

CORN STARCH
ENGINEERING TECHNOLOGY

玉米淀粉工程技术

白 坤 | 编著



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

玉米淀粉工程技术/白坤编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-5019-8472-5

I. ①玉… II. ①白… III. ①玉米-谷类淀粉-淀粉加工 IV. ①TS235.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 205230 号

责任编辑: 涂润林

策划编辑: 涂润林 责任终审: 滕炎福 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: 河北高碑店市德裕顺印刷有限责任公司

经销: 各地新华书店

版次: 2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 34.75

字数: 800 千字 插页: 1

书号: ISBN 978-7-5019-8472-5 定价: 80.00 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

090430K1X101ZBW

序

中国淀粉工业发展很快，近十年平均年产量递增 19.8%，其中玉米淀粉是淀粉工业的主导产品。我国淀粉产业的发展优势：一是玉米年年增产，产销基本平衡，原料有保证。二是国民经济平稳较快发展，人民生活水平不断提高，淀粉工业主要产品又是国家政策支持的内需产品，因此即使受国际金融危机冲击的 2008 年，淀粉工业仍有 10% 的增长速度。三是在我国作为深加工原料的淀粉人均占有量不大，只是美国人均占有量的 13%，日本的 43%，低于泰国人均占有量，因此处于商品增长期，市场潜力大，有发展空间。以上优势促进了我国玉米淀粉工业的持续稳健发展的形势。

当前国际金融危机还在扩散和蔓延，企业面对的机遇与挑战共存，按照中央保增长、扩内需、调结构的总体要求，同时应对国际金融危机的冲击，国家在 2009 年 5 月份出台了《轻工业调整和振兴规划》，淀粉行业的同仁都为之振奋，除落实好国家所给的政策措施外，正加快自主创新推动结构调整和产业升降。本书正是适应形势的需要脱颖而出的一本实用技术书籍。

本书是一本根据国内外先进玉米淀粉工业生产工艺、设备、建设编写的具有规范性的技术著作，特点是其先进性、完整性和实用性比较强。本书不但介绍和推荐了一流的生产工艺和设备，而且详尽地介绍了与主流程配套的辅助设备及其工艺要点；不但介绍和推荐了生产控制的各项工艺参数，而且详尽地介绍了各项设备的型号、结构、性能；不但介绍和推荐了主副产品的质量 and 经济技术指标，而且详尽地介绍了主副产品生产的水、电、汽等平衡物料平衡及其计算方法。其它如玉米简介、淀粉简介、自动控制、化验室组建、污水处理、工厂厂房和设备布置都有详细的叙述。本书从实践结合理论的叙述方法不但使读者知其然而且了解其所以然，使本书具有较好的实用性，是一本从事玉米淀粉工业的生产、设计、科研人员的优秀参考书和淀粉工业教育和培训用的教材。

中国淀粉工业协会高级顾问 赵继湘

前 言

玉米是世界上的三大农业作物之一，是一种粮食，一种再生能源和资源，一种工业原料，也是一种产业经济，是人类、动物生存的能量和营养来源之一。玉米种植、生产和加工是涉及国家战略、国家安全、国民经济、国计民生的重大问题，玉米在国家粮食安全战略问题上的地位十分突出和重要。玉米可以加工生产的产品是十分广泛的，产品广泛应用于食品、医药、有机酸、氨基酸、造纸、纺织、化工、机械、塑料、燃料、电子等行业中。

玉米加工产业是世界重要的产业之一，其产业链达到数千个，产品遍及多种行业。美国是世界上玉米加工大国，中国玉米加工列世界第二。中国的玉米淀粉生产技术发展很快，设备性能和加工能力在稳步提高，很多国产设备替代了进口设备；生产的各种产品质量和得率在逐年提高，各种原材料和能源消耗在逐年下降，废水处理和沼气使用在逐年扩大，水循环利用在逐年实施。

本书收集国内外多家大型玉米加工设备和生产线的技术，全面展示先进的玉米淀粉生产设备和技术。本书按照玉米淀粉生产工艺流程顺序书写，介绍了国外玉米淀粉的生产技术、工艺流程、控制指标、主要设备结构和能力，详细叙述了我国玉米淀粉和副产品的生产工艺流程、工艺叙述、设备结构和原理、控制指标、质量指标、生产量指标、得率指标、能源消耗指标等。

本书第三章、第二节中的“四、玉米烘干工艺”、“五、玉米烘干工序主要设备”和十三中的“（五）转筒干燥机”由陆学中编写。本书的编写得到了董延丰、王作学、李文凭、周志民、曲延学、李吉艳、吴永兴、王三军等人的帮助。本书各种专业设备规格由以下企业提供：郑州万谷机械有限公司、江苏宜淀设备有限公司、江苏纵横浓缩干燥设备有限公司、山东三星机械制造有限公司、周口恒昌计量自控设备有限公司，在此一并表示感谢。

编者 白坤

2009年10月

目 录

第一章 玉米简介	1
第一节 玉米结构和化学成分	1
一、玉米结构、形状和颜色	2
二、玉米化学成分	5
三、不同种植地区、不同年份和不同品种玉米化学成分	11
第二节 玉米分类、有效成分、质量	16
一、玉米分类	16
二、玉米有效成分	19
三、中国玉米质量	23
四、美国玉米质量	28
五、国际和其它国家玉米质量	33
第三节 玉米干燥和储存	36
一、玉米干燥特性	36
二、玉米储存	37
三、玉米储存时期变化	39
四、玉米储存时期有害现象	42
第二章 玉米淀粉简介	46
第一节 玉米淀粉形态、结构和性质	46
一、玉米淀粉形态	46
二、淀粉结构	48
三、淀粉性质	50
四、淀粉营养	58
第二节 美国淀粉工业情况	59
一、玉米深加工产品产量	59
二、美国玉米深加工行业玉米使用量	59
三、玉米加工行业统计	60
第三节 中国淀粉工业情况	61
一、中国淀粉工业发展、玉米淀粉生产情况	61
二、中国玉米淀粉生产区域、生产装置规模 and 水平	69
三、中国及各主要省区玉米加工淀粉比例	72
第三章 玉米淀粉生产过程和设备	73
第一节 美国玉米淀粉生产技术	73
一、美国玉米淀粉生产工艺流程	73
二、美国玉米淀粉生产工艺简述	77
三、美国新型玉米淀粉生产技术	81

四、美国玉米淀粉深加工途径	82
第二节 中国玉米淀粉生产过程和设备	84
一、玉米淀粉生产工艺流程	84
二、玉米收购、净化和储存工艺	89
三、玉米收购、净化和储存工序主要设备	91
四、玉米烘干工艺	98
五、玉米烘干工序主要设备	100
六、玉米上料工艺	103
七、玉米上料工序主要设备	104
八、玉米浸渍工艺	105
九、玉米浸渍工序主要设备	131
十、玉米破碎和胚芽分离工艺	136
十一、玉米破碎和胚芽分离工序主要设备	139
十二、胚芽洗涤、脱水和干燥工艺	151
十三、胚芽洗涤、脱水和干燥工序主要设备	154
十四、纤维精磨、洗涤和筛分工艺	176
十五、纤维精磨、洗涤和筛分工序主要设备	178
十六、蛋白质分离和淀粉乳精制工艺	185
十七、蛋白质分离和淀粉乳精制工序主要设备	195
十八、淀粉脱水、干燥和包装工艺	217
十九、淀粉脱水、干燥和包装工序主要设备	222
二十、产品储存	254
第四章 玉米淀粉副产品生产过程和设备	257
第一节 玉米浆生产过程和设备	257
一、玉米浆	257
二、玉米浆生产工艺	258
三、玉米浆生产主要设备	261
第二节 玉米油生产过程和设备	271
一、玉米胚芽处理技术	271
二、玉米胚芽制油技术	274
三、玉米油精炼工艺	280
四、玉米油生产主要设备	286
第三节 纤维饲料生产过程和设备	293
一、纤维饲料生产工艺	293
二、纤维饲料生产主要设备	299
第四节 蛋白粉生产过程和设备	303
一、蛋白粉生产工艺	303
二、蛋白粉生产主要设备	309
第五节 玉米浸渍液膜法生产肌醇	317
一、肌醇生产工艺	318
二、肌醇生产主要设备	319

第五章 玉米淀粉生产计算	321
第一节 玉米淀粉生产平衡	321
一、产品收率和平衡	321
二、物流平衡	323
三、水平衡	328
四、蒸汽平衡	330
五、时间平衡	333
六、pH 平衡	334
第二节 玉米淀粉生产产量、消耗、抽提率和收率计算	335
一、产品产量	335
二、原材料和动力消耗、成分抽提率、产品收率计算	337
第三节 玉米淀粉生产用原材料质量要求	339
一、原材料使用量	339
二、原材料和蒸汽质量	342
第六章 玉米淀粉生产控制	348
第一节 玉米淀粉生产过程控制	348
一、生产过程工艺控制	348
二、中间体产品质量控制	352
三、产品收率控制	353
四、原材料、包装物、中间体和成品检验	353
五、生产岗位和操作人员	358
第二节 玉米淀粉生产产品质量要求	358
一、玉米淀粉产品质量	359
二、玉米浆	363
三、蛋白粉	364
四、纤维饲料	365
五、玉米油	365
六、胚芽饼（粕）	366
第三节 玉米淀粉生产自动控制	367
一、自动化控制系统功能	369
二、自动化控制系统组成	371
三、玉米淀粉生产自动控制技术	371
第七章 玉米淀粉生产配套设备	378
第一节 玉米淀粉生产线动力和热源设备配置	378
一、动力设备配置	378
二、热源设备配置	379
第二节 罐和搅拌器	380
一、罐（槽）类设备	380
二、搅拌器	385
第三节 输送设备	391

一、流体输送设备	391
二、固体输送设备	399
三、气力输送系统	404
第四节 管道和阀门	409
一、管道	409
二、阀门	422
第五节 清洗排风除尘系统	427
一、CIP 清洗系统	427
二、排风系统	428
三、除尘系统	432
第六节 供水和循环水冷却系统	440
一、供水系统	440
二、循环水冷却系统和设备	441
第七节 蒸汽供给和冷凝水回收系统	443
一、蒸汽供给系统	443
二、冷凝水回收系统	444
三、蒸汽供给和冷凝水回收系统设备	445
第八节 化验室建设	448
一、化验室管理和工作	449
二、化验室器皿仪器	455
三、化学试剂	457
第九节 淀粉工厂厂房和车间设备布置	460
一、淀粉工厂厂房布置	460
二、车间分区布置	463
三、玉米油浸出车间要求	464
四、淀粉车间设备布置	465
第八章 玉米淀粉废水处理和副产品利用	476
第一节 废水生化处理	476
一、废水性质	476
二、废水生化处理技术	479
第二节 废水处理工程技术	491
一、废水处理工艺技术	491
二、废水处理主要建筑物和设备	497
第三节 沼气回收和利用	499
一、沼气质性	499
二、沼气回收技术	500
三、沼气利用	501
第四节 有机肥生产	502
一、工艺技术	502
二、主要生产设备	503
第五节 副产品利用	504

一、蛋白粉利用	504
二、纤维利用	507
附录 1 有关原料和产品物理性质	509
附录 2 有关水、空气、玉米淀粉乳、麸质液、玉米浆性质表	510
附录 3 玉米淀粉生产经济技术指标	534
附录 4 玉米淀粉有关英语词汇	538
附录 5 有关标准目录	541
参考文献	544

第一章 玉米简介

第一节 玉米结构和化学成分

玉米是农作物中的粮食作物，是粮食作物中的禾谷类作物。玉米籽粒生长在穗轴（雌穗）上，果穗着生在玉米秸秆中部叶腋间，果穗由苞叶、玉米须、籽粒和穗轴四部分组成。果穗的出籽粒率 75%~85%。

苞叶是包裹玉米须、籽粒和穗轴的叶片形纤维组织，苞叶展开后呈尖形，一个果穗的苞叶一般是 7~13 层。玉米须是生长在穗轴上、夹在籽粒中间的长丝形纤维，玉米须的数量与籽粒相同。玉米籽粒在穗轴上生长的方向是一致的，即玉米籽粒顶端的尖痕朝向穗轴尖的方向，玉米籽粒中含胚芽面朝向穗轴尖的方向。穗轴是由玉米秸秆的叶腋间生长出来的，结实籽粒的部分，从叶腋间到穗轴间生长苞叶的部分称为穗柄。

玉米果穗长 180~270mm，不能结实籽粒的果穗尖长 3~46mm，果穗直径 52~68mm。果穗长 200mm 以上、直径 60mm 以上的是大穗玉米。籽粒是生长在穗轴上的果实、颖果，籽粒的顶端有一个很小的尖痕，玉米的籽粒在穗轴成双行排列，一般是 16，18 行的多（有 12，14，16，18 行），每行 34~55 粒（范围 24~67 粒）。在玉米的果穗上，玉米籽粒生长时的相互挤压使得玉米籽粒成为扁形，但在果穗两端由于受到的挤压力小于中间，所以这些玉米籽粒的形状不是正常的扁形，而是比较宽、类似菱形或圆形的不规则形。玉米果穗上的籽粒有 75% 是正常形状，而在穗柄端的各行有 4~6 粒、穗尖端 6~13 粒的形状是不规则形。在正常生长籽粒的某些位置、籽粒之间也可能生长出 1~5 粒的不规则形籽粒，这种不规则形籽粒将附近的几个籽粒挤压得也成不规则形状了。

玉米果穗每穗有 800 粒左右（310~1060 粒），玉米籽粒平均质量 250~300mg/粒（100~600mg/粒），玉米籽粒千粒重 295g（250~500g）。正常玉米籽粒长度 7~16mm，宽度 5~12mm，厚度 3~7mm。玉米籽粒相对密度 1.20（1.10~1.25），玉米籽粒体积质量 750kg/m³（600~850kg/m³），玉米籽粒空隙度 47%（35%~55%），玉米堆静止角 35°（30°~40°），玉米悬浮速度 9.8~14.0m/s，输送玉米气流速度 25~30m/s。

玉米果穗见图 1-1。

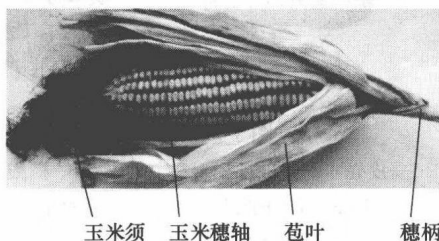


图 1-1 玉米果穗

一、玉米结构、形状和颜色

(一) 玉米结构

玉米籽粒的基本结构分为：种皮 (pericarp)、胚乳 (endosperm)、胚芽 (germ)、梢帽 (tip cap) 等四个主要部分。玉米籽粒的种皮、胚乳、胚芽和梢帽是紧密联结不易分开的。玉米籽粒因品种不同有黄、白、紫红、条斑等色，最外一层的种皮通常是透明的。种皮占籽粒质量的 6%~8%，胚乳占籽粒质量的 80%~85%，胚芽占籽粒质量的 10%~15%。玉米籽粒形状、大小和透明度等随品种类型而不同，如马齿型品种粒大，扁平近长方形。在同一果穗上的籽粒形状也不相同，中部的籽粒相互挤压力大而呈扁型，上部和下部的籽粒受挤压力小而近乎圆形或菱形。玉米类型主要有马齿型、硬粒型和介于两者之间的中间型，此外还有糯质型、爆裂型、粉质型、有稈型等。我国玉米主要为马齿型、半马齿型和硬粒型三种类型。玉米籽粒的外形为圆形或马齿形，稍扁，在下端有梢帽，去掉梢帽可见种皮上的一块弹性组织即是胚芽。透过种皮可清楚地看到胚乳位于宽面的下部。沿胚乳正中纵切成两半，它外面有一层厚皮，即是种皮。种皮以内大部分是胚乳，在背侧基部的一角是胚芽。

玉米籽粒基本结构形状见图 1-2，玉米籽粒生物结构见图 1-3，马齿型玉米籽粒结构切片见图 1-4 (浸渍后)。

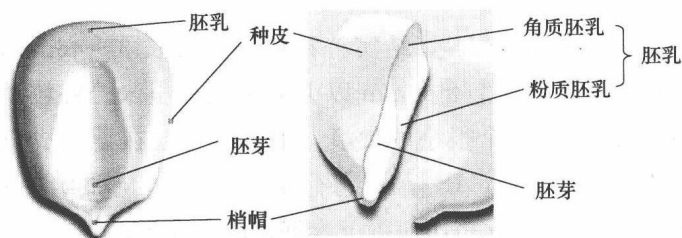


图 1-2 玉米籽粒基本结构形状

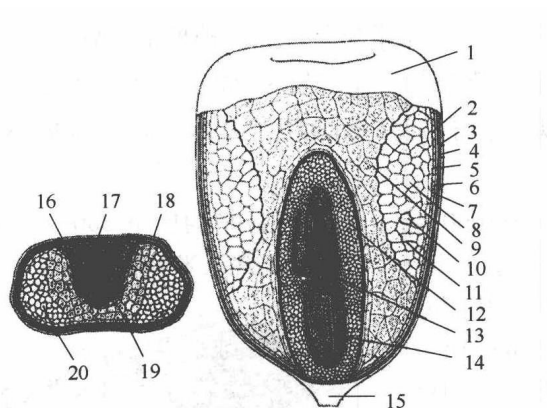


图 1-3 玉米籽粒生物结构

- 1—皮壳 2—表皮层 3—中果皮 4—横细胞 5—管状细胞
6—种皮 7—糊粉层 8, 20—角质胚乳 9, 19—粉质胚乳
10—淀粉细胞 11—细胞壁 12, 16—盾片 13—胚
14—初生根 15—基部 17—胚轴 18—果皮

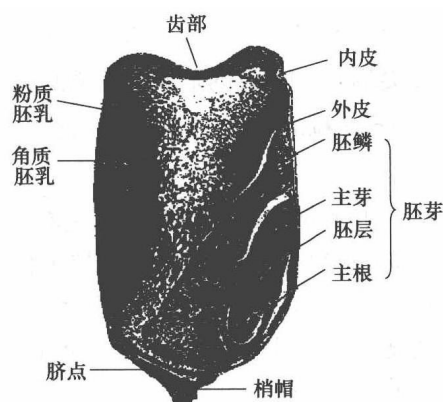


图 1-4 马齿型玉米籽粒结构切片
(浸渍后、放大 6 倍)

1. 种皮

玉米籽粒 (grain) 的外部是由种皮包裹着的, 不易破碎。种皮是由果皮、糊粉层组成, 韧性很大, 种皮的含量占玉米籽粒的质量比例不是很大, 主要成分是大量的纤维素、色素和少量的淀粉、糖、蛋白质、维生素、矿物质等物质, 种皮中的色素决定了玉米籽粒的颜色有黄色、白色、黑色、紫色等。种皮的作用是保护玉米籽粒不受外界的侵害, 保证玉米籽粒成形和胚乳不散, 种皮内是胚乳和胚芽。种皮的根部连接梢帽和胚芽, 是玉米籽粒与穗轴的连接部。种皮是在胚乳积累之前生成的, 是玉米籽粒积累物质 (胚乳) 的场所, 随着籽粒的生长而生长并且逐渐变色和坚硬, 种皮是纤维素编织成的网状物质。

2. 胚乳

胚乳是种皮内主要和大量的结构部分, 胚乳的质量占玉米籽粒的质量比例很大, 主要的化学成分是淀粉和蛋白质, 还有纤维素、色素、脂肪、矿物质、糖、维生素、氨基酸等物质, 胚乳容易破碎。

在胚乳中比较明显地分为两部分。一部分是含淀粉多、含蛋白质很少、白色不透明、松散的部分, 称粉质胚乳 (floury endosperm), 其中的淀粉称为粉质淀粉 (floury starch)。另一部分是含淀粉较少、含蛋白质多、黄色半透明、坚硬的部分, 称为角质胚乳 (也称为硬质胚乳, hory endosperm), 其中的淀粉称为角质淀粉 (hory starch)。马齿型玉米籽粒的粉质胚乳大部分是在籽粒顶部, 高度约占籽粒的 $1/6$, 中部平面宽度约占籽粒的 $3/5$, 然后向下部延伸在角质胚乳内形成流层直至胚根部。从玉米籽粒纵剖面看, 在籽粒中部的部分一侧是胚芽, 另一侧是角质胚乳, 中间是粉质胚乳。角质胚乳是在籽粒顶部、粉质胚乳以下、胚根部以上的种皮周围内、粉质胚乳外形成的月牙圈形层, 高度约占籽粒的 $2/3$, 平面一侧宽度约占籽粒的 $1/5$ 。从玉米籽粒平剖面看在种皮内的粉质胚乳呈顶部宽向下变窄然后再加宽形状, 而角质胚乳在顶部下、种皮内的两侧呈由窄变宽再变窄形状。胚乳是积累在种皮内的产物。胚乳的作用是积累, 储存和提供淀粉、蛋白质、灰分、色素和各种营养物质, 在玉米生长阶段为玉米生长提供能源。

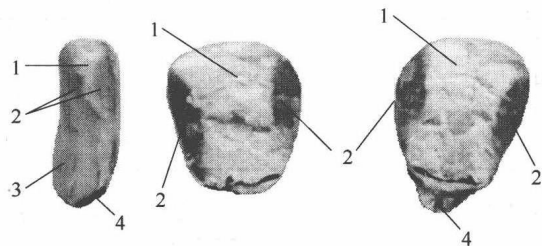


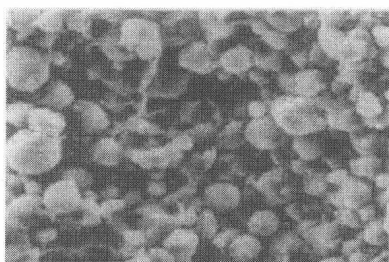
图 1-5 玉米籽粒纵剖和平剖面

1—粉质胚乳 (白色) 2—角质胚乳 (黄色)
3—胚芽 4—梢帽

玉米籽粒纵剖和平剖面见图 1-5, 粉质胚乳结构见图 1-6, 角质胚乳结构见图 1-7。

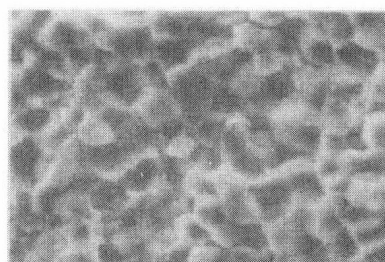
3. 胚芽

胚芽是位于玉米籽粒的根基部分, 位于玉米籽粒基部一侧, 即在向着玉米穗轴尖的方向, 富有弹性和韧性不容易破碎。胚芽整体呈三棱尖形, 胚乳内的菱形圆滑, 并有圆凸。胚芽下圆、中间宽、上尖, 靠种皮的一侧是平面, 在胚乳内的是菱形两面。胚芽是从胚根部生长出来的, 在胚根向籽粒顶部伸长, 胚根部宽度约占籽粒的 $1/2$ 以上, 高度



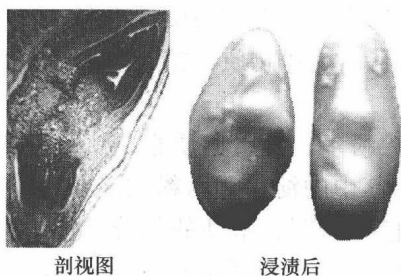
放大倍数:1600

图 1-6 粉质胚乳结构



放大倍数:1600

图 1-7 角质胚乳结构



剖视图

浸渍后

图 1-8 玉米胚芽

占籽粒的 $2/3 \sim 5/6$, 胚芽的根部连接种皮和梢帽。胚芽的质量占玉米籽粒的质量比例不是很大, 主要成分是大量的脂肪、纤维素、矿物质和少量的糖、维生素、氨基酸、遗传基因等物质。胚芽的作用是提供脂肪、灰分和各种营养物质, 在玉米发芽阶段还为生长提供遗传基因。胚芽长度 $7 \sim 13\text{mm}$, 宽度 $4 \sim 6\text{mm}$, 厚度 $2 \sim 3.5\text{mm}$ 。玉米的胚乳和胚芽水分含量是不一样的, 新收获的玉米胚乳含水量小于胚芽, 干燥的玉米胚乳含水量大于胚芽。

玉米胚芽见图 1-8, 玉米胚芽化学成分含量见表 1-1, 玉米胚乳和胚芽水分含量见表 1-2。

表 1-1

玉米胚芽化学成分含量

单位: % (干基)

成分	含量	成分	含量
脂肪	34.0~57.0	纤维	7.5
蛋白质	15.0~24.5	灰分	1.2~6.0
糖分	20.0~24.0		

表 1-2

玉米胚乳和胚芽水分含量

单位: %

项目	全粒水分	胚芽水分	胚乳水分
新收获玉米粒	31.4	45.2	29.0
收获后 5d 玉米	23.8	36.4	22.4
烘干玉米	12.8	10.2	13.2
晾晒玉米	14.4	11.2	14.8

4. 梢帽

梢帽是玉米籽粒连接玉米穗轴(芯)的部分, 是从穗轴的木环部生长出来连接玉米籽粒胚根的, 颜色为白色, 其质量占玉米籽粒质量的比例极小, 没有什么使用价值和食用价值, 梢帽的一端连接穗轴, 另一端连接种皮和胚芽。梢帽的作用是连接玉米籽粒和玉米穗轴(芯), 为玉米籽粒的成分积累提供运输的通道。梢帽长度 $8 \sim 13\text{mm}$, 宽度

2~3.5mm，厚度 1.1mm 以内。此外还有包裹梢帽和胚根部分的粗壳和细壳组织，粗壳和细壳是从穗轴的木环部生长出来，颜色有紫红色和白色。紧贴胚根的是细壳，细壳很柔软。细壳的外面是粗壳，粗壳包裹着梢帽、细壳和胚根，粗壳很坚硬。玉米脱粒时掉下来很多细壳和少部分粗壳成为玉米屑。

玉米梢帽见图 1-9。

在玉米籽粒中还含有很多酶，使玉米籽粒在收获后自身还能够进行合成和呼吸作用，这些合成和呼吸作用在玉米籽粒刚刚收获时表现为玉米继续进行后成熟阶段，当玉米的储存条件不适当时表现为玉米进行能量消耗。玉米的合成和呼吸作用随着时间增长而逐渐减弱。

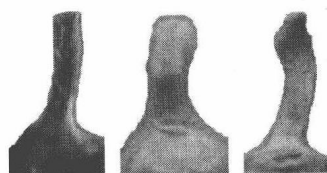


图 1-9 玉米梢帽

(二) 玉米形状和颜色

玉米的形状和颜色有多种多样，其基本形状有两种，第一种基本形状是：玉米籽粒扁平，籽粒为马齿状，顶部凹陷，粒型较大。胚乳外部为角质，内部为粉质、质地较软。种皮无亮泽（或少有亮泽）的“马齿型玉米”，这种玉米籽粒中淀粉含量较高，主要是用于饲料和工业生产使用。第二种基本形状是：玉米籽粒近似原形，顶部平滑、种皮有亮泽的“硬粒型玉米”，这种玉米适口性好，主要用于食用。玉米的形状不同，其成分含量和营养价值也有差别。玉米的颜色有很多种，其主要颜色是“黄色”，还有“白色”，“黑色”，“紫红色”等颜色。黄色玉米——种皮为黄色，并包括略带红色的黄玉米。白色玉米——种皮为白色，并包括略带淡黄色或粉红色的玉米。黑色玉米——指籽粒颜色相对较深（如紫、黑色等）的玉米。紫玉米——一种非常珍稀的玉米品种，为我国特产，因颗粒形似珍珠，有“黑珍珠”之称。紫玉米的品质优良，棒小，粒少。

二、玉米化学成分

玉米籽粒中含有丰富的化学成分、营养成分和很高的代谢能。

玉米籽粒中主要化学成分：淀粉、蛋白质、脂肪、纤维、矿物质、氨基酸、维生素、色素等。

(一) 玉米籽粒的结构及成分

玉米籽粒中，种皮中主要含有纤维等成分，胚乳中主要含有淀粉、蛋白质、糖、矿物质、维生素和色素等成分，胚芽中主要含有脂肪、纤维、矿物质、糖、可溶性蛋白质、维生素和遗传基因等成分，梢帽中主要含有纤维、可溶性蛋白质和糖等成分。

玉米籽粒结构比例见表 1-3，玉米籽粒不同部分的化学成分含量见表 1-4。

表 1-3

玉米籽粒结构比例

结构	含量/%(干基)	结构	含量/%(干基)
胚芽	11.1	胚乳	82.9
种皮	5.3	梢帽	0.7

表 1-4

玉米籽粒不同部分的化学成分含量

结构	化学成分含量/%(干基)					
	淀粉	蛋白质	脂肪	灰分	糖	其它
全粒	72.4 (67.8~74.0)	9.6 (8.1~11.5)	4.7 (3.9~5.8)	1.43 (1.27~1.52)	1.94 (1.61~2.22)	9.93 (7.6~12.3)
胚乳	86.6 (83.9~88.9)	8.6 (6.7~11.1)	0.86 (0.7~1.1)	0.31 (0.22~0.46)	0.61 (0.47~0.82)	2.7 (1.9~3.5)
胚芽	8.3 (5.1~10.0)	18.5 (17.3~20.0)	34.3 (31.1~38.8)	10.3 (9.38~11.3)	10.9 (10.0~12.4)	8.8 (8.0~9.6)
种皮	7.3 (3.5~10.4)	3.5 (2.9~3.9)	0.98 (0.7~1.2)	0.67 (0.29~1.0)	0.34 (0.19~0.52)	86.7 (82.7~90.7)
梢帽	5.3 (4.9~5.7)	9.7 (9.1~10.7)	3.8 (3.7~3.9)	1.7 (1.1~2.2)	1.5 (1.1~2.0)	78.6 (73.9~83.3)

(二) 玉米籽粒化学成分

玉米籽粒中的化学成分主要是淀粉、蛋白质、脂肪、糖、矿物质、色素、可溶性蛋白质、纤维、维生素和遗传基因等。

玉米籽粒化学成分见表 1-5，玉米籽粒微量元素和维生素含量见表 1-6，玉米籽粒氨基酸含量见表 1-7，玉米胚乳蛋白质氨基酸含量见表 1-8，玉米籽粒灰分成分含量见表 1-9。

表 1-5

玉米籽粒化学成分

成分	单位	含量	成分	单位	含量
水分	% (湿基)	14.0	糖	% (干基)	2.58
淀粉	% (干基)	71.06	木质素	% (干基)	0.24
蛋白质	% (干基)	9.51	灰分	% (干基)	1.48
脂肪	% (干基)	4.47	其它	% (干基)	7.56
纤维素	% (干基)	3.10			

表 1-6

玉米籽粒微量元素和维生素含量

成分	单位	含量	成分	单位	含量
总磷	% (干基)	0.29	钼	mg/kg (干基)	0.49
钾	% (干基)	0.37	镍	mg/kg (干基)	1.81
镁	% (干基)	0.14	汞	mg/kg (干基)	0.003
硫	% (干基)	0.12	维生素 A	mg/kg (干基)	2.5
氯	% (干基)	0.05	维生素 E	IU/kg (干基)	30
钙	% (干基)	0.03	维生素 B ₁	mg/kg (干基)	3.8
钠	% (干基)	0.03	维生素 B ₂	mg/kg (干基)	1.4
碘	mg/kg (干基)	385	维生素 B ₃	mg/kg (干基)	6.6
铁	mg/kg (干基)	30	维生素 B ₅	mg/kg (干基)	28
锌	mg/kg (干基)	14	维生素 B ₆	mg/kg (干基)	5.3
锰	mg/kg (干基)	5	维生素 B ₇	mg/kg (干基)	0.08
铜	mg/kg (干基)	4	维生素 B ₁₁	mg/kg (干基)	0.3
铅	mg/kg (干基)	0.27	胆碱	mg/kg (干基)	567
镉	mg/kg (干基)	0.07	烟酸	mg/kg (干基)	0.02
铬	mg/kg (干基)	0.07	β -胡萝卜素	mg/kg (干基)	2
硒	mg/kg (干基)	0.08	叶黄素	mg/kg (干基)	19
钴	mg/kg (干基)	0.05	亚油酸	mg/kg (干基)	2.05

注：1IU=1mg 标准维生素 E (DL- α -tocopherol)。

表 1-7

玉米籽粒氨基酸含量

单位: % (干基)

名称	含量	名称	含量
赖氨酸	0.2	缬氨酸	0.38
蛋氨酸	0.15	组氨酸	0.25
胱氨酸	0.19	精氨酸	0.42
色氨酸	0.07	甘氨酸	0.37
苏氨酸	0.31	丝氨酸	0.44
异亮氨酸	0.34	丙氨酸	0.78
亮氨酸	1.05	天冬氨酸	0.68
苯丙氨酸	0.42	谷氨酸	1.77
酪氨酸	0.33	脯氨酸	0.84

表 1-8

玉米胚乳蛋白质氨基酸含量

单位: % (干基)

名称	含量	名称	含量
赖氨酸	2.0	甘氨酸	3.2
组氨酸	2.8	丙氨酸	8.1
精氨酸	3.8	缬氨酸	4.7
天冬氨酸	6.2	胱氨酸	1.8
谷氨酸	21.3	蛋氨酸	2.8
色氨酸	0.6	异亮氨酸	3.8
苏氨酸	3.5	亮氨酸	14.3
丝氨酸	5.2	酪氨酸	5.3
脯氨酸	9.7	苯丙氨酸	5.3

表 1-9

玉米籽粒灰分成分含量

单位: % (干基)

成分	含量	成分	含量	成分	含量
K ₂ O	0.418	P ₂ O ₅	0.648	MgO	0.015
Na ₂ O	0.012	SO ₃	0.011	其它	0.009
CaO	0.034	SiO ₂	0.033	合计	1.499
MnO	0.215	Cl ₂	0.023		

(三) 玉米蛋白质

玉米籽粒中蛋白质含量 8.1%~11.5%，玉米蛋白质颗粒直径 4~8 μ m，相对密度 1.06。根据蛋白质分子组成可以将玉米籽粒中的蛋白质分为：球蛋白 (glubulins)、醇溶蛋白 (prolamins)、谷蛋白 (glutelin)、不溶性蛋白 (硬蛋白、non-soluble Protein)。球蛋白不溶于水，溶于中性盐稀溶液，加热凝固，为有机溶剂所沉淀，添加硫酸铵至半饱和状态时则沉淀析出。醇溶蛋白不溶于水及中性盐溶液，可溶于 70%~90% 的乙醇溶液，也可溶于稀酸及稀碱溶液，加热凝固，该类蛋白质仅存在于谷物中。谷蛋白不溶于水、中性盐溶液及乙醇溶液中，但溶于稀酸及稀碱溶液，加热凝固，该蛋白质也仅存在于谷类籽粒中，常常是与醇溶谷蛋白分布在一起。不溶性蛋白 (也称硬蛋白) 不溶于水、盐、稀酸和稀碱溶液。这些蛋白质在玉米籽粒的各个结构中的分布是不同的，胚芽中蛋白质含量很高。玉米籽粒中 40%~50% 蛋白质是人、畜体内不能吸收利用的醇溶蛋白，约 28% 的谷蛋白和约 17% 球蛋白是以二硫键交联的醇溶蛋白。玉米中的醇溶蛋白不但不能促进生长，甚至不能维持生命，是“不完全蛋白质”，这是由于缺乏赖氨酸、色氨酸等原因。玉米蛋白质生物价 60%，利用率 57%，消化率 (85 $\pm$ 6)%。由于玉米

的蛋白质中缺乏必需氨基酸中的赖氨酸、色氨酸和苏氨酸，所以玉米的蛋白质营养质量受限制。玉米蛋白质有高水平的谷氨酸，谷氨酸是以酸而不是以酰胺的形式存在。

玉米籽粒中蛋白质的组成和分布见表 1-10，各种类型玉米籽粒蛋白质组成见表 1-11，玉米籽粒各类蛋白质中氨基酸组成见表 1-12。

表 1-10 玉米籽粒中蛋白质的组成和分布 单位：%（干基）

部分	总蛋白质	球蛋白	醇溶蛋白	谷蛋白	不溶性蛋白
整粒	11.4	25.0	48.0	25.0	2.0
胚芽	18.4	37.0	5.0	51.0	7.0
胚乳	12.0	20.0	52.0	17.0	11.0
种皮	4.2				

注：表中的球蛋白、醇溶蛋白、谷蛋白、不溶性蛋白单位是占总蛋白质的百分比（%）。

表 1-11 各种类型玉米籽粒蛋白质组成 单位：%

类型	普通玉米	粉质型玉米	硬粒型玉米
清蛋白+球蛋白	6.2	20.6	15.5
醇溶蛋白	39.2	8.1	10.4
类醇溶蛋白	19.7	10.7	16.2
类谷蛋白	13.6	18.5	21.4
谷蛋白	22.4	42.5	36.6

表 1-12 玉米籽粒各类蛋白质中氨基酸组成 单位：%（干基）

氨基酸	清蛋白和球蛋白	玉米醇溶蛋白	交联玉米醇溶蛋白	谷蛋白
赖氨酸	4.18	0.46	0.57	4.38
组氨酸	2.38	1.28	6.77	2.52
精氨酸	7.35	2.16	3.46	4.49
天冬氨酸	10.06	5.12	1.73	7.90
苏氨酸	4.60	2.93	3.86	4.04
丝氨酸	5.23	5.11	4.03	5.15
谷氨酸	14.70	22.18	23.61	16.70
脯氨酸	5.06	9.84	17.83	6.95
甘氨酸	6.69	2.02	4.72	4.12
丙氨酸	7.10	9.01	4.92	7.49
半胱氨酸/2	3.73	2.27	0.87	0.64
缬氨酸	5.28	3.43	6.07	5.27
蛋氨酸	1.73	0.94	1.63	2.86
异亮氨酸	4.25	3.53	2.23	3.97
亮氨酸	6.50	17.49	10.23	12.09
酪氨酸	3.25	4.54	2.52	4.72
苯丙氨酸	3.57	6.11	2.56	5.31

组成蛋白质的氨基酸主要有 20 种，它们都是 α -氨基酸，所有植物都是利用这 20 种氨基酸组成各种蛋白质分子的。

玉米蛋白质中的第一限制氨基酸是赖氨酸，第二限制氨基酸是色氨酸，第三限制氨基酸是苏氨酸。也就是说组成玉米蛋白质的氨基酸是不全面的。

部分氨基酸食物能值见表 1-13，蛋白质食物能值和生理能值见表 1-14。