



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 小麦加工 工艺与设备

田建珍 温纪平 主编



科学出版社

(S-0688.0101)

# 小麦加工 工艺与设备

www.sciencep.com

ISBN 978-7-03-031574-8



9 787030 315748 >

定价：40.00 元

高等教育出版中心 农林与生命科学分社  
电话：010-64000815  
<http://www.sciencep.com>  
e-mail: [bjb@mail.sciencep.com](mailto:bjb@mail.sciencep.com)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

# 小麦加工工艺与设备

田建珍 温纪平 主编

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书在详细分析小麦品质特性的基础上,对小麦加工的清理、制粉及小麦粉后处理工序的生产工艺、操作与控制等方面作了较全面的阐述;对小麦加工生产过程中各主机设备的基本原理、设备结构、性能参数、操作与维护、常见故障的排除方法,以及影响工艺效果的主要因素等也进行了较为详细的介绍。

本书可作为高等院校粮食工程专业本科生的专业课教材,也可作为从事粮食加工的科技工作者和企业工程技术与管理人士的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

小麦加工工艺与设备/田建珍,温纪平主编. —北京:科学出版社,2011.6  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材  
ISBN 978-7-03-031574-8

I. ①小… II. ①田…②温… III. ①小麦-粮食加工-高等学校-教材  
IV. ①TS211

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 113485 号

责任编辑:席 慧 王国栋 贺霁青 / 责任校对:张怡君  
责任印制:张克忠 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

骏王印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2011 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011 年 6 月第一次印刷 印张:20 1/2

印数:1—5 000 字数:489 000

定价:40.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

## 前 言

当今的小麦加工业正朝着规模化、集约化方向发展,小麦加工工艺不断更新,新型的加工设备不断涌现。为适应小麦加工业的发展,满足粮食工程专业的教学、科研需求,特编写《小麦加工工艺与设备》一书。本书是编者在同类型教材的基础上,汇集多年的教学、科研与生产实践经验,借鉴近年来国内外小麦加工领域大量的科技成果与文献资料编撰而成的。编写过程中,在注重小麦加工基础理论的前提下,增加了设备操作等内容,强化了其实践性与实用性,并力求反映小麦加工业的新设备、新工艺、新技术与新成果。

书中系统地论述了小麦的工艺品质、小麦加工主要生产工序的基本原理、设备结构特点、性能参数与应用技术;着重介绍了小麦制粉工艺的特点与关键技术。本书可作为高等院校粮食工程专业本科生的专业课教材,也可作为从事粮食加工的科研人员、工程技术人员以及小麦粉师的参考书。

本书由河南工业大学田建珍、温纪平任主编,朱永义、王晓曦、毛广卿、李利民、林江涛、赵仁勇参与编写。朱永义教授除参与本书编写外,在本书整体框架的构建、结构的把握等方面做出了贡献,并与郭祯祥教授一起担任本书的主审。本书的编写人员均为河南工业大学粮油食品学院粮食工程系的教授与副教授,具有丰富的教学、科研与小麦加工厂工程设计的实践经验。

在本书编写过程中,得到了河南工业大学领导的大力支持,得到了粮食工程与粮食机械有关专家、教授的热心帮助,同时参阅了诸多专家、学者的优秀论著与文献,借鉴并引用了部分有价值的资料及研究成果,在此一并表示诚挚的谢意。

限于编者的学识水平,书中难免有疏漏、缺陷与错误之处,恳请各位读者批评指正。

编 者

2011年3月

# 目 录

## 前言

<b>第一章 小麦及其理化特性</b> .....	1
<b>第一节 小麦的分类与质量标准</b> .....	1
一、小麦的分类.....	1
二、我国商品小麦的分类.....	4
三、我国商品小麦的定等指标及质量要求.....	4
<b>第二节 小麦籽粒的形态结构</b> .....	5
一、小麦籽粒的形态特征.....	5
二、小麦籽粒的植物学结构.....	7
<b>第三节 小麦的物理特性与加工品质</b> .....	8
一、小麦的色泽、气味与表面状态.....	8
二、小麦的粒形、粒度与均匀度.....	9
三、小麦的密度、容重与千粒重.....	9
四、小麦的散落性与自动分级.....	11
五、小麦的吸附性与导热性.....	12
六、小麦的硬度.....	13
<b>第四节 小麦的化学成分与营养品质</b> .....	18
一、小麦蛋白质.....	18
二、小麦淀粉.....	22
三、小麦其他化学成分.....	24
<b>第五节 小麦粉的食用品质</b> .....	32
一、面团的物理特性.....	32
二、面糊的黏度特性.....	42
三、小麦粉的烘焙品质.....	43
四、小麦粉的蒸煮品质.....	44
五、影响小麦粉食用品质的主要因素.....	45
<b>第二章 小麦加工前处理工序</b> .....	49
<b>第一节 除杂与分级</b> .....	49
一、概述.....	49
二、筛选.....	52
三、风选.....	75
四、比重分选.....	82
五、精选.....	94
六、磁选.....	108
七、色选.....	112

第二节 表面处理	112
一、打击与撞击	113
二、碾削清理	116
三、擦刷	118
四、表面清洗	118
第三节 小麦的水分调节	121
一、水分调节的基本原理	121
二、水分调节的作用	122
三、水分调节的方法	123
四、影响水分调节的因素	123
五、最佳入磨水分和实际润麦时间	125
六、水分调节设备	126
七、润麦仓	130
第四节 小麦的搭配	132
一、搭配目的与搭配方案制订	132
二、搭配的应用	135
三、典型搭配设备	136
第五节 小麦清理流程	139
一、概述	139
二、小麦清理流程设计的依据与组合原则	139
三、小麦清理流程设计的内容与方法	143
四、流程设计举例	144
<b>第三章 小麦制粉概述</b>	148
第一节 概述	148
一、小麦制粉方法	148
二、制粉过程中各系统的作用	150
三、小麦制粉的主要生产指标	150
第二节 筛网与在制品	151
一、筛网的种类与规格	151
二、筛网与在制品的分类	156
第三节 小麦加工产品与副产品	157
一、小麦加工产品	157
二、小麦加工副产品	161
<b>第四章 研磨</b>	163
第一节 概述	163
一、研磨的基本原理与方法	163
二、研磨工艺效果的评定	164
第二节 辊式磨粉机	168
一、磨粉机的分类	168
二、磨粉机的主要构件	168

三、磨粉机的主要技术参数 .....	176
四、辊式磨粉机的操作 .....	177
第三节 影响研磨工艺效果的因素 .....	177
一、小麦的工艺品质 .....	177
二、研磨工艺参数 .....	179
三、磨粉机的操作指标 .....	192
第四节 辅助研磨设备 .....	195
一、松粉机 .....	195
二、撞击磨 .....	198
第五章 筛理 .....	200
第一节 概述 .....	200
一、各系统物料的筛理特性 .....	200
二、筛理工作的要求 .....	201
三、筛理的基本原理 .....	201
第二节 平筛 .....	204
一、高方平筛 .....	204
二、双筛体平筛与单筛体平筛 .....	229
第三节 平筛筛理效果的评定与影响因素 .....	232
一、平筛筛理工艺效果的评定 .....	232
二、影响平筛工艺效果的主要因素 .....	232
第四节 辅助筛理设备 .....	234
一、打麸机 .....	234
二、刷麸机 .....	236
三、皮磨粗筛 .....	237
四、振动圆筛 .....	238
第六章 清粉 .....	239
第一节 概述 .....	239
一、粗粒和粗粉的理化特性 .....	239
二、清粉机的工作原理 .....	240
第二节 清粉机 .....	240
一、清粉机的结构 .....	240
二、典型清粉设备 .....	244
三、清粉机的操作维护与故障排除 .....	245
第三节 清粉工艺效果的评定与影响因素 .....	247
一、清粉工艺效果的评定 .....	247
二、影响清粉工艺效果的主要因素 .....	248
第七章 小麦制粉流程 .....	250
第一节 概述 .....	250
一、小麦制粉流程设计的原则 .....	250
二、常用的制粉方法 .....	250



第二节 皮磨系统	252
一、皮磨系统的作用	252
二、皮磨系统的道数和磨辊接触长度	252
三、皮磨系统的流程	252
四、皮磨系统磨辊的技术参数	253
五、皮磨系统的操作指标	254
六、粗粒、粗粉及面粉的数量和质量	255
第三节 渣磨系统	257
一、渣磨系统的作用	257
二、渣磨系统的道数和磨辊接触长度	257
三、渣磨系统的流程	257
四、渣磨系统磨辊的技术参数	258
五、渣磨系统的操作指标	259
第四节 清粉系统	259
一、清粉的作用	259
二、清粉系统的流程	260
三、清粉机的单位流量	260
第五节 心磨系统	260
一、心磨和松粉机的作用	260
二、心磨系统的道数和磨辊接触长度	261
三、心磨系统的流程	261
四、心磨系统磨辊的技术参数	262
五、心磨系统的操作指标	262
第六节 小麦制粉流程举例与分析	263
一、简化物料分级的制粉流程	263
二、物料分级中等的制粉流程	268
三、强化物料分级磨撞均衡出粉的制粉流程	270
四、其他的制粉流程	270
第七节 制粉工艺设计	280
一、制粉工艺设计的依据	280
二、制粉工艺设计的原则	280
三、制粉工艺设计的方法	280
四、制粉工艺设计举例	281
第八章 小麦粉后处理	287
第一节 小麦粉的收集与配制	287
一、小麦粉的收集	287
二、小麦粉的配制	288
第二节 小麦粉的修饰与强化	288
一、小麦粉的修饰	288
二、小麦粉的营养强化	290

---

第三节 小麦粉后处理工艺	291
第四节 小麦粉后处理设备	293
一、杀虫机	293
二、振动卸料器	293
三、小麦粉混合机	295
四、微量元素添加机	298
附录一 优质小麦 强筋小麦 (GB/T 17892—1999)	299
附录二 优质小麦 弱筋小麦 (GB/T 17893—1999)	301
附录三 小麦粉质量标准 (GB1355—1986)	303
附录四 高筋小麦粉质量指标 (GB8607—1988)	304
附录五 低筋小麦粉质量指标 (GB8608—1988)	305
附录六 即将颁布的小麦粉标准质量指标 (GB1355)	306
附录七 专用小麦粉的质量标准	308
附录八 小麦胚(胚片、胚粉)分等和质量标准 (SB/T 10145—1993)	309
附录九 粮油工业用图形符号、代号 通用部分	310
附录十 粮油工业用图形符号、代号 制粉部分	314
参考文献	317

## 第一章 小麦及其理化特性

小麦是小麦属(*Triticum*)植物的统称,是一种在世界各地广泛种植的禾本科植物,最早起源于中东的新月沃土(Levant)地区。中国是世界上较早种植小麦的国家之一,春秋战国时期,我国文字中就有了“麦”字,黄淮流域广大地区也已种植有小麦。公元4~5世纪,中国小麦经朝鲜半岛传入日本,被广泛种植。

小麦的颖果是人类的主食之一,磨成面粉后可制作面包、馒头、饼干、蛋糕、面条、油条、油饼、烧饼、煎饼、水饺、煎饺、包子、馄饨、蛋卷、方便面、年糕、意式面食、古斯米等食物;发酵后可制成啤酒、酒精、伏特加,或生物质燃料。小麦也可作为家畜的饲料,麦草还可作为饲料或铺设屋顶的材料。小麦是我国居民最重要的口粮作物,我国有45%左右的居民以小麦为主要口粮。近年来我国年人均小麦口粮消费78kg左右,仅次于稻谷的年人均消费量(102kg)。2009年制粉小麦的消费量达 $1.05 \times 10^8$ t。由于小麦粉优良的食品加工特性,未来小麦的消费因食品工业的发展将呈现小幅增长的态势。

小麦是一种温带长日照植物,适应范围较广,自北纬 $18^{\circ} \sim 50^{\circ}$ ,从平原到海拔4000m的高度(如我国西藏自治区)均有栽培。根据小麦穗状花序的疏密程度,小穗的结构,颖片、外稃和芒,以及谷粒的性状、颜色、毛绒等特征,种下划分为很多亚种、变种、变型和品种;根据小麦对温度要求的不同,将其分为冬小麦和春小麦两个生理型,不同地区种植不同生理型小麦。

小麦是世界上总产量第二的粮食作物,仅次于玉米,而稻米则排名第三。20世纪50年代以来,世界小麦生产发展很快。2008~2009年,世界小麦种植面积为2.258亿公顷,总产量 $6.749 \times 10^8$ t,占谷物总产量的1/4以上,与1948~1952年平均值比较,2008~2009年世界小麦面积扩大了41.2%,单产提高了151.2%,总产量增长了254.7%。美国农业部曾在2010年8月预计2009~2010年全球小麦产量为 $6.593 \times 10^8$ t,消费量为 $6.452 \times 10^8$ t,期末库存量为 $1.836 \times 10^9$ t。2008~2009年小麦种植面积超过1000万公顷的国家和地区有7个,即俄罗斯、印度、欧盟、中国、美国、澳大利亚和加拿大,7个国家和地区小麦种植面积占世界总种植面积的66.3%,占世界小麦总产量的77.6%。

小麦为我国三大粮食作物之一,历史最高产量突破 $1.2 \times 10^8$ t,近年来小麦产量稳定在 $1.1 \times 10^8$ t左右,超过国内粮食总产量的1/5;小麦为北方地区冬季唯一在田粮食作物。

### 第一节 小麦的分类与质量标准

#### 一、小麦的分类

我国小麦分为6个种,每个种又有许多亚种。普通小麦分布最广,约占96%以上;圆锥小麦主要分布在我国中部、西部和西北部,约占2%;密穗小麦和硬粒小麦(杜伦小麦)主要分布在我国西南和西北地区,不足1%;极少量的东方小麦和波兰小麦主要分布在山西省、新疆维吾尔自治区等地;云南小麦为我国独有,主要分布在云南省西部地区。

(一) 按播种气候和地理位置划分

按播种气候和地理位置划分普通小麦可分为冬小麦和春小麦两种。春季播种的小麦称春小麦,秋季播种的小麦称冬小麦。我国以冬小麦为主。我国在黑龙江省、内蒙古自治区和西北地区种植春小麦,于春天 3~4 月播种,7~8 月成熟,生育期短,100 天左右;在辽东、华北、华南一带,新疆维吾尔自治区南部、陕西省、长江流域各省栽种冬小麦,秋季 10~11 月播种,翌年 5~6 月成熟,生育期长达 180 天左右。

根据各地域的气候特征、地势地形、土壤类型、品种生态类型、种植制度、栽培特点和播种、成熟期早晚等,将全国小麦种植区划分为 10 个主要区(图 1-1-1)。

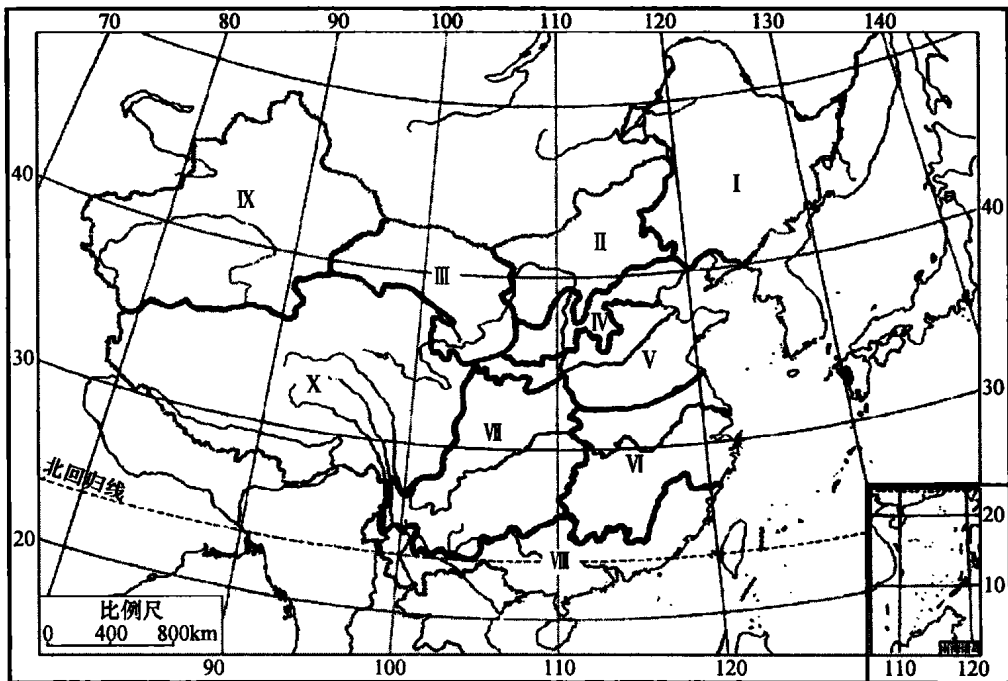


图 1-1-1 中国小麦区划图示意图

I. 东北春麦区

东北春麦区包括黑龙江、吉林两省全部,辽宁省除南部沿海地区以外的大部分地区及内蒙古自治区东北部。全区麦田面积和小麦总产量均接近全国的 8% 左右,约占全国春小麦面积和总产量的 47% 和 50%,为春麦主要产区,其中黑龙江省为该区主产区。

II. 北部春麦区

北部春麦区地处大兴安岭以西、长城以北,西至内蒙古自治区的鄂尔多斯市和巴彦淖尔盟、北邻蒙古人民共和国。全区以内蒙古自治区为主,同时包括河北、陕西两省长城以北地区和山西省北部。全区小麦种植面积和总产量分别占全国的 3% 和 1% 左右,约为全区粮食作物面积的 20%。该区小麦平均单位面积产量在全国各麦区中为最低,且发展很不平衡;西部河套灌区的鄂尔多斯市、巴彦淖尔盟等地的产量水平较高,其他地区,如河北省的张家口、山西省的大同、朔州及陕西省的榆林等均为低产区。

III. 西北春麦区

西北春麦区以甘肃省及宁夏回族自治区为主,还包括内蒙古自治区西部及青海省东部部

分地区。全区麦田面积约占全国的4%，小麦总产量达5%左右。该区小麦单产在全国范围内仅次于长江中下游冬麦区，居各春麦区小麦单产之首；地区间差异大，其中甘肃省河西走廊灌区及宁银引黄灌区的单产较高。

#### IV. 北部冬麦区

北部冬麦区包括河北省长城以南，山西省中部和东南部，陕西省长城以南的北部地区，辽宁省辽东半岛，以及宁夏回族自治区南部，甘肃省陇东地区和北京、天津两市。全区麦田面积和总产量分别为全国的9%和6%左右，约为该区粮食作物种植面积的31%。

#### V. 黄淮冬麦区

黄淮冬麦区包括山东省全部，河南省大部(信阳地区除外)，河北省中南部，江苏及安徽两省淮北地区，陕西省关中平原地区，山西省西南部及甘肃省天水地区。全区小麦面积和总产量分别占全国麦田面积及总产量的45%和48%左右，约为全区粮食作物种植面积的44%，是中国小麦主要产区。

#### VI. 长江中下游冬麦区

长江中下游冬麦区北抵淮河，西至鄂西山及湘西丘陵区，东至东海海滨，南至南岭，包括江苏、安徽、湖北、湖南各省大部，上海市与浙江、江西两省全部，以及河南省信阳地区。全区小麦面积约为全国麦田总面积的11.7%，总产量约为全国小麦总产量的15%。

#### VII. 西南冬麦区

西南冬麦区包括贵州全省，四川省、云南省大部，陕西省南部，甘肃省东南部，以及湖北、湖南两省西部。麦田面积和小麦总产量均为全国小麦总产量的12%左右，其中以四川盆地面积最大，亩产和总产最高。

#### VIII. 华南冬麦区

华南冬麦区包括福建、广东、广西和台湾四省(自治区)全部，以及云南省南部。小麦种植面积约为全国麦田总面积的2.1%(不包括台湾省)，总产量约为全国小麦总产量的1.1%；小麦不是该区主要农作物，其历年面积极不稳定，且近年锐减。

#### IX. 新疆维吾尔自治区冬春麦区

新疆维吾尔自治区冬春麦区小麦种植面积和总产量分别为全国的4.6%和3.8%左右。其中北疆小麦面积约为全区的57%，以春麦为主，单产也高于南疆；南疆则以冬小麦为主，面积为春小麦的3倍以上。

#### X. 青藏春麦冬麦区

青藏春麦冬麦区包括西藏自治区和青海省大部，甘肃省西南部、四川省西部及云南省西北部。全区以林牧为主，小麦种植面积和总产量均占全国小麦总产量的0.5%，其中以春麦为主。20世纪70年代中期起，藏南开始发展冬麦。藏南河谷地带及昌都等地区地势低平、土壤肥沃、灌溉发达，是全区小麦主产区。

### (二) 按照小麦籽粒的皮色划分

麦粒皮色有红白之分，红皮的为红麦，白皮的为白麦。由于品种和受环境影响不同，红皮小麦又有深红色和红褐色之分；白皮小麦又有白色、乳白色或黄白色之分。

### (三) 按照小麦籽粒的粒质划分

世界上所生产的小麦约95%属于普通小麦，另外5%为硬粒小麦或杜伦小麦(Durum

wheat),而普通小麦中的商品小麦(market class of common wheat)则以硬度(hardness)及其所反映的用途作为分类的依据,分成两大类,一类为硬质小麦,另一类为软质小麦。

## 二、我国商品小麦的分类

鉴于冬、春小麦在实际贸易中不易区分,且在品质、性状和加工利用等方面无明显差异,新的国家标准《小麦》(GB1351—2008)根据皮色和粒质将我国商品小麦分为5类,取消了原标准(GB1351—1999)中冬小麦和春小麦的分类。小麦播种季节可在合同等随行文件中或在包装上标注。

- ① 硬质白小麦:种皮为白色或黄白色的麦粒不低于90%,硬度指数不低于60的小麦。
- ② 软质白小麦:种皮为白色或黄白色的麦粒不低于90%,硬度指数不高于45的小麦。
- ③ 硬质红小麦:种皮为深红色或红褐色的麦粒不低于90%,硬度指数不低于60的小麦。
- ④ 软质红小麦:种皮为深红色或红褐色的麦粒不低于90%,硬度指数不高于45的小麦。
- ⑤ 混合小麦:不符合①~④各条规定的小麦。

其中,硬度指数(hardness index)是表征小麦硬度的指标,指在规定条件下粉碎小麦样品,留存在规定筛网上的样品占试样的质量分数,用HI表示。硬度指数越大,表明小麦硬度越高,反之表明小麦硬度越低。

## 三、我国商品小麦的定等指标及质量要求

国家标准《小麦》(GB1351—2008)规定,商品小麦按容重分为6个等级。容重相差20g/L降一个等级。不完善粒(%)为辅助定等指标。商品小麦的质量要求见表1-1-1。

表 1-1-1 小麦质量要求

等级	容重/(g/L)	不完善粒/%	杂质/%		水分/%	色泽、气味
			总量	其中矿物质		
1	≥790	≤6.0	≤1.0	≤0.5	≤12.5	正常
2	≥770					
3	≥750	≤8.0	≤1.0	≤0.5	≤12.5	正常
4	≥730					
5	≥710	≤10.0				
等外	<710	—				

注:“—”为不要求。

小麦赤霉病粒最大允许含量为4.0%,单粒赤霉病项目按不完善粒归属。

小麦赤霉病粒超过4.0%的小麦是否收购,由省、自治区、直辖市规定,收购超过规定的赤霉病麦要就地妥善处理。

黑胚小麦由省、自治区、直辖市规定是否收购或收购限量。收购的黑胚小麦就地处理。卫生检验和植物检疫按照国家有关标准和规定执行。

供人食用小麦的卫生要求必须符合《粮食卫生标准》(GB 2715—2005),饲料小麦的卫生要求必须符合《饲料卫生标准》(GB 13078—2001)。

不完善粒(unsound kernel)是指受到损伤但尚有使用价值的小麦颗粒。包括以下几种。

① 虫蚀粒(injured kernel):被虫蛀蚀,伤及胚或胚乳的颗粒。

② 病斑粒(spotted kernel):粒面带有病斑,伤及胚或胚乳的颗粒。其中,黑胚粒(black germ kernel):籽粒胚部呈深褐色或黑色,伤及胚或胚乳的颗粒;赤霉病粒(gibberella damaged

kernel): 籽粒皱缩, 呆白, 有的粒面呈紫色, 或有明显的粉红色霉状物, 间有黑色子囊壳。

③ 破损粒(broken kernel): 压扁、破损, 伤及胚或胚乳的颗粒。

④ 生芽粒(sprouted kernel): 芽或幼根虽未突破种皮但胚部种皮已破裂或明显隆起且与胚分离的颗粒, 或芽或幼根突破种皮不超过本颗粒长度的颗粒。

⑤ 生霉粒(moldy kernel): 粒面生霉的颗粒。

色泽、气味(color and odor)指一批小麦固有的综合颜色、光泽和气味。

优质小麦中强筋小麦的分类与质量标准见附录一 GB/T 17892—1999, 弱筋小麦的分类与质量标准见附录二 GB/T 17893—1999。

## 第二节 小麦籽粒的形态结构

### 一、小麦籽粒的形态特征

小麦籽粒的形态(morphological characteristics of wheat kernel)如图 1-2-1 所示, 因为小麦的穗轴韧而不脆, 脱粒时颖果很容易与颖分离, 所以收获所得的小麦籽粒是不带颖的裸粒

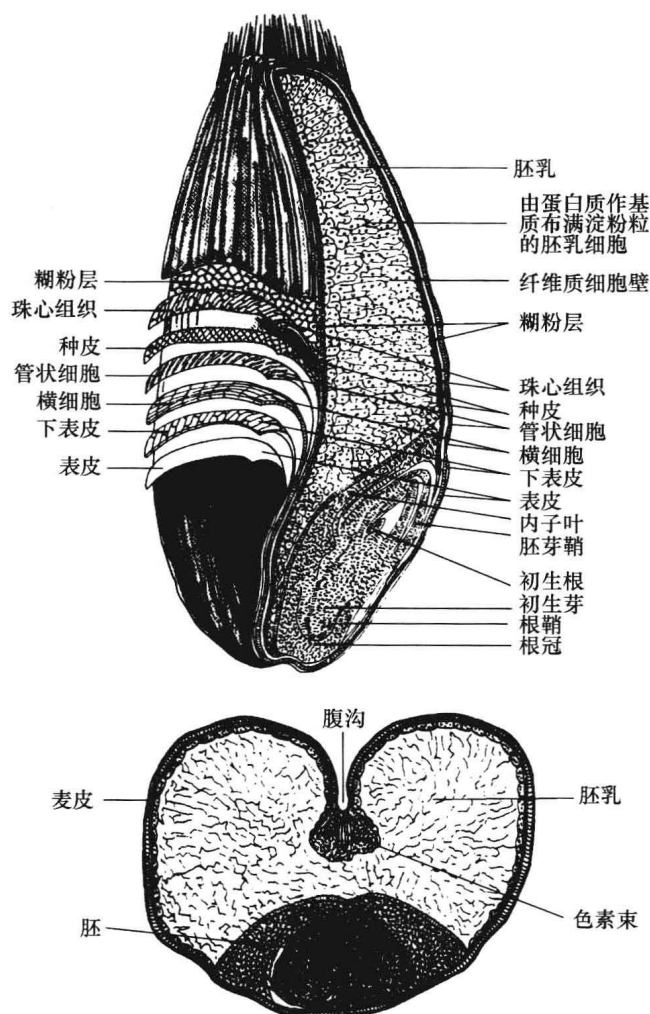


图 1-2-1 小麦籽粒的结构示意图

(颖果)。小麦籽粒的顶端生长有茸毛(称麦毛),下端为麦胚,胚的长度为籽粒长度的 $1/4\sim 1/3$ 。在有胚的一面称为麦粒的背面,与之相对的一面称为腹面。麦粒的背部隆起呈半圆形,腹面凹陷,有一沟槽称为腹沟。腹沟的两侧部分称为颊,两颊不对称。

小麦籽粒的形态特征包括籽粒形状、粒色、整齐度、饱满度、透明度等。这些形态指标不仅直接影响小麦的商品价值,而且与加工品质、营养品质关系密切。

### 1. 形状

小麦籽粒的长度一般为 $4\sim 10\text{mm}$ ,随品种和在小穗上着生的位置有所不同。籽粒形状是小麦的品种特性,有长圆形、卵圆形、椭圆形和圆形等,以长圆形和卵圆形为多,其腰部断面形状都呈心脏形。圆形籽粒的长宽相似;椭圆形籽粒中部宽,两端小而尖。与其他谷物相比,小麦籽粒形态特征最显著特点的是具有腹沟。腹沟的深浅及沟底宽度随品种和生长条件的不同而异,一般而言,腹沟面积占麦皮总面积的 $15\%\sim 25\%$ 。小麦腹沟的形状和深浅是衡量籽粒形状优劣的重要指标:腹沟开裂型的品种,麦皮面积和质量占籽粒的比例相对较大,出粉率低;而腹沟闭合型的品种,籽粒的皮层面积和质量占籽粒的比例相对较小,且能较好地抵御外界微生物的侵染,有利于抗穗发芽和延长储藏期,在磨粉过程中也可使润麦均匀、受力平衡、方便研磨。因此,就籽粒形状而言,在小麦育种中,以选择近圆形且腹沟较浅的籽粒为优。

### 2. 粒色

小麦籽粒的颜色有红色、琥珀色、白色、黄白色、浅黄色、金黄色、深黄色、紫色等。最近几年,我国育种家还培育出黑色、蓝色等彩色小麦新品种。小麦籽粒颜色的深浅不同,主要是由于种皮色素层细胞所含色素不同的缘故,也受气候条件、收获季节及胚乳结构的影响。红皮小麦具有休眠期长、抗穗发芽能力强等特点,比白皮小麦分布广泛。白皮小麦因加工的面粉麸星颜色浅、粉色白而受面粉加工业和消费者的欢迎;但国内外研究表明,小麦籽粒颜色与品质无必然联系。法国、美国、加拿大、阿根廷等主要小麦出口国种植的绝大多数优质小麦品种都是红皮小麦。墨西哥国际玉米小麦改良中心1950~1987年培育的21个矮秆小麦品种都是红皮小麦。因此,在优质小麦生产中不能单纯追求籽粒颜色,而应根据具体生态条件和最终用途决定种植的小麦品种;面粉(胚乳)的颜色才是最关键的,它与面团颜色、食品特别是蒸煮食品的颜色密切相关。

### 3. 整齐度

整齐度是指小麦籽粒大小和形状的一致性。同样形状和大小的籽粒占总量 $90\%$ 以上者为整齐,小于 $70\%$ 为不整齐。籽粒越整齐,出粉率越高;反之,出粉率越低。在世界小麦市场,加拿大和澳大利亚商品小麦因其良好的整齐度而具有很高的知名度。

### 4. 饱满度

饱满度多用腹沟深浅、容重和千粒重来衡量。腹沟浅、容重和千粒重高,小麦籽粒饱满、出粉率高。籽粒饱满度与品质关系尚无定论,但有试验表明,同一品种内,千粒重提高,蛋白质含量降低。习惯上用目测法将成熟干燥的小麦籽粒分为五级,即饱满度一级:胚乳充实,种皮光滑;饱满度二级:胚乳充实,种皮略有皱褶;饱满度三级:胚乳充实,种皮皱褶明显;饱满度四级:胚乳明显不充实,种皮皱褶明显;饱满度五级:胚乳极不充实,种皮皱褶极明显。

### 5. 透明度

根据小麦籽粒断面胚乳组织的紧密程度,将小麦划分为角质小麦(也称玻璃质小麦)、半角质小麦和粉质小麦三种。如图1-2-2所示,小麦籽粒断面胚乳全部或大部分是透明玻璃质的为角质小麦;全部或大部分是不透明粉白色胚乳的为粉质小麦;介于二者之间的为半角质小



麦。小麦胚乳的外观(透明度、角质或粉质)易受小麦栽培、生长和干燥条件等外界因素的影响,不具有遗传性。籽粒中有空气间隙时,由于衍射和漫射光线,从而使籽粒呈现不透明或粉质。籽粒充填紧密时,没有空气间隙,光线在空气和麦粒界面衍射并穿过麦粒形成半透明或玻璃质。籽粒中的空气间隙是由于在田间干燥过程中蛋白质皱缩、破裂而造成的。谷物干燥失水时,如果玻璃质蛋白质皱缩时仍保持完整而形成密实度较大籽粒,外观就较透明。土壤水分缺乏、氮素供应平衡、适当施用磷肥等都有利于提高小麦的角质率。一般来讲,高蛋白的硬质小麦往往是玻璃质的,低蛋白的软质小麦往往是不透明的。但透明度和硬度不是同一根本因素造成的,两者并不总是相关联。角质率高并不意味着硬度一定大。有时硬质小麦不透明而软质小麦却是角质是完全有可能的。例如,将全为角质粒的小麦湿润,然后快速干燥,则该小麦变为粉质粒特征,而试验前后小麦硬度基本不变。



图 1-2-2 不同透明度的小麦籽粒断面比较

## 二、小麦籽粒的植物学结构

小麦籽粒的植物学结构(botanical structure of wheat kernel)在解剖学上主要分为三个部分,即皮层、胚乳和胚(图 1-2-1)。

### 1. 皮层

皮层由果皮、种皮、珠心层、糊粉层等组成。制粉时,糊粉层随同珠心层、种皮和果皮一同被除去,统称麸皮。图 1-2-3 是小麦籽粒的果皮及邻近组织的扫描电子显微图。

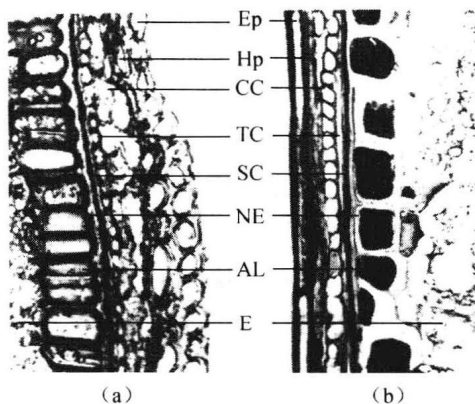


图 1-2-3 小麦籽粒的果皮及邻近组织的剖面图

(a) 横切面;(b) 纵切面。

Ep. 表皮;Hp. 下表皮;CC. 横细胞;TC. 管状细胞;SC. 种皮;NE. 珠心层;AL. 糊粉层;E. 淀粉胚乳

果皮占小麦籽粒质量的 5.0%~8.9%。由外果皮(表皮)、中果皮(下表皮)、中间细胞层