

刘亚伟 编著

# 小麦精深加工

## ——分离·重组·转化技术



Chemical Industry Press



化学工业出版社  
农业科技出版中心

## 《农产品现代加工技术丛书》

小麦加工技术  
玉米淀粉生产及转化技术  
大豆加工与利用  
花生加工技术  
食用豆类加工与利用  
薯类精深加工利用技术  
果品深加工新技术  
蔬菜深加工新技术  
食用菌贮藏保鲜与加工新技术  
肉制品加工原理与技术  
水产品加工与利用  
调味料加工技术  
蛋白质加工技术  
油脂加工技术  
碳水化合物加工技术

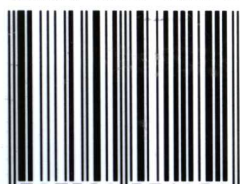
## 《现代食品加工新技术丛书》

食品微胶囊、超微粉碎加工技术  
食品辐照加工技术  
食品冷冻加工技术  
食品超高压加工技术  
食品超临界CO<sub>2</sub>流体加工技术  
生物技术与食品加工  
膜分离技术与食品加工  
食品包装  
农产品无损检测技术

## 《食品系列图书》

中国食品安全战略研究  
保健食品良好生产规范  
食品添加剂及其应用技术  
天然产物有效成分的分离与应用  
食品与农产品品质无损检测新技术  
农业副产品加工致富220法  
特种作物优质栽培及加工技术  
小麦精深加工——分离·重组·转化技术  
从苏丹红说起

ISBN 7-5025-7125-6



9 787502 571252 >

销售分类建议：轻工 / 食品工业

ISBN 7-5025-7125-6

定价：35.00 元

# 小麦精深加工

## ——分离·重组·转化技术

刘亚伟 编著



化学工业出版社  
农业科技出版中心

·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

小麦精深加工: 分离·重组·转化技术/刘亚伟编著.  
北京: 化学工业出版社, 2005.5  
ISBN 7-5025-7125-6

I. 小... II. 刘... III. 小麦-粮食加工 IV. S512.109

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 050792 号

---

小麦精深加工

——分离·重组·转化技术

刘亚伟 编著

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 伊守亮

责任校对: 蒋宇

封面设计: 鲍萌

\*

化学工业出版社 出版发行  
农业科技出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

\*

新华书店北京发行所经销

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 18½ 字数 327 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7125-6

定 价: 35.00 元

---

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

# 前 言

小麦是我国重要的粮食作物之一，其播种面积仅次于水稻，位居第二位。由于我国的小麦供求关系长期处于卖方市场，小麦加工主要集中在面粉加工上，小麦的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。充分有效地利用小麦资源，扩大工业应用范围，是小麦精深加工的发展方向。小麦作为一种充足的再生资源，拥有巨大的深层次开发和应用潜力。小麦不仅可以作为人们的主食，还具有广泛的工业用途；研究小麦在食品及非食品领域的应用，扩大小麦的增值利用途径，加强高附加值功能性产品开发，提高全值利用水平，将促进我国小麦生产稳定发展。发展小麦精深加工技术，就是根据市场需要，通过对小麦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，拓宽小麦精深加工产品的市场，开辟新的小麦转化、升值渠道，全面推进小麦精深加工产业发展，大幅度提高小麦精深加工产品在国内市场的竞争力和占有率，以小麦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。

到目前为止，国内尚未见到较为系统介绍小麦精深加工技术的书籍。本书是在多年工程技术设计、教学的基础上，以及承担国家“十五”科技攻关项目“小麦深加工技术研究与开发”和河南省重大科技攻关项目“小麦精深加工技术与产业化开发”研究成果的基础上，参考国内外有关资料编写而成。

本书重点介绍小麦的工艺品质特性，小麦淀粉生产工艺、设备和操作维护，小麦淀粉的特性，变性小麦淀粉生产技术和分析化验方法，小麦谷朊粉的特性及应用技术，小麦淀粉糖生产技术，小麦深加工副产品（麸皮、胚和戊聚糖）利用技术。书中详细地介绍了小麦淀粉（变性淀粉）生产的工艺和设备，列举了大量的小麦淀粉和谷朊粉变性及应用的实例，对目前国际上重点开发的最新产品进

行了全面介绍。本书可作为小麦精深加工企业以及以小麦为原料的其他工业技术人员、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（原郑州粮食学院）有关领导、老师及同事所给予的支持和帮助。

由于经验及知识所限，书中定有不妥之处，敬请广大读者提出宝贵意见。

刘亚伟

2005年1月于河南工业大学

# 目 录

第一章 小麦籽粒结构和品质特性 .....	1
第一节 小麦籽粒结构特性 .....	2
一、果皮 .....	4
二、种皮和珠心层 .....	4
三、糊粉层 .....	5
四、胚芽 .....	5
五、胚乳 .....	5
第二节 小麦分类与质量标准 .....	7
一、分类 .....	7
二、质量标准 .....	8
第三节 小麦物理特性 .....	9
一、小麦的色泽、气味和表面状态 .....	9
二、小麦的容重和千粒重 .....	9
三、小麦籽粒硬度 .....	10
第四节 小麦化学特性 .....	10
一、小麦籽粒各部分的化学成分 .....	10
二、小麦蛋白质的基本组成 .....	11
三、小麦淀粉 .....	17
四、纤维素 .....	18
五、游离糖 .....	19
六、脂类 .....	20
七、维生素 .....	21
八、矿物质 .....	22
九、小麦中的酶 .....	22
十、小麦色素 .....	24
第五节 小麦面粉化学特性 .....	25
一、小麦面粉的组成 .....	25
二、小麦面粉品质特性 .....	26
第六节 小麦面团特性 .....	34
一、面团形成基础 .....	34

二、面团形成过程及原理 .....	38
第七节 小麦面团流变学特性测定 .....	39
一、面团成型过程 .....	39
二、面团流变学特性测定 .....	40
<b>第二章 小麦淀粉和谷朊粉分离技术 .....</b>	<b>48</b>
第一节 小麦淀粉生产的原料要求 .....	48
第二节 面团法生产工艺与设备 .....	49
一、面团法生产工艺 .....	49
二、主要设备 .....	59
第三节 面糊法工艺与设备 .....	70
一、面筋蛋白在面糊形成中的变化 .....	70
二、面糊法的工艺特点 .....	70
三、三相卧螺工艺方法 .....	71
第四节 水力旋流法 .....	75
一、生产工艺 .....	75
二、主要设备介绍——旋流器 .....	77
第五节 中间品和产品质量控制及评价 .....	81
一、小麦淀粉生产工艺指标 .....	81
二、质量控制与检验 .....	83
<b>第三章 小麦淀粉特性 .....</b>	<b>85</b>
第一节 小麦淀粉的形态结构 .....	85
一、小麦淀粉的颗粒结构 .....	85
二、小麦淀粉的晶体结构 .....	86
三、淀粉颗粒的轮纹与偏光十字 .....	89
第二节 小麦淀粉的化学特性 .....	89
一、小麦淀粉颗粒的化学组成 .....	89
二、小麦淀粉的分子结构 .....	91
三、小麦淀粉颗粒分子结构 .....	96
四、小麦淀粉颗粒中组分的分布 .....	97
五、淀粉颗粒的酶消化 .....	98
第三节 小麦淀粉的物理性质 .....	98
一、淀粉的糊化 .....	98
二、小麦淀粉颗粒的溶胀和糊化变形 .....	107



三、小麦淀粉的流变学特性 .....	108
四、小麦淀粉的特性与反应性 .....	108
五、小麦淀粉在热水中糊化变化研究 .....	110
六、影响淀粉糊化的因素 .....	111
七、不同淀粉糊特性对比 .....	114
八、淀粉的老化作用 .....	115
第四节 淀粉膜 .....	117
第五节 淀粉凝胶 .....	119
第六节 小麦淀粉的食用品质特性 .....	121
<b>第四章 小麦淀粉分子改性修饰技术</b> .....	<b>126</b>
第一节 淀粉修饰的基本原理和方法 .....	126
一、修饰淀粉的基本原理 .....	126
二、基本概念 .....	128
三、修饰淀粉生产工艺 .....	129
第二节 转化淀粉 .....	133
一、小麦酸变性淀粉 .....	133
二、次氯酸钠氧化小麦淀粉 .....	135
三、双醛淀粉 .....	139
四、糊精 .....	140
第三节 预糊化淀粉和颗粒冷水溶胀淀粉 .....	145
一、预糊化淀粉 .....	145
二、颗粒冷水溶胀淀粉 .....	147
第四节 交联淀粉 .....	150
一、基本原理 .....	151
二、生产工艺 .....	152
三、基本特性 .....	153
四、用途 .....	155
第五节 酯化淀粉 .....	155
一、小麦淀粉醋酸酯 .....	156
二、小麦淀粉磷酸单酯 .....	159
三、小麦淀粉黄原酸酯 .....	162
四、小麦淀粉烯基琥珀酸酯 .....	164
第六节 醚化淀粉 .....	168
一、小麦羧甲基淀粉 .....	168

二、小麦羟乙基淀粉 .....	173
三、小麦羟丙基淀粉 .....	175
四、阳离子小麦淀粉 .....	177
第七节 小麦淀粉复合变性技术 .....	181
一、氧化交联酯化小麦淀粉 .....	182
二、交联酯化小麦淀粉 .....	190
第八节 接枝淀粉 .....	195
一、基本原理 .....	195
二、生产工艺 .....	197
三、基本特性 .....	197
四、用途 .....	198
第九节 阻抗淀粉 .....	200
一、基本原理 .....	200
二、生产工艺 .....	201
三、特性 .....	202
四、用途 .....	202
第十节 淀粉基脂肪代用品 .....	202
一、基本原理 .....	203
二、生产工艺 .....	203
三、特性 .....	203
四、用途 .....	204
第十一节 变性淀粉在食品工业中的应用 .....	204
一、食品工业需要变性淀粉 .....	205
二、食用变性淀粉的基本变性方法 .....	205
三、变性淀粉在食品中的应用 .....	206
第十二节 变性淀粉检测分析 .....	213
一、白度的测定 .....	213
二、氧化淀粉中羧基含量的测定 .....	213
三、氧化淀粉中羰基含量的测定 .....	214
四、双醛淀粉中双醛含量的测定 .....	214
五、交联度的测定 .....	215
六、pH值的测定 .....	215
七、黏度的测定 .....	216
八、淀粉糊化度、老化度的测定 .....	218
九、蛋白质含量测定 .....	219

十、氧化淀粉游离氯的定性检测 .....	221
十一、淀粉醋酸酯取代度的测定 .....	221
十二、淀粉磷酸酯取代度的测定 .....	222
十三、阳离子淀粉取代度的测定 .....	223
十四、羧甲基淀粉取代度的测定 .....	224
<b>第五章 小麦淀粉糖生产技术 .....</b>	<b>225</b>
第一节 淀粉糖品的种类、性质及用途 .....	225
一、淀粉糖品的种类 .....	225
二、淀粉糖品的性质 .....	226
第二节 淀粉酶 .....	229
一、 $\alpha$ -淀粉酶 .....	231
二、 $\beta$ -淀粉酶 .....	232
三、葡萄糖淀粉酶 .....	233
四、脱支酶 .....	233
五、葡萄糖异构酶 .....	234
第三节 小麦淀粉的酶液化糖化 .....	235
一、液化 .....	235
二、糖化 .....	237
第四节 淀粉糖生产技术 .....	238
一、液体葡萄糖工艺 .....	238
二、葡萄糖(全糖) .....	239
三、高麦芽糖浆 .....	239
四、麦芽糊精 .....	240
<b>第六章 小麦谷朊粉 .....</b>	<b>241</b>
第一节 小麦谷朊粉的特性 .....	241
一、谷朊粉蛋白质的组成 .....	242
二、面筋蛋白的分离与鉴定 .....	243
三、面筋蛋白在面团形成过程中的变化 .....	245
第二节 小麦谷朊粉改性技术 .....	246
一、小麦谷朊粉化学改性技术 .....	246
二、小麦谷朊粉酶改性技术 .....	250
第三节 小麦谷朊粉在面粉质构重组中的应用 .....	252
一、谷朊粉与面粉烘烤品质的关系 .....	252

二、谷朊粉在面粉工业中的应用 .....	254
三、谷朊粉在食品工业中的应用 .....	255
四、谷朊粉在饲料工业中的应用 .....	256
第四节 质构化小麦蛋白的性质和应用 .....	257
一、小麦蛋白的质构化工艺 .....	257
二、质构化小麦蛋白的性质 .....	258
三、质构化小麦蛋白的应用 .....	259
第五节 谷朊粉的应用领域 .....	261
<b>第七章 小麦精深加工副产品特性及利用 .....</b>	<b>263</b>
第一节 小麦麸皮特性及利用技术 .....	263
一、小麦麸皮的组成 .....	263
二、小麦麸皮的利用 .....	264
三、小麦糊粉层的结构及特性 .....	268
第二节 小麦胚特性及利用技术 .....	274
一、脱脂麦胚蛋白粉的功能特性 .....	275
二、脱脂麦胚蛋白粉的食品应用 .....	276
三、小麦胚油的开发利用 .....	277
第三节 小麦戊聚糖特性及利用技术 .....	278
一、小麦戊聚糖结构特性 .....	278
二、小麦戊聚糖在面粉质构重组中的应用 .....	280
<b>参考文献 .....</b>	<b>283</b>

# 第一章 小麦籽粒结构和品质特性

小麦是世界上种植最广泛的作物之一。除南极外，小麦种植遍布世界各大洲。从北极圈到南纬 $45^{\circ}$ （除少数热带岛国外），从海平面到海拔4570m的高原都有小麦种植。小麦的种植面积约占粮食作物种植面积的26%，产量约占总产量的22%。世界上有1/3以上人口以小麦为主要食用谷物。

小麦我国的种植也极为广泛，北起黑龙江漠河，南到海南岛，西起新疆的塔什库干塔克自治县，东抵沿海各省，都有小麦种植。全国冬小麦面积约占小麦总面积的84%左右，主要分布在长城以南，主产省份有河南、山东、河北、江苏、四川、安徽、陕西、湖北、山西等省，其中河南、山东种植面积最大。春小麦播种面积约占16%，主要分布在长城以北，主产省份有黑龙江、内蒙古、甘肃、新疆、宁夏、青海等省（自治区）。小麦主要种植区有以下几个。

**东北春麦区：**包括黑龙江、吉林两省全部和辽宁、内蒙古部分地区。全区小麦面积及总产量接近全国的8%，约占全国春小麦面积及总量的47%和50%，故为春小麦的主产区。

**北部春麦区：**全区以内蒙古为主，包括河北、陕西、山西部分地区。小麦种植面积及总产量分别占全国的3%和1%，约为全区粮食作物面积的20%，小麦平均单产在全国各区中为最低。

**北部冬麦区：**包括河北、山西大部，陕西、辽宁、宁夏、甘肃一部分及北京、天津两市。全区麦田面积和产量分别为全国的9%及6%左右，小麦平均单产低于全国平均水平。

**黄淮冬麦区：**包括山东全部，河南大部，河北、江苏、安徽、陕西、山西、甘肃部分地区。全区小麦面积和产量分别占全国的45%及48%左右，约为全区粮食作物种植面积的44%，是我国小麦主产区。

**长江中下游冬麦区：**包括江苏、安徽、湖南各省大部，上海、浙江、江西全部以及河南信阳地区。全区小麦面积为全国麦田总面积的11.7%，总产量约为全国的15%，单位面积产量高，为全国各区之首。

**西南冬麦区：**包括贵州全境，四川、云南大部，陕西、甘肃、湖北、湖南部分地区，全区小麦种植面积约占全国小麦总面积的12.2%，其中以四川盆地为主产区。

## 第一节 小麦籽粒结构特性

小麦籽粒结构如图 1-1 所示，小麦籽粒长约 8mm，重约 35mg。籽粒的大小随品种和在麦穗中的位置而变化。小麦籽粒的顶端生长着茸毛（称麦毛），下端为麦

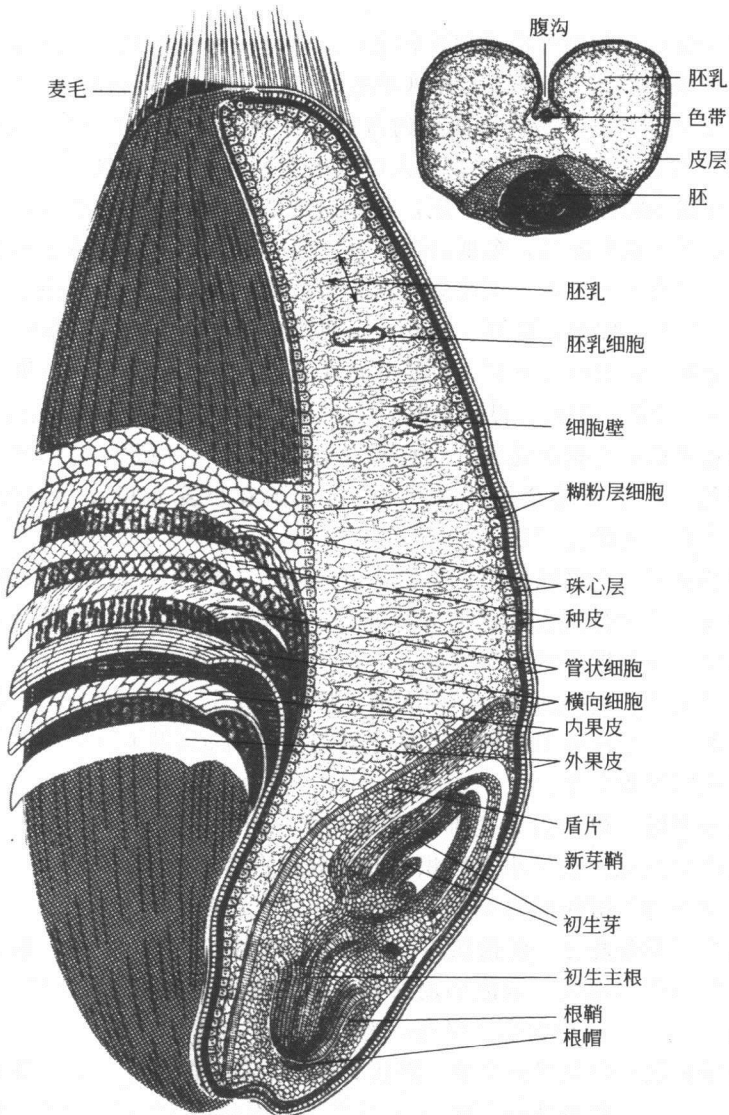


图 1-1 小麦籽粒结构

胚，胚的长度约为籽粒长度的  $1/4 \sim 1/3$ 。小麦籽粒在背部（有胚的一面）是圆形，而在小麦腹部长度方向有一纵向腹沟（胚的对面），腹沟有整个籽粒长度，并纵深到籽粒中心，腹沟的两侧部分称为颊，两颊不对称，两颊相接触而遮蔽着腹沟的深度。

小麦籽粒的形状大致可分为长圆形、椭圆形、卵圆形和圆形几种，但其腰部断面形状都呈心脏形。正常的小麦籽粒随品种不同而具有其特有的颜色与光泽。硬麦的色泽有琥珀黄色、深琥珀色和浅琥珀色；软麦除了红、白两个基本色泽外，红软麦的色泽还有深红色、红色、浅红色、黄红色和黄色等。在不良条件的影响下，小麦籽粒会失去光泽，甚至改变颜色。

小麦籽粒皮层结构见图 1-2；硬冬麦籽粒横剖扫描电镜图见图 1-3；润麦

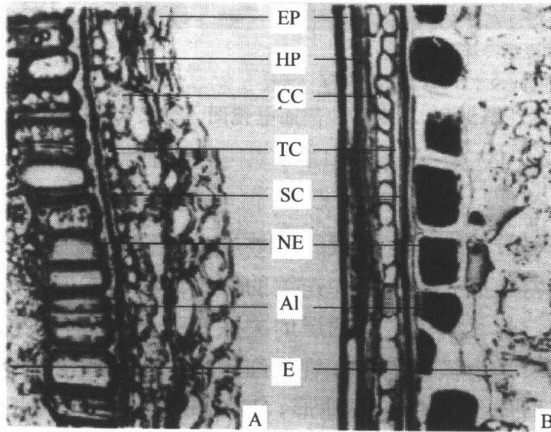
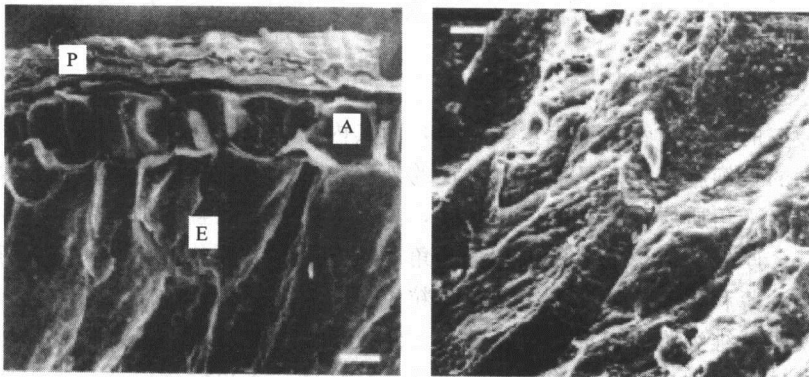


图 1-2 小麦籽粒皮层的横剖 (A) 和纵剖 (B) 对应图

EP—外果皮；HP—内果皮；CC—横向细胞；TC—管状细胞；SC—种皮；NE—珠心层；AI—糊粉层；E—胚乳

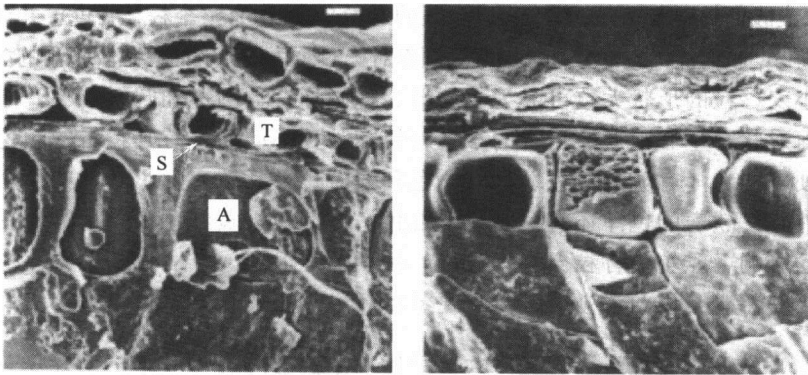


(a) 皮层部位断面  
P—果皮；A—糊粉层；E—胚乳

(b) 胚乳细胞

图 1-3 硬冬麦籽粒横剖扫描电镜图 (标尺为  $20\mu\text{m}$ )

后小麦籽粒与普通干小麦籽粒皮层剖面电镜图见图 1-4。



(a) 润麦后冷冻干燥小麦  
T—管状细胞；S—种皮；A—糊粉层  
(b) 普通干小麦籽粒

图 1-4 小麦籽粒剖面电镜图 (标尺为  $10\mu\text{m}$ )

## 一、果皮

果皮包围着籽粒并有多层组成。最外层在制粉上称为蜂翼，再往内一层是由薄壁细胞残余物组成，由于缺少连续的细胞结构，它们形成天然断裂层。当该层受到破坏时，蜂翼脱落。这两层的去除有利于水分向皮层内部的渗入。

果皮的再内层是由横向细胞和管状细胞组成。中间层细胞或管状细胞并不覆盖整个籽粒。横向细胞是长圆柱形， $125\mu\text{m} \times 20\mu\text{m}$ ，其长轴与籽粒长轴垂直，横向细胞紧密排布，中间无空隙。管状细胞与横向细胞大小基本一致，但与籽粒长轴平行排列，排列不太紧密，中间有空隙。果皮占籽粒重 5% 左右，其中 6% 蛋白质、2% 灰分、20% 纤维素、0.5% 脂类，其余为非淀粉多糖。

## 二、种皮和珠心层

种皮的外部与管状细胞紧密相连，而其内部与珠心层粘接很紧，由两层斜向排列的长细胞互相交叉而成。种皮的外层为一层角质化的透明细胞，表面有较厚的扁平角质层；种皮的内层细胞，具有完整和不完整的细胞壁。种皮又可分三层：厚外角质层、色素层和薄内角质层。麦粒的颜色与此有关，含有色素细胞的厚薄和含有色素多少决定了麦粒色泽的深浅；白麦种皮由不含色素的两个压紧的纤维细胞层组成，呈淡黄色。红皮小麦则较厚，含色素较多，呈棕黄色或棕红色。种皮具有半渗透性，可以防止病菌、害虫侵袭以及自然损伤。而种皮含有色素多少，还会造成种子休眠特性上的差异。通常色素少的白皮籽粒，种皮薄、透性强、呼吸强度大，休眠期较短。



珠心层约厚  $7\mu\text{m}$ ，与种皮和糊粉层紧密相连。

### 三、糊粉层

糊粉层是单层细胞厚度，细胞包围整个籽粒（胚乳和胚），从植物学的观点，它是胚乳的最外层，磨粉加工中与珠心层、种皮和果皮一起被分离出，称作为麸皮。糊粉层细胞壁厚，呈长方体，成熟后不含淀粉，大小约为  $50\mu\text{m}$ ，细胞壁厚  $3\sim 4\mu\text{m}$ ，其主要成分为纤维素。糊粉细胞含有一个大的核和大量的糊粉颗粒，糊粉颗粒的结构和组成较复杂。糊粉层中含有较高灰分、磷、植酸、脂肪、烟酸，另外，其中维生素  $B_1$  和维生素  $B_2$  的含量高于皮层的其他部分。糊粉层中酶活性也较高。胚芽上部的糊粉层细胞变成薄壁细胞，可能不含糊粉粒，其糊粉层平均厚度  $13\mu\text{m}$ 。有关糊粉层的生理营养功用和产品开发将在第七章介绍。

### 四、胚芽

胚位于籽粒背面基部，一面紧接着胚乳，另一面为皮层所覆盖。包围在胚背面外部的有果皮和种皮，而无糊粉层。胚占籽粒重  $2.5\%\sim 3.5\%$ ，由胚轴和小盾片组成，胚中含有丰富的蛋白质（ $25\%$ ），糖（ $18\%$ ），脂肪（ $6\%\sim 11\%$ ，胚轴中含  $16\%$ 、小盾片中含  $32\%$ ），灰分（ $5\%$ ）。它不含淀粉，但含较高的 B 族维生素和许多酶类，胚芽中含有较高的维生素 E，可达到  $500\mu\text{g/g}$ 。所含的糖类主要为蔗糖和棉籽糖。胚占整个籽粒营养成分的百分比为：维生素  $B_1$  的  $64\%$ ，维生素  $B_2$  的  $26\%$ ，维生素  $B_6$  的  $21\%$ ，蛋白质的  $8\%$ ，泛酸的  $7\%$ ，烟酸的  $2\%$ 。

### 五、胚乳

胚乳（不包括糊粉层）细胞有三类组成：周边细胞、棱柱形细胞和中央区细胞。这些细胞的大小、形状和在籽粒内位置都是变化的。周边细胞是糊粉层内的第一排细胞，通常较小，成圆形或轻微朝籽粒中心拉长型。周边细胞内是几排细长的棱柱形细胞，向内延伸到大约两颊的中心，大小约为  $150\mu\text{m}\times 50\mu\text{m}\times 50\mu\text{m}$ 。中央区细胞在棱柱形细胞的内层，其大小和形状与其他细胞相比更无规则。

胚乳细胞壁是由戊聚糖、半纤维素和  $\beta$ -葡聚糖组成，不含纤维素。细胞壁的厚度与在籽粒内的位置有关，靠近糊粉层的细胞壁更厚些。细胞壁的厚度也随品种和软硬麦而变化，软硬麦的差异可能是人为选择的结果，硬麦要选择有更高的水吸收能力，细胞壁中的半纤维素能吸收大量的水，因此，要选择厚细胞壁。相反，我们不需要软麦粉吸收大量的水分，因而选择薄细胞壁。