

普通高等教育“九五”国家级重点教材



粮油储藏学

LIANGYOU CHUCANGXUE

路西玉 主编

中国财政经济出版社

普通高等教育“九五”国家级重点教材

粮 油 储 藏 学

路 茜 玉 主 编

中国财政经济出版社

内 容 提 要

本书共分十四章，第一章至第四章是粮油储藏的基本理论部分，介绍了粮食及油料的物理、生理性质、粮食的生态体系，以及储藏期间的品质变化，第五章至第十章详细地叙述了当前国内外应用的粮油储藏技术，第十一章至第十四章阐明了主要原粮、初加工品粮食、油料及油脂储藏方法，第十四章介绍粮食储藏现代化管理技术。

本书为高等院校粮食工程、农业、轻工业院校有关粮食储运、食品科学、粮食物流等专用教材，也可供粮食、农业、食品、外贸有关科研及生产部门技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

粮油储藏学/路茜玉主编. —北京: 中国财政经济出版社, 1999.1

普通高等教育“九五”国家级重点教材

ISBN 7-5005-3955-X

I. 粮… II. 路… III. ①粮食-商品-贮藏-高等教育-教材
②食用油-商品-贮藏-高等教育-教材 IV. F762.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 34915 号

中国财政经济出版社出版

URL: [http:// www.cfeph.com](http://www.cfeph.com)

e-mail: cfeph@drc.go.cn.net

(版权所有 翻印必究)

社址: 北京东城大佛寺东街 8 号 邮政编码: 100010

发行处电话: 64033095 财经书店电话: 64033436

清华大学印刷厂印刷 各地新华书店经销

787×1092 毫米 16 开 24.50 印张 600 000 字

1999 年 3 月第 1 版 1999 年 3 月北京第 1 次印刷

印数: 1—3 060 定价: 36.00 元

ISBN 7-5005-3955-X/TS·0089

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

编写说明

本书是国家教委颁布的“九五”重点教材建设门类之一，为适应我国社会主义市场经济发展对粮油储备人才培养的需求而编写的。本教材结合我国的粮油储藏实际，反映当代国内外粮油储藏新技术、新成果，在原《粮油储藏学》（中国财政经济出版社1989年版）的基础上进行了较大力度的充实、修订和完善，力求体现科学性、先进性、实用性，力求理论与实践相结合，是一本跨世纪的教科书。内容是根据粮食、食品、轻工专业所开核心课程《粮油储藏学》的教学大纲的要求编写，需用80课时，为高等院校粮食工程学科门类的教学用书，可作为粮食储运、食品科学、粮食工程、饲料等专业的教材，也是粮食、农业、轻工、食品、外贸等行业的科研人员、管理人员的重要参考读物。

本书由路茜玉主编，靳祖训（南京经济学院）主审，参编人员路茜玉（绪论、第六章、第七章、第十章），王若兰（第九章、第十一章、第十二章、第十三章、第十四章），张来林（第一章、第五章、第八章），王金水（第二章、第三章、第四章、第六章）。

由于水平所限，书中不妥和谬误之处在所难免，恳请读者提出批评指正。

编者

1998年9月

代 序

由路菩玉教授主编的《粮油储藏学》是代表和反映我国粮食储藏学科学技术水平的很好教材。该书全面介绍了我国粮食储藏科学与技术的主要成就；反映了国内外粮食储藏最新科研成果，特别是吸纳了近二十年来我国粮食储藏现代技术攻关重大成果，是集实用性、先进性于一体的一部好的教科书。

粮食储藏科学属于自然科学。尽管我国粮食储藏技术的发生和发展有着悠久历史，但是，作为一门综合性应用科学的建立是比较晚的。虽然几个世纪前我国少数科学家对粮食储藏科学若干重要专题有过一些研究，发表过点滴著述。但是，所有研究都是作为农学的一部分问世的。我国对粮食储藏科学技术进行比较深入研究是从本世纪初开始的。中国粮食储藏科学是一门既古老又年轻的科学。

从生态角度说，粮油储藏学是研究粮食（包括粮食、油料及其加工品）与环境（非生物的和生物环境）相互关系的科学。换言之，粮油储藏学是研究粮食在储藏期间，不同储藏条件、不同储藏方法、不同储藏处理，对粮食生理、生化变化；对粮食品质（工艺品质、烘焙与食用品质、种用品质等）变化；对粮堆内有害和有益生物（储粮害虫、螨类、微生物、鼠类及天敌）消长演替变化规律的影响，涉及多学科的综合应用科学。

21世纪的我国粮食储藏科学将有更大发展。根据我国20世纪粮食储藏科学研究进展，借鉴国外粮食储藏已有的研究成就和有益经验，从保护人类生存环境、减少对生态环境污染、提高人类生活质量、保障人类健康出发，考虑和确定中国粮食储藏科学的发展目标，争取通过二三十年的努力，提供更多有价值的研究成果，为逐步实现我国仓储装备现代化、管理规范、检测仪表化、信息网络化做出更大的贡献。运用现代技术，包括微电子技术、信息技术、生物技术改造粮食仓储这一传统产业，实现传统粮食仓储业向现代仓储业的转变；实现经济效益、社会效益、生态效益的统一。总之，从我国实际情况和客观需要出发，21世纪对我国粮食储藏科学总的要求至少应包括“三低”、“三高”，即低损失、低污染、低成本，高质量、高营养、高效益。

“工欲善其事，必先利其器”。要培养跨世纪粮食仓储专业人才，必须有跨世纪的教材。有了跨世纪人才，才能建设好未来的宏伟事业。我想，《粮油储藏学》的问世，是顺理成章的。

靳祖训

1998年9月于南京

前 言

我国是个农业大国，是世界上最大的产粮国家，平均粮食总产量稳定在4.6亿吨左右，其中粮食作物产值占农业产值的70%。随着农业生产的不断发展，粮食、油料及油脂储备任务与日俱增，但粮食产后损失严重，仅虫、霉及品质劣变、损耗，每年达数百万吨，据联合国粮农组织对20个国家的调查，世界平均每年的储粮损失占产粮总数的10%—18%，不发达国家甚至高达30%，由此可见，搞好粮、油储藏，减少粮食收获后的损失已是世界性引人关注的问题，因此粮食的安全储藏与粮食生产放到同等的地位也许并不过分。“民以食为天”，粮食储备受到政府和人民的重视力度越来越大，因为它关系到军需民食、食品、工业原料、备战、救灾等国民经济的各个方面。

无论是在热带国家还是在寒带国家，也不论发达国家或是不发达国家，全世界每个生产粮食的农民、粮商或政府都在将部分或大部分甚至全部粮食储藏起来，然后运送到下一阶段的经营管理者那里。因此粮食储藏是将粮食从生产者运送给加工者，再将粮食加工产品从加工者运送给消费者的复杂供销流通过程中重复出现的一个中间环节，在整个流通领域中，包括粮食的收打、清理、干燥、装卸、储藏、加工、运输、销售的全过程，到处都会发生着量与质的变化。粮油储藏这一门应用科学旨在关切和改进这一中间状态的品质控制问题，从而减少收获后的损失至最低限度。

粮油储藏是一门多学科领域的学科，是研究粮油储藏原理及储藏技术与设施的一门应用科学。

粮食储藏过程是由群体籽粒（种子）组成的生态体系来体现的，它本身是活的有机体，内部不断进行着有生命的、生物化学的复杂变化，这种生命的、生理的、化学的现象必须加以定向控制，以保持它固有的品质，同时还受环境条件的、物理的、物理化学的因子制约（如粮食及所处环境的水分、温度、湿度及空气组成等）。故粮食储藏的过程是一种多学科的、采取自然调节或调控技术相配合的科学。所以，设计和运用现代化的科学技术（如粮堆机械通风、气调储藏及低温储藏等）进行粮食储藏是必需的，也是刻不容缓的。

随着我国社会主义市场经济的不断发展，我国储粮科学技术研究事业发展较快，也取得了不少新成果、新技术，掌握了粮食在不同储藏条件下的演变规律和理论根据，不同生态环境中虫霉消长规律及防治方法；粮堆机械通风、低温及气调技术已形成多形式的选型、定型的工艺设计与设施；我国已制订出粮油储藏技术规范；粮食储藏的基础研究也取得了新进展，如不同温度、水分、气体成分对不同粮种在储藏期的变化、陈化机理及品质劣变指标的研究成果，从而提出了储藏保鲜可能性的限期。然而，同其他学科一样，粮食储藏学研究也是无止境的，况且，我们在储粮科学领域里所做的努力还没有完全满足实际储粮工作的需要。随着我国社会主义经济改革的不断深入，粮食在市场经济流通领域中将出现的新问题，都需要我们付出更大的努力去探索，我们的事业是开拓性的，前景是无穷的，我们粮食战线上的伙伴们，将为二十一世纪粮油储藏科学技术的发展作出新贡献。

目 录

第一章 粮食的物理性质	(1)
第一节 粮粒及粮堆的构成.....	(1)
第二节 粮食的流散特性.....	(2)
第三节 粮食的热特性.....	(7)
第四节 粮食的吸附特性.....	(9)
第二章 粮食的生理性质	(24)
第一节 粮食及油料的呼吸作用.....	(24)
第二节 粮食和油料的休眠.....	(30)
第三节 粮粒的后熟作用.....	(32)
第四节 种子活力.....	(35)
第三章 粮食及油料的化学成分及储藏期间的品质变化	(41)
第一节 粮食及油料的化学组成.....	(41)
第二节 粮食及油料的品质.....	(49)
第三节 粮油储藏过程中品质的变化.....	(51)
第四章 粮食及油料储藏生态体系	(58)
第一节 储粮生态系统的组成.....	(58)
第二节 储粮生态系统的基本特征.....	(60)
第三节 储粮生态系统的信息联系和能量流动.....	(61)
第四节 储粮生态系统的环境因子.....	(64)
第五节 粮食及油料结露、发热与霉变.....	(69)
第六节 调节储粮生态系统, 制订储粮措施.....	(78)
第五章 粮仓	(79)
第一节 概述.....	(79)
第二节 粮食仓库的分类.....	(80)
第三节 粮食储藏对粮仓性能的要求.....	(81)
第四节 主要仓型及其储粮性能.....	(82)
第五节 仓容计算.....	(94)
第六节 粮食堆装.....	(96)
第六章 露天储藏	(101)
第一节 概述.....	(101)
第二节 露天囤、垛建造.....	(102)

第三节	土堤仓建造	(120)
第四节	露天储粮通风与密闭技术	(124)
第五节	露天垛、囤、堤储粮管理	(129)
第七章	粮食地下仓储藏	(132)
第一节	地下仓储粮概况	(132)
第二节	地下仓的分类	(133)
第三节	地下储粮原理	(136)
第四节	地下仓的构造	(138)
第五节	地下仓的建筑	(139)
第六节	地下仓储粮性能与品质	(141)
第七节	地下仓的热入冷藏及其效果	(147)
第八节	地下储粮的技术管理	(150)
第九节	地下仓常用机械设备	(154)
第八章	粮堆通风	(158)
第一节	概述	(158)
第二节	流体力学基础及流道阻力计算	(160)
第三节	储粮机械通风系统	(171)
第四节	储粮机械通风系统的参数选择与操作管理	(179)
第五节	储粮机械通风技术在生产中的应用	(190)
第九章	低温储藏	(200)
第一节	概述	(200)
第二节	自然低温储藏	(204)
第三节	低温库的建筑要求与改造	(206)
第四节	机械制冷低温储藏	(214)
第五节	低温库冷负荷计算及气流组织	(225)
第六节	空调准低温储粮	(230)
第七节	低温储藏管理	(231)
第十章	气调储藏	(234)
第一节	概述	(234)
第二节	气调储藏基本原理	(235)
第三节	密封工艺	(245)
第四节	气调技术	(251)
第五节	气调储藏的管理	(260)
第六节	双低储粮	(269)
第七节	三低储粮	(272)
第八节	脱氧气调储藏	(273)
第九节	真空储藏	(275)
第十一章	粮食及初加工品的储藏	(278)
第一节	稻谷和大米的储藏	(278)

第二节	小麦与面粉的储藏	(298)
第三节	玉米与豆类的储藏	(311)
第十二章	油料储藏	(321)
第一节	油料的储藏特性	(321)
第二节	主要油料的储藏	(323)
第十三章	油脂储藏	(338)
第一节	油脂的分类	(338)
第二节	油脂的储藏特性	(339)
第三节	油脂酸败类型与变质油脂的毒性	(339)
第四节	影响油脂安全储藏的因素	(342)
第五节	主要油脂的特性	(344)
第六节	油脂储藏管理技术	(347)
第七节	油脂储藏技术	(351)
第十四章	粮食储藏现代化管理技术	(355)
第一节	储粮品质控制与管理	(355)
第二节	粮情控制与检测技术	(363)
第三节	筒仓储粮管理	(367)
第四节	粮食仓储计算机的应用	(369)
附录	通风系统管路常见管件局部阻力系数 ζ	(377)

第一章 粮食的物理性质

粮食的物理性质是指粮食在储存运输过程中反映出的多种物理属性。如粮食的流散特性——自动分级、散落性；粮食的热特性——导温性和导热性；粮食的吸附特性——吸湿特性和气体吸附特性、湿热扩散等等。这些物理特性互相关联，不仅影响别的物理性质，同时也被别的物理的、生化的、生物的特性所影响，并对粮食的生命活动、虫霉危害、储粮的稳定性产生有利的和不利的影晌，并与粮食清理、干燥、通风、气调等作业及粮仓设计都有密切关系。因此，要搞好粮食储藏工作就必须深入了解粮食的物理特性。

第一节 粮粒及粮堆的构成

粮食是小麦、稻谷、玉米、谷子、大麦等禾谷类籽粒及薯类、豆类等的总称。由于受到遗传特性、地理环境和栽培条件等因素影响，每种粮食的形态特征各不一样，具有独特的形态结构、物理性质和化学性质，既有共性，又有个性，这些都对粮油储藏产生有利或不利的影晌。

粮食的构成归纳如图 1-1。

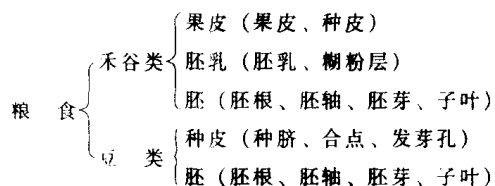


图 1-1 粮食的构成

从粮油储藏的角度出发，粮食中包围在胚和胚乳外部的种皮，形成了抵御不利储藏环境的保护组织，对粮食储藏是有利的。而粮粒的胚部则含有较多的营养成分和水分，生命活动旺盛，最容易受到虫霉感染。一般说来，胚越大，储藏稳定性越差，这是储藏不利的一面。因此，各种粮食构造的不同，是导致各种粮食储藏稳定性差异的原因之一。

粮食颗粒堆聚而成的群体叫做粮堆。粮食储藏研究的对象是粮食的群体，而不是单一的粮食籽粒。据测定 500 克稻谷约 20000 粒、小麦 15000 粒、玉米 1500~2000 粒、蚕豆 400~600 粒、油菜籽 170000~240000 粒。通常粮仓装粮 50~250 万千克，形成了一个由数目相当大的粮粒组成的粮食群体——粮堆。

影响粮食储藏稳定性和粮食储藏质量的主要物理因素是粮食的散落性、自动分级、孔隙度，对于各种蒸气和气体的吸收、吸附和解吸能力以及粮食的热传导、湿热扩散与热容量

等。在粮堆这个特定的环境中，这些基本物理因素直接影响储粮稳定性。

第二节 粮食的流散特性

粮食的流散特性主要包括散落性、自动分级、孔隙度等。这是颗粒状粮食所固有的物理性质。粮食具有流散特性的根本原因是粮粒之间的相互作用力——内聚力小，不足以在重力的作用下使粮粒保持垂直稳定，致使粮食在堆装、运输、干燥、加工等过程中表现出流散特性。

一、散落性

粮食在自然形成粮堆时，向四面流动成为一个圆锥体的性质称为粮食的散落性。粮食的颗粒大小、成熟度的差异、杂质数量的多少等都和散落性密切相关。粮食散落性的好坏通常用静止角表示。

静止角是指粮食由高点落下，自然形成圆锥体的斜面与底面水平线之间的夹角。静止角与散落性成反比，即散落性好，静止角小；散落性差，静止角大。

粮粒在粮堆斜面上停止或运动与否，受到粮粒在斜面上受力的制约。图 1-2 是粮粒在斜面上受力分析图：重力 G 可分解为垂直压力 N 和倾斜分力 P ，如忽略粮粒间高低不平的相互作用力，粮粒在斜面上还受到摩擦力 F ，如果粮粒与粮堆的斜面摩擦系数为 f ，则摩擦力 F 为 $N \times f$ 。图中分力 P 是使粮粒下落的力， F 是阻碍粮粒下滑的力，当 $P > F$ 时，粮粒就下落，当 $P \leq F$ 时，粮粒停留在斜面上。

粮粒的大小、形状、表面光滑程度、容量、杂质含量都对粮食的散落性有影响。粒大、饱满、圆形粒状、比重大、表面光滑、杂质少的粮食散落性好，反之则散落性差。不同粮食之间，上述外观特征明显不同，因此，具有不同的散落特性。表 1-1 给出了主要粮种静止角的大小。

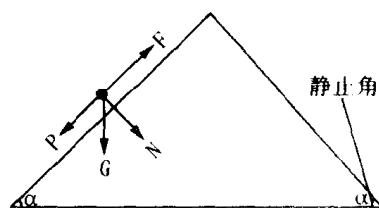


图 1-2 粮粒受力分析图

表 1-1 主要粮食的静止角 (度)

粮 种	静 止 角		变动范围
	起	止	
小麦	23	38	15
大麦	28	45	17
玉米	30	40	10
稻谷	37	45	8
大米	23	33	10
糙米	27	28	1
大豆	24	32	8
黍	20	25	5
芝麻	24	30	8
油菜籽	20	27	7

表中所示，大豆粒大、呈圆形、表面光滑，其散落性比粒形较小、表面粗糙的稻谷好得多。

此外，粮食中含杂量增加，其散落性会降低，粮食水分含量增加散落性也降低。这是由于粮食水分的增加，使粮粒表面粘滞，粮粒间的摩擦力增大的结果。当粮食发热霉变后，散落性会完全丧失，形成结顶。表 1-2 给出了同一种大豆含水量、含杂率与散落性的关系。

表 1-2 大豆水分含量与含杂率对静止角的影响

粮种	水分%	静止角	含杂率%	静止角
大豆	11.2%	23.3	3.0%	25.0
大豆	17.7%	25.4	1.0%	23.8

粮食散落性的另一量度是自流角。自流角是粮粒在不同材料斜面上，开始移动的角度，即粮粒下滑的极限角度。自流角是一个相对的值，它既与粮粒的物理特性有关，又与测试时用的材料有关。同种粮食在不同的材料上测定的自流角不同，不同种粮食在相同的材料上自流角也不同。粮食的自流角是粮堆的外摩擦角。表 1-3 给出了三种麦类在不同材料上的自流角。

表 1-3 三种麦类在不同材料上的自流角

粮种	刨光木板	铁板
小麦	24-27	24-28
大麦	26-27	25-30
燕麦	26-28	21-25

自流角表示的是某种粮食在某种材料上的滑动性能。自流角愈大，滑动性能愈差；自流角愈小，滑动性愈好。

粮食的散落性在粮食储藏、装卸输送机械及储藏设施的设计中都是一个重要因素。储藏期间散落性的变化，可在一定程度上反映粮食的储藏稳定性。安全储藏的粮食总是具有良好的散落性。如果粮食出汗、返潮，水分增大，霉菌滋生，就会使散落性降低；严重的发热结块会形成 90°角的直壁状，完全丧失散落性。

散落性好的粮食，在运输过程中容易流散，对于装车、装船、入仓出库操作都较方便，可节省劳力与时间。但是散落性较大的粮食对装粮容器的侧压力也大。装粮时对散落性大的粮食就要降低堆装高度，对于散落性较小的粮食则可酌情增加高度。粮堆对仓壁的侧压力可按式简化计算：

$$P = \frac{1}{2} \gamma h^2 \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right)$$

式中：P——每米宽度的仓壁上受的侧压力（千克/米）；

γ ——粮食的容重（千克/米³）；

h——粮食的堆高（米）；

α ——粮食的静止角。

生产中计算侧压力，用于确定不同粮食的堆粮线和堆垛形式，对仓墙强度不够的仓房，常采取包打围的作法。

散落性是确定自流设备的理论依据。当使用输送机输送粮食时，输送机皮带和水平面的夹角应小于自流角和静止角；当安装淌筛和自流管时，淌筛面、自流管底面和水平面的夹角应大于自流角和静止角，这样才能保证设备的正常运转。

二、自动分级

一般说来，任何一批粮食，都是非均质的聚集体。粮粒有饱满的、瘪瘦的、完整的、破碎的，形态多种多样。杂质也轻重不同，大小不一。在散落时彼此受到的摩擦力和重力就不同，运动状态也不同。因此粮食在震动、移动或入库时，同类型、同质量的粮粒和杂质就集中在粮堆的某一部分，引起粮堆组成成分的重新分布，这种现象称为自动分级。例如，小麦在形成粮堆时的自动分级现象，从顶部到底部各个部位的组分呈现出有规律的分佈：破碎粒、轻浮夹杂物、杂草种子在底部比顶部为多（见表 1-4）。

表 1-4 自然形成粮堆时的分级情况

品质指标	圆锥体顶部	圆锥体基部
容重（克/升）	70.7	66.7
绝对重量	16.3	15.2
破碎粒（%）	1.84	2.20
较轻杂质（%）	0.51	2.14
杂草种子（%）	0.32	1.01
砂石杂质	0.13	0.49
瘪粒（%）	0.09	0.47

自动分级现象的发生与粮食输送移动时的作业方式、仓房类型密切相关。作业方式不同，自动分级状况也不相同；仓房不同，自动分级现象也不相同。按其作业方式、仓房类型和粮堆形成的条件可大体分为四种情况：

（一）自然流散成粮堆

粮食自高点自然流散成粮堆时，粮粒与粮粒之间、粮粒与杂质之间以及杂质与杂质之间受到的重力、摩擦力不同，同时落下时受到的气流浮力也不相同。这些差异相互影响的综合结果使较重的杂质落在圆锥体的中心部位，而较轻的、破碎的粮粒及杂草种子就沿着斜面下滑至圆锥体的底部。因此，随着圆锥体的不断扩大，杂质就在圆锥粮堆的底部不断积累，最终形成基底杂质区（见图 1-3）。

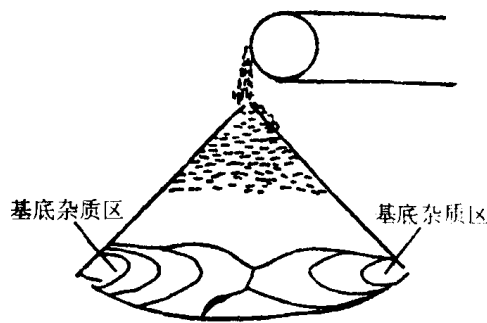


图 1-3 粮堆的杂质区

（二）房式仓入粮

房式仓粮食入库一般有输送机进粮和人工入粮两种。输送机进粮又分移动式 and 固定式。若移动式入库，一般是输送机头先从仓山墙处开始，随入粮逐步由内向外退移。因此，饱满的粮粒和沉重的杂质多汇集于机头落下的粮堆中央部位；沿输送机两侧的粮食含有较多的瘪粒和较轻的杂质，形成带状杂质区；在皮带输送机下形成糠壳杂质区。若固定式入库，粮食入库时就有多个卸粮点，那么像自然流成粮堆一样，在一个仓房内部形成多个圆窝状杂质

区，即每个卸粮点有一个基底状杂质区。

房式仓人工入粮时，由于倒粮点分散，边倒边匀，自动分级就不明显，质量组合比较均匀。

(三) 立筒仓进粮

立筒仓因筒身较高，粮粒从高处落下，下落的粮食流动会带动空气运动，在仓内形成一个涡旋气流（见图 1-4），涡旋气流的运动，将粮面上细小的、较轻的杂质吹向筒壁。随着粮面在筒仓内逐步升高，靠近筒壁处形成环状轻型杂质区。而沉重的杂质多集中于落点处，形成一个柱状重型杂质区。出仓时，正好相反，比较饱满和比重大的粮粒首先流出，靠近仓壁的瘪小籽粒和轻浮杂质后流出。所以粮食品质也因出仓的先后不同而有差异（见表 1-5）。

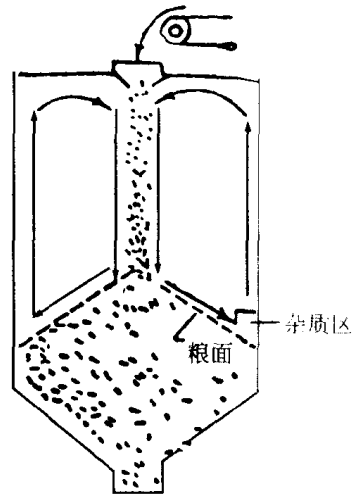


图 1-4 立筒仓自动分级情况

表 1-5 筒仓粮食进、出仓自动分级现象

作业	部位	容重 (克/升)	碎粒 (%)	不饱满粒 (%)	杂质 (%)
进 仓	中心	704.1	1.84	0.09	0.60
	仓壁	667.5	2.20	0.47	3.80
出 仓	出粮 30 分钟	666	1.80	1.54	2.50
	经 3.5 小时	660	3.50	5.0	2.98
	经 4.5 小时	496	1.70	9.0	19.90

按照自动分级形成的原因，自动分级又可归纳为重力分级、浮力分级和气流分级。

重力分级的情况明显地发生在有震动运输过程中。如散装原粮长途运输后，大而轻的物料就会浮到最上面，细而重的物料就会沉到底部，而较细、较轻、较大、较重的物料介于两者之间，从而形成了分层的现象。

浮力分级是说明粮粒下落过程受力不同而造成自动分级的。粮粒 g 由高点下落，会受到空气的阻碍作用，空气对粮粒产生浮力 P （见图 1-5）。当 $P > g$ 时，粮粒飘浮走； $P < g$ 时，粮粒下落； $P = g$ 时，粮粒悬浮。显然，当气流的浮力一定时，重的粮粒下落速度较快，轻的粮粒下落较慢。而轻的杂质在慢慢的下落过程中，由于物体重力、受力方向的改变也随时变化，使得较轻的杂质飘移落点，从而形成分级现象。

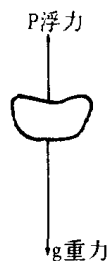


图 1-5 浮力分级受力图

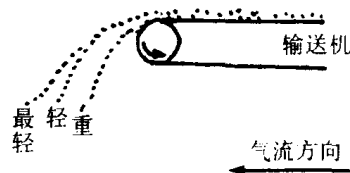


图 1-6 气流分级受力图

气流分级通常发生在露天堆粮的过程中（见图 1-6）。当输送机在风天卸粮时，在下风处就会聚积较多的轻杂质，从而形成自动分级现象。这种情况在皮带输送机、扬场机的作业中都会发生。

自动分级现象使粮堆组分重新分配，这对安全储粮十分不利。杂质较多的部位，往往水分较高，孔隙度较小，虫霉容易滋生，是极易发热霉变的部位，如不能及时发现还能蔓延危及整堆粮食。因此，对自动分级严重的地方，要多设检查层点，密切注意粮情变化。

自动分级中灰尘集中的部位，孔隙度小，吸附性大，在熏蒸害虫时，药剂渗透困难，影响杀虫效果。同时，在通风降温降水过程中，也因空气阻力的加大，使风速达不到规定的要求，造成局部温度、水分偏高。

在粮食储藏中也可利用自动分级有利的一方面。如利用气流分级清理粮食，使用筛子震动去掉重杂质等。

防止自动分级最积极的办法是预先清理粮食。此外，在粮仓上安装一些机械装置，使粮食均匀地向四周散落，减轻自动分级现象。如皮带输送机头部的抛粮机构（见图 1-7），在卸粮时扇面不断旋转，借助粮流的惯性冲力，将粮食均匀抛出。也可以在入粮口安装锥形散粮器或旋转散粮器（见图 1-8）。立筒仓采用中心管进粮与中心管卸粮的方式，可以有效减缓粮食分级现象。

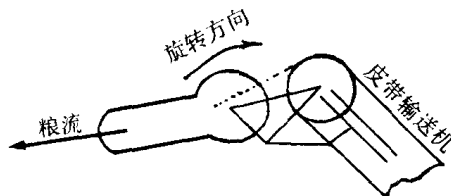


图 1-7 皮带输送机上的散粮器

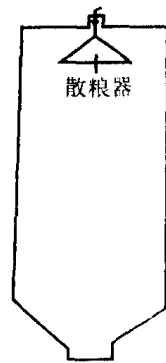


图 1-8 立筒仓散粮器

三、孔隙度

孔隙度是由粮粒本身结构与粮堆中粮粒间存在空间所造成的。在整个粮堆中，粮粒所占体积的百分比叫做密度，孔隙所占的百分比叫做孔隙度。

从宏观上讲，粮堆中的孔隙是粮粒与粮粒之间的空间，这是粮食在储藏中维持正常有氧呼吸，进行水分、热量交换的基础。从微观上讲，构成孔隙的一个容易被忽视的因素是粮粒内部存在的微孔，它虽然在整个孔隙度中占有较少的比例，但它的作用远远复杂于宏观的孔隙。这些微孔是粮食呼吸代谢、吸湿、解吸、吸着、吸收的基础，也和粮食干燥密切相关。利用水银孔隙测定计可测得单位粮食微孔的总体积。

在粮食储藏中，检验定等的主要依据之一是单位体积内某种粮食的重量，即容重。这是和孔隙度密切相关的物理量。容重与孔隙度成反比。几种粮食的比重、容重、孔隙度见表 1-6。

表 1-6 几种粮食的比重、容重、孔隙度

粮 种	比 重	容 重 (千克/米 ³)	孔 隙 度 (%)
小 麦	1.22 ~ 1.35	687 ~ 781	35 ~ 45
大 米	1.33 ~ 1.36	800 ~ 821	43

续表

粮 种	比 重	容重 (千克/米 ³)	孔隙度 (%)
玉 米	1.11~1.25	675~807	35~55
大 豆	1.14~1.23	658~762	38~43
油菜籽	1.11~1.38	607~835	38~40
面 粉	1.30	594~605	40~60
花生仁	1.01	600~651	40~48

粮食的孔隙度和密度都用百分率来表示。可根据粮食的容重和比重来推算：

$$\text{密度} = \frac{\text{容重}}{\text{比重}} \times 100\%$$

$$\text{孔隙度} = \left(1 - \frac{\text{容重}}{\text{比重}}\right) \times 100\%$$

$$\text{或} = (100 - \text{密度})$$

粮食孔隙度的大小受到许多因素的影响，粮粒形态、大小、表面状态、含水量、杂质的特征与数量、堆高、储藏条件等都能影响粮堆的孔隙度和密度。粮粒大、完整、表面粗糙的，孔隙度就大；粒小、破碎粒多、表面光滑的，孔隙度就小。含细小杂质多的粮食，可降低粮堆的孔隙度。对于一个粮堆，各部位的孔隙度是不一样的。特别是自动分级明显的部位更为突出。粮堆底层所受压力大，孔隙度较小。此外，粮堆吸湿膨胀后，也会造成孔隙度降低。

粮食的密度与孔隙度在粮食储藏上具有重要的意义。孔隙度的存在，决定了粮堆气体交换的可能性，是粮粒正常生命活动的环境。孔隙中空气的流通，粮堆内湿热易于散发，粮食就耐储藏；如果孔隙度小，气体交换不足，当某些部位湿热高时，粮堆内就会湿热郁积不散，易引起发热、霉变。所以粮堆中有一定的孔隙度，对保证粮食的安全储藏是必要的。

根据粮堆内部的气体可交换的性质，可人为地利用惰性气体改变粮堆内的气体成分，改变粮堆内粮粒与害虫、霉菌的生活环境，以抑制粮食呼吸及虫霉的活动。气调储藏就是在此基础上发展起来的储粮技术措施之一。自然通风和机械通风，也是促进粮堆内气体的对流，散发粮堆内湿热空气，换进干冷空气，以达降温、降水的目的。进行药剂熏蒸和化学保管时，孔隙度大，药剂就易于渗透，杀虫抑菌的效果就好；孔隙度小，毒气渗透困难，有时会影响熏蒸效果。

孔隙度大的粮堆，粮情易受环境条件的影响，粮堆温湿度随外界环境变化快。孔隙度小的粮堆，粮情就不易受外界环境的影响。

第三节 粮食的热特性

粮食总是具有一定的温度，即处在一定的热状态中，并随时与外界进行着热交换。因此粮食的热特性也是粮堆物理性质之一，它包括粮食的导热性和导温性。

一、导热性

在组成粮堆的主要成分中，粮粒对热的传导速度较慢，是热的不良导体。虽然粮堆中空气的流动可有助于热传导，但粮堆内微气流运动缓慢。因此，整个粮堆的导热性是很差的。如正常粮堆温度总是落后于外温，深层粮温度变化总是落后于表层，就是粮堆导热性不良的具体表现。

传热学表明：粮食中进行的热传导是一个相当复杂的物理过程，即有传导传热，又有对流传热和辐射传热，三种传热方式总是相互伴随而存在，其中以导热和对流传热为主。这是由于粮食的温度一般较低，粮堆中存在的气体受热而发生对流的原因。

粮堆的导热性就是粮堆传递热量的能力，通常以粮食的导热系数的大小来衡量。

粮堆的导热系数是指1米厚的粮层在上层和底层的温度相差1℃时，在单位时间内通过1平方米的粮堆表面面积的热量。用符号 λ 表示，其单位是W/m·K。具有一定的导热性是粮堆进行通风降温、干燥去水的条件之一。

导热系数一般由实验测出。粮堆的 λ 值很小，约在0.117~0.234W/m·K之间。如小麦水分在20%时，导热系数 λ 为0.232，水分10%时导热系数 λ 为0.107。这表明，粮堆的导热系数随着粮堆中空气的水分含量和粮食的水分含量增加而增加。尤其与粮食的含水量呈正比关系。粮食水分越高，粮食的导热能力越大。另外，单粒粮食的导热系数比粮堆的导热系数高4~5倍，这是因为粮堆中空气存在的结果。空气的导热系数 λ 为0.0234W/m·K。

显然，较小的导热系数决定了粮堆是热的不良导体。粮堆对热的传入、传出都很缓慢。粮堆的这一性质，对粮食的储藏有有利的一面，也有不利的一面。当粮堆局部发热时，由于粮堆难以传热，接近发热层处的粮食温升比发热层中心慢得多。据测定，在距离发热中心1.5米和2米处，分别要经过10和20昼夜才有明显的温升；距离2.5米处，要经过30昼夜；距离3米处，30昼夜仍察觉不到温升。因此在检查粮情时要合理布点，以尽早发现局部发热。

粮堆的不良导热性的有利作用是在合理保管时，低温进仓的粮食甚至在热的季节里，也能保持较低的粮温，抑制和推迟虫霉的危害。近年来发展的小麦热入冷储的储藏方法，就是充分利用粮食导热性不良的特性。

二、热容量、导温系数

物体在传热的同时，本身也会吸收部分热量而加热。粮食也不例外，它不仅传热，而且也吸热升温。研究指出：同样重量的物体吸收同样的热量，其升温的幅度也会不同。为了准确地表示物体这种性质，人们定义了热容量和导温系数的概念。导温系数表示为：

$$\alpha = \frac{\lambda}{C \cdot \gamma}$$

式中： α ——导温系数（米²/小时）；

C——粮食的比热（KJ/Kg·K）；

γ ——粮食的容重（千克/米³）；

λ ——导热系数（W/m·K）。

粮食的导温系数是个综合系数，包括了粮食的导热系数及热容量。它表示了粮食的热惯