

全国“粮食工程”专业系列规划教材

谷物化学

于国萍 吴非 主编



科学出版社
www.sciencep.com

全国“粮食工程”专业系列规划教材

谷 物 化 学

于国萍 吴 非 主编

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书主要在三个层面上详细介绍谷物化学的相关内容。全书共8章,首先介绍主要谷物的来源、生产历史、利用、籽粒结构和营养价值等情况;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、水分、酶类、维生素和矿物质等营养成分;同时介绍了谷物中的抗营养成分、外来污染组分等;最后从谷物加工的角度介绍了加工过程中谷物发生的各种化学变化。本书内容广泛,语言流畅,讲述由浅入深,通俗易懂。

本书主要适合各大专院校的食品科学与工程及粮食工程等相关专业本科生及教师使用,部分章节也可供食品专业的研究生参考,还可作为各科研院所、食品检测单位相关人员的有效参考读本。

图书在版编目(CIP)数据

谷物化学/于国萍,吴非主编. —北京:科学出版社,2010.6

(全国“粮食工程”专业系列规划教材)

ISBN 978-7-03-027753-4

I. ①谷… II. ①于…②吴… III. ①禾谷类作物-生物化学-专业学校-教材 IV. ①S510.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第096877号

责任编辑:王国栋 李晶晶 / 责任校对:邹慧卿

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>

化学工业出版社印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年6月第一版 开本:787×1092 1/16

2010年6月第一次印刷 印张:17 1/2

印数:1—3 000 字数:410 000

定价:35.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

全国“粮食工程”专业系列规划教材编写委员会

顾 问 殷涌光 (吉林大学)
夏文水 (江南大学)
刘静波 (吉林大学)
李里特 (中国农业大学)
杨同舟 (东北农业大学)

主 任 江连洲 (东北农业大学)

副主任 王兴国 (江南大学)
李新华 (沈阳农业大学)
石彦国 (哈尔滨商业大学)

委 员 (按姓氏笔画排序)

于国萍 于殿宇 马 莺 马 涛
肖志刚 张秀玲 张 敏 周凤英
周慧秋 郭顺堂 程建军 翟爱华

《谷物化学》编写人员名单

主 编 于国萍 吴 非

副主编 刘红玉 白 冰

编 者 (按姓氏笔画排序)

于国萍 (东北农业大学食品学院)

白 冰 (沈阳农业大学食品学院)

兰 静 (黑龙江省农业科学院谷物检测中心)

刘红玉 (东北农业大学食品学院)

吴 非 (东北农业大学食品学院)

张洪徽 (黑龙江八一农垦大学食品学院)

赵 琳 (黑龙江省农业科学院谷物检测中心)

梁 权 (黑龙江广播电视大学)

主 审 江连洲 (东北农业大学食品学院)

前 言

民以食为天，谷物及其加工制品是我国人民获得能量和营养的主要来源。随着我国农业生产的发展和人民饮食生活的进步，谷物化学、谷物储藏和加工利用等问题也越来越重要。在此形势下，全国高等院校食品科学与工程专业发展很快，许多高等院校根据国民经济发展的需要，纷纷设立了粮食加工工程专业，但多沿用原有的一些教材进行教学。显然，食品专业方面的教材结构已经不能满足当前教学对学生知识培养的需要。过去的教材有包括食品化学、生物化学等在内的各门化学，但都是基于所有农产品原料的情况进行论述，专门针对小麦、玉米、稻谷、大麦、燕麦等谷物的化学知识进行全面论述的教材非常罕见，给学生的专业知识结构留下很大的空白。《谷物化学》是为了适应食品科学与工程教学计划改革的需要而编写的，它将构成粮食加工工程专业本科生的基本知识体系，是粮食加工工程专业本科生的主要教材之一。

本书以谷物中的各种化学组分为主要线索，对谷物的来源、生产、籽粒结构、营养价值、化学组分的特性，以及谷物在加工过程中发生的化学变化进行了详细的论述。

各章编写分工为：第一章，于国萍、梁权；第二章，赵琳、张洪微；第三章，兰静、刘红玉；第四章，吴非、赵琳；第五章，白冰、兰静；第六章，梁权，张洪微；第七章，梁权、于国萍；第八章，刘红玉、吴非。

本书力求系统全面地阐述谷物化学的基本知识，为阅读者打下雄厚的学科基础，希望能为培养大批谷物化学、谷物检测、谷物储藏加工技术人才，推进我国谷物化学研究，提高谷物储藏加工水平发挥重要作用。

本书在编写过程中得到了东北农业大学、沈阳农业大学、黑龙江八一农垦大学、黑龙江广播电视大学和黑龙江省农业科学院谷物检测中心等单位的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。在本书完稿之时，承蒙食品专家江连洲教授在百忙中审阅了本书，特此深表谢意！

尽管编者有多年的教学和实践经验，并在编写过程中倾注了大量心血，但由于时间仓促和编者水平有限，书中不妥之处在所难免，衷心欢迎读者批评指正。

编 者
2010年3月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 谷物化学的概念与发展史	1
第二节 谷物化学的研究内容与研究方法	4
参考文献	5
第二章 谷物的种类及其籽粒结构、化学组分的分布	6
第一节 主要谷物介绍	6
第二节 谷物的化学组成	26
第三节 谷物的营养价值	42
参考文献	51
第三章 谷物中的碳水化合物	52
第一节 概述	52
第二节 单糖	53
第三节 双糖	63
第四节 低聚糖	65
第五节 多糖	77
参考文献	104
第四章 谷物中的蛋白质	106
第一节 概述	106
第二节 蛋白质分子的组成	107
第三节 蛋白质分子的结构	111
第四节 蛋白质的功能	115
第五节 蛋白质的性质	116
第六节 蛋白质的加工特性	123
第七节 各类谷物中的蛋白质组分	133
第五章 谷物中的脂类	141
第一节 概述	141
第二节 脂肪酸	142
第三节 甘油三酯	149
第四节 磷脂	156
第五节 糖脂	160
第六节 固醇	162
第七节 其他脂类	164

第八节 脂类的提取分离·····	165
第九节 谷物中的脂肪·····	167
第十节 脂肪氧化·····	171
参考文献·····	179
第六章 谷物中的酶·····	180
第一节 淀粉酶·····	181
第二节 蛋白酶·····	184
第三节 β -葡聚糖酶·····	186
第四节 脂类转化酶·····	187
第五节 植酸酶·····	190
第六节 过氧化物酶·····	192
第七节 多酚氧化酶·····	193
第八节 抗坏血酸氧化酶·····	196
第七章 谷物中的水分·····	199
第一节 水的结构与性质·····	199
第二节 水的存在状态·····	200
第三节 谷物的平衡水分·····	202
第四节 谷物的干燥·····	203
第八章 谷物加工和储藏中的化学变化·····	213
第一节 谷物在加工过程中的变化·····	213
第二节 谷物在储藏过程中的变化·····	249
参考文献·····	267

第一章 绪 论

第一节 谷物化学的概念与发展史

一、谷物化学定义

谷物原是指禾本科作物的种子果实。包括稻米、小麦、玉米等及其他杂粮，如小米、黑米、荞麦、燕麦、薏仁米、高粱等。广义的谷物则包括豆类、油料种子等。谷类作物的栽培有五千年以上的历史，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。

谷类食物包括大米、面粉、玉米、小米、荞麦和高粱等。在我国居民的膳食中，有60%~70%的热能和60%的蛋白质来自谷类，是膳食中B族维生素的重要来源，同时也提供一定量的无机盐。由于谷类种类、品种、生成的地区、生长条件和加工方法的不同，其营养成分有很大差别。

依据近年来的估算，谷物占据了超过60%的世界食品总产量，尽管在一些国家，特别是工业化国家中，基于谷物的产品消耗相对减少，但谷物在人类营养摄取中的重要作用仍保持不变。这都要归功于谷物具有的高能量、良好的耐储存性以及谷物产品的多样化。

谷物化学是研究各类谷物的性质，包括籽粒结构、化学成分及分布，以及物理生理生化性质和谷物的合理利用的一门学科。在宏观、超微结构和分子水平三个层次研究谷物成分的结构和功能性质，在加工和保藏过程中研究谷物成分发生的物理、化学和生物化学变化。为改善谷物品质、开发食品新资源、革新食品加工工艺和储运技术、科学调整膳食结构、改进食品包装、加强食品品质控制及提高食品原料加工和综合利用水平奠定理论基础的学科。

二、谷物化学与其他学科的关系、地位

1. 谷物化学与其他学科的关系

谷物化学作为食品科学的一个重要部分，是食品化学的分支，是谷物综合加工与利用的理论基础。它与化学、生物化学、生理化学、植物学、预防医学、临床医学、食品营养学、食品安全、高分子化学、环境化学、毒理学和分子生物学等学科有着密切和广泛的联系，谷物化学依赖上述这些学科的知识，有效地研究和控制作为人类食品来源的谷物物质。

研究谷物化学需要物理学、化学特别是生物化学作为基础。因为谷物都是农产品，又要作饲料，所以谷物化学的研究在许多方面都要涉及作物学、育种学、畜牧学等农业科学，特别是谷物作为人类的主食或副食，它与人体营养学有着最为密切的关系。尽管

谷物化学和生物科学所要研究和解决的问题有一些共同点，然而，谷物化学有它自己需要研究和解决的特殊问题，而这些问题对于谷物加工和保藏是至关重要的。与生物科学相比，谷物科学更关注以下几点：

(1) 生物物质所固有的特征和研究它们的方法。

(2) 死的或将要死的生物物质，而这些生物物质暴露在变化很大的各种环境条件之中。

(3) 各种加工和保藏条件下谷物中各种组分可能发生的物理、化学和生物化学变化以及这些变化对食品质量的影响。

而生物科学的主要关注点则是在与生命相适应或几乎相适应的环境条件下，生物物质所进行的繁殖、生长和变化。

如上所述，可以认为现代的谷物化学成为一个综合性的科学，似乎是一种必然的趋势。谷物科学在近一二十年中有了巨大的进展。究其原因，一方面是它受益于其他有关学科如生物化学、分子生物学等的巨大进步；另一方面则是受到世界人口增多，人类普遍要求提高生活水平和改善营养条件的压力所致。

2. 谷物化学的地位与作用

“民以食为天，国以粮为本”，谷物是人类赖以生存的生活物质，是人类发展的重要物质基础。中国是一个农业大国和粮食生产、消费大国，我国国民的食物结构以植物蛋白为主，直接消费的谷物所占比例较大，由谷物转化为肉、蛋、奶的消费量较少。谷物是食品工业的重要基础原料，无论是直接消费还是间接转化后消费，其与人类的密切程度是其他商品无法替代的。谷物作为一种具有战略意义的特殊商品，作为国家安全战略的重要组成部分，对国民经济的稳定发展具有重要的战略意义。研究谷物及其加工制品的物理、化学和生物学特性，研究其加工、储藏特性对指导食品加工和谷物安全储藏具有特定的意义。

谷物化学就是要阐明谷物在加工、储运等过程中成分之间的化学反应历程、中间产物和最终产物的化学结构及其与食品的营养价值、感官质量、安全性和对人体健康的影响，为谷物加工及储藏工艺、新技术和新产品的研究与开发、膳食结构的科学调理和食品包装改进等，提供理论依据和基础。随着科技的进步和基础学科在食品科学方面的应用，谷物化学在揭示食品营养方面有了较快发展，谷物中有毒、有害成分的研究，已成为保障食品质量与安全的理论基础。由此可见，谷物化学在食品科学和工程中有着重要的作用和特殊地位，而且是发展迅速的应用科学之一。

长久以来，谷物的巨大重要性在于推动着与之相关的谷物栽培、加工及消费等方面的研究。近年来的营养学研究成果表明，营养摄取在全民健康及预防许多“文明病”中的重要作用，谷物食品中的许多微量成分因其生物活性可能在营养吸收中起着重要作用，例如，众所周知的膳食纤维、 β -葡聚糖的功效、天然抗氧化剂的功效，植酸与矿物质的相互作用以及一些微量元素的功效。

由于谷物化学的发展，人们对美拉德反应、焦糖化反应、自动氧化反应、淀粉的糊化与老化、多糖的水解与改性、蛋白质水解及变性反应、色素变色与褪色反应、维生素的降解反应、金属催化反应、酶的催化反应、脂肪水解与酶交换反应、脂肪热氧化分解

与聚合反应、风味物的变化反应、有害成分的化学性质和产生及食品原料采后生理生化反应等有了更深入的认识,这种认识对现代食品加工和储藏技术的发展产生了深刻的影响,同时,生物工程的发展也为谷物品质改造、新食品的开发拓宽了道路。

三、谷物化学的发展简史

食品化学成为一门独立学科的时间不长,它的起源虽可追溯到远古时代,但由于食品化学的历史一直是与没有详尽文献记载的农业化学的历史紧密联系在一起,因此,完整的介绍其历史发展是有困难的。但与食品化学相关的研究和报道则始于18世纪末期。这个时期,一些化学家、植物学家等开始以食物为对象,从中分离某些成分。1847年出版的《食品化学研究》是该学科第一本有关食品化学方面的书籍。谷物化学作为食品化学的分支,是将其研究对象由食品集中于谷物,因此,在这个意义上,食品化学的发展进程就是谷物化学的发展进程,在此基础上,形成了谷物化学这样一门独立课程。

食品化学与人类生活和食品生产实践密切相关,它是随着化学、生物化学的发展以及食品工业的兴起而形成的一门独立学科。当时,食品的化学本质成为化学家研究的一个方面,如研究食品的组成,已认识到糖类、蛋白质、脂肪是人体必需的三大营养素。这为食品化学的发展奠定基础。在19世纪早期,在食品化学发展的过程中出现日益普遍和严重的食品掺假现象,人们了解了食品掺假的危害,迫切要求有关部门建立可靠的食品检测方法。为应付这种局面,化学家花费了大量的精力来了解食品的天然特性,研究常被当作掺假物使用的化学制品和检测它们的手段,这无疑对分析化学和食品检测方法的发展起了很大的促进作用,同时也大大促进了食品化学的发展。

到了20世纪,随着分析技术的进步及生物化学等学科发展,特别是食品化学工业的快速发展面临着食品加工新工艺的出现、储藏期的延长等需要,食品化学得到了较快发展,有关食品化学方面的研究及论文也日渐增多,刊载食品化学方面论文的期刊也日益增多。随着食品化学的文献日益增多和有关食品化学方面研究的深入及系统性的增加,逐渐形成了食品化学较为完整的体系。

有学者根据国内外文献将食品化学的发展归纳为四个阶段:第一阶段,天然动植物特征成分的分离与分析阶段。该时期是在化学学科发展的基础上,化学家应用有关分离与分析食物的理论与手段,对很多食物特征成分,如乳糖、柠檬酸、苹果酸和酒石酸等进行了大量研究,积累了许多零散的有关食物成分的分析资料。第二阶段,19世纪早期,食品化学在农业化学发展的过程中得到了不断充实,开始在欧洲占据重要地位,体现在建立了专门的化学研究实验室,创立了新的化学研究杂志。与此同时,食品中的掺假日益严重,检测食品杂质的要求成为食品化学发展的一个主要推动力。第三阶段,19世纪中期英国学者绘制了显示纯净食品材料和掺杂食品材料的微观形象的示意图,将食品的微观分析提高至一个重要地位。1871年Jean Baptis M. D. M提出一种观点:仅由蛋白质、碳水化合物和脂肪组成的膳食不足以维持人类的生命。人类对自身营养状况及食品摄入的关注,进一步推动食品化学的发展。

另外,作为谷物加工科学基础的谷物化学,必然随着谷物加工学科的发展而发展,尤其是谷物食品深加工与资源综合利用的发展,必将带动谷物化学中天然食品色素、抗

氧化剂的开发,促进食品营养强化剂、品质改良剂等的研究。目前我国食品工业在国民经济中已发展成为支柱性产业,谷物化学的教学目的是为学生今后从事谷物加工、保藏、安全检测和开发新产品等工作提供宽广的理论基础和基本技术技能。

第二节 谷物化学的研究内容与研究方法

一、谷物化学研究内容

谷物化学是用化学的理论和研究方法研究谷物本质的科学。它通过对谷物的营养价值、质量、安全性和风味特性的研究,阐明谷物的组成、性质、特性、结构和功能,以及谷物成分在储藏和加工过程中的化学和生物化学变化,乃至食品成分与人体健康和疾病的相关性。以上这些构成了这门学科的相关内容。

谷物化学研究的内容包括确定食品的组成、营养价值、安全性和品质等重要特性;食品储藏加工过程中各类化学和生物化学反应的步骤和机制;在上述研究的基础上,确定影响食品品质和安全性的主要因素;研究化学反应的热力学参数和动力学行为及其环境因素的影响等方面。

(1) 研究营养成分的营养价值,呈色、呈香、呈味成分和有害成分的化学组成、性质结构和功能特性。

(2) 研究谷物成分之间在生产、加工、储存、运销中的各类化学和生物化学反应的步骤和机理以及反应历程、中间产物和最终产物及其对食品的品质和卫生安全性的影响。

(3) 研究谷物储藏、加工的新技术,开发新的产品和新的食品资源以及新的食品添加剂等。

(4) 研究谷物中化学反应的动力学行为及其环境因素的影响。

(5) 研究谷物中各种活性物质及其在不同条件下的反应机理,从而达到有效控制它们的目的。

二、谷物化学研究方法

谷物化学的研究方法区别于一般化学的研究方法,它是以揭示谷物复杂体系及该体系在加工和储藏条件下的营养性、享受性及安全性为目的,从而把谷物的化学组成、理化性质及其变化的研究同谷物食品的品质和安全性研究联系起来。

谷物在储藏和加工过程中发生的多种化学和生物化学反应都会影响食品的品质和安全性。这些反应包括非酶褐变、酶促褐变、脂类水解和氧化、蛋白质变性、蛋白质交联和水解、低聚糖和多糖的水解、多糖的合成和酵解以及维生素和天然色素的氧化与降解等。反应类型一般取决于食品的种类、储藏和加工条件,各反应之间相互影响和竞争,使谷物化学研究变得十分复杂。因此,谷物化学研究时,通常采用一个简化的、模拟的谷物食品体系来进行试验,再将所得的试验结果应用于真实的食品体系,从而进一步解释真实的谷物食品体系中的情况。这种方法使研究的问题过于简单化,因此并非都是成功的。这个方法包括三个部分:①测定与食品组成、安全、营养质量及品质等重要特征

相关的性质；②测定那些对食品质量和卫生有重要影响的化学与生物化学反应及机制；③确定影响食品品质和安全性的主要因素，应用于解决食品加工、配制和储藏中出现的各种问题。

谷物化学的试验应包括理化试验和感官试验。理化试验主要是对谷物进行成分分析和结构分析，即分析试验系统中的营养成分、有害成分、色素和风味的存在、分解、生成量和性质及其化学结构；感官试验是通过人的直观检评来分析试验系统的质构、风味和颜色的变化。谷物从原料生产经过储藏、运输、加工到产品销售，每一过程无不涉及一系列的变化。例如，水分活度的改变所引起的变化；激烈加工条件（高热、高压、机械作用等）引起的各类化学成分及成分之间的分解、聚合及变性；氧气或其他氧化剂引起的氧化；光照所引起的光化学变化等。这些变化中较重要的是非酶促褐变、脂类水解及氧化、蛋白质的水解及变性、蛋白质交联、低聚糖和多糖的水解、天然色素的存在状态的改变及降解等。这些反应的发生，有些对提高谷物的营养性、享受性和安全性是必要的，而另一些则需要采取一定的工艺加以控制或防范（表 1-1）。了解这些变化的机理和控制原理就构成了谷物化学研究的核心内容，其研究成果最终将转化为：合理的原料配比，适当的保护或催化措施的应用，最佳反应时间和温度的设定，光照、氧含量、水分活度和 pH 等的确定，从而得出最佳的食物加工和储藏的方法。

表 1-1 谷物加工或储藏中常见的反应及对谷物的影响

常见的反应	实例	对食品的主要影响
非酶褐变	焙烤食品表皮呈色，储藏时色泽变深等	产生适宜的色、香、味，营养损失，产生不适宜的色、香、味和有害成分等
氧化	维生素类的氧化，脂肪的氧化，酚类的氧化等	变色，产生适宜的风味，营养损失，产生异味和有害成分等
水解	脂类、蛋白质、碳水化合物等水解	增加可溶物，质地变化，产生适宜的色、香、味，增加营养，某些有害成分的毒性消失等
异构化	顺-反异构化、非共轭脂-共轭脂	变色，产生或消失某些功能等
聚合	油炸中油起泡沫，水不溶性褐色成分	变色，营养损失，产生异味和有害成分等
蛋白质变性	酶失活	某些有害成分的毒性消失等

参 考 文 献

- 冯凤琴，叶立扬. 2005. 食品化学. 北京：化学工业出版社
 江波，杨瑞金，卢蓉蓉. 2004. 食品化学. 北京：化学工业出版社
 刘英. 2005. 谷物加工工程. 北京：化学工业出版社
 汪东风. 2007. 食品化学. 北京：化学工业出版社
 朱永义. 2002. 谷物加工工艺与设备. 北京：科学出版社

第二章 谷物的种类及其籽粒结构、 化学组分的分布

第一节 主要谷物介绍

一、稻 谷

稻谷 (*Olyza sativa* L.) 在植物学上属禾本科稻属普通栽培稻亚属中的普通稻亚种。稻谷是一种 50~130cm 长的年生性植物, 有的深水型稻谷可长至 5m 高。与大麦和燕麦相同但与其他谷物不同的是, 稻谷的果实收获后同花簇的植物结构不会完全分离。即便在脱粒后, 稻壳与果实也紧紧地靠在一起。目前, 人类共确认出 22 类稻谷, 但是唯一用于大宗贸易的是 *Olyza sativa* L. 类稻谷, 即普通类稻谷。*Olyza sativa* L. 类稻谷又分为很多品种, 每个品种的稻谷原来都只适合于当地人的喜好, 但是所产出的大米经过不同方式的烹饪后正越来越受到世界各地人的喜爱。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。

(一) 稻谷分类

普通栽培稻可分为籼稻和粳稻两个亚种。籼稻粒形细长, 长度是宽度的 3 倍以上, 扁平, 绒毛短而稀, 一般无芒, 即使有芒也很短, 稻壳较薄, 腹白较大, 硬质粒较少, 加工时容易出碎米, 出米率较低, 米质胀性较大而黏性较弱。粳稻则粒形短, 长度是宽度的 1.4~2.9 倍, 绒毛长而密, 芒较长, 稻壳较厚, 腹白小或没有, 硬质粒多, 加工时不易产生碎米, 出米率较高, 米质胀性较小而黏性较强。

根据其淀粉性质的不同, 籼稻和粳稻均可分为糯稻和非糯稻两类。非糯稻含直链淀粉 10%~30%, 其余为支链淀粉, 米质黏性小而胀性大, 其中粳稻米的黏性又大于籼稻米, 色较深, 呈半透明的角质状态, 米质硬而脆, 一般用作主食。糯稻淀粉几乎全部为支链淀粉, 色乳白, 不透明, 呈蜡状, 米质胀性小而黏性大, 其中粳糯米黏性最大, 产量一般较低, 适宜做糕点和酿酒之用。

根据其生长期长短的不同, 籼稻或粳稻又可以分为早稻、中稻和晚稻三类。早稻的生长期为 90~125 天, 中稻的生长期为 125~150 天, 晚稻的生长期为 150~180 天。此外, 根据栽种地区土壤水分的不同, 籼稻或粳稻又可分为水稻和陆稻 (早稻)。

在我国粮油质量国家标准中, 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。

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。

第三类：糯稻谷，按其粒形和粒质分为粳糯稻谷和粳糯稻谷两类。

（二）稻谷综合利用

稻谷是我国重要的粮食作物，它高产、稳产，适应性强，经济价值高，在我国国民经济中占极其重要的地位。除稻米供给我国 50% 人口的主食外，碾成的糠也是畜、禽的良好饲料。在美国，水稻被誉为“最佳减肥食粮”。除了可加工的主产品外，还可将稻谷的主产品及其副产品，如碎米、米糠、胚芽、稻壳、麸皮等应用现代高新技术转化为市场前景广阔的多功能性物质。如米糠含有膳食纤维，有助于排便排除体内毒素，还有降低胆固醇的作用。例如，用米糠提取的米糠油具有较好的生理功能，其营养价值超过豆油和棉籽油，还可用来做人造奶油和酥油等；中医方剂常以“谷芽”（发芽的稻谷）作为健脾、开胃、下气和消气之用，助消化而不伤胃气，且富含维生素 B₁。此外，还可将稻谷副产物加工成淀粉、淀粉基脂肪替代物、低过敏性功能性蛋白、多糖、功能性多肽、活性炭、高模数硅酸钾、戊聚糖等多种食品、药品、化工等工业原料和添加剂。

（三）稻谷的籽粒结构

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。外颖比内颖略长而大；内、外颖沿边缘卷起呈钩状，互相钩合包住颖果，起保护作用。砻谷机脱下来的颖壳称为稻壳或大糠、砻糠。

颖的表面生有针状或钩状绒毛，绒毛的疏密和长短因品种而异，有的品种颖面光滑而无毛。一般籼稻的绒毛稀而短，散生于颖面上。粳稻的绒毛多，密集于棱上，且从基部到顶部逐渐增多，顶部的绒毛也比基部的长。因此粳稻的表面一般比籼稻粗糙。颖的厚度为 25~30 μm 。粳稻颖的质量占谷粒质量的 18% 左右。籼稻颖的质量占谷粒质量的 20% 左右。颖的厚薄和质量与稻谷的类型、品种、栽培及生长条件、成熟及饱满程度等因素有关。一般成熟、饱满谷粒的颖薄而轻。粳稻的颖比籼稻的薄，而且结构疏松，易脱除。早稻的颖比晚稻的颖薄而轻。未成熟谷粒的颖富于弹性和韧性，不易脱除。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。护颖长度为外颖的 1/5~1/4。

内外颖都具有纵向脉纹，外颖有五条，内颖有三条。外颖的尖端生有芒，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，而且米饭膨胀性较小，黏性较大。

2. 颖果

稻谷脱去内、外颖后便是颖果（糙米）。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。糙米米粒表面共有五条纵向沟纹，背面的一条称背沟，两侧各有的两条称米沟。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来说，沟纹处留皮越多，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、肥料等条件的不适宜而造成的。

一般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比较薄弱，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。颖果由果皮、种皮、珠心层、糊粉层（外胚乳）、胚乳、胚等几部分组成。

1) 果皮

果皮是由子房壁老化干缩而成的一层薄层，厚度约为 $10\mu\text{m}$ 。果皮又可分为外果皮、中果皮和内果皮（叶绿层管状细胞）。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、黄化或淡化呈玻璃色。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 $1\% \sim 2\%$ 。

2) 种皮

种皮在果皮的内侧，由较小的细胞组成，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，极薄，为 $1 \sim 2\mu\text{m}$ ，无明显的细胞结构，与种皮很难区分开来。

4) 糊粉层（外胚层）

糊粉层为胚乳的最外层，包裹着整个水稻籽粒，有 $1 \sim 5$ 层细胞，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。稻谷中糊粉层的厚薄及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 $4\% \sim 6\%$ 。在稻谷中有两种类型的糊粉层细胞：一种是围绕着胚的糊粉层细胞；另一种是围绕着淀粉质胚乳的糊粉层细胞。淀粉质胚乳周围的糊粉层细胞呈立方体，内部充满细胞质。糊粉粒和脂肪体是立方体糊粉细胞的两种主要储藏结构。糊粉粒四周有膜，并含有球状体。脂肪体没有膜，是均质的，而且在籽粒受机械损伤后，脂肪体可以相互融合。稻谷的另一种糊粉层细胞分布在胚周围，与小麦的结构一样，称为变性糊粉层。变性糊粉层细胞与其他糊粉层细胞的主要不同点是：变性糊粉层细胞含细胞质较少，呈矩形，脂肪体既少又小，糊粉粒也小，但有大量泡囊和丝状体囊。

5) 胚乳

胚乳细胞为薄皮细胞，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。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，淀粉细胞的间隙充满着蛋白质。填充蛋白质越多，胚乳结构则越紧密而坚硬，这使得米粒呈半透明状，截面光滑平整，因此称这种结构为角质胚乳。若填充蛋白质较少，胚乳结构则疏松，米粒不透明，断面粗糙呈粉状，则称这种结构为粉质胚乳。

6) 胚

胚位于颖果的下腹部，呈椭圆形，由胚芽、胚茎、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，在种子发芽时分泌酶，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储藏。胚与胚乳联结不紧密，在碾制过程中，胚容易脱落。

糙米碾白时，米粒的果皮、种皮、外胚乳和糊粉层等被剥离而成为米糠，果皮种皮称为外糠层，外胚乳和糊粉层称为内糠层。糙米出糠率的大小取决于米糠层的厚度和糠层的表面积。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。

通常稻谷胚乳是硬质且半透明的，但是也有不透明的栽培品系。某些稻谷品种有不透明的区域（称为腹白），这是由胚乳中的空气间隙所引起的。薄壁胚乳细胞紧紧地挤在一起，且具有多角形的复粒淀粉（一粒大的淀粉粒由许多小的淀粉粒所组成）和蛋白质。靠近糊粉层的胚乳细胞中的蛋白质比靠近胚乳中心细胞中的蛋白质多得多。多角形的复粒淀粉可能是在籽粒发育期内由淀粉粒受压复合而成。在禾谷类作物中，稻谷和燕麦是仅有的两种具有复合淀粉粒结构的谷物。单个的稻谷淀粉颗粒是很小的，其直径仅为 $2\sim 4\mu\text{m}$ 。糊粉层由排列整齐的近乎方形的厚壁细胞组成。糊粉层细胞比较大，胞腔中充满着微小的粒状物质，称作糊粉粒，其中含有蛋白质、脂肪、维生素和有机磷酸盐。淀粉细胞由横向排列的长形薄壁细胞组成，其细胞比糊粉层细胞更大，而且越进入组织内部，细胞越大。淀粉细胞纵向长度几乎相等，只是横向有伸长。淀粉细胞胞腔中充满着一定形状的淀粉粒，且越是深入胚乳组织内部的细胞，其中的淀粉粒越大。淀粉粒的间隙中充满着一种蛋白质物质，如果此类物质多，淀粉粒挤得紧密，则胚乳组织透明而坚实，即为角质胚乳；如果此类物质少，淀粉粒之间有空隙，则胚乳组织松散而呈粉状，即为粉质胚乳。米粒的腹白和心白就是胚乳的粉质部分。

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精细结构，如图 2-1、图 2-2 所示。

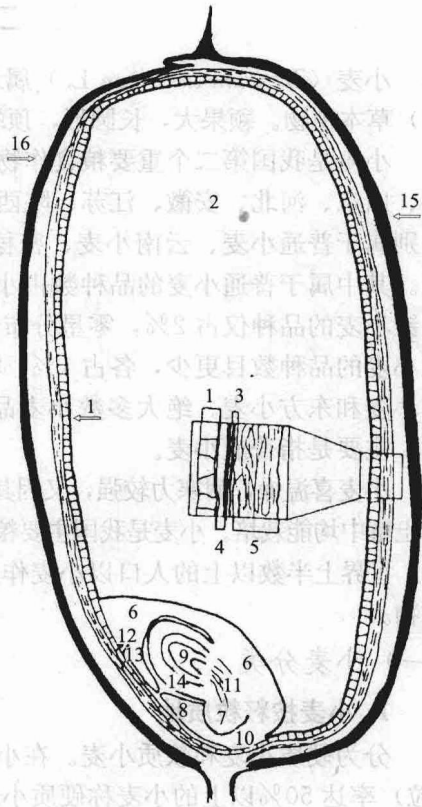


图 2-1 稻谷颖果的纵剖面示意图

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