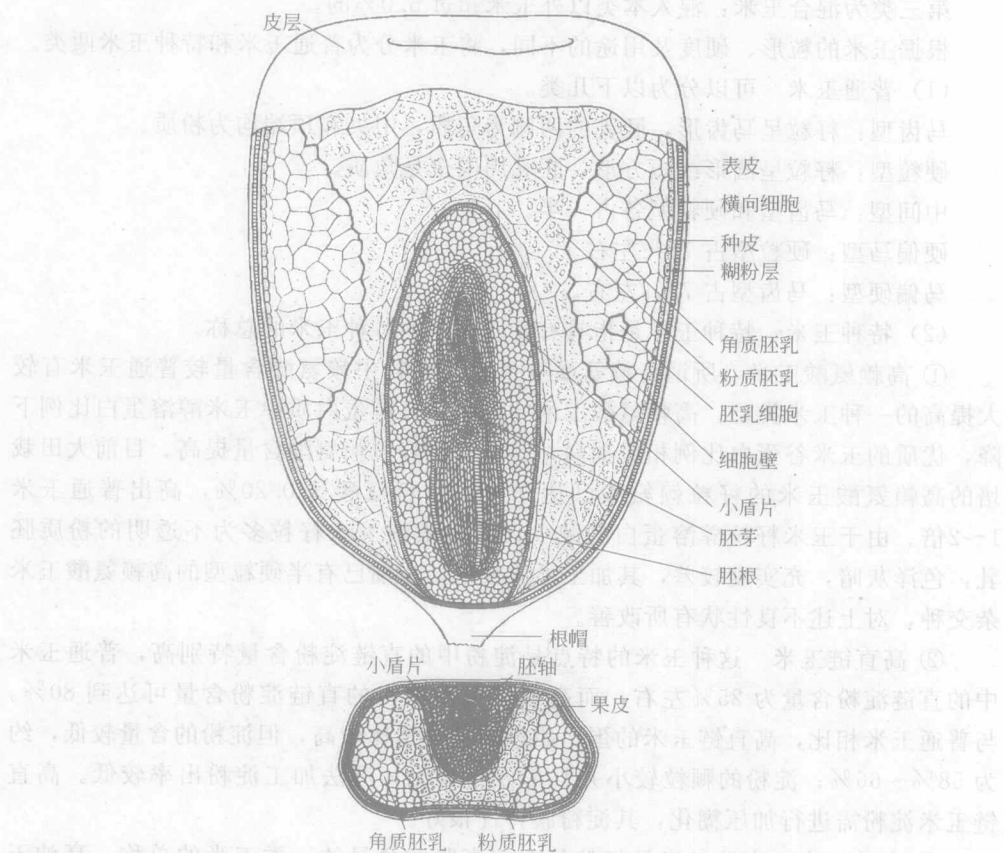


图 1-1 玉米籽粒结构图

（一）皮层

玉米的皮层由果皮、种皮和糊粉层组成。果皮是籽粒的光滑而密实的外皮，它的外面有一层薄的蜡状角质膜，下面是几层中空细长的已死亡的细胞，压成一层坚实的组织。在这层下面有一层海绵状组织，称为管细胞，这是吸收水分的天然通道。在这海绵状层下面有一层极薄的栓化膜，称为种皮，一般认为这层皮膜起着半透膜的作用，限制了大分子进出胚芽与胚乳的通行。种皮保护玉米籽粒免受寄生霉菌及有害液体的侵蚀，种皮所含的色素决定了籽粒的颜色。糊粉层是在种皮和胚乳的中间，即种皮膜下面胚乳的第一层；糊粉层是具有厚韧细胞壁的一层细胞。它的营养成分较高，蛋白质含量 22.21%，脂肪含量 6.93%；在淀粉湿磨法加工中它与果皮根冠同属于“纤维”部分。玉米中果皮占籽粒重约为 4.4%~6.2%，糊粉层的重量约为籽粒重的 3% 左右。

（二）胚乳

胚乳是玉米籽粒的最大组成部分，约占 80.0%~83.5%（干基）。胚乳主要由蛋白质基质包埋的淀粉粒和细小蛋白颗粒组成。玉米的胚乳分角质和粉质两类。成熟的胚乳由大量细胞组成，每个细胞都满载着深埋在蛋白质基质中的淀粉团粒，整个细胞内容物的外面是纤维细胞壁。马齿型玉米的成熟胚乳内含有一个由软质或粉质胚乳构成的中心区，直伸到谷粒的冠部。在籽粒变干时，冠部缩入，生成齿状凹陷。虽然从形态学上说角质区与粉质区的分界线并不明确，但粉质区的特点是细胞较大，淀粉颗粒既大且圆，蛋白质基质较薄。在籽粒干燥过程中，蛋白质基质的细条崩裂，产生了空气小囊，这使粉质区呈白色不透明的外貌和多孔的结构，因而也使淀粉分离变得容易一些。

在角质胚乳中，较厚的蛋白质基质在干燥期间也收缩，但不崩裂。由此产生的压力形成一种密集的玻璃状结构，其中的淀粉颗粒被挤成多角型。角质胚乳组织结构紧密，硬度大，透明而有光泽。角质胚乳的这一特性使得淀粉生产时玉米需要充分地浸泡，以保证淀粉的回收。角质胚乳的蛋白质含量比粉质区多 1.5%~2.0%，黄色胡萝卜素的含量也较高。在糊粉层的下面有一排坚密的细胞，称为次糊粉层或外围密胚乳，其蛋白质含量高达 28%；这些小细胞在全部胚乳中的含量大致少于 5%，它们含有很少的小淀粉团粒和较厚的蛋白质基质，这些细胞在加工中不宜分散开，一般要采用 44 μm 筛将这些物质作为纤维筛出。

（三）胚芽

胚芽位于玉米的基部，富有柔韧和弹性，不易破碎。胚芽约占玉米籽粒干重的 10.5%~13.1%。加工时可以完整地分离出来。玉米胚中脂肪含量高达 35%~40%。

（四）根帽

又称基胚、根冠，位于玉米的底部，根帽约占玉米籽粒干重的 0.8%~1.1%，是将种子连接在穗轴上果梗的残余，它由具有海绵状结构的纤维基元组成，善于吸收水分。除去根冠，就会看见一片黑色组织，称为门层，这是当玉米籽粒接近成熟

时横在胚芽下面的封闭物。加工时作为渣皮去除。

三、玉米的物理特性

(一) 粒形与大小

粒形是指玉米粒的形状，大小是指玉米籽粒的长度、宽度和厚度的尺寸。玉米形状和大小因品种不同也有所不同。一般玉米长 8~12mm，宽 7~10mm，厚 3~7mm。

(二) 容重

容重是指单位体积内玉米的重量，用千克/米³ (kg/m³) 表示。容重的大小，是由籽粒的饱满程度即成熟程度来决定的。容重的高低是衡量玉米品质好坏的指标。一般来说，容重高的玉米成熟好、皮层薄、角质率高、破碎效率低；容重低的玉米相反。容重是仓容和运输设备产量的计算依据。在相同玉米体积和流速时，容重高的产量高，反之，容重低的产量低。容重大小与水分也有关系，水分大的玉米，细胞组织内部含水多，籽粒膨胀，所以它的容重要低于水分小的玉米。玉米的容重一般为 705~770kg/m³。

(三) 相对密度

相对密度是指谷物纯体积的重量与同体积水的重量之比。籽粒相对密度的大小取决于籽粒的化学成分和结构紧密程度；一般情况下，凡发育正常、成熟充分、粒大而饱满的玉米籽粒，其相对密度较发育不良、成熟度差、粒小而不饱满的籽粒为大。相对密度也是评定玉米品质的一项指标。玉米的相对密度为 1.15~1.35；玉米胚的相对密度为 0.7~0.99；砂石的相对密度为 2.5 左右；淀粉的相对密度为 1.48~1.61；蛋白质的相对密度为 1.24~1.31；纤维素的相对密度为 1.25~1.40。

(四) 千粒重

千粒重是一千粒玉米的重量，常以克 (g) 表示。一般千粒重都是指风干状态的玉米籽粒而言；千粒重的大小和容重一样，也是衡量玉米品质好坏的一项指标。千粒重大的玉米表明颗粒大、角质胚乳多，其出品率就高。玉米的千粒重在 150~600g，平均 350g。

(五) 散落性

玉米籽粒自然下落至平面时，有向四面流散并形成圆锥体的性质，称为散落性。玉米散落性的大小，通常用静止角（自然坡角、内摩擦角）来表示。所谓静止角，就是玉米自然流散形成一个锥体，圆锥体的斜边与水平面的夹角。静止角愈大，表示玉米的散落性愈差。玉米静止角为 27°。玉米散落性的大小与玉米的水分、形状、大小、表面状态和杂质的特性及含量有关。

玉米在某种材料上能自动滑下的最小角度，称为玉米粒对该材料的自流角。自流角与散落性有直接关系。一般玉米的自流角对于木材为 24°~28°，对于钢板为 20°~24°。

(六) 悬浮速度

悬浮速度是指玉米自由下落时在相反方向流动的空气作用下，既不被空气带

走，又不向下降落，其悬浮状态时的风速为该玉米籽粒的悬浮速度。悬浮速度的高低与玉米颗粒的形状、大小、相对密度、质量有直接关系，颗粒大的，质量重的，悬浮速度就高；反之就小。玉米的悬浮速度为 $11\sim 14\text{m/s}$ ；玉米胚的悬浮速度为 $7\sim 8\text{m/s}$ ；玉米皮的悬浮速度为 $2\sim 4\text{m/s}$ 。

(七) 孔隙度

孔隙度表示粮堆中粮粒之间的紧密程度。粮堆孔隙体积占粮堆总体积的百分率称为孔隙度。在粮堆占据一定的容积时，粮粒并非充满整个容积的全部，因为粮粒间的排列并非十分紧密，而是存在着大小不等的孔隙，因此粮堆的体积实际上是由粮粒本身的体积和粮粒间孔隙的体积所构成的。孔隙度的大小主要取决于粮食的类型、品种、粒形、粒度、均匀度、表面状态、饱满程度、含杂情况和储藏环境等因素。玉米孔隙度为 40% 左右。

(八) 导热性

物体传递热量的性能称为导热性。粮堆中热的移动主要是通过粮粒间直接接触的传导和粮堆孔隙中空气的对流两种方式进行的。在这两种方式中，以对流为主。

粮堆的导热性能与粮堆的形式、大小、密闭情况、孔隙度、含水量等有关，其中尤以含水量影响较大。

由于粮堆内的孔隙阻力较大，空气对流缓慢，以及空气和粮食的热导率都不高，因此粮堆是热的不良导体。

淀粉的传热系数取决于含水量，大致按下式确定：

$$\lambda = 0.25 + 0.0017W$$

式中， λ 为传热系数， $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ； W 为淀粉的含水量， $\%$ 。

部分物料的比热容如下。

玉米的比热容为： $0.446\text{kcal}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ；

淀粉的比热容与温度的直线关系用下式表示：

$$C = (0.2786 + 0.006t) \times 4.1868 \times 10^3$$

式中， C 为比热容， $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ； t 为温度， $^{\circ}\text{C}$ 。

(九) 自动分级

自动分级不是单一籽粒所具有的特性，而是籽粒群体（粮堆）的性质。玉米籽粒和杂质结合的散粒群体，在有规则的移动或振动过程中出现的分级现象称为自动分级。

产生自动分级的原因，是由于粮堆的组分中有饱满的和瘦瘪的、完整的和破碎的粮粒与各种杂质，它们在形状、大小、表面状态、相对密度和绝对重量方面都不相同，因此在运动过程中，受摩擦力和气流的浮力与流动方向的影响也不同，这些因素的综合作用，造成粮堆的自动分级。产生自动分级后，粮堆的上层为相对密度小的物料，下层为相对密度大的物料。

① $1\text{kcal}=4.1840\text{kJ}$ ，下同。

四、玉米的化学特性

玉米的化学组成见表 1-1；玉米各组成部分的化学组成见表 1-2。

表 1-1 黄玉米化学组成表（干基） 单位：%

项 目	平 均	标准离差	项 目	平 均	标准离差
淀粉	71.6	1.5	灰分	1.4	0.2
蛋白质	9.6	1.1	糖类	2.0	0.4
脂肪	4.6	0.5	水分(湿基)	15.0	1.0
粗纤维	2.9	0.5			

表 1-2 玉米籽粒各组成部分化学组成（干基） 单位：%

项 目	占籽粒重	淀粉	蛋白质	脂肪	灰分	糖
胚芽	11.5	8.3	18.5	34.4	10.3	11.0
胚乳	82.3	86.6	8.6	0.86	0.31	0.61
根帽	0.8	5.3	9.7	3.8	1.7	1.5
皮层	5.3	7.3	3.5	0.98	0.67	0.34
籽粒	100	72.4	9.6	4.7	1.43	1.94

(一) 水分

水分是玉米的一个重要化学成分，它不仅对玉米的生理有很大影响，而且与玉米加工、储藏的关系也很密切。水分在玉米籽粒中有两种不同的存在状态，即游离水（自由水）和胶体结合水（束缚水）。游离水是存在于细胞间隙中的水分，一般化验水分的结果为游离水。胶体结合水是与细胞中的蛋白质、糖类等亲水物质相结合，形成比较牢固胶体的水分。胶体结合水性质稳定，不易散失，不能用作溶剂，0℃时也不会结冰，应用一般的干燥方法（晾晒或通风等）不能将其驱除。游离水则具有普通水的性质，能用作溶剂，0℃时也能结冰，籽粒中这部分水的含量，可随外界空气的相对湿度而改变，所以这部分水含量高时，可用普通的干燥方法使其降低。

(二) 蛋白质

玉米中粗蛋白含量为 8%~14%，平均为 9.9%。其中：白蛋白 0.8%，球蛋白 0.3%，醇溶蛋白 3.8%，谷蛋白 4.1%，非蛋白氮 0.9%。醇溶蛋白是非全价蛋白，因为它几乎不含有像赖氨酸和色氨酸这样的必需氨基酸；白蛋白、球蛋白和谷蛋白为全价蛋白。蛋白质在玉米籽粒的各部位是不均匀的。籽粒中球蛋白的 70% 左右是在胚芽中，籽粒的其他部位主要是醇溶蛋白、谷蛋白。麸质是湿法加工玉米时提取的不溶性蛋白质的商品名称，也叫蛋白粉或黄粉。它含蛋白质 50%~70%，质量也较好。但因为损失了有价值的必需氨基酸，所以一般多用于动物饲料的配制。玉米的氨基酸含量见表 1-3。

表 1-3 玉米的氨基酸含量（干基） 单位：%

蛋氨酸	0.19	胱氨酸	0.15	苯丙氨酸	0.50	甘氨酸	0.38
赖氨酸	0.25	色氨酸	0.10	丙氨酸	0.78	天冬氨酸	0.68
苏氨酸	0.39	异亮氨酸	0.42	谷氨酸	1.77	脯氨酸	0.84
组氨酸	0.22	缬氨酸	0.48	丝氨酸	0.46	酪氨酸	0.47
亮氨酸	1.14	精氨酸	0.59				

组成蛋白质的氨基酸，在蛋白质分子里是按照一定顺序排列的。因此，各种蛋白质有一定的结构和一定的物理化学特性。如果受某种因素的影响（如高温、高压、干燥紫外线、X射线、超声波、酸、碱等），氨基酸在蛋白质分子内排列的顺序就会改变，蛋白质的结构就会发生变化，理化性质也就随着改变，性质改变后的蛋白质称为变性蛋白质，这种作用叫变性作用，变性蛋白质溶解度变小，或者完全丧失溶解性，吸水能力减弱，因而品质大为降低。蛋白质变性的性质对我们有不利的一面，也有有利的一面，由于蛋白质抗高温能力较低，在加工玉米时，一般温度不要超过 60℃，但在榨玉米胚油时，还必须使蛋白质变性才能多出油。

(三) 碳水化合物

玉米一般含淀粉 64%~78%，平均为 71.3%。淀粉主要存在于胚乳中，胚芽、表皮的淀粉含量较少。

纤维素主要存在于玉米的皮层。玉米生产淀粉时，纤维素是构成粗渣和细渣的主要成分。粗、细渣皮是生产饲料的主要原料。玉米中总纤维含量 8.3%~11.9%，平均为 9.5%。

玉米中可溶性糖总含量 1.0%~3.0%，平均为 2.58%；其中：蔗糖 2.0%，棉子糖 0.19%，葡萄糖 0.10%，果糖 0.07%。

(四) 脂肪

玉米中含有 1.2%~18.8%的脂肪，平均为 5.3%。主要存在于胚芽中，其次是糊粉层，而胚乳和种皮中含脂肪量很低，只有 0.64%~1.06%。胚的脂肪含量占玉米籽粒的 80%。所以在加工玉米的过程中，如何将胚全部提出来，提高经济效益，也成为玉米加工的主要任务了。玉米胚油中脂肪酸成分的含量为：

棕榈酸 C ₁₆	11.1%	油酸 C ₁₈₋₁	24.1%
硬脂酸 C ₁₈	2.0%	亚油酸 C ₁₈₋₂	61.9%
花生酸 C ₂₀	0.2%	亚麻酸 C ₁₈₋₃	0.7%

(五) 维生素

玉米中维生素含量如表 1-4 所示。

表 1-4 玉米中维生素含量（干基）

项目	单位	范围	平均值
维生素 A	IU/g	—	2.5
维生素 E	mg/kg	3.0~121	25
维生素 B ₁	mg/kg	3.0~8.6	4.2
维生素 B ₂	mg/kg	0.25~5.6	1.25
泛酸	mg/kg	3.5~14	6.5
维生素 H	mg/kg	50~600	90
叶酸	mg/kg	100~683	426
胆碱	mg/kg	—	500
烟碱酸	mg/kg	9.3~70	24.4
维生素 B ₆	mg/kg	—	9.6

(六) 矿物质

矿物质在玉米籽粒中的分布是不均匀的，皮层、胚芽中含量较高，胚乳中含量很低。矿物质主要由钙盐、钠盐、钾盐、镁盐、铁盐等成分组成，是玉米灰分的主要组成。见表 1-5。

表 1-5 玉米中矿物质含量（干基） 单位：%

项 目	范 围	平 均 值	项 目	范 围	平 均 值
总灰分	1.1~3.9	1.42	铁/(mg/kg)	1~100	40
总磷	0.26~0.75	0.27	锌/(mg/kg)	12~30	22.4
无机磷	—	0.08	铜/(mg/kg)	0.9~10	3.8
硫	0.01~0.22	0.14	锰/(mg/kg)	0.7~54	4.7
硒/(mg/kg)	—	0.045	钴/(mg/kg)	0.003~0.34	0.025
碘/(mg/kg)	73~810	385	铬/(mg/kg)	0.06~0.16	0.07
钠	0~0.15	0.01	铅/(mg/kg)	0.2~0.3	0.27
钾	0.32~0.72	0.38	镉/(mg/kg)	0.04~0.15	0.07
镁	0.09~1.0	0.17	汞/(mg/kg)	0.002~0.006	0.003
钙	0.01~0.1	0.03			

五、玉米的加工特性

玉米在储存过程中，受自身呼吸作用及微生物的侵害而产生发热；尽管从分等级上来讲，籽粒未被明显破坏，但会很难加工。在干燥过程中，当籽粒的温度超过 60℃，也会产生同样的结果。玉米加工中常常出现以下由于玉米品质而引起的问题：粉质胚乳的应力断裂，导致输送过程中的过度破碎；玉米浆产量降低（蛋白的溶解度减少）；胚芽收率和玉米油产量降低；油色加重和脂肪酸含量高；淀粉出率低（副产物中淀粉含量高）；淀粉蛋白含量高；淀粉黏度低。

当然，以上问题也可能是由操作引起的，但为保证对工艺生产中出现问题的判断准确性，有必要对玉米的加工特性，采用简单的方法，进行工艺影响评价。可采用的实验方法包括：发芽率（活性）；破碎实验；应力破裂指数实验；醇溶液中蛋白质溶解度实验；醇溶液中糖溶解度实验；籽粒水分分布电测量实验；谷氨酸脱羧酶活性实验；玉米油中游离脂肪酸含量实验。

以上这些方法，目前只有发芽率实验在实际工作中普遍采用。使用氯化三苯基四唑染色籽粒断面，约一个小时候左右即可得到类似结果，具有活力的胚芽染色后成红色。

发芽率实验可以按以下评价：

- 大于 70%发芽率 很好
- 50%~70%发芽率 好
- 30%~50%发芽率 中等
- 小于 30%发芽率 差

发芽率实验决不能完全判定玉米的加工性能，但发芽率高至少说明该批玉米未