

谷物科学与生物技术

GUWU KEXUE
YU SHENGWU JISHU

■ 吴非 韩翠萍 主编

学工业出版社

谷物科学与生物技术

吴 非 韩翠萍 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书收集了国内外最新的研究成果,采取全新的编排方案,较全面地介绍了谷物的科学理论和相关的生物技术。全书共12章,首先,介绍谷物的种类、籽粒结构、化学成分及其分布等情况;其次,从谷物本身的角度介绍其中的碳水化合物、蛋白质、脂类、酶类等营养成分;然后,介绍了以谷物为主要原料,加工成面包、啤酒、黄酒、白酒和食醋的方法;最后,根据谷物加工过程中与微生物和酶工程等方面的联系,介绍了谷物生物技术的应用与研究进展。

本书作为食品科学与工程、农产品加工与贮藏工程和粮食工程专业方向的本科生、研究生的教材。本书也可作为相关专业领域的科研人员、加工企业的技术员、检测人员和管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

谷物科学与生物技术/吴非,韩翠萍主编. —北京:
化学工业出版社, 2012. 1
ISBN 978-7-122-13054-9

I. 谷… II. ①吴… ②韩… III. ①谷物-农业科
学-高等学校-教材②谷物-食品加工-生物技术-高等
学校-教材 IV. ①S510.1②TS210.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第266029号

责任编辑:赵玉清
责任校对:郑捷

文字编辑:周侗
装帧设计:尹琳琳

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)

印刷:北京云浩印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张12 字数292千字 2012年2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: 30.00 元

版权所有 违者必究

《谷物科学与生物技术》编委会

主 编 吴 非 韩翠萍

副主编 许 岩 李永平 张寒冰 朱 颜

编 委 (按姓名汉语拼音排序)

韩翠萍 东北农业大学

韩广源 黑龙江出入境检验检疫局

李永平 黑龙江广播电视大学

刘 畅 东北农业大学

唐金花 黑龙江东方学院

吴 非 东北农业大学

许 岩 东北农业大学

杨丽丽 东北农业大学

于春光 黑龙江东方学院

张寒冰 黑龙江民族职业学院

朱 颜 东北农业大学

前 言

谷物主要是指禾本科植物的种子，它包括稻谷、小麦、玉米、粟、黑米、荞麦、燕麦、高粱等。谷物及其加工制品是人体能量和营养的主要来源，它提供给人类 50%~80% 的热能、40%~70% 的蛋白质、60% 以上的维生素 B₁ 等，营养非常丰富。谷物作为中国人的传统饮食，几千年来一直是老百姓餐桌上不可缺少的食物之一，在我国的膳食中占有重要的地位，被当作传统的主食。

随着我国农业生产的发展和人们对谷物源源不断的需求，谷物科学、谷物贮藏和谷物生物技术加工等相关问题得到高度重视。本书从理论、科研和生产实际出发，阐述了与谷物科学和生物技术有关的科学问题，重点讲述了谷物籽粒结构和化学组成，谷物中的碳水化合物、蛋白质、脂类和酶，谷物中的功能性组分，以及以谷物为主要原料，采用生物技术加工面包、啤酒、黄酒、白酒和食醋的技术。最后，阐述了生物技术在谷物加工领域的应用和研究进展。

本书涉及内容广泛，所使用的材料接近国际前沿。在撰写上力求深入浅出、宗旨明确、理论联系实际、通俗易懂，便于读者分析、综合掌握与应用。

本书由东北农业大学、黑龙江广播电视大学、黑龙江东方学院、黑龙江民族职业学院和黑龙江出入境检验检疫局联合编写。本书的编委都是在教学、科研第一线的学术带头人及学术骨干，90% 具有博士学位，大部分具有出国深造经历，了解国内外的最新研究进展，部分是博士研究生导师。

全书分为十二章，由东北农业大学吴非教授负责策划、审稿和主要编写工作。各章节编写分工为：第一章和第七章，韩翠萍；第二章，杨丽丽和于春光；第三章，许岩和唐金花；第四章和第五章，许岩；第六章和第十二章，朱颜；第八章，张寒冰；第九章，刘畅和韩广源；第十章和第十一章，李永平。全书的资料搜集、编辑和校对工作由韩广源、于春光和唐金花完成。

由于本书涉及的领域很广，编者水平有限，书中难免有不足之处，敬请广大读者提出宝贵意见，以便再版时补充修正。

编者

2011 年 10 月 30 日

目 录

第一章 谷物籽粒结构及化学组成	1	二、谷物非淀粉多糖	35
第一节 稻谷	1	参考文献	38
一、概述	1	第三章 谷物蛋白质	39
二、籽粒结构	2	第一节 概述	39
三、化学组成	4	第二节 氨基酸	39
第二节 小麦	6	第三节 小麦蛋白质	40
一、概述	6	一、小麦面筋	40
二、籽粒结构	7	二、面团形成	44
三、化学组成	9	第四节 玉米蛋白质	45
第三节 玉米	11	一、玉米籽粒清蛋白与球蛋白组分	46
一、概述	11	二、玉米籽粒醇溶蛋白组分	46
二、籽粒结构	12	三、玉米籽粒谷蛋白组分	47
三、化学组成	13	参考文献	47
第四节 大麦	14	第四章 谷物脂类	48
一、概述	14	第一节 概念	48
二、籽粒结构	16	第二节 油脂	48
三、化学组成	16	一、油脂的组成和结构	48
第五节 高粱	17	二、脂肪酸	49
一、概述	17	三、脂肪酸在谷物籽粒中的分布	49
二、籽粒结构	17	第三节 蜡	50
三、化学组成	18	一、植物蜡的组成	50
第六节 粟	18	二、蜡在谷物中的含量及其性质	50
一、概述	18	第四节 磷脂	50
二、籽粒结构	19	第五节 其他脂类	51
三、化学组成	19	一、糖脂	51
第七节 燕麦	20	二、异戊二烯系脂类	51
一、概述	20	第六节 小麦粉中的脂类与烘焙品	
二、籽粒结构	20	质的关系	52
三、化学组成	21	一、非极性脂的影响	53
参考文献	21	二、极性脂的影响	53
第二章 谷物碳水化合物	22	参考文献	54
第一节 单糖	22	第五章 谷物酶	55
第二节 双糖	23	第一节 淀粉酶	55
一、蔗糖	23	一、 α -淀粉酶	55
二、麦芽糖	23	二、 β -淀粉酶	55
三、纤维二糖	24	第二节 蛋白酶	56
第三节 多糖	24	第三节 酯酶	56
一、谷物淀粉	24	一、脂肪酶	56

二、植酸酶	57	参考文献	88
参考文献	57	第八章 啤酒加工技术	89
第六章 谷物功能性成分及其制备分离	58	第一节 啤酒生产工艺	89
第一节 谷物功能性成分	58	一、麦芽制造	89
一、活性多糖	58	二、麦汁制备	89
二、膳食纤维	59	第二节 啤酒发酵	90
三、抗性淀粉	60	一、啤酒酵母	90
四、谷胱甘肽	60	二、啤酒发酵机理	91
五、植酸和肌醇	60	三、啤酒发酵技术	93
六、酚类物	61	第三节 啤酒过滤	97
七、二十八烷醇	61	一、过滤方法	97
八、谷维素	61	二、过滤中的吸氧问题	98
九、保健油脂	61	第四节 啤酒包装	99
十、色素	62	一、瓶装啤酒	99
第二节 谷物功能性成分的制备与分离	62	二、罐装啤酒	101
一、现代理化分离纯化技术	62	三、桶装啤酒	101
二、生物工程技术	64	第五节 副产物综合利用	101
三、冷冻干燥技术	64	一、麦糟利用	101
四、超微粉碎技术	64	二、废酵母回收利用	102
五、微胶囊技术	64	三、二氧化碳回收和利用	104
六、冷杀菌技术	64	参考文献	104
参考文献	65	第九章 黄酒加工技术	105
第七章 面包加工技术	66	第一节 黄酒生产的特点及营养价值	105
第一节 概述	66	一、黄酒生产的特点	105
第二节 面包加工原理	66	二、黄酒的营养价值	105
一、面团调制	66	第二节 黄酒的分类	106
二、发酵	72	一、按含糖量分类	106
三、整形操作	77	二、按酿造方法分类	106
四、最终发酵	80	第三节 黄酒加工技术	106
五、烘烤	81	一、原料和辅料	106
六、冷却	84	二、黄酒生产主要微生物	106
七、包装	85	三、黄酒酒曲生产方法	107
第三节 原料预处理	85	四、黄酒酒母生产方法	110
一、面粉	85	五、黄酒生产工艺	112
二、酵母	86	六、黄酒醅的压滤、澄清、煎酒	116
三、砂糖	86	七、包装和贮存	117
四、油脂	86	八、黄酒醪的酸败	117
五、水	86	参考文献	120
第四节 面包的制作方法	86	第十章 白酒加工技术	121
一、直接发酵法	86	第一节 原辅料	121
二、中种发酵法	87	一、原料	121
三、冷冻面团法	88	二、辅料	121
四、液种面团法	88	三、水	122
五、其他方法	88	第二节 酒曲生产工艺	124

一、大曲生产工艺	124	一、山西老陈醋	159
二、小曲生产工艺	128	二、镇江香醋	160
第三节 大曲白酒生产工艺	130	三、四川老法麸醋	161
一、泸香型大曲白酒生产工艺	130	四、果醋	162
二、汾香型大曲白酒生产工艺	133	参考文献	162
三、酱香型大曲白酒生产工艺	134	第十二章 谷物生物技术研究进展	163
四、凤香型大曲白酒生产工艺	137	第一节 酶工程和发酵工程在谷物加工	
五、特香型大曲白酒生产工艺	137	中的应用	163
六、兼香型大曲白酒生产工艺	138	一、酶工程和发酵工程生产乙醇	163
第四节 小曲白酒生产工艺	138	二、发酵工程生产柠檬酸	163
一、半固态发酵工艺	138	三、发酵工程生产氨基酸	164
二、固态发酵工艺	140	四、酶水解法生产淀粉糖	165
三、大小曲混用工艺	141	第二节 谷物加工副产品综合利用中的	
第五节 其他白酒生产工艺	142	生物技术	167
一、麸曲白酒生产工艺	142	一、木质素的生物利用	167
二、液态法白酒生产工艺	143	二、利用谷物加工副产物生产单	
三、低度白酒生产工艺	145	细胞蛋白	169
参考文献	147	三、纤维素原料发酵法生产燃料酒精	170
第十一章 食醋加工技术	148	四、利用可再生纤维素资源生物转化	
第一节 概述	148	木糖醇	171
一、食醋的分类	148	五、基因重组技术开发木聚糖类半	
二、淀粉质原料食醋发酵原理	149	纤维素资源	173
第二节 食醋生产的原辅料与醋酸菌	150	第三节 啤酒加工中的生物技术	175
一、原辅料	150	一、固定化木瓜蛋白酶应用于	
二、原料处理	150	啤酒澄清	175
三、醋酸菌分类	151	二、酶法降低双乙酰含量	175
四、常用醋酸菌	152	三、 β -葡聚糖酶提高啤酒的持泡性	175
五、醋母制备	152	第四节 酒醋加工中的生物技术	176
第三节 食醋酿造方法	153	一、酶和酶制剂在白酒加工中的使用	176
一、固态法发酵制醋	153	二、酶和酶制剂在食醋加工中的使用	178
二、酶法液化通风回流制醋	154	第五节 谷物品质改良中的生物技术	179
三、喷淋塔法制醋	156	一、淀粉品质改良	179
四、液体深层发酵制醋	157	二、谷类贮藏蛋白含量及品质改良	181
五、生料制醋	158	三、增加稻米中维生素的含量和品种	183
第四节 其他食醋生产工艺	159	参考文献	183

第一章 谷物籽粒结构及化学组成

谷物主要是指禾本科植物的种子。包括稻谷、小麦、玉米等及其他杂粮，比如小米、黑米、荞麦、燕麦、薏仁米、高粱等。了解谷物籽粒结构及化学组成，对掌握谷物贮藏及加工工艺意义重大。

第一节 稻 谷

一、概述

稻谷在植物学上属禾本科（Gramineae）稻属（*Oryza*）普通栽培稻亚属中的普通稻亚种，学名 *Oryza sativa* L.。稻谷属洼地作物，需要水分和暑热。稻谷的主要种植区域分布在印度、中国、日本、孟加拉国及东南亚，是世界上一半以上人口的主要食用作物。我国的稻谷种植可以追溯到 5000 年前，具有悠久的历史，且种植面积大、产量高。经数千年的种植与选育，全国稻谷品种繁多，据不完全统计，全国稻谷品种达 4 万~5 万个。我国水稻的播种面积约占粮食作物总面积的 1/4，产量约占全国粮食总产量的 1/2，在商品粮中占一半以上，产区遍及全国各地。丰富的稻谷资源，为我国稻谷加工业提供了充足的原料。

1. 分类

据中国国家标准局 1986 年发布的粮油、油料和食用植物油质量国家标准中，稻谷按其粒形和粒质分为三类。

第一类：籼稻谷，即籼型非糯性稻谷。根据粒质和收获季节又分为早籼稻谷和晚籼稻谷。早籼稻谷，米粒腹白较大，硬质颗粒较少。晚籼稻谷，米粒腹白较小，硬质颗粒较多。

第二类：粳稻谷，即粳型非糯性稻谷。根据粒质和收获季节又分为早粳稻谷和晚粳稻谷。早粳稻谷，米粒腹白较大，硬质颗粒较少。晚粳稻谷，米粒腹白较小，硬质颗粒较多。

第三类：糯稻谷，按其粒形和粒质分为籼糯稻谷和粳糯稻谷两类。籼糯稻谷，籼型糯性稻谷，稻粒一般呈长椭圆形或细长形，米粒呈乳白色，不透明，也有呈半透明状，黏性大。粳糯稻谷，粳型糯性稻谷，稻粒一般呈椭圆形，米粒呈乳白色，不透明，也有呈半透明状，黏性大。

此外，根据稻谷脱壳后糙米色泽的不同，稻谷又可分为普通稻和有色稻两类。

普通稻的糙米皮层色泽为蜡白色或灰白色。有色稻是指糙米皮层带有特殊色泽的稻米。有色稻糙米表皮呈现黄褐色、褐色、绿色、咖啡色、红色、红褐色、紫红色、紫黑色、乌黑色等颜色，其中以红表皮和黑表皮占绝大多数，但胚乳仍然为白色，尚未发现胚乳有色泽的品种。有色稻也有籼、粳、黏、糯之别。有色稻营养价值极高且具有很高的药用价值，但品种数量只占水稻种质资源中极少量。与普通稻米相比，有色稻米含较多的蛋白质和氨基酸，较多的微量元素及维生素，由于其特殊的营养、保健特点，故受到国内外的广泛重视。有色稻米通常以糙米食用。

2. 质量标准

根据国标 GB 1350—2009《稻谷》规定，籼稻谷质量等级分为 6 级，出糙率大于或等于

79.0%、整粳米率大于或等于 50.0%、杂质含量小于或等于 1.0%、水分含量小于或等于 13.5%、黄粒米含量小于或等于 2.0%、谷外糙米含量小于或等于 2.0%、互混率小于或等于 5.0%、色泽气味正常的籼稻谷为 1 级，其后出糙率每降低 2.0%、整粳米率每降低 3.0%，等级降 1 级。

国家标准另行制定有优质稻谷的质量标准。国标 GB/T 17891—1999 规定，优质稻谷的品种分为四类：优质籼稻谷、优质粳稻谷、优质籼糯稻谷、优质粳糯稻谷。

优质稻谷以整粳米率、垩白度、直链淀粉含量、食味品质为定级指标，应达到标准的规定；不完善粒、异种粒、黄米粒、杂质、水分、色泽、气味按 GB1350 规定执行；其余指标，如有两项以上指标不合格但不低于下一个等级指标的，降一级定等；任何一项指标达不到三级要求时，不能作为优质稻谷。各类稻谷中的谷外糙米限度为 2.0%。卫生检验和植物检疫按国家有关标准和规定执行。

二、籽粒结构

稻谷籽粒的外形结构主要由颖（稻壳）和颖果（糙米）两部分组成，稻壳约占毛稻质量的 20%，稻壳含有纤维素 30%、木质素 20%、戊聚糖 20% 和灰分 20%，灰分中含有大约 95% 的二氧化硅，蛋白质、脂肪和维生素含量很少，蛋白质含量约为 3%。稻谷经砻谷机脱去颖壳后即可得到糙米，糙米属颖果，它的表面平滑有光泽。

1. 颖

稻谷的颖由内颖、外颖、护颖和颖尖（颖尖伸长为芒）四部分组成。内、外颖各一瓣，呈船底形，外颖比内颖略长而大；内、外颖沿边缘卷起成钩状，外颖朝里，内颖朝外，互相钩合包住颖果，起保护作用。内、外颖基部的外侧各生有护颖一枚，托住稻谷籽粒，起保护内、外颖的作用。护颖呈扁平形，一般长 1.5~2.5mm，护颖长度为外颖的 1/5~1/4。砻谷机脱下来的颖壳称为稻壳或大糠、砻糠。

内外颖都具有纵向脉纹，外颖有五条，内颖有三条。外颖的顶端尖锐，称为颖尖，或伸长成芒，内颖一般不生芒。一般粳稻有芒者居多数，而籼稻大多无芒，即使有芒，也多是短芒。有芒稻谷容重小，流动性差，而且米饭胀性较小，而黏性较大。稻芒对稻谷的清理效果和散落性有影响，容易造成加工机器的堵塞，通过品种培育，目前有芒品种已逐渐被淘汰。

2. 颖果

稻谷脱去内、外颖后便是颖果（即糙米）。颖果由皮层〔果皮、种皮、珠心层、糊粉层（外胚乳）〕、胚乳、胚等几部分组成。内颖所包裹的一侧（没有胚的一侧）称为颖果的背部，外颖所包裹的一侧（有胚的一侧）称为腹部，胚位于下腹部。胚与胚乳的连接不紧密，在碾米时容易脱落。颖果籽粒在未碾去皮层时，表皮光滑，具有蜡状光泽，且糙米米粒表面共有五条纵向沟纹，背面的一条称背沟，两侧各有两条称米沟，其中较明显的一条是内外颖钩合部位形成的痕迹，另一条与外颖上最明显的一条脉纹相对应。纵沟的深浅随稻谷品种的不同而异，对出米率有一定影响。糙米沟纹处的皮层在碾米时很难全部除去，对于同一品种的稻谷，沟纹处留皮越多，可以认为加工精度越低，所以大米加工精度常以粒面和背沟的留皮程度来表示。有的糙米在腹部或米粒中心部位表现出不透明的白斑，这就是腹白或心白。腹白和心白是稻谷生长过程中因气候、雨量、肥料等不适宜而造成的。

稻谷籽粒在未成熟时都呈绿色，成熟后的稻谷一般呈黄色、黄褐色、褐色、赤褐色或紫褐色等，早稻比晚稻色浅。稻芒也有黄、褐、红、紫等不同颜色。颖与芒的颜色可作为鉴定品种的依据之一。成熟后一半呈蜡白色或灰白色。如种皮内含有色素时，常使米粒呈现不同

的颜色，即有色稻谷。

一般情况，颖壳与糙米之间的结合很松，尤其是当稻谷的水分较低时，几乎没有结合力。另外，稻谷内、外颖结合线顶端的结合力更薄弱，同时，在稻谷的两端及颖壳和颖果之间皆有一定的间隙。这都成为受力而破裂的薄弱点，也是有利于脱壳的内在条件。

(1) 果皮 果皮是由子房壁老化干缩而成的一薄层，厚度约为 $10\mu\text{m}$ 。果皮又可分为外果皮、中果皮、横细胞及管状细胞等层次。外果皮由长形或长方形细胞组成，细胞壁比较厚，外壁角质化，稻米的外果皮细胞为横向排列。中果皮由几层横向排列的细胞组成，靠近外果皮的细胞壁较厚，内几层细胞为薄壁细胞。横细胞由 1~2 层横向排列的细长细胞组成。管状细胞由一层纵向排列的细长细胞组成，细胞壁较薄，横断面呈环状。各细胞之间有空隙，或近或远，其引长方向与横细胞垂直。籽粒未成熟时，由于叶绿层中尚有叶绿素，米粒呈绿色；籽粒成熟后叶绿素消化、黄化或淡化成玻璃色。果皮中含有较多的纤维素，由粗糙的矩形细胞组成。果皮占整个谷粒重的 1%~2%。

(2) 种皮 种皮在果皮的内侧，是内珠被内层细胞的残余，由 1~2 层长形薄壁细胞组成，细胞构造不明显，厚度极薄，只有 $2\mu\text{m}$ 左右。有些稻谷的种皮内常含色素，使糙米呈现不同的颜色。

(3) 珠心层 珠心层位于种皮和糊粉层之间的折光带，由一层不甚明显的细胞组成，其细胞的内外壁挤贴在一起形成薄膜，极薄，为 $1\sim 2\mu\text{m}$ ，与种皮和糊粉层紧密结合很难区分开来。细胞壁具有念珠状孔纹，是珠心的残余，故称为珠心层。

(4) 糊粉层（外胚乳） 糊粉层为胚乳的最外层，包裹整个水稻籽粒，由排列整齐的近乎方形的厚壁细胞组成，有 1~5 层细胞，不同谷物籽粒及籽粒的不同部位是不同的，细胞壁内充满糊粉粒，其中主要含有蛋白质、脂肪、维生素和有机磷酸盐等。与胚乳和胚的大部分细胞结合紧密，但是从盾片的腹鳞到盾片和胚芽鞘的联结点这一区域内，糊粉层细胞与胚并不相连。稻谷中糊粉层厚薄及其位置与稻谷品种及环境等因素有关。糊粉层厚度为 $20\sim 40\mu\text{m}$ ，而且糙米中背部糊粉层比腹部厚，其质量占糙米的 4%~6%。

(5) 胚乳 胚乳细胞为薄壁细胞，是富含复合淀粉粒的淀粉体。其最外两层细胞为次糊粉层，富含蛋白质和脂类，所含淀粉体和淀粉粒的颗粒比内部胚乳的小，越接近籽粒组织的内部，体积越大。淀粉粒为多面体形状，而蛋白质多以球形分布在胚乳中。胚乳占颖果质量的 90% 左右。胚乳主要由淀粉细胞构成，淀粉细胞由近乎横向排列的长形薄壁细胞组成，细胞的间隙填充着蛋白。填充蛋白愈多，胚乳结构则越紧密而坚硬，使米粒呈半透明状，截面光滑平整，因此称这种结构为角质胚乳。若填充蛋白较少，胚乳结构则疏松，米粒不透明，断面粗糙呈粉状，称这种结构为粉质胚乳。谷物籽粒中的角质胚乳多在外层淀粉细胞，粉质胚乳多在内层淀粉细胞，也有的谷物籽粒全部为角质胚乳或全部为粉质胚乳。

(6) 胚 胚位于颖果的下腹部，呈椭圆形，由胚芽、胚轴、胚根和盾片组成，富含脂肪、蛋白质及维生素等。盾片与胚乳相连接，种子发芽时分泌酶，分解胚乳中的物质供给胚以养分。由于胚中含有大量易氧化酸败的脂肪，所以带胚的米粒不易贮藏。胚与胚乳连接不紧密，在碾制过程中，胚容易脱落。

糙米碾白时，米粒的果皮、种皮、糊粉层（外胚乳）等被剥离而成为米糠，果皮、种皮称为外糠层，糊粉层（外胚乳）称为内糠层。

碾米时，除糠层被碾去外，大部分的胚也被碾下来。加工高精度的白米时，胚几乎全部脱落，进到米糠中。从理论上讲，白米应当是纯胚乳，但实际上，糠层和胚都不会完全被碾

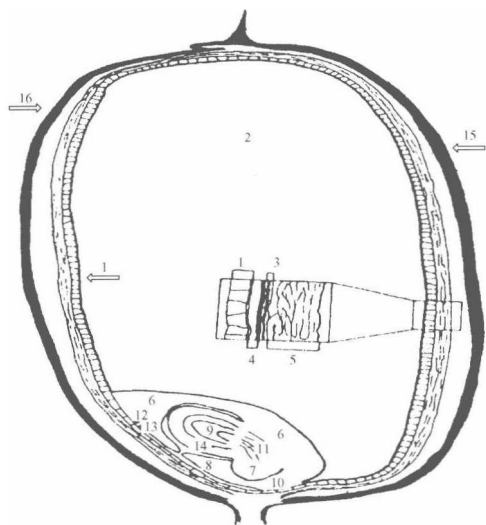


图 1-1 稻谷颖果的纵剖面示意图

- 1—糊粉层；2—胚乳；3—种皮；4—珠心层；5—果皮；
6—盾片；7—胚根；8—外胚叶；9—胚芽；10—胚根鞘；
11—中胚轴；12—腹鳞；13—侧鳞；14—胚芽鞘；
15—外稃；16—内稃

去。因此，根据米粒留皮的程度和留胚的多少可以判断大米的精度。大米的精度愈高，除去的糠层和糊粉层就愈多。糠层和糊粉层中含有极丰富的维生素和蛋白质。从营养角度看，不宜追求过高的加工精度。

将稻谷经过一定的处理后制成横切片或纵切片，固定染色后在显微镜下观察，可以看出稻谷籽粒各部分的详细结构，如图 1-1 所示。

三、化学组成

稻谷是由许多复杂的有机高分子构成的有机体，其中主要部分可供人们食用，有少量部分不能食用。稻谷的主要化学成分有碳水化合物、蛋白质、水分、脂类、矿物质及维生素等。这些化学成分的含量，因品种、土壤、气候、种植技术及成熟度等不同而有差异。表 1-1 列举了稻谷化学成分。

1. 碳水化合物

稻谷中的主要碳水化合物是淀粉，占白米固形物的 85%~90%。在普通稻米中，直链淀粉含量占淀粉总量的 12%~35%。蜡质米（糯米）中，直链淀粉含量就低得多。印度型稻米直链淀粉含量一般比日本型稻米高。糙米含 2.0%~2.5% 戊聚糖，而白米为 1%~2%。糙米和白米的含糖量（主要是蔗糖）分别为 0.6%~1.4% 和 0.3%~0.5%。糙米碳水化合物中淀粉含量最高。

表 1-1 稻谷化学成分

%

项目	水分	蛋白质	脂肪	纤维素	灰分	碾磨精度
糙米	15.5	7.4	2.3	1.0	1.3	0
米糠	13.5	13.2	18.3	7.8	8.9	
白米	16.5	6.2	0.8	0.6	0.6	8~10

淀粉多在胚乳中，加工时应尽量完整保留，以提高成品米的产率。稻谷中的粗纤维主要分布在稻壳和糙米的皮层中，胚乳中含量极少。粗纤维对人体无营养价值，不能被人体消化吸收。稻谷加工的目的就在于去除含粗纤维较多的稻壳和皮层，提高米粒的食用价值。

2. 蛋白质

稻谷中蛋白质含量一般为 8%~10%。在禾谷类谷物中，白米的蛋白质组成较为独特。分析表明：稻谷中清蛋白含量为 4.2%~15.9%，平均为 12%；球蛋白为 9.4%~17.8%，平均为 13.2%；谷蛋白为 64.7%~84.7%，平均为 71.7%；醇溶蛋白很少，小于 5%。白米蛋白质不仅谷蛋白含量高（至少占蛋白质总量的 80%），而且有相当好的氨基酸平衡。在各种蛋白质中，清蛋白的赖氨酸含量最高，其次是谷蛋白、球蛋白和醇溶谷蛋白。稻米蛋白质赖氨酸含量高主要是由于其醇溶蛋白含量低。这几种蛋白质在糙米籽粒中分布不均匀，清蛋白和球蛋白主要集中于糊粉层和胚中，在糙米胚乳外层含量最高，愈向中心其含量愈低；谷蛋白的分布规律则是相反的。白米蛋白质的赖氨酸含量一般低于糙米蛋白质。

白米中清蛋白、球蛋白比例，在其最外层最高，越往籽粒中心越低。谷蛋白比例与白蛋白和球蛋白比例正好相反。与其他谷物一样，稻米的各种蛋白质及其氨基酸组成和生物学效价也存在较大的不同。最值得注意的是，清蛋白中赖氨酸含量很高，球蛋白中胱氨酸含量很高，而醇溶谷蛋白中赖氨酸和胱氨酸含量均很低。

米糠、胚和米粳等副产物比成品米含有较高的赖氨酸和较低的谷氨酸，说明糙米的胚和糊粉层比胚乳含有较高的赖氨酸和较低的谷氨酸。糙米和成品米的氨基酸含量与蛋白质含量有一定的相关性，一般蛋白质含量越高，氨基酸含量也越高，所以大米中的蛋白质含量越高，其营养价值也越高。

赖氨酸是糙米和白米蛋白质中主要的限制性必需氨基酸。在稻谷其他部分（特别是谷壳）中，含硫氨基酸是限制性氨基酸。白米氨基酸与白米蛋白质赖氨酸含量较低是一致的，因为米糠蛋白质的赖氨酸较丰富。在赖氨酸含量较少的白米蛋白质中，谷氨酸含量则较高。

正常成熟稻谷的游离氨基酸约占全部含氮化合物的1%。胚的游离氨基酸含量最高，其次为糠，白米最低。游离氨基酸集中在白米粒的外层，越靠近中心其含量越低。随蛋白质含量增加，米糠和白米的蛋白质含量差别缩小。糙米皮层即糠层是稻米营养最丰富的部分，无论是有色米还是无色米，糙米糠层的蛋白质优于精米，从营养上看，糙米或低精度的大米显然优于高精度大米。

稻谷中蛋白质含量的高低，影响了稻谷籽粒强度的大小。稻谷籽粒的蛋白质含量越高，籽粒强度越大，耐压性能越强，加工时产生的碎米越少。

3. 脂肪

稻米脂肪主要是甘油三酯，并有少量类脂（磷脂、糖脂及蜡质）。三种主要脂肪酸是油酸、亚油酸和软脂酸。主要的糖脂有酰基固醇糖苷和固醇糠苷及二糖基甘油二酯或神经酰胺单己糖苷。稻谷中脂肪含量大约为2%，大部分存在于胚和糊粉层中。一般加工精度越高的成品米，其脂肪含量较低，所以可采用大米脂肪含量来评定其加工精度。

稻米中各种脂肪的分布是不均匀的。中性脂和极性脂的大致比值米糠中为90:10，在淀粉质胚乳中为49:51，在淀粉中为37:63。蜡主要存在于皮层脂肪中，含量为3%~9%。磷脂占全部类脂的3%~12%，其中，卵磷脂与胚乳的直链淀粉相结合，是非糯性胚乳的自然成分；而糯性胚乳不含卵磷脂。

稻米的脂肪含量取决于品种、成熟度、生长条件以及脂肪抽提方法。米糠和白米脂肪含量受碾磨精度和碾磨工艺的影响。碾米过程中，果皮、内种皮、糊粉层、胚及部分胚乳被逐步碾去，但是进一步碾白，甚至碾去整个籽粒的20%后，仍有部分含脂肪较多的胚留存在胚乳上。稻米的大部分脂肪随同米糠（包括胚）和“白糠”一起被碾去。市售米糠含脂肪10.1%~23.5%，“白糠”含脂肪9.1%~11.5%，糙米和白米则分别含脂肪1.5%~2.5%和0.3%~0.7%。

4. 矿物质

稻谷的矿物质有铝、钙、氯、铁、锰、磷、钾、硅、钠、锌等。其含量因生长土壤及品种的不同而异。其主要存在于稻壳、胚及皮层中，胚乳中含量少，故白米外层的灰分和矿物质含量显著高于其中心部位。果皮含钙丰富。有研究学者将白米粒分为三部分：胚、脊部和腹部。K和P主要集中于胚，粗蛋白则集中于腹部。植酸磷约占米糠总磷的90%，但仅占白米总磷的40%。大米中的灰分约占稻谷灰分的28%左右，大米的精度越高，灰分的含量越低。

5. 维生素

稻谷的维生素主要分布在糊粉层和胚中，多为 B 族维生素。稻米及其副产品中维生素 A、抗坏血酸和维生素 D 含量很少甚至没有。白米的硫胺素、核黄素、烟酸（维生素 B₅）、吡哆醇（维生素 B₆）、泛酸、叶酸、肌醇、胆碱和生物素的含量低于糙米，比米糠、白糠和胚更低。

6. 水分

水分是稻谷的一种重要成分，它与稻谷加工、贮藏的关系很大。水分在稻谷籽粒中有两种不同的存在状态，即游离水和结合水。游离水是存在于细胞间隙的水分，具有普通水的性质，谷粒中这部分水的含量，可随外界的相对湿度而改变，所以当这部分水含量高时，可用普通的干燥方法降低。结合水与细胞中蛋白质、糖类等紧密结合，形成牢固的水合胶体，其性质稳定，不能用作溶剂，也不会结冰，用普通办法不能除去。

稻谷籽粒的各部分含水量是不同的，一般稻壳的水分低于糙米，这对脱壳有利。在糙米中，胚乳的水分低于皮层，皮层的水分低于胚，胚水分最高。

稻谷含水量的高低对稻谷加工的影响很大。水分过高，会造成筛理困难，影响清理效果；会使稻壳韧性增加，造成脱壳困难；还会使籽粒强度降低，导致加工过程中产生较多的碎米，降低出米率；使米糠黏度大，易糊住碾米机米筛筛孔，造成排糠不畅；使碾米机负荷加大，动耗增加。但水分含量过低，会使稻谷籽粒变脆，也容易产生碎米，降低出米率，而且米粒皮层与胚乳结合紧密，不易碾除。稻谷适宜加工的水分含量为 14%~14.5%。

第二节 小 麦

一、概述

小麦的生长适应各种气候和土壤条件，因此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。小麦的种植面积约占谷物种植面积的 31%，产量接近谷物总产量的 30%，两者均居于谷物作物之首。世界上有 1/3 以上人口以小麦为主要食用作物。小麦（*Triticum aestivum* L.）属禾本科、小麦属，是越年生（冬小麦）或一年生（春小麦）草本植物。小麦是我国第二个重要粮食作物，分布遍及全国各地，主要分布于河南、山东、河北、安徽、江苏、陕西、山西、四川和黑龙江等地。栽培小麦起源于野生小麦。从小麦的多型性得知，它来源于小麦属一些不同的种。我国种植的小麦品种，分别属于普通小麦、云南小麦、密穗小麦、圆锥小麦、硬粒小麦、波兰小麦和东方小麦。其中属于普通小麦的品种数占小麦品种总数的 96% 以上，分布于全国各地。绝大多数小麦品种和种植面积都是普通小麦，所以一般提到小麦时，主要是指普通小麦。

小麦喜温燥，耐寒力较强，又因其种类（冬麦、春麦）不同而适应范围较广，在各种土壤中均能栽培。小麦籽粒中含有蛋白质、脂肪、淀粉等营养物质，其蛋白质的含量一般约为 12% 左右，最高可达 25%。就营养价值来说，小麦高于稻米。我国地域辽阔，各地区自然条件相差悬殊，各地的栽培季节、品种类型和生产技术等方面都不同，形成了明显的小麦生长自然区域：北方冬麦区、南方冬麦区、春小麦区。

1. 分类

（1）按籽粒质地 分为硬质小麦和软质小麦。在小麦籽粒中，角质胚乳占 1/2 以上的是硬质粒，角质（粒）率达 70% 以上的小麦称为硬质小麦。硬质小麦结构紧密，蛋白质含量

高，面筋品质好，出粉率高。在小麦籽粒中粉质胚乳占 1/2 及以上的是软质粒，粉质（粒）率达 70% 以上的小麦称软质小麦。软质小麦的蛋白质含量低，面筋品质较差，结构疏松，出粉率较低。

（2）按播种期和生育习性 分为冬小麦和春小麦。冬小麦系指当年秋季播种，翌年夏季收获的小麦。一般按产区将其分为北方冬小麦和南方冬小麦两大类。北方冬小麦白麦较多，多系半硬质，皮薄，含杂少，面筋质含量高，品质较好，出粉率较高，粉色好，占我国小麦总产量的 65% 以上。南方冬小麦一般为红麦，质软，皮厚，面筋质的质量和数量都比北方冬小麦差，含杂也较多，特别是含莽子（草籽）多，因此，出粉率比北方冬小麦低，占全国小麦产量的 20%~25%。春小麦系指当年春季播种，秋季收获的小麦，产量占全国小麦总产量的 15% 左右。此类小麦含有机杂质较多，一般为红麦，皮较厚，籽粒大，多系硬质，面筋质含量高，但品质不如北方冬小麦。

（3）按小麦粒色 分为红皮小麦和白皮小麦，简称为红麦和白麦。红皮小麦（也称为红粒小麦）籽粒的表皮为深红色或红褐色；白皮小麦（也称为白粒小麦）籽粒的表皮为黄白色或乳白色。红白小麦混在一起的做法花麦。

（4）按小麦糯性的不同 分为糯性小麦和非糯性小麦。糯性小麦的直链淀粉含量远远低于非糯性小麦。糯性小麦籽粒的蛋白质含量、湿面筋含量均高于非糯性小麦，而淀粉含量则低于非糯性小麦。

黑小麦是近年来研究推广的品种。黑小麦的营养价值远远高于普通小麦：粗蛋白、粗纤维、钙、铁、锌、硒等微量元素的含量是普通小麦的 2~2.5 倍，并含有具有保健作用和抗癌功能的物质。

2. 质量标准

按国家标准 GB 1351—2008《小麦》规定：我国目前根据小麦的皮色、粒质和播种季节将商品小麦分为 5 类。具体如下。

（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 不符合上述规定的小麦。

国家标准 GB 1351—2008《小麦》规定，各类小麦按体积质量分为 6 个等级。杂质总量小于 1.0%、矿物质小于或等于 0.5%、水分小于或等于 12.5%、色泽气味正常的小麦，不完善粒小于或等于 6.0%，容重大于或等于 790g/L，为 1 级；容重大于或等于 770g/L，为 2 级；之后，不完善粒每降低 2.0%，并且容重每降低 20g/L，则等级降 1 级。当容重小于 710g/L 时，小麦为等外品。

二、籽粒结构

小麦的穗轴韧而不脆，脱颖时颖果很容易与颖分离，因此小麦籽粒为不带内外颖的颖果，其纵横切面如图 1-2 所示。麦粒平均长 8mm，重 35mg。麦粒大小随栽培品种及其在麦

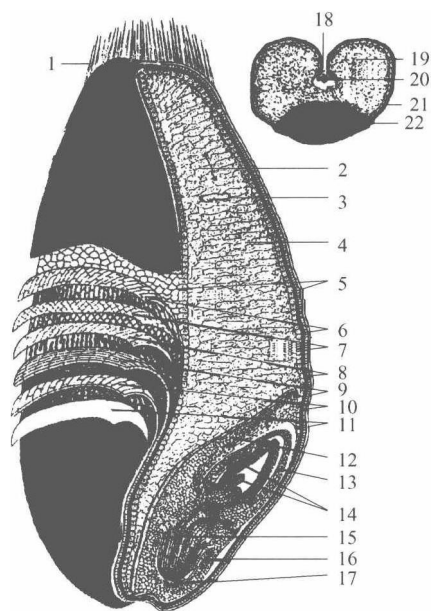


图 1-2 小麦籽粒的纵切面及横切面示意图

- 1—茸毛；2—胚乳；3—淀粉细胞；4—细胞的纤维壁；5—糊粉层；6—珠心层；7—种皮；8—管状细胞；9—横细胞；10—皮下组织；11—表皮层；12—盾片；13—胚芽鞘；14—胚芽；15—初生根；16—胚根鞘；17—根冠；18—腹沟；19—胚乳；20—色素束；21—皮层；22—胚

穗上的位置不同而呈现较大的差异。小麦籽粒的顶端生长着绒毛，下端为麦胚，胚的长度为籽粒长度的 $1/4 \sim 1/3$ 。麦粒有胚的一面为背面，呈圆形，与胚相对的一面为腹面，有一条纵向腹沟，腹沟几乎有整个麦粒那么长，深度接近麦粒中心，其深度因小麦品种及生长条件的不同而异，两颊可能相互接触，这样就会掩盖腹沟的深度，腹沟不仅影响制粉时的出粉率，而且为微生物和灰尘提供藏匿的场所。

小麦籽粒在解剖学上分为三个部分，即表皮、胚乳和胚。表皮可分为果皮和种子果皮，在制粉工艺学上将果皮分为表皮、外果皮和内果皮，将种子果皮分为种皮、珠心层和糊粉层共 6 层组织。

1. 果皮

果皮包住整个种子，有若干层组织。果皮的最外层，由与麦粒长轴平行分布的长方形细胞组成，细胞壁很厚，有孔纹，外表面角质化，染有稻秆似的黄色。麦粒顶端的表皮细胞为等径多角形，其中有一些突出形成麦毛。外果皮由薄壁细胞的残余所组成，紧贴表皮的一层形状与表皮相似，另外 1~2 层细胞呈不规则形。由于它们缺乏连续的细胞结构，从而形成一个分割的自然面。当它们裂解的时候，表皮即可脱掉。除去这几层，则有利于水分进入果皮内。内果皮由中间细胞、横细胞和管状细胞组成。

麦粒发育初期，细胞内含有叶绿素。成熟的麦粒果皮厚度为 $40 \sim 50 \mu\text{m}$ 。

2. 种皮和珠心层

种皮由两层斜长形细胞组成，极薄，外层细胞无色透明，内层由色素细胞组成。种皮的外侧与管状细胞紧连，而内侧则与珠心层紧连。种皮由三层组成：较厚的外表皮、色素层（决定小麦颜色）、较薄的内表皮。白皮小麦的种皮只有两层压扁的纤维细胞层，含色素少或不含色素。如含有红色或褐色色素时，则麦粒呈红色或褐色，为红麦。种皮的厚度为 $5 \sim 8 \mu\text{m}$ 。珠心层（或称透明层）厚约 $7 \mu\text{m}$ ，很薄，看起来是一条无色透明的线，与种皮和糊粉层紧密结合，不易分开，在 50°C 以下不易透水。

3. 糊粉层

糊粉层由一层排列整齐、近似方形的厚壁细胞组成，这层细胞大，外壁透明，胞腔内充满着深黄色的细小糊粉粒。细胞皮极韧，易吸收水分，放入水中瞬间胀大。糊粉层一般只有一层细胞厚，完全包围着整个麦粒，既覆盖着淀粉质胚乳，又覆盖着胚芽。从植物学的观点看，糊粉层是胚乳的外层。然而，制粉时，糊粉层随同珠心层、种皮和果皮一同被除去，而成为麸皮。

4. 胚

小麦胚占籽粒的 $2.5\% \sim 3.5\%$ 。胚由两个主要部分组成：胚轴（不育根和茎）和盾片。盾片的功能是作为贮备器官。胚芽外有胚芽鞘和外胚叶保护，胚根外有胚根鞘保护，延伸于

胚芽之上的盾片被认为是子叶，其下部有腹鳞，只有一片子叶。胚轴侧面与盾片相连接，其上端连接胚芽，下端连接胚根。胚是锥形的植物体，含有较多的营养成分，在适宜的条件下能萌芽生长出新的植株，一旦胚受到损伤，籽粒就不能发芽。

5. 胚乳

糊粉层以内为淀粉细胞，近乎横向排列，内含淀粉粒。细胞体较大，壁薄，横切面呈多面体，因含有淀粉而呈白色或略黄的玻璃色彩。胚乳细胞中充满着大小和形状各异的淀粉颗粒，小粒近似球形，粒径 $2\sim9\mu\text{m}$ ；中等颗粒为 $9\sim18\mu\text{m}$ ；大粒为扁豆形，粒径 $18\sim50\mu\text{m}$ 。从糊粉层到胚乳中心，小淀粉的相对数量逐渐减少，而大粒淀粉的数量逐渐增加。大粒淀粉约占籽粒淀粉总量的90%。

胚乳基本上有两种不同的结构，如果胚乳细胞内的淀粉颗粒之间被蛋白质所充实，则胚乳结构紧密，颜色较深，断面呈透明状，称为角质胚乳，即硬质麦粒；如淀粉颗粒之间及其与细胞壁之间具有空隙，甚至细胞与细胞之间也有空隙，则结构疏松，断面呈白色而不透明，称为粉质胚乳，即软质麦粒。

胚乳细胞内充满了淀粉和蛋白质，是制取面粉的主要成分，其质量占整个麦粒质量的78%~85%。在胚乳中心部位的面筋质含量少，但质量好；胚乳边缘部位的面筋质含量高，但质量差。

胚乳细胞的内含物和细胞壁构成小麦粉。这些细胞中挤满了充填在蛋白质之间的淀粉粒。小麦蛋白质的绝大部分是贮藏蛋白质——面筋。小麦成熟时，在蛋白质体中合成面筋蛋白。但是，随着麦粒的成熟，蛋白质体被压在一起而成为一种像泥浆或黏土状的间质，蛋白质体不再辨别得出。

除硬度的区别之外，小麦胚乳的另一个重要特点是其外观的不同。某些小麦具有玻璃质、角质或半透明的外观，而另一些小麦却是不透明或粉质的。一般认为透明度与硬度和高蛋白含量相关联，不透明度与软度和低蛋白含量相关联。但是，透明度和硬度并不是同一根本因素造成的，有时，完全可能是硬质小麦不透明而软质小麦却是玻璃质的，但这种现象很少见。

总之，小麦胚乳的质地（硬质）和外观（透明度）是有差异的。一般来说，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。硬度是由胚乳中蛋白质和淀粉之间的结合强度产生的，这种结合强度凭借遗传控制；而玻璃质则是籽粒中缺乏空气间隙造成的，控制机理还不清楚，但显然与样品中蛋白质的量有关。

三、化学组成

小麦籽粒中含有碳水化合物、蛋白质、脂肪、矿物质和维生素等，是人类食物中的重要成分和营养来源。这些营养物质的化学成分和含量决定了小麦的营养品质。整粒小麦的化学成分见表1-2。

表 1-2 整粒小麦的化学成分 %

项 目		水分	蛋白质	碳水化合物	脂肪	灰分	纤维素
冬小麦	饱满籽粒	15.0	10.0	70.0	1.7	1.7	1.6
	中等籽粒	15.0	11.0	68.5	1.9	1.7	1.9
	不饱满籽粒	15.0	13.5	64.0	2.2	2.6	2.7
春小麦		15.0	13.2	66.1	2.0	1.9	1.8