

全国“粮食工程”专业系列规划教材

# 粮食储藏学

张 敏 周凤英 主编

43



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

全国“粮食工程”专业系列规划教材

# 粮食储藏学

张 敏 周凤英 主编

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书分4篇共11章:第一篇介绍粮食储藏的基本理论,包括粮食及油料的籽粒结构、物理性质、生理特性及粮食储藏的生态系统等内容;第二篇阐述目前粮食储藏管理方面的基本理论和现代化仓储管理技术;第三篇详述当前国内外应用的主要粮食储藏技术,包括常规储粮、低温储粮和气调储粮方法等;第四篇介绍主要原粮及油脂品种的储藏方法。

本书可作为农业、轻工业、商业等高等院校相关专业的本科生、研究生教材,也可供农业、食品、粮食、外贸等领域科研及生产部门技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

粮食储藏学/张敏,周凤英主编. —北京:科学出版社,2010.5

(全国“粮食工程”专业系列规划教材)

ISBN 978-7-03-027318-5

I. ①粮… II. ①张…②周… III. ①粮食-储藏-高等学校-教材  
IV. ①S379

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第072917号

责任编辑:王国栋 席慧 / 责任校对:朱光光

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>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2010年5月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年5月第一次印刷 印张:19 1/2

印数:1—3 000 字数:462 000

定价:34.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

“粮食储藏学”是粮食储藏与检验专业的主要专业课，是建立在生物化学、微生物学、谷物概论、昆虫学、食品工程原理以及粮仓机械等多种学科基础上的应用科学。本书主要介绍粮堆的物理、生理和生态方面的基本知识，讲解粮油储藏品质的变化及其规律，并介绍在掌握各种粮油储藏技术规范与措施和各种粮油储藏特性与储藏方法的前提下，如何正确运用干控、温控、气控等综合技术措施，以增强粮油储藏的稳定性，减少储藏损耗，控制品质的变化。

本书的内容基本反映了目前行业现状和发展水平，编者在编写过程中力求根据粮油储藏的变化、发展情况，突出实践环节，使现阶段新技术、新变化在书中有所体现。

本书是粮食工程专业的一门必修专业课教材，采用章节式体例编写。全书分4篇共11章：第一篇（第一章至第三章）介绍粮食储藏的基本理论，包括粮食及油料的籽粒结构、物理性质、生理特性及粮食储藏的生态系统等内容；第二篇（第四章和第五章）阐述了目前粮食储藏管理方面的基本理论和现代化仓储管理技术；第三篇（第六章至第九章）详述了当前国内外应用的主要粮食储藏技术，包括常规储粮、低温储粮和气调储粮方法等；第四篇（第十章和第十一章）介绍了主要原粮及油脂品种的储藏方法。

本书的编写分工如下：绪论部分、第十一章由张敏执笔；第一章和第十章由刘荣执笔；第二章和第八章由王鹏执笔；第三章和第四章由王玉军执笔；第五章由张敏和王玉军共同执笔；第六章、第七章和第九章由周凤英执笔。感谢所有为本书出版提供大力支持和帮助的同志，并向所有参考文献的作者表示感谢！

本书语句流畅，深入浅出，通俗易懂，引入当代先进的储粮理念和技术，不仅可作为农业、轻工业、商业等高等院校有关粮食储运、食品科学、粮食物流等专业本科生、研究生教材，也可供农业、食品、粮食、外贸等领域科研人员及生产部门技术人员参考使用。

由于编者的水平和时间的局限，书中可能存在某些错误或不妥之处，恳请广大读者批评指正，以便改正！

张 敏  
东北农业大学  
2010年1月

# 目 录

## 前言

|    |   |
|----|---|
| 绪论 | 1 |
|----|---|

## 第一篇 粮食储藏基础

|                    |    |
|--------------------|----|
| 第一章 粮食采后生理         | 7  |
| 第一节 粮食的籽粒结构和化学组成   | 7  |
| 第二节 籽粒的呼吸作用        | 18 |
| 第三节 粮食的休眠与萌发作用     | 25 |
| 第四节 粮食的后熟与陈化作用     | 28 |
| 第五节 粮食储藏中的品质变化     | 33 |
| 思考题                | 37 |
| 第二章 粮堆的物理性质        | 38 |
| 第一节 粮食的物理指标        | 38 |
| 第二节 粮食的流散特性        | 41 |
| 第三节 粮堆的热特性         | 48 |
| 第四节 粮食的吸附特性        | 50 |
| 思考题                | 62 |
| 第三章 储粮生态系统         | 63 |
| 第一节 储粮生态系统的组成与特征   | 63 |
| 第二节 储粮生态系统的变化      | 67 |
| 第三节 储粮生态系统的控制与人工调节 | 77 |
| 第四节 粮食储藏中的害虫       | 87 |
| 思考题                | 91 |

## 第二篇 粮食储藏管理

|                |     |
|----------------|-----|
| 第四章 粮仓及仓容的计算   | 92  |
| 第一节 粮仓及其分类     | 92  |
| 第二节 粮仓的构造及性能   | 95  |
| 第三节 仓容的计算      | 104 |
| 思考题            | 106 |
| 第五章 粮油仓储管理     | 107 |
| 第一节 粮油出入库管理    | 107 |
| 第二节 粮油的堆放管理    | 110 |
| 第三节 储粮品质控制与管理  | 115 |
| 第四节 粮情检测       | 124 |
| 第五节 粮食仓储计算机的应用 | 133 |

|          |     |
|----------|-----|
| 思考题..... | 141 |
|----------|-----|

### 第三篇 粮食储藏技术

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| <b>第六章 储粮通风与密闭</b> ..... | 142 |
| 第一节 自然通风.....            | 142 |
| 第二节 机械通风技术.....          | 144 |
| 第三节 储粮常规密闭.....          | 165 |
| 第四节 通风及密闭储藏的管理.....      | 167 |
| 思考题.....                 | 169 |
| <b>第七章 粮食干燥</b> .....    | 171 |
| 第一节 粮食干燥基础知识.....        | 171 |
| 第二节 机械干燥技术.....          | 178 |
| 第三节 晾晒干燥.....            | 188 |
| 思考题.....                 | 190 |
| <b>第八章 粮食的低温储藏</b> ..... | 191 |
| 第一节 低温储藏概述.....          | 191 |
| 第二节 低温制冷原理与设备.....       | 194 |
| 第三节 低温粮仓的隔热技术.....       | 202 |
| 第四节 低温储藏的管理.....         | 214 |
| 思考题.....                 | 221 |
| <b>第九章 粮食的气调储藏</b> ..... | 222 |
| 第一节 气调储藏概述.....          | 222 |
| 第二节 密封工艺.....            | 224 |
| 第三节 气调技术.....            | 229 |
| 第四节 气调储藏的管理.....         | 235 |
| 第五节 “双低”储粮及“三低”储粮.....   | 236 |
| 思考题.....                 | 240 |

### 第四篇 粮食储藏各论

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| <b>第十章 谷类粮食的储藏</b> .....     | 241 |
| 第一节 稻谷和大米的储藏.....            | 241 |
| 第二节 小麦和面粉的储藏.....            | 251 |
| 第三节 玉米的储藏.....               | 259 |
| 第四节 其他粮食的储藏.....             | 262 |
| 思考题.....                     | 269 |
| <b>第十一章 植物油料与油脂的储藏</b> ..... | 270 |
| 第一节 植物油料与油脂的储藏特性.....        | 270 |
| 第二节 主要植物油料的储藏.....           | 279 |
| 第三节 植物油脂的储藏.....             | 294 |
| 思考题.....                     | 298 |
| <b>参考文献</b> .....            | 299 |

# 绪 论

## 一、粮食储藏的概念和范畴

粮食属于生产不均匀而消费均衡的关系国计民生的重要物资，这就需要在生产丰盛的时候对其进行合理储存保管，有需要的时候将之逐渐投放市场从而维持粮食供求的均衡性，这就是通常意义上的粮食储藏。粮食储藏学就是研究粮油储藏原理及储藏技术与设施的一门应用科学。

粮食从一个收获年度到下一个收获年度，必须有一定的储备量，以保障市场供应；同时，要考虑灾荒和战争的发生，还应增加储备。但一个国家的总储备量，是由许多复杂的政治因素及经济因素所决定的，由此看来粮油储藏对任何一个国家，无论是发达国家还是发展中国家，无论是过去、现在，还是将来，都是必然的。

粮食储藏是整个粮食流通领域中一个重要环节，粮食仓储技术则对粮食的数量和质量影响极大。粮食仓储技术是指在粮食储藏全过程对储藏主体及所处环境进行治理、优化的方法与手段。仓储技术效果的优劣，不仅取决于现有粮食仓储技术水平的高低，而且取决于粮食仓储技术水平发挥的好坏。粮食仓储技术管理则是通过群体作用、社会人力资源作用等，对仓储技术实施计划、控制、协调、监督等行为，使其达到合理、准确、有效、经济。因此粮食仓储技术是集农业、生物、建筑、环境保护、化工、机械、仪器仪表及计算机技术等多学科为一体的系统工程，其主要包括粮食仓储设施与方式、储粮技术及其支撑平台、仓储设备等。

## 二、粮食储藏在国民经济中的地位和作用

近年来，我国粮食年均产量在 5000 亿 kg 左右。其中，35% 由国家收购，分别储存在国家储备粮库、地方粮库和粮食加工企业粮库；农户储粮约占粮食年总产量的 65%。全国每年由于霉变、虫害和鼠害造成的粮食损失约为总产量的 3%，折合为 150 亿 kg。其中，霉烂粮食达 75 亿 kg，按人均每年 250kg 口粮计算，相当于 6000 万人一年的口粮。因此，发展粮食仓储技术具有重要的现实意义。

我国自古以农立国，是崇尚农业的民族，“国家大本，食足为先”，粮食被视为天下之大命的重要物资，在安定人心、抵御灾荒、平抑粮价、调节丰歉、恢复生产和繁荣经济等方面起着举足轻重的作用，是封建财政后备的重要内容和封建国家赖以生存的物质基础，历朝历代无不把它摆在治国安邦的重要位置。但是，在这样一个以自给自足经济为基础的、农业生产技术长期处于比较落后状态的国度里，如何在粮食供给有限的情况下，保证人们吃饭问题始终是国家统治者和普通老百姓关心的主要问题，由此，也形成了古代社会重视粮食储藏的优良传统。《礼记·王制》说：“国无九年之蓄，曰不足；无六年之蓄，曰急；无三年之蓄，曰国非其国也”。由于自然和技术条件的限制，封建国家要保持九年、六年之蓄是一种奢望，保持三年之蓄也不可能，但强调国家必须保持足

够的粮食储备,以保证国家安全的观点则值得重视。汉代晁错在《论贵粟疏》中又明确提出了粮食储备的指导思想:“备水旱”,“民可得而有也”,就是说,一是备荒备灾,二是稳固统治阶级的统治地位,使其能够保其民众,社会安定,粮食储备已由纯粹的生命需要转变为浓厚的政治色彩。从中不难窥见古代的重储思想。

### 三、国内外粮食储藏的发展现状和趋势

#### 1. 我国粮食储藏的历史

我国粮食储备的历史十分悠远。早在甲骨文中就有关于粮食储藏的记载,当时奴隶主已高度重视粮食储存,修筑了大量的仓储设施,制定了详细而完善的管理制度。夏朝,仓储制度就正式成为国家的一项重要财政制度。自周代开始的历代王朝不仅重视中央仓储的建设,也注重在地方兴仓储粮,仓储制度渐趋成熟,仓储规模不断扩大。秦汉时期由于铁器的普遍使用,农业生产有了很大发展,粮食储备也达到了一个新水平,明确提出了粮食储备的指导思想,汉代是粮食仓储制度趋于成熟的时代。汉高祖七年(公元前200年)开始营建新都长安,首批重点建设工程就包括太仓。除太仓外,中央直接管理的粮仓还有位于甘泉的甘泉仓、华县的华仓、左缴附近的细柳仓和嘉仓等。此外,郡、县两级另有常设之仓,各诸侯国、军队特别是边防兵系统也建立了粮仓。而汉宣帝时耿寿昌倡立的常平仓制度,更成为后世封建王朝沿用的主要仓储制度。至隋代时粮食仓储更具宏大规模,当时广置仓储,普遍兴建义仓,并劝令百姓人等输粟储仓,史称“资储遍于天下”。到唐朝,粮食仓储管理制度在总结历朝历代仓储管理经验教训的基础上,把仓储管理之制推上了一个比较完善的水平。宋代以后,历代王朝更为重视粮食储备,公私储粮蔚然成风,并通过垦荒屯田、调整税粮征收政策扩大粮食积累,加大粮仓监察力度,强化粮库管理等方面都有很大进步。

自新中国成立以来,党和政府对粮食工作非常重视,粮食产量不断增加。20世纪50年代初国家投资兴建了一批苏式平房粮仓,粮食储藏标准化工作逐步深入开展,原粮食部从1955年开始开展的“四无”粮仓活动,在“无虫、无霉、无鼠雀和无事故”安全储粮技术的基础上,制定了“四无粮仓”的标准及相关规定,之后进行了三次修订,使粮食的安全储藏保管得到了保证,全国出现了大批的“四无粮仓”,减少了粮食储藏的损失。还先后发布了《国家粮油仓库机械管理办法》等一系列粮油仓储方面的管理办法。

改革开放前,我国的国家粮库和地方粮库的粮仓类型主要为混凝土筒仓、混凝土房仓、砖房仓、土圆仓及粮袋垛等,民间粮仓仍以土圆仓、房仓、柜、箱及粮袋垛等为主。改革开放后,政府非常注重对国有粮食仓储设施的建设、维护和改造,粮食仓储条件逐步改善。我国粮油储藏标准化也上了一个新的台阶,原粮食部、商业部组织国家级粮食科研院所科技人员,一方面根据粮油储藏设施和技术的发展,原有粮油仓储管理办法等进行了完善、修订;另一方面制定出台了配套的粮油仓储技术和管理办法。先后制定发布了《储粮虫霉鼠雀防治办法》、《粮油储藏技术规范(试行)》、《“四无粮仓”和“四无油罐”的若干规定》、《“四无粮仓”和“四无油罐”评定办法》、《〈“四无粮仓”和“四无油罐”评定办法〉的补充规定》、《国家粮油仓库管理办法》、《国家粮油仓库仓储

设施管理办法》等多个粮食储藏管理办法和技术标准规范。这些管理办法和技术规范的实施,使粮油安全储藏得到了保证。

20 世纪 80 年代初,黑龙江迎春机械厂、庆安钢铁厂等相继开发了波纹板装配式金属筒仓;1984 年,安阳利浦筒仓工程公司从德国引进利浦筒仓技术并开始生产与组装。从此,国际上普遍采用的两种金属储存仓型在我国有了较大的发展,且具备了数百个规格,累计建造仓容超过 700 万  $\text{m}^3$ 。

1998 年、2000 年与 2001 年,我国政府利用国债资金先后三次大规模投资建设了一批设备先进与技术含量高的粮食仓储设施,使国家储备粮库总库容达 500 亿  $\text{kg}$ ,并拥有一批 5 亿  $\text{kg}$  以上仓容能力的大型库点。长期以来因仓容不足影响粮食流通的局面得到有效缓解,为粮食的安全储存创造了良好的条件。与此同时,还兴建了一批与粮库相配套的铁路专用线和铁路罩棚仓,发展了相当数量的火车散装车厢等。在采用了低温储粮、环流熏蒸、粮情测控、机械通风等四项新技术,配备了相应的储粮设备,国家粮食局组织有关专家在经过反复研究、试验、使用验证的基础上,对几项粮食储藏技术规范修改完善成为粮食行业标准,主要有《磷化氢环流熏蒸技术规程》、《储粮机械通风技术规程》、《粮情测控系统》、《谷物冷却机低温储粮技术规程》,在广泛推广实施后,对保证储备粮质量发挥了很大的作用。还有一些原国家粮食储备局等部门发布实施的有关粮食储藏技术规程等正在逐步由试行、修改完善转化为行业标准之中,主要有《粮油储存判定规则》、《高大平房仓储粮技术规程》、《浅圆仓储粮技术规程》等。

新中国成立 60 年来,伴随仓储设施发生根本变化的同时,我国不断加强同国外的技术合作交流,通过引进、消化,自主开发了一批先进、实用的储粮技术及配套设备,并进行推广和产业化应用。除了环流熏蒸、机械通风、粮情监测和谷物冷却等常规储粮技术进一步提升外,“十五”后期,低温储粮和气调储粮等绿色环保型技术在国家大型粮库得到试验示范和推广应用。其中,玉米真空干燥技术、太阳能低温储粮技术、霉菌监测技术及微生物活性快速检测技术等也都有较大的突破,储粮整体技术水平接近国际先进水平。另外,以计算机为核心的高新技术在粮食仓储上的成功应用为实现粮食仓储现代化提供了重要的技术手段和支撑。

## 2. 国外粮食储藏情况

相较我国的国家储备、地方储备和农户自储的储粮系统,各国都有各自不同的粮食储备管理体系。

美国的粮食储备是通过商品信贷公司 (Commodity Credit Corporation, CCC) 的企业进行的,该公司受政府的委托,负责全国范围内的两级储备粮的管理,一级是国家储备,由政府委托商业信贷公司来完成,二级是农场主拥有的储备,即由政府向农场主支付一部分储存费,使农场主暂时把收获的粮食储备起来,等待有利的销售机会。近年来一级储备逐渐减少,而二级储备粮量则不断增加。农场主参加储粮必须与商品信贷公司在各地分支机构签订合同,商品信贷公司按合同规定的数量向农场主支付储藏费用和低息,只有当市场粮价高于政府规定的销售价并报政府,得到批准后农场主方可出售储备粮。

加拿大联邦政府以及各省政府对谷物业不是直接管理,而是通过农业部门对谷物业

进行扶持,主要做法是提供技术、信息和财力的支持,同时引导生产者根据国际需要的变化调整结构,积极扶持出口来发挥作用。加拿大对谷物公司经营谷物的粮库有严格的审批条件,《加拿大谷物法》规定,申请经营粮食的条件是:首先必须有公司注册条件,申请人打算使用的仓房要适合谷物储藏和装卸,粮食的类型、状况、配套设施必须符合条件,申请者能够提供基本的技术服务;其次申请人应提供经审计的财务证明,即申请人必须有一定的财力,并要以保证书、保险或其他方式提供足够的担保,粮仓储存的谷物都必须全额保险。加拿大粮食管理具体操作者系农村收购站、粮食中转站、粮食终端站。这三级粮食作业单位全部归私人所有,并实行自由经营,自负盈亏。

欧盟的粮食储备体系由三级(即收纳库、中转库、加工厂原料库)所组成。欧盟一些粮食主产国以及加拿大、澳大利亚、阿根廷、巴西这些产粮大国,粮食储备量都很低,他们生产的粮食主要靠世界市场来吸收大部分余粮。例如,阿根廷粮食储备量仅占世界储备量的1%,加拿大粮食储备量也仅占世界粮食储备量的5%,澳大利亚粮食储备量也仅占世界粮食储备量的3%。

巴西政府避免国家粮食库存过多,把粮食库存量确定在全国一个月的粮食消费量,巴西每年粮食储备量也仅占本国产量的2.6%。

法国的粮食购销、出口、粮价均由农业部所属国家粮食局(Office National Interprofessionnel des Grandes Culture, ONIGC)负责。法国政府规定,经营粮食者必须有储存设施(如仓库、搬运、烘干、杀虫、通风设施)和安全检测设备,经营者必须保证粮食储藏质量。

德国的粮食管理主要由德国农业市场管理局负责,其主要任务是保障供应,储备和调拨粮食、饲料等货物,并为改善市场流通、探索和试验新方法进行系统管理。

英国、瑞典都设有负责粮食管理的政府机构,主要职能:一是负责本国粮食政策的协调、制定和实施,对粮食流通进行行政管理;二是负责欧盟共同农业政策的贯彻和农业补贴的落实。

日本政府对国家储备粮的管理高度重视,称储备粮为政府米。储备粮数量的确定,按照日本近15年中最大欠收减产量的2倍作为储备量,如最多的1年欠收0.75Mt,储备总量为1.5Mt。目前,日本的国家储备粮为1.5~2Mt,2000年库存1.72Mt,其中政府库存1.62Mt,民间库存0.1Mt,每年购销0.5Mt,4年全部轮换1次。

日本国家储备粮由各地粮食事务所管理。仓库由财政出钱修建,储备粮全部储存糙米,实行15℃低温或20℃准低温储存,仓库空调用电实行国家最低价格,约为市价的1/4,国家粮库可对外储存,收取费用。日本大米的价格由其营养成分确定,国家储备粮最长储藏4年,为了减少粮食品质下降,大米全部采用低温储藏,糙米采用准低温或低温储藏,并定时检测大米的营养成分。储备粮售价与市场价之差由财政弥补。

印度管理粮食的政府机构是共和国居民用品供应部,该部下设粮食、油脂两个平行的公司分管粮、油。粮食公司有5人组成的协调委员会,类似董事会,是管理和经营的决策机构,公司分设计划、购销、储藏、联络等部。全国有6800个粮食收购中心。

国外农业发达国家粮食大部分在生产的当年就进入了消费市场,粮食在农户或粮食仓储企业最多储存一年的时间。例如,美国20世纪90年代,生产的小麦、大米总量的

50%用于出口,当年生产的粮食基本在本年度消费或出口,农场或商业性储备的最长周期仅仅为一年。其他农业发达国家如法国、英国、德国、加拿大等国也基本相似。所以,粮食收获后储藏保管相对于我国的粮食储备工作就比较简单,即使这样,这些国家还是重视粮食储藏。各国的粮食储备量及粮库仓房类型也存在较大差别。

欧盟粮食储藏量约为19.3Mt,其中8.5Mt在德国,7.3Mt在法国,还有一部分在其他成员国。欧盟的收纳库多属私营或农业合作社。法国、德国的收纳库以平房仓为主,每座收纳库仓容为0.03~0.06Mt,单仓仓容一般在7kt以下,收纳库一般都有自动接收、发放的现代化装置,形式多为平房仓,但内部分割成方形单仓,故也称格子仓,这类仓型便于谷物按品种、质量分别入仓,也有钢板仓,单仓仓容500~1000t。中转库常以立筒库群为主,也有平房仓,具有自动化装卸、计量、粮温检测、除尘等设备。中转库规模较大,尤其是法国4大港口库、荷兰鹿特丹港口库、德国汉堡的NHG港口库,仓容都在0.1~0.2Mt,仓型以钢筋混凝土立筒库为主,近年来钢板仓在中转库中采用也增多。

在欧洲,由于粮食储藏时间一般较短,不进行长期储藏,储粮周期不超过半年,最长的不超过2年。法国粮食储藏期一般为1.5~2年,在480d内粮食保管费用政府每天16.2美元/t补贴,超过480d按每天13.3美元/t补贴。

美国的粮库基本上分为4类,即产地粮库、储备库、中转库和粮油加工厂原料库及成品粮库。产地粮库分布在粮食产区的各地,规模以中、小型为主,粮库功能较齐,可按照粮食的种类接收,具有清理、品质检测、干燥和包装等功能,储粮技术以机械通风法为主,仓型以钢筋混凝土立筒库和钢板仓为主。储备库单仓较大,设备齐全,不仅有清理去杂、精选、干燥、分类、品质检测等功能,还有自动熏蒸杀虫的设备。仓型以钢筋混凝土立筒仓和平房仓为主。中转库(港口库)一般都建在港口和内河码头,这些库都配有散装、散卸及大型作业设备,仓型以立筒仓和钢板仓为主;原料库及成品粮库,原料库以钢筋混凝土筒仓和钢板仓为主,成品粮库以低温仓为主。美国储粮周期在1年以内,但最长的也有3年。

澳大利亚的粮仓,除了农场主自备库外,90%掌握在小麦局手中,而主要承担粮食进出口任务的港口库,则全部掌握在小麦局手中,以前小麦局的粮库,多半是由联邦政府或各州政府投资兴建,而现在则主要靠小麦局的自有资金进行维护和建新库。小麦局粮库的收购半径是25~30km,农场主要用卡车将小麦送到粮库,并检验品质定级等。农场主自备库仓容一般在500~1000t,大型库也不超过3000t,而小麦局所属的中转库和港口库,仓容为0.03~0.2Mt。

澳大利亚中央散粮流通系统约有900个收纳库,服务于17个港口库,中央散粮流通系统仓容约有34Mt,港口库仓容8Mt;总仓容与每年平均的粮食产量之比约为1.4:1,粮食收获后,在6~8周内送往中央散粮系统。澳大利亚的粮食在农场收纳库中储存不超过半年,而转到中转库后,储存期也不超过半年,总储存期不会超过1年。

澳大利亚粮库的仓型主要有4种:平房仓,通常是长方形或方形,钢板或钢筋混凝土结构,墙高6m,屋顶为波纹钢板,单仓仓容1.0~4.0kt;立筒仓,钢板或钢筋混凝土结构,安装有配套机械化进出口设备,单仓容量1.5~4.0kt;浅圆仓,H/D约为

1/2, 钢板或钢筋混凝土结构, 单仓仓容为 5.0~15kt, 带有出仓输送设备; 土堤仓, 单仓仓容为 10~100kt。澳大利亚规定小麦水分降到 12% 方能入库, 由于水分低, 储藏期短, 澳麦在库内很少长虫发霉。

印度有 2200 个粮食储藏点, 国家储粮 25Mt, 其中 10Mt 储藏在仓内, 另 15Mt 露天储藏, 7 个地区有立筒库 17 座, 储粮 0.45Mt, 立筒库粮食进出系机械化作业。印度的仓型以房式仓为主, 粮食的进出仓仍以人工为主, 有铁路专用线。

### 3. 我国粮食储藏的现状与发展趋势

经过多年的努力, 我国粮食仓储技术有了很大发展, 取得了很大成就, 有些方面已达到世界先进水平。但是就整体而言, 我国粮食仓储技术与发达国家相比, 在仓储设施、储粮技术、流通方式、管理理念、管理成本以及综合经济效益等方面仍然有一定的差距。

(1) 目前国内粮库仓型仍以平房仓为主。平房仓虽适于长期储存, 却不利于粮食中转调运, 制约着粮食流通的效率。另外, 国内粮库库点分布结构不合理, 形成主要依托粮食产区而建的基本格局。由于受铁路等交通设施的限制, 大量粮食不能及时运到销区, 使主销区的粮食需求不能及时得到满足。

(2) 粮食储运技术发展不平衡、相对滞后, 影响着粮食仓储产业的发展。例如, 散粮装卸运输技术还依赖跟踪模仿, 原始创新能力差, 技术水平比较落后; 散粮装卸机械配备不足, 仅有不到 5% 的粮库配置该设施, 且具备散粮机械化作业的立筒库及浅圆仓仓容比例偏小。

(3) 国内在气调储粮、高水分粮食处理和虫霉防治等储粮方面虽有新技术、新方法不断涌现, 但对这些新兴技术仍需继续探索试验, 逐渐完善与之相配套的工艺方案与技术装备。

粮油在整个储藏过程中的污染问题, 是影响储粮品质的主要因素。从传统的常规熏蒸到新型的环流熏蒸, 都不可避免地造成储粮与各种有毒化学制剂的接触; 而在储藏粮油中, 微生物代谢产物和分泌的毒素等以及防霉、防腐剂的应用也会给粮油带来卫生污染和品质的下降。在粮油储藏中运用生态学知识, 综合考虑粮堆生态系统中各成分间的关系, 通过控制粮堆中的非生物环境因素进行安全储粮, 是目前国内外的常用储粮技术。机械通风储藏、谷物冷却机低温储藏及气调储藏等新型科学的储粮技术都是通过控制粮堆中的温度、湿度或气体等环境因素实现安全储粮的。这些储粮技术在解决储存粮油的保质、保鲜、绿色无污染等方面, 有其独到的优越性。但毕竟也有局限性: 通风储藏受到自然气候环境条件的制约; 谷物冷却机低温储藏费用较高, 投资较大; 气调储藏由于对仓房或粮堆的气密性等技术要求较高。就我国目前的经济条件, 低温和气调储藏仅在一些中央直属储备库中应用, 在一般的地方粮库推广和普及还受到一定限制。

通过充分利用粮堆生态系统中各生物之间的关系, 控制粮堆中的有害生物, 增进储粮稳定, 防止储粮污染, 降低储粮费用, 对未来储粮将有良好的预期。在粮堆生态系统中, 粮堆各生物之间的关系建立在种内和种间的营养联系和信息联系的基础之上。根据这种关系, 采用生物防治的方法控制储粮害虫、增进储粮稳定、防止污染应作为储粮技术发展的新思路。

# 第一篇 粮食储藏基础

## 第一章 粮食采后生理

### ► 本章内容要点

1. 了解粮食的籽粒结构和化学组成。
2. 掌握粮食采后的主要生理作用过程，包括呼吸作用、休眠与萌发作用、后熟作用及老化等。
3. 了解粮食储藏过程中的品质变化。

粮食收获后，与母体植株脱离，其生命活动发生改变，由以同化或合成为主的新陈代谢活动变为以异化或分解为主的新陈代谢活动，但无论如何改变，粮粒生命活动从未停止，仍为活的有机体。活的有机体即使处于休眠或干燥状态下，其生命活动仍不停止，进行着生理生化变化。这些变化是维持活细胞生命最基本的新陈代谢，对粮食的储藏稳定性有着直接影响。因此掌握籽粒在一定条件下的新陈代谢规律，对设立适宜贮存条件，制定正确的储藏技术具有重要的指导意义。

## 第一节 粮食的籽粒结构和化学组成

### 一、粮食籽粒的结构

粮食储藏与加工主要研究的对象是谷物的籽粒，为了准确地掌握储藏技术和合理的加工方法，首先必须对谷物籽粒的构造有充分的了解。农作物籽粒的结构因作物种类、品种不同而有很大的差异，但从植物形态角度进行观察和研究，则绝大多数籽粒的结构，基本上具有共同之处，即每颗籽粒都由皮层、胚和胚乳三个主要部分组成。

#### 1. 皮层

皮层是包围在胚乳外部的保护构造，其组织的层次与厚薄、结构的致密程度、胞壁的厚度状况以及细胞所含的各种化学物质（如单宁、色素等）都会在不同程度上影响到籽粒与外界环境的关系，因而对籽粒的休眠、寿命、发芽、籽粒预措及干燥过程等均可发生直接或间接的作用。皮层的表面状况（光滑程度、茸毛有无等）可以作为籽粒清选和加工时选择操作方法和使用工具的依据，而皮层上的花纹（斑纹及网纹）、茸毛颜色

等特点，可用来鉴别作物的不同种类和不同品种。

## 2. 胚

胚是籽粒最主要的部分，通常是由受精卵发育而成的幼小植物体，各类籽粒的胚因各部分的构造与发育程度不同，其形状各异，但所具备的基本器官完全相同，一般可分为胚芽、胚轴、胚根和子叶 4 部分。

总体来说，胚是籽粒最主要的部分，其中胚、胚轴和胚芽是构成胚的基本器官，以后发芽成长为新植株——幼苗；胚根、胚轴和胚芽合称为胚中轴或胚本部。子叶一般是过渡性构造，仅在发芽期间起了提供养料和传递养料的生理机能，待幼苗成长，就逐渐解体消失，但有少数作物的子叶也能保持到植株成长以后，如棉花、大豆。

## 3. 胚乳

胚乳按来源不同分为外胚乳和内胚乳两种。由珠心层细胞直接发育而成的，称为外胚乳；由胚囊中受精极核细胞发育而成的，称为内胚乳。有的胚乳在籽粒发育过程中被胚吸收而消耗殆尽，仅留下一层薄膜，因而成为无胚乳种子。在无胚乳种子中，营养物质主要储藏在子叶内，如豆科、葫芦科、蔷薇科及菊科植物籽粒。在有胚乳种子中，一般内胚乳比较发达，如禾本科、茄科、伞形科等植物种子，仅有少数植物籽粒的外胚乳比较发达，如藜科、石竹科等植物籽粒。胚乳的营养对幼苗健壮程度有着重要的影响。

## 4. 主要作物籽粒的形态与结构

### 1) 小麦和大麦

普通小麦的籽粒不带稃壳（裸粒），由皮层、胚乳和胚三部分组成。籽粒的腹面有一纵沟，称腹沟。胚在籽粒背面的基部，在籽粒的另一端有茸毛。小麦腹沟的宽狭、深浅以及茸毛的疏密状况，都可以作为鉴别品种的依据。

小麦的果皮由表皮、中层、横细胞、内表皮等组成。表皮细胞长形，具角质，顺着纵轴排列，这层细胞在籽粒的顶端形成茸毛，其长短因品种而不同。中层具 2 或 3 列细胞，细胞壁的厚度增加不均匀，细胞间有明显的空隙，分布气孔遗迹，此层细胞在籽粒成熟的前期，对气体交换起很大作用。中层以下有一列长形细胞顺着种子横轴排列，称横细胞层，胞壁薄厚不均匀，在籽粒发育初期时细胞内含有淀粉粒和叶绿体，随着成熟度提高，叶绿体消失，此层即失去光合作用能力，淀粉粒则向内部转移，细胞中充满空气。内层的果皮与水稻一样，也是管状细胞层，顺着籽粒纵轴排列。小麦的种皮分内外两层，外层透明，内层存在色素，色素层的厚薄决定种子颜色的深浅。这两层均系长形的薄壁细胞组成，形状整齐，与籽粒的中心轴略成角度。种皮以下为不透明细胞组成的膨胀层，属外胚乳，其内部为内胚乳。内胚乳的外层是由近方形的较大的细胞组成的糊粉层，细胞内充满了混有油滴的蛋白质。此层在小麦中仅 1 列细胞，而在靠近胚处，则完全消失，在腹沟处可有数列细胞。

糊粉层内部为内胚乳的淀粉层，由大型薄壁细胞组成，细胞具各种不同的形态，内部充满了各种大小不同的淀粉粒，淀粉粒的间隙中含有蛋白质。淀粉粒与蛋白质结合的牢固程度，在普通小麦与硬粒小麦之间区别明显，硬粒小麦的淀粉粒与蛋白质结合得特别牢固。

小麦的胚部形态与水稻相似，但胚芽与胚根在一直线上，胚部占整个籽粒的比例比水稻的大，如图 1-1 所示。

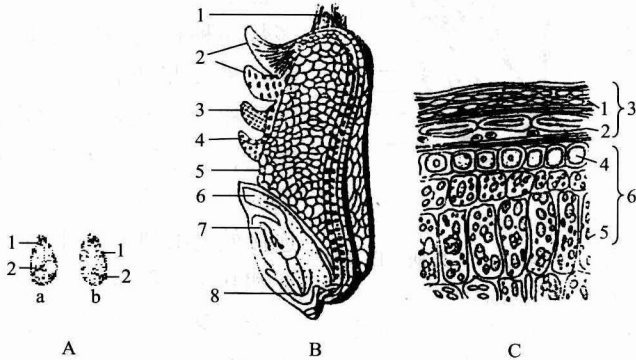


图 1-1 小麦籽粒结构

A. 籽粒外形：a. 腹面：1. 茸毛；2. 果毛；b. 背面：1. 果种皮；2. 胚部。B. 籽粒纵剖面：1. 茸毛；2. 果毛；3. 种皮；4. 胚乳糊粉层；5. 胚乳淀粉层；6. 盾片；7. 胚芽；8. 胚根。C. 籽粒横剖面：1、2、4 皮层；3. 色素层；5. 胚乳糊粉层；6. 胚乳淀粉层

大麦籽粒的性状和小麦很相近，但因品种类型不同，在形状、大小等方面区别较大，一般二棱大麦的粒形大于四棱和六棱大麦，而且籽粒较为饱满，籽粒大小均匀；四棱大麦的大小很不整齐；六棱大麦的籽粒大小虽较整齐，但明显较小，千粒重远低于二棱和四棱大麦。

大麦籽粒的解剖学结构与小麦基本相同，但小麦的糊粉层仅 1 层细胞，而大麦有 2~4 层。大麦糊粉层的色泽因品种而不同，某些品种为蓝色，而另一些品种呈白色。

## 2) 玉米

玉米籽粒的基本构造与上述两类作物相同，但籽粒大小却相差悬殊。栽培玉米的籽粒是个完整的颖果，果种皮紧贴在一起不易分离，在籽粒上端的果皮上可观察到花柱遗迹（一般在邻近胚部的胚乳部位的果皮上）。玉米的胚特别大，约占籽粒总体积的 30%，占总重量的 10%~14%；透过果种皮，可清楚地看到胚和胚乳的分界线。

玉米籽粒的基部有果柄，但有时脱落，不连在籽粒上，在籽粒基部的果柄脱落处呈褐色，这是由于该部位存在基部褐色层（或称基部黑色层）。充分成熟籽粒的基部褐色层色素累积，颜色明显，因此可以作为籽粒成熟的重要标志。

玉米籽粒的形态在类型和品种之间存在很大差异，而且同一果穗上的籽粒，由于着生部位不同，其籽粒大小及粒形的差异也很显著。玉米籽粒的颜色有多种，总的可分为白色系统、黄色系统及紫色系统三类。

玉米的角质胚乳和粉质胚乳中淀粉粒具不同的形态，角质胚乳中的淀粉粒为多角形，而粉质胚乳中的淀粉粒呈球形，如图 1-2 所示。

## 3) 大豆

成熟的大豆种子只有种皮和胚两部分，是典型的双子叶无胚乳种子。

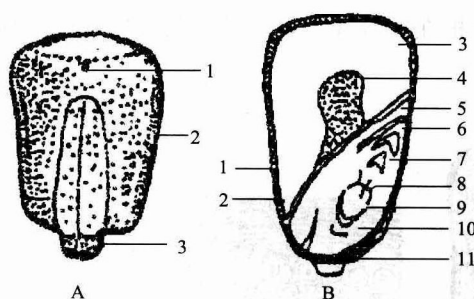


图 1-2 玉米籽粒结构

A. 籽粒外形：1. 花柱遗迹；2. 果皮；3. 果柄。B. 籽粒纵剖面：1. 果皮；2. 种皮；3. 胚乳的角质部分；4. 胚乳的粉质部分；5. 盾片；6. 芽鞘；7. 胚芽；8. 维管束；9. 胚根；10. 根鞘；11. 基部褐色层

(1) 种皮。大豆种皮是由胚珠被发育而成的，约占整个大豆粒重量的 8%。种皮位于种子的表面对种子具有保护作用。多数品种种皮表面光滑，有的有蜡粉或泥膜。种皮呈不同颜色，其上还附有种脐、种孔和合点等结构。不同品种种脐的形态、颜色、大小略有差别。在种脐下部有一凹陷的小点称为合点，是珠柄维管束与种胚连接处的痕迹。脐上端可明显地透视出胚芽和胚根的部位，二者之间有一个小孔眼，种子发芽时，幼小的胚根由此小孔伸出，称为种孔、珠孔、发芽孔。

大豆种子的种皮从外向内由 4 层形状不同的细胞组织构成。最外层为栅状细胞组织，由一层似栅栏状并排列整齐的长条形细胞组成，细胞长  $40\sim 60\mu\text{m}$ ，外壁很厚为外皮层。其最外层为角质层，其中有一条明线贯穿，决定种皮颜色的各种色素就在栅状细胞内。栅状细胞较坚硬并互相排列紧密，一般情况下水较易透过，但若排列过分紧密时，水便无法透过，使大豆籽粒成为“石豆”或“死豆”，这种豆几乎不能加工利用。靠近栅状细胞的是圆柱状细胞组织，由两头较宽而中间较窄的细胞组成，长  $30\sim 50\mu\text{m}$ ，细胞间有空隙。在泡豆时，此细胞膨胀极大。再里一层是海绵组织，是由 6~8 层薄细胞壁的细胞组成，间隙较大，泡豆时吸水剧烈膨胀。最里层是糊粉层，是由类似长方形的细胞组成，壁厚。对于没有完全成熟的大豆籽粒，其种皮的最里层是一层压缩胚乳细胞。

(2) 胚。大豆种子的胚由胚根、胚轴（茎）、胚芽和两枚子叶 4 部分组成，胚根、胚轴和胚芽三部分约占整个大豆籽粒重量的 2%。大豆子叶是主要的可食部分，约占整个大豆籽粒重量的 90%。子叶的表面由小型的正方形细胞组成表皮，其下面有 2 或 3 层稍呈长形的栅状细胞，栅状细胞的下面为柔软细胞，是大豆子叶的主体。

大豆籽粒的各个组成部分由于细胞组织形态不同，其构成物质也有很大差异。除糊粉层含有一定量的蛋白质和脂肪外，其他部分几乎都是由纤维素、半纤维素、果胶质等所组成。而胚——胚根、胚轴、胚芽、子叶则主要以蛋白质、脂肪、碳水化合物为主。

## 二、籽粒的化学组成

籽粒因类型、作物和品种不同，化学成分存在明显的差异。籽粒中的储藏物质是最主要的化学成分，在籽粒的总干重中占了很大的比率，它不仅是幼苗初期生长所必需的养料及能源，而且不同储藏物质的含量、性质及其在籽粒中的分布状况，又会影响籽粒的生理特性、耐藏性、加工品质和营养价值。因此了解籽粒的化学成分不仅可以使我们确定籽粒各方面的利用价值，还能促使我们深入了解籽粒的生理机能，妥善、合理地进行储藏加工和利用，尽量避免在这些过程中受到损失。

## 1. 水分

### 1) 籽粒中水分状态

水分是一切生命活动的溶媒,并参与生物体的组成。籽粒作为一个有生命的个体,它在发育、成熟、发芽以及收获以后的不同时期所发生的一系列生理生化过程都和水分的状态及含量有密切关系。

籽粒中的水分有两种状态——游离水(自由水)和结合水(束缚水)。游离水具有一般水的性质,可作为溶剂,能结冰,容易从籽粒中蒸发出去;而结合水却牢固地和籽粒中的亲水胶体(主要是蛋白质、糖类及磷脂等)结合在一起,不容易蒸发,不具有溶剂的性能,低温下不会结冰,并具有另一种折光率。

籽粒的生命活动必须在游离水存在的状况下才能旺盛进行。当籽粒水分减少至不存在游离水时,籽粒中的酶(首先是水解酶)就成为钝化状态,籽粒的新陈代谢降至很微弱的程度。当游离水出现以后,酶就由钝化状态转变为活化状态,这个转折点的籽粒水分(即籽粒的结合水达到饱和程度并将出现游离水时的水分)称为临界水分,其含量因作物种类而不同。在一定温度条件下,籽粒中出现游离水以后,籽粒就不耐储藏,籽粒的活力和生活力很快降低和丧失,而在临界水分以下,则一般认为可以安全储藏。禾谷类籽粒的安全水分一般为12%~14%,油料作物籽粒为8%~10%,甚至更低,它主要取决于其含油量。安全水分受温度的影响不同,各地区应规定不同标准。南方温度高,谷类种子的安全水分应在13%以下,北方的安全水分可略高于南方。

种子水分不同,其生命活动的强度和特点有明显差异,同时还通过对仓虫、微生物的作用影响到安全储藏。当籽粒水分超过14%时,使用熏蒸剂杀虫,会损害籽粒发芽力,且籽粒表面和内部的真菌开始生长;籽粒水分超过20%时,储藏籽粒将会“发热”;而籽粒水分超过60%时(在储藏过程中,常因漏雨、渗水或结露等原因引起局部水分的增高),籽粒会发生发芽现象。

### 2) 籽粒平衡水分的概念

籽粒水分随着吸附与解吸过程而变化。当吸附过程占优势时,籽粒水分增高。当解吸过程占优势时,籽粒水分降低。如果将籽粒放在固定不变的温湿度条件下,经过相当时间后,籽粒水分就基本上稳定不变,即达到平衡状态,籽粒对水汽的吸附和解吸以同等的速率进行,这时的籽粒水分,就称为该条件下的平衡水分。由于籽粒具有吸湿性,所以能将籽粒水分调节到与任意相对湿度达到平衡时的含水量。

### 3) 平衡水分的影响因素

籽粒的平衡水分因作物、品种及环境条件不同而有显著差异,其影响因素包括大气湿度、温度以及籽粒的化学组成。

(1) 湿度。籽粒水分随大气相对湿度改变而变化,空气湿度超过粮食的水汽分压时,粮食就开始吸湿,平衡水分增加。当温度不变时,湿度越大,籽粒的平衡水分也就越大。反之,当空气湿度低于粮食的水汽分压时,粮食就开始解吸,平衡水分减少。例如,在25℃时,水稻籽粒在相对湿度60%、75%和90%时,平衡水分分别为12.6%、14.4%和18.1%。总的来说,在相对湿度较低时,平衡水分随湿度提高而缓慢地增长,