



中国轻工业“十三五”规划教材

农产品加工 工艺学

AGRICULTURAL PRODUCT
PROCESSING TECHNOLOGY



秦文 张清 主编



中国轻工业出版社 | 全国百佳图书出版单位

中国轻工业“十三五”规划教材

农产品 加工工艺学

秦文 张清 主编

图书在版编目 (CIP) 数据

农产品加工工艺学/秦文, 张清主编. —北京: 中国轻工业出版社, 2019.7
中国轻工业“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5184-2199-2

I. ①农… II. ①秦… ②张… III. ①农产品加工—工艺学—高等学校—教材 IV. ①S37

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 047127 号

责任编辑: 马妍 王艳丽 责任终审: 劳国强 整体设计: 锋尚设计
策划编辑: 马妍 责任校对: 吴大鹏 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: 三河市国英印务有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2019年7月第1版第1次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 20.75

字数: 460千字

书号: ISBN 978-7-5184-2199-2 定价: 52.00元

邮购电话: 010-65241695

发行电话: 010-85119835 传真: 85113293

网址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请与我社邮购联系调换

180868J1X101ZBW

本书编委会

主 编 秦 文（四川农业大学）

张 清（四川农业大学）

参 编（以姓氏笔画为序）

丁 捷（四川旅游学院）

代建武（四川农业大学）

朱建飞（重庆工商大学）

刘书香（四川农业大学）

李素清（四川农业大学）

吴 韬（西华大学）

陈益胜（江南大学）

周雅琳（重庆第二师范学院）

袁华伟（宜宾学院）

谢文佩（广西中医药大学）

农产品加工是农产品实现价值最大化的主要途径，已成为农业产业化发展的重要组成部分。从发达国家农业产业化来看，农产品产值70%以上由产后加工、销售等环节实现。农产品加工业能将农业产前、产中、产后的各个环节相互联结，延长农业价值链、产业链、效益链、就业链和信息链，形成较高等度的产业纵向一体化，促进农业的专业化、规模化、标准化、市场化和信息化，充分整合储藏、运输、保鲜、包装、营销、信息网络等相关产业。由此可见，发展农产品加工业是建设现代农业的核心环节，是推动农产品产业化和建设现代农业的直接动力。

我国是传统农业大国，具有丰富的农产品物质基础，如谷物、棉花、花生、水果、蔬菜等很多农作物年产量均居世界首位，但农产品加工业总量与发达国家还存在较大差距，主要体现在原料利用率较低，加工过程浪费严重，产品价值提升不高，产品种类和特色不突出，产品质量和品质竞争力不强等方面。为贯彻落实《国务院办公厅关于进一步促进农产品加工业发展的意见》（国办发〔2016〕93号）精神，推进农业供给侧结构性改革，当前及今后一段时期，农产品加工业发展面临的核心问题和任务要求：如何促进农产品加工业由规模数量扩张向质量提升和结构优化方向转变，由资源简单消耗向技术升级和品牌战略方向转变，由分散无序发展向产业化和集聚区方向转变，实现产业持续健康发展。

目前，有关农产品加工业的课程因开设院校、专业和办学等级的差异出现了参差不齐的现象，所选用教材或参考书不同，教学内容差别较大。同时，全国农产品加工相关教材大部分也使用时间较长，一些内容没有及时更新，不能反映现代农业产业化和农产品加工业的发展和需求。为了适应新形势的发展，培养更多更好的人才为行业服务，顺应时代发展，及时反映学科发展前沿动态和社会经济发展需求，编者在参考相关教材的基础上重新编写了本教材。

本教材内容在传统粮油加工、果蔬加工基础上，扩展了杂粮加工和农产品质量控制体系，旨在从农产品质量控制角度学习农产品加工工艺技术，提升读者在农产品加工业领域的知识技能。

全书内容包括四个部分：一是农产品原辅料的分类及品质，涉及粮油与果蔬加工原辅料。二是粮油食品加工，涉及稻谷、小麦、淀粉、植物油脂、大豆、杂粮等粮油食品的传统与新型加工技术。三是果蔬产品加工，涉及果蔬轻度、冷冻、发酵和干制加工，符合现代果蔬加工发展方向。加工部分内容包括工艺原理、工艺方法、所需设备、典型案例。四是农产品加工质量控制体系，旨在借助先进生产过程控制策略来保障农产品加工质量。为方便学生学习和进一步研究探讨，每章都列出知识目标、能力目标、思考题、推荐阅读和参考文献，为学生提供相关的学习技巧和知识补充。

本教材由四川农业大学秦文教授、张清副教授担任主编。编写分工如下：第一章由李素清编写；第二章由吴韬编写；第三章由谢文佩编写；第四章由张清编写；第五章由袁华伟编写；第六章由朱建飞、周雅琳编写；第七章由丁捷、代建武编写；第八章由秦文、刘书香编写；第九章由秦文、陈益胜编写。全书由秦文和张清负责统稿。

本教材的出版得到中国轻工业出版社的大力支持。在编写过程中，承蒙不少同行学者的悉心指导并提出宝贵意见，谨此表示衷心感谢。

尽管编者有多年的教学和实践经验，编写过程中倾注了大量心血，但本书涉及的内容较广，加之产业发展快和编者水平有限，书中难免存在疏漏、错误和不妥之处，恳请使用本教材的师生及同行专家批评指正。

编者

2019年3月

第一章	农产品原辅料的分类及品质	1
第一节	粮油原料的分类及品质	1
第二节	果蔬原料的分类及品质	16
第三节	油脂的分类与使用	23
第二章	稻谷加工	28
第一节	稻谷制米	28
第二节	大米制品加工	40
第三节	稻谷加工副产品的综合利用	51
第四节	典型稻谷加工应用案例	55
第三章	小麦制粉及面制品加工	61
第一节	小麦制粉	61
第二节	面制食品的加工	76
第三节	典型面制品加工应用案例	82
第四章	淀粉加工	99
第一节	淀粉加工基本原理	99
第二节	各类淀粉加工工艺	107
第三节	变性淀粉加工	115
第四节	淀粉糖加工	119
第五节	典型淀粉加工应用案例	122
第五章	植物油脂加工	125
第一节	植物油及油料	125
第二节	植物油制取	131
第三节	植物油精炼	150
第四节	油脂氢化	168

第五节	植物油脂加工食品和副产物综合利用	174
第六节	典型植物油加工应用案例	182
第六章	大豆制品加工	188
第一节	大豆食品加工	188
第二节	大豆蛋白制品	189
第三节	非发酵大豆制品	198
第四节	大豆制品加工副产品综合利用	206
第五节	典型大豆制品加工应用案例	207
第七章	杂粮加工	214
第一节	杂粮的概述	214
第二节	高粱加工	217
第三节	大麦(青稞)加工	220
第四节	燕麦加工	225
第五节	粟加工	228
第六节	典型杂粮加工应用案例	232
第八章	果蔬加工	238
第一节	果蔬加工原理及原料预处理	238
第二节	果蔬轻度加工	258
第三节	果蔬冷冻加工	268
第四节	果蔬发酵加工	277
第五节	果蔬干制加工	281
第六节	典型果蔬加工应用案例	295
第九章	农产品加工质量控制体系	308
第一节	企业良好操作规范	309
第二节	卫生标准操作程序	310
第三节	危害分析及关键控制点体系	313
第四节	质量控制体系应用实例	315

农产品原辅料的分类及品质

[知识目标]

了解粮油食品生产所用基础原料的分类、结构和化学构成；了解蔬菜和果品的分类及化学成分；了解香辛料、调味料的概念、分类及其各自特点。

[能力目标]

在农产品加工生产中，能够正确选用合适的原料并进行运用。

第一节 粮油原料的分类及品质

一、稻 谷

稻谷加工是我国粮油工业的一个重要组成部分。稻谷加工得到的大米，既是我国 2/3 人口的主要食粮，又是食品工业的主要基础原料之一。

（一）稻谷的种类

按照稻谷籽粒形态和质量，稻谷可分为籼稻、粳稻和糯稻三种。

粳稻加工制成的米即为粳米，呈椭圆形，谷壳组织松而薄，米粒强度大，耐压强度高，加工时不易产生碎米，出米率高，煮饭时黏性大，米饭胀性较小。

籼稻加工制成的米即为籼米，籽粒细长，稻谷组织紧而厚，米粒强度较小，耐压性能差，加工时易产生碎米，出米率较低，煮饭黏性小，米饭胀性较大。

糯稻加工制成的米即为糯米，呈椭圆或细长形，米粒呈乳白色，不透明或半透明，黏性

大。籽粒强度小，耐压性能差，加工时易产生碎米，米饭胀性小。糯稻按粒形和粒质分为籼糯稻谷和粳糯稻谷。

按稻谷生长周期长短，可以将稻谷分为早稻、中稻、晚稻。早稻生长周期为90~120d，中稻为120~150d，晚稻为150~170d。早稻品质较差、米质疏松、耐压性差，加工时易产生碎米，出米率低；晚稻米质坚实，耐压性强，加工时碎米少，出米率高。

按生长方式或生长过程需水不同，可以将稻谷分为水稻和旱稻（陆稻）。水稻种植于水田，需水量大，籽粒品质好。旱稻种植于旱田，需水量较少，籽粒组织松散，强度小，加工时产生碎米多，米粒颜色较暗淡，种植面积较小。

不同种类不同等级的稻谷对成品大米的质量以及出米率都有重要影响。一般来说，晚稻比早稻品质要好，粳稻品质比籼稻要好，水稻品质比旱稻要好。

（二）稻谷籽粒的结构形态

稻谷籽粒由颖和颖果组成。颖包括内颖、外颖、护颖和颖尖（俗称芒），如图1-1所示。外颖朝里，内颖朝外，两者相互钩合，包住颖果。颖的表面粗糙，有形状和长短不同的茸毛。粳稻茸毛比籼稻密而长，且粳稻的颖比籼稻薄。外颖的尖端有颖尖，俗称芒，芒的长短因品种而异。粳稻颖的质量占整个稻谷的18%，籼稻颖的质量占稻谷的20%。

稻谷在加工过程中要除去颖，脱下的颖称为稻壳，俗称大糠或砻糠。

除去稻壳后的稻谷称为糙米（颖果），它由皮层、胚和胚乳组成。胚乳占了米粒的最大部分，其质量约占了整个稻谷的70%。

胚位于颖果腹部下端，与胚乳连接的不太紧密，碾米时容易脱落，其质量占整个稻谷的2%~3.5%。胚中含有大量的脂肪、蛋白质和维生素，营养价值极高，但脂肪易酸败，使大米不易贮藏。

颖果的皮层由果皮、种皮、外胚乳和糊粉层等部分组成。糙米碾米时，颖果皮层依大米精度而不同程度地被削除称为米糠，果皮和种皮称为外糠层，外胚乳和糊粉层称为内糠层。皮层的厚薄随稻谷品种的不同而有较大的差异。质量优良的品种，皮层软而薄，碾米时易于除去，出米率较高，皮层的质量占整个稻谷的5.2%~7.5%。

碾米时，除糠层被碾去外，大部分的胚也会被碾下来。加工高精度的白米时胚几乎全部脱落，进入米糠中。从理论上讲，白米应当是纯胚乳，但实际上，糠层和胚不会完全被碾去。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。大米的精度越高，除去的糠层和胚就越多。

（三）稻谷化学成分

稻谷籽粒中含有的化学成分有水分、蛋白质、碳水化合物、纤维素和灰分等，如表1-1所示。

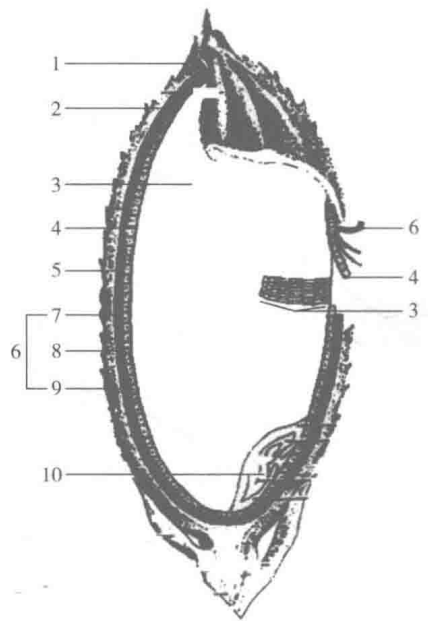


图1-1 稻谷结构示意图

- 1—外颖 2—内颖 3—胚乳
4—糊粉层 5—种皮 6—果皮
7—内果皮 8—中果皮
9—外果皮 10—胚

表 1-1 稻谷籽粒及其各组成部分的化学成分 单位:%

名称	碳水化合物	蛋白质	脂肪	纤维素	灰分	水分
稻谷	64.52	8.09	1.8	8.89	5.02	11.68
糙米	74.53	9.13	2.0	1.08	1.10	12.16
胚乳	78.8	7.6	0.3	0.4	0.5	12.4
胚	29.1	21.6	20.7	7.5	8.7	12.4
米糠	35.1	14.8	18.2	9.0	9.4	13.5
稻壳	29.38	3.56	0.93	39.05	18.59	8.5

(1) 碳水化合物 稻谷中碳水化合物约占 70%，主要存在于胚乳中。稻谷中碳水化合物主要以淀粉形式存在，在大米中含量 77%~80%。大米中的淀粉分为直链淀粉和支链淀粉，含量因品种、气候等不同而异，一般可以根据两者的含量将大米分为糯米和非糯米。糯米含有较高的支链淀粉（约 99%）；非糯米可根据所含直链淀粉的多少，区分为低直链淀粉大米（9%~20%）、中等直链淀粉大米（20%~25%）以及高直链淀粉大米（>25%）等。直链淀粉含量高，饭的黏度小、质地硬、无光泽、食味差；含量过低，则米饭软、黏而腻、弹性差，超过一定范围的直链淀粉含量与稻谷食味品质呈显著或极显著的负相关。因而，中等直链淀粉含量的品种更受消费者喜爱。

除了淀粉，稻谷还含有较多纤维素、半纤维素、戊聚糖等。膳食纤维含量为 2%~12%，主要存在于谷壳、谷皮和糊粉层中。其中纤维素存在于谷皮部分，往往损失于精磨时的糠麸之中，胚乳中的纤维素含量不足 0.3%。因此，各种未精制的稻谷是膳食纤维的良好来源。

(2) 蛋白质 稻谷蛋白质含量较低，一般糙米中蛋白质含量在 7%~9%，胚中蛋白质含量相对较高。按照蛋白质的溶解特性可以将稻谷中蛋白质分为谷蛋白、醇溶谷蛋白、球蛋白和清蛋白 4 种。虽然大米中蛋白质含量相对较低，但其中醇溶谷蛋白的生物价较高，因此其蛋白综合利用率接近其他粮食品种。

稻谷中胚的蛋白质含量较高，且与胚乳蛋白质的成分不同，富含赖氨酸，生物价很高。大米精加工处理中，谷胚被除去，降低了产品的营养价值，但可提高产品的贮藏性，因为胚的吸湿性较强，其中的脂肪还可能在贮藏过程中发生氧化酸败，产生不良气味。

(3) 脂肪 稻谷脂肪含量为 2.6%~3.9%，主要存在于胚和米糠中。大米中脂肪的含量与加工精度有关。精制大米中仅含 0.3%~0.5%，80% 以上的脂肪分布在稻谷外层中。其中胚和皮层中含量较多，胚中脂肪含量约为 20%。米糠的脂肪含量一般在 18%~20%，含有丰富的亚油酸、磷脂和谷甾醇等。米糠中若混有淀粉，出油率会降低，碾米时必须防止过碾，以提高出米率和米糠出油率。

大米脂肪含量是影响米饭可口性的主要因素，油酸含量越高，米饭光泽越好。米饭香味与米粒所含不饱和脂肪酸的量有关。

(4) 维生素 稻谷中脂肪含量较低，故脂溶性维生素的含量也不高。稻谷中不含维生素 C，但 B 族维生素比较丰富，特别是维生素 B₁ 和烟酸含量较高，是膳食中这两种维生素的最重要来源。此外，尚含一定数量的维生素 B₂、泛酸和维生素 B₆。

稻谷中维生素主要集中在胚和皮层部分，其中维生素 B₁ 和维生素 E 主要存在于胚中，尼克酸、维生素 B₆ 和泛酸主要集中于糊粉层中，随着加工精度的提高，其含量迅速下降。因此，

精加工大米的维生素含量较低。

(5) 矿物质 稻谷中含有 30 多种矿物质, 但各元素的含量, 特别是微量元素的含量与气候、土壤、肥水管理等栽培环境条件关系极大, 而且在籽粒中主要集中在外层的胚、糊粉层和种皮等中, 胚乳中含量较少。但有一些元素大量存在于白米中, 如糙米中 63% 的钠和 74% 的钙存在于白米中。

(6) 水分 稻谷水分含量高低对稻谷加工的影响很大。水分含量过高会造成筛理困难, 影响清理效果; 使籽粒强度降低, 碎米增加, 出米率低, 还会增加碾米机的动力消耗及加工成本。水分含量过低, 使稻谷籽粒发脆, 也易产生碎米, 降低出米率。为了保证大米质量, 提高出米率, 国家对原粮稻谷和成品大米的含水量都有严格规定。

(四) 稻谷物理性质

稻谷的物理性质是指稻谷与加工工艺、设备、操作有密切关系的物理特性, 包括千粒重、密度、容重、谷壳率、腹白度、爆腰率、出糙率、整精米、整精米率、散落性和自动分级、不完善粒、黄粒米、色泽、气味等。

1. 稻谷的色泽和气味

稻谷的色泽是品质最直接的外观表征之一。新鲜正常的稻谷, 色泽呈鲜黄色或金黄色, 富有光泽, 无不良气味。未成熟的谷粒呈绿色。发热霉变的稻谷, 不仅米粒色泽灰暗, 无光泽, 而且还会产生霉味、酸味, 甚至苦味。凡是新鲜程度不正常的稻谷, 不仅加工的成品质量差, 且加工时易产生碎米、出米率较低。

2. 稻谷的粒形与大小

稻谷大小一般由粒度表示, 粒度是指稻谷的长度, 宽度和厚度。稻谷的粒形根据长宽比例不同分为三类, 长宽比 >3 为细长粒, $2 \sim 3$ 为长粒形, <2 为短粒形。一般籼稻谷均属前两类, 粳稻谷大部分属于后一类。

整齐度是指稻谷的粒形和大小一致的程度。稻谷籽粒的大小和形状因稻谷的品种不同各异。即使是同一品种, 其大小也不相同。粒形和粒度是合理选用筛孔和正确调整设备的操作依据之一。籽粒越接近球形, 其长宽比越小, 则皮和壳所占籽粒的表面积就越小, 胚乳含量相对增高、出米率增高。同时, 粒形接近球形, 耐压性越强, 加工时碎米率越低。

在加工时应根据形状和大小将稻谷分级分批加工, 严防形状和大小相差悬殊的稻谷混合, 给后续的砻谷和碾米带来困难。

3. 容重和千粒重

稻谷容重是指单位容积中稻谷的重量, 以 kg/m^3 为单位, 是评价稻谷工艺品质的一项重要指标。一般粒大而饱满坚实的籽粒, 容重越大, 出糙米率也越高。

稻谷千粒重是指一千粒稻谷的质量 (g)。千粒重决定了籽粒的粒度、饱满程度和胚乳结构。千粒重大, 则粒度大, 籽粒饱满而结构紧密, 胚乳含量相对较高, 出米率高。千粒重越大, 单位重量中稻谷粒数越少, 清理和砻碾时所需时间就越短, 加工时产量高, 电耗低。

4. 腹白度和爆腰率

米粒腹白指米粒胚乳腹部的不透明部分, 它与透明度呈极显著负相关。其淀粉颗粒排列疏松, 颗粒中充气, 引起光折射, 从而使其看起来不透明。腹白度是指米粒腹白的大小。腹白度大的米粒, 其角质含量少, 强度低, 加工时易碎, 出米率低。一般晚稻米粒的腹白较小, 胚乳组织紧密坚硬, 籽粒几乎全为透明体, 籼稻中的早籼则几乎全为不透明的白粉质体。

稻谷受剧烈撞击,经日光曝晒,或高温快速干燥,使糙米内部产生纵横裂纹的现象称为爆腰。爆腰米粒所占的百分率称爆腰率。爆腰率是评定工艺品质的重要指标,加工前必须检验。米粒在产生爆腰后,其强度大大降低,在加工时易产生碎米。因此爆腰率高的稻谷,不宜加工高精度大米,否则碎米率过高,出米率较低。

5. 散落性和自动分级

稻谷的散落性是稻谷从空中自由落下在水平地面形成圆锥体的性能。可用静止角(是圆锥斜面与地面的夹角)来表示,一般为 $33^{\circ}\sim 40^{\circ}$,糙米为 $27^{\circ}\sim 28^{\circ}$,白米为 $23^{\circ}\sim 33^{\circ}$ 。影响散落性的因素主要有表面光滑程度、颗粒的形状、含水量的大小和夹杂物的多少等。散落性小的稻谷,其流动性差,在加工过程中,需要有较大的自流管和筛面斜度,并容易堵塞机器和输送管道等。

固体颗粒流动或受到振动时,由于颗粒之间在形状、大小、表面状态、密度和绝对质量等方面的差异,性质相同的颗粒向特定区域聚集,出现重新分布或自动分层的现象称为自动分级。一般大而轻的在上面,小而重的在下面,小而轻或大而重的在中间。

6. 稻谷的质量指标

根据国家标准 GB 1350—2009《稻谷》,稻谷分为早籼稻谷、晚籼稻谷、粳稻谷、籼糯稻谷和粳糯稻谷 5 类。各类稻谷以出糙率为定等指标,三等为中等。早籼稻谷、晚籼稻谷和籼糯稻谷质量指标如表 1-2 所示。

表 1-2 早籼稻谷、晚籼稻谷、籼糯稻谷质量指标

等级	出糙率/%	整精米率/%	杂质含量/%	水分含量/%	黄米粒含量/%	谷外糙米含量/%	互混率/%	色泽、气味
1	≥ 79.0	≥ 50.0						
2	≥ 77.0	≥ 47.0						
3	≥ 75.0	≥ 44.0	≤ 1.0	≤ 13.5	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 5.0	正常
4	≥ 73.0	≥ 41.0						
5	≥ 71.0	≥ 38.0						
等外	≥ 71.0	—						

注:“—”为不要求。

粳稻谷和粳糯稻谷质量指标如表 1-3 所示。

表 1-3 粳稻谷、粳糯稻谷质量指标

等级	出糙率/%	整精米率/%	杂质含量/%	水分含量/%	黄米粒含量/%	谷外糙米含量/%	互混率/%	色泽、气味
1	≥ 81.0	≥ 61.0						
2	≥ 79.0	≥ 58.0						
3	≥ 77.0	≥ 55.0	≤ 1.0	≤ 14.5	≤ 1.0	≤ 2.0	≤ 5.0	正常
4	≥ 75.0	≥ 52.0						
5	≥ 73.0	≥ 49.0						
等外	< 73.0	—						

注:“—”为不要求。

二、小 麦

(一) 小麦的种类

小麦的种类繁多,可以按播种季节、皮色、胚乳结构的不同和国家标准进行分类。不同的小麦其物理特性、营养成分等存在一定差异,制粉加工适性也略微不同。

1. 按播种季节分类

小麦按播种季节不同,可分为冬小麦和春小麦两种。冬小麦冬播夏收,越冬生长,生育期较长,分布较广,地区间差异较大,具体还可以分为北方冬小麦和南方冬小麦;春小麦春播秋收,生育期较短,多分布在高纬度和高海拔地区。在我国一般以长城为界,以北为春小麦,以南则为冬小麦。我国以冬小麦为主,种植面积达90%,分布在岷山、唐古拉山以东的黄河、淮河和长江流域,其中河南、山东、河北、山西、陕西、苏北、皖北等地主要种植北方冬小麦,占冬小麦总产量的2/3,其多为白麦,半硬质,皮薄,出粉率高,粉色好,面筋含量高,品质好;四川、安徽、湖北等地主要种植南方冬小麦,其多为红麦,质软、皮厚,出粉率和面筋质量均差于北方冬小麦。我国春小麦种植约占总面积的10%,主要分布在岷山、大雪山以西的黑龙江、内蒙古、甘肃、新疆、宁夏、青海等气候严寒的省区。春小麦籽粒两端较尖,腹股沟深,皮层较厚,籽粒大,多为红麦、硬质,其容重和出粉率较冬小麦低,但其蛋白质(面筋)含量高于冬小麦。

2. 按皮色分类

按皮色的不同,小麦可分为白皮小麦(简称白麦)和红皮小麦(简称红麦)两种。白皮小麦呈白色、黄白色或乳白色,皮薄,胚乳含量多,出粉率较高;红皮小麦呈深红色或红褐色,皮较厚,胚乳含量少,出粉率较低。小麦皮层的颜色对小麦粉的粉色有影响,生产特制一等粉时,要求白麦的比例不低于25%;生产等级粉时,红麦和白麦的出粉率相差1.5%;生产标准粉时,红麦和白麦的出粉率相差2.5%。

3. 按胚乳结构分类

小麦按籽粒胚乳结构呈角质或粉质的多少,可分为硬质小麦和软质小麦。角质(玻璃质)胚乳结构紧密,呈半透明状;粉质胚乳疏松,呈石膏状。凡角质部分占籽粒横截面1/2以上的籽粒称为角质粒,含角质粒70%以上的小麦称为硬质小麦,凡角质部分不足本籽粒横截面1/2的籽粒称为粉质粒,含粉质粒70%以上的小麦称为软质小麦。硬质小麦切开后断面透明呈玻璃状,质地硬,抗粉碎性强,不易磨碎,研磨时耗能大,磨出物粗粒多,细粉少,散落性好,容易筛理;其皮薄,茸毛不明显,胚乳与麦皮容易分开,麸中含粉少,出粉率较高;硬质麦的蛋白质含量较高,结构紧凑,润麦时需要加入较多水来软化胚乳和需要保留足够的时间让水分渗透到小麦籽粒内部;因其面粉面筋含量较高,延伸性和弹性较好,适于做馒头、面包等发酵食品。软质粒小麦切开后呈粉状,茸毛粗长而明显,皮较厚,胚乳质地柔软,易于磨碎,但磨出物粒度细,呈不规则状碎片,散落性较差,筛理时容易糊堵筛面,影响筛理效果;胚乳与麦皮不易分开,麸皮含粉多,出粉率低;软质麦结构疏松,水分渗透速度较快,润麦时间短,水分含量超过14.5%时,麸皮刮剥和筛理比较困难;淀粉空隙之间只是微小的气泡,没有填充蛋白质软质小麦的淀粉含量较高,面筋力较弱,磨出的面粉适于生产饼干、糕点等食品。

4. 按国家标准分类

为方便商品小麦收购、贮存、运输、加工和销售,GB 1351—2008《小麦》把小麦细分为5类: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：不符合前四条规定的小麦。

（二）小麦的等级及质量标准

根据 GB 1351—2008《小麦》，小麦按容重、不完善粒、杂质、水分、色泽、气味分为5个等级（表1-4），其中小麦的容重为定等指标，3等为中等。强筋小麦角质率不低于70%，加工成的小麦粉筋力强，适合于制作面包、面条等食品；弱筋小麦粉质率不低于70%，加工成的小麦粉筋力弱，适合于制作蛋糕和酥性饼干等食品。根据 GB/T 17892—1999《优质小麦 强筋小麦》和 GB/T 17893—1999《优质小麦 弱筋小麦》，强筋小麦品质指标和弱筋小麦品质指标具体见表1-5。

表1-4 小麦的质量标准

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

注：“—”为不要求。

表1-5 强、弱筋小麦品质指标

项目	指标			
	强筋小麦 一等	强筋小麦 二等	弱筋小麦	
容重/(g/L)	≥770		≥750	
水分/%	≤12.5		≤12.5	
不完善粒/%	≤6.0		≤6.0	
杂质/%	1	≤1.0	≤1.0	
	2	≤0.5	≤0.5	
色泽、气味	正常		正常	
降落数值/s	≥300		≥300	
粗蛋白质/(干基)	≥15.0	≥14.0	≤11.5	
小麦粉	湿面筋/(14%水分值)	≥35.0	≥32.0	≤22.0
	面团稳定时间/min	≥10.0	≥7.0	≤2.5
	烘焙品质评分值	≥80		—

注：“—”为不要求。

(三) 小麦籽粒结构及其对制粉的影响

麦粒属颖果，顶端有茸毛，籽粒的腹面有一条几乎布满整个籽粒的纵向腹沟，腹沟的深度接近麦粒中心，腹沟所含麦皮占全部麦皮组织的 $1/4 \sim 1/3$ ，很难剥去，其不仅影响出粉率，还是微生物、灰尘、农药等的藏匿处。小麦籽粒主要是由皮层、糊粉层、胚和胚乳构成，如图1-2所示。

小麦的皮层由外及内依次为表皮(0.5%)、中果皮(1%)、内果皮(1.5%)、种皮(0.2%~2.2%)和珠心层(1%~3%)。表皮和中果皮合称外果皮，厚度为 $40 \sim 50 \mu\text{m}$ ，主要成分是纤维素、半纤维素和木质素，具有阻隔水分的作用。内果皮含有蛋白质、灰分、戊聚糖和大量的纤维素，麦粒发芽初期细胞内含有叶绿素。种皮厚度为 $10 \sim 15 \mu\text{m}$ ，包括较厚的外皮、色素层(内层色素细胞决定了麦色)、较薄的内表皮，具有半渗透性。珠心层位于种皮的内侧，并与糊粉层紧密结合，在 50°C 以下不易透水。小麦皮层厚薄不同和加工品质密切相关，籽粒皮层越厚，占麦粒质量越大，麸皮越多，出粉率越低；小麦皮层色泽不同，在制粉时也表现出不同的工艺性质，白皮层色浅皮薄，比红皮的出粉率高；皮层中的色素，尤其是红皮麦会影响粉色和烘焙的品质，要注意去除。

糊粉层(6.0%~8.9%)位于珠心层内侧，包裹着胚乳和胚芽，相当于胚乳的外层，厚度为 $40 \sim 70 \mu\text{m}$ ，细胞皮韧性极大，易吸水，且吸水后迅速涨大，糊粉层细胞较大，体积占麸皮总量的40%~50%，较其他皮层营养价值丰富，灰分含量很高，酶活力高，富含矿物质、脂肪、植酸盐、蛋白质和B族维生素，但蛋白质中几乎不含面筋蛋白。生产低质量面粉时会将糊粉层磨入粉中，但生产优质面粉时，糊粉层会随同珠心层、果皮和种皮一同被除去，成为麦麸。

胚乳(80%~86%)位于糊粉层内侧，硬质麦的角质胚乳细胞内的淀粉颗粒之间填充着蛋白质，胚乳结构紧密，颜色较深，断面呈透明如玻璃状；软质麦的粉质胚乳细胞内的淀粉颗粒与细胞壁之间具有空隙，结构疏松、断面呈白色而不透明的粉状。面粉主要由胚乳加工而成，故其主要的成分是淀粉和蛋白质。胚乳细胞的淀粉粒之间填充的蛋白质主要是面筋蛋白，面筋蛋白主要由麦胶蛋白(占蛋白质总量的40%~50%)、麦谷蛋白(占30%~40%)组成，麦胶蛋白具有延展性，但弹性小，麦谷蛋白具有弹性，但缺乏延展性。麦胶蛋白、麦谷蛋白不溶于水，却有极强的吸水性，吸水后膨胀，麦胶蛋白吸水后凝结对力剧增，吸水能力达200%，分子与分子间在二硫键作用下迅速黏接，形成网络状的凝胶结构，淀粉、矿物质等成分填充在该网络结构中，并表现出很强的弹性，这是其他谷物不具备的特性。胚乳部分蛋白质含量是从外层到中心逐渐递减的，但越接近中心，其面筋蛋白质量越好，含淀粉越多，脂质、纤维、灰分越少，颜色也越白，所以硬质麦磨制的面粉蛋白质多，面筋质量好，适合制取高级粉。

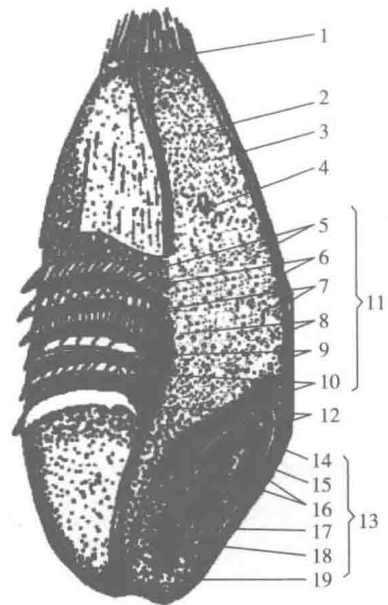


图1-2 小麦籽粒结构图

- 1—茸毛 2—胚乳 3—淀粉粒 4—细胞膜
5—糊粉层 6—珠心层 7—种皮
8—管细胞层(内果皮) 9—横细胞层(外果皮)
10—皮下组织 果皮 11—皮层 12—表皮
13—胚 14—胚盘 15—芽鞘 16—胚芽
17—胚果 18—根鞘 19—根冠

胚(2%~3%)位于麦粒背部的下端,由胚盘、胚芽、胚根等组成,不含淀粉,富含脂肪(6%~11%),还含有蛋白质、可溶性糖和大量维生素等,生产一般等级粉时,将其磨入,以增加面粉的营养成分。但胚中含有大量不饱和脂肪酸,易变质而使得面粉酸度增加,加速腐败变质,因此不适于长期保存,同时灰分和纤维较多,黄色的脂肪还会影响粉色,故麦胚不宜磨入优质或高级面粉中。

(四) 小麦化学成分及其对制粉的影响

小麦各种化学成分的含量如表1-6所示。

表1-6 小麦籽粒各部分化学成分 单位:% ,以干物质计

籽粒部位	部位的质量比	蛋白质	淀粉	糖	纤维素	多缩戊糖	脂肪	矿物质
整粒	100	16.06	63.1	4.32	2.76	8.10	2.21	2.18
胚乳	81.6	12.91	78.8	3.54	0.15	2.72	0.68	0.45
胚	3.24	37.63	0	25.1	2.46	9.71	15.0	0.32
带糊粉层的皮层	15.16	28.75	0	4.18	16.20	35.65	7.78	10.5

1. 水分

含水量适宜的小麦才能适应磨粉工艺的要求,制成水分符合国家标准的小麦粉。为安全贮藏小麦,一般毛麦水分为12%,小麦籽粒具有吸湿性,胚含淀粉较多,吸水最快,是经常润湿的部分,皮层含有大量粗纤维,也较易吸水,胚乳含有大量脂肪,故吸水较慢。水分不足,小麦胚乳坚硬不易磨碎,粒度粗,而且皮层脆且易碎,导致面粉含麸量增加,影响面粉质量;水分过高,小麦胚乳和麸皮难以分离,物料筛理困难,水分蒸发强烈,产品流动性差,难以管理操作;水分含量适宜的小麦皮层韧性增加,胚乳内部结构松散,皮层及糊粉层和胚乳之间的结合力下降,有利于制粉性能的改善。制粉工艺性能改善,能相应提高出粉率,提高成品面粉质量,并降低动力消耗。

2. 碳水化合物

淀粉主要集中在胚乳内,小麦籽粒内部淀粉组织的坚实程度不同,同时也带来胚乳与皮层结合力的差异,这是决定粉路操作的主要因素。淀粉含量和出粉率成正比,但是淀粉容易在磨粉过程中遇到水汽凝结时发生糊化而堵塞筛孔,影响筛理效果。粗纤维多的面粉由于加工性和口感较差,精制面粉一般将其去除到较低程度。戊聚糖在小麦胚乳中只有2.2%~2.8%,虽不能消化,但对面团的流变性影响很大。它有增强面团强度、防止成品老化的功能。

3. 蛋白质(面筋)

蛋白质是小麦的第二大组成成分。蛋白质的质和量在小麦的功能、用途中起重要作用。影响面粉品质的因素有很多,其中最主要的是蛋白质含量。面粉中蛋白质在盐水中容易形成面筋,而能够产生面筋的多少一般就代表其蛋白质含量的高低。所谓低筋面粉、中筋面粉和高筋面粉,就是说明蛋白质含量由低到高的各种等级的面粉。

在小麦粉中加入适量的水后可揉成面团,将面团在水中搓洗时。淀粉和水溶性物质渐渐离开面团,最后只剩下一块具有黏合性、延伸性的胶皮状物质,这就是湿面筋。湿面筋低温干燥后可得到干面筋(又称活性谷朊粉)。一般将面筋质量占小麦粉质量的百分率称为面筋含量。面筋的主要成分为麦胶蛋白和麦谷蛋白,所以面筋基本上仅存在于小麦胚乳中,但其分布不均