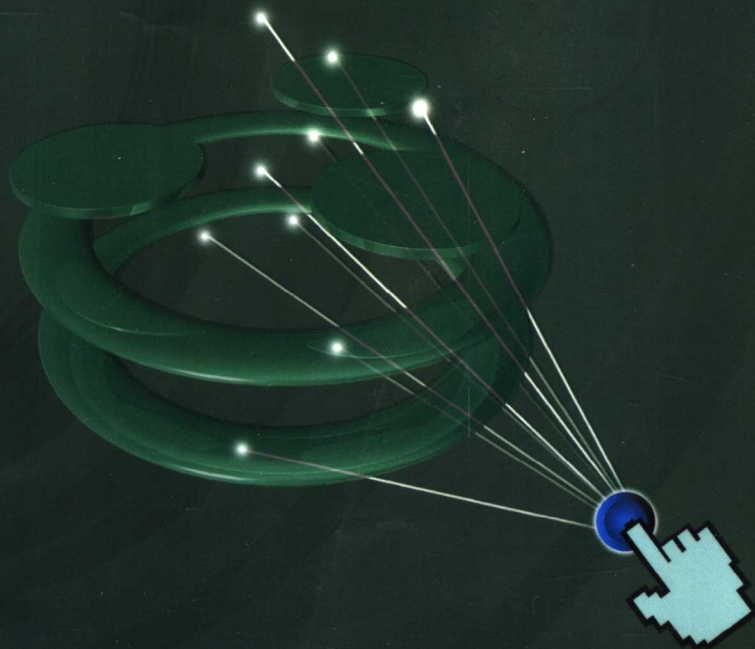


粮食储运安全 与技术管理

王若兰 主编 白旭光 副主编



化学工业出版社

粮食储运安全与技术管理

王若兰 主 编

白旭光 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

粮食储运安全与技术管理/王若兰主编. —北京: 化学工业出版社, 2005. 3

ISBN 7-5025-6789-5

I. 粮… II. 王… III. ①粮食-贮藏②粮食-运输③粮仓-仓库管理 IV. S379

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 021864 号

粮食储运安全与技术管理

王若兰 主 编

白旭光 副主编

责任编辑: 梁 虹 胡全胜

责任校对: 郑 捷

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

[http:// www.cip.com.cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市前程装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 19¼ 字数 363 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6789-5/TS·264

定 价: 39.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

编写说明

本书结合我国粮食储运的实际情况，力求全面反映目前国内
外粮食储运安全及技术管理的现状及新技术。本书的编写本着科学
性、先进性、实用性的原则，注重理论联系实际，是国内惟一
的一部关于粮食储运安全方面的著作。

《粮食储运安全与技术管理》为粮食、食品储运技术人员的专业
用书，可作为高等院校食品科学与工程专业的教学参考书，也可
作为粮食、物流、农业、工商管理等专业方向大、中专院校师生
的参考书，以及相关专业技术及管理人员的重要参考书。

本书由王若兰主编，白旭光副主编。本书的第一章、第二章
由王若兰编写，第三章、第八章由白旭光编写，第四章由蔡静平
编写，第五章由田书普、郝立群、董梅编写，第六章由张玉荣、
谭叶编写，第七章由王焰编写。最后由王若兰统稿。

辽宁省粮食科学研究所所在本书的编写过程中给予了很大的帮
助与支持，对他们以及所有关心支持编写工作的同事们表示衷心
地感谢。

由于编者水平所限，书中难免有不妥和疏漏之处，恳请读者
指正，使本书逐渐趋于完善。

编 者

2005 年 2 月于郑州

目 录

第一章 粮食特性	1
第一节 粮食的物理特性	1
一、粮堆的散落性	1
二、粮食的自动分级	3
三、粮食的孔隙度	5
四、粮食的热特性	7
五、粮食的吸附性和吸湿性	9
第二节 粮食的生理特性	12
一、粮食呼吸作用	12
二、粮食的生活力和休眠	14
三、粮食的后熟作用	15
四、粮食的发芽率和寿命	15
第三节 粮食储藏生态特性	16
一、生态系统	16
二、三温和三湿	18
三、粮堆发热	18
四、粮食储藏中的结露	19
第四节 粮食的储藏特性	20
 第二章 粮食储藏的仓型与围护结构	22
第一节 粮食储藏的常见仓型	22
一、不同储粮生态地域适宜仓型	22
二、我国的主要仓型及特点	24
第二节 粮仓的围护结构	37
一、储粮围护结构的类型及组成	37
二、各种围护结构的特点及技术参数	43
 第三章 储粮害虫防治技术	46
第一节 重要储粮害虫及其生物学	46
一、危险性害虫	46
二、蛀食性害虫	51

三、其他重要害虫	59
第二节 储粮害虫的预防措施	68
一、改变储粮环境清除害虫感染源	69
二、利用杀虫剂清除空仓和器材中的害虫	69
第三节 储粮害虫的非化学防治	70
一、温控防治技术	70
二、气调防治技术	74
三、电离辐射防治技术	77
四、生物防治技术	79
第四节 储粮害虫的化学防治	87
一、储粮保护剂及应用技术	87
二、储粮熏蒸剂及应用技术	93
 第四章 粮食储运的防霉技术	106
第一节 粮食储运安全相关的主要微生物类群	106
一、曲霉类霉菌	108
二、青霉类霉菌	112
三、其他霉菌	113
第二节 粮食微生物活动的一般规律	116
一、粮食储运期间霉菌含量变化的一般规律	117
二、储粮霉变发生的一般规律	118
三、主要粮食品种的微生物学特点	119
四、微生物对储粮品质的影响	121
第三节 粮食储运防霉技术	124
一、粮食储运防霉需要重点关注的因素	124
二、粮食防霉的早期预测	127
三、常用的粮食储运防霉技术	128
 第五章 粮食安全储藏技术	134
第一节 粮食干燥技术	134
一、粮食干燥的意义	134
二、国内外粮食干燥机现状	135
三、粮食的湿(热)物理性质	137
四、湿气体的基本知识	139
五、湿气体的 $I-d$ 图	142
六、粮食干燥机理	143

七、影响干燥粮食品质因素的分析	146
八、传热的基本方式	150
九、粮食干燥机分类	150
十、粮食干燥系统主要组成	151
十一、粮食干燥机主要组成	152
十二、干燥介质在系统中的流动顺序	158
十三、供热系统	158
十四、粮食干燥机生产管理	160
第二节 储粮通风技术	165
一、粮堆机械通风的概念	165
二、粮堆通风目的	165
三、粮堆机械通风的分类	166
四、粮堆机械通风系统	169
五、通风方法	169
六、粮堆通风系统的主要参数	171
第三节 气调储粮技术	174
一、自然密闭缺氧储藏	175
二、“双低”和“三低”储藏	175
第四节 温控储粮技术	177
一、高温储藏	177
二、低温储藏	178
三、准低温储藏	179
四、谷冷机低温储粮	179
五、地下储粮及地下粮仓	180
第六章 储粮安全检测技术	182
第一节 粮食温度检测技术	182
一、粮食温度的变化规律	182
二、粮温检测的意义	183
三、粮食温度计检测	183
四、数字式电子测温仪检测	183
五、微机巡回测温仪检测	184
第二节 粮食水分检测技术	186
一、粮食水分的变化规律	186
二、粮食水分检测的意义	186
三、粮食水分的测定技术	187

第三节 湿度检测技术	191
一、湿度检测的意义	191
二、湿度检测技术	191
第四节 气体成分检测	193
一、粮堆中的气体成分检测的意义	193
二、气体成分检测技术	194
第五节 储粮害虫检测	195
一、直观检查法	195
二、取样检查法	195
三、诱集检查法	198
四、其他检查方法	200
第六节 粮食质量和品质的检测	202
一、样品的抽取、制备和保存	202
二、粮食质量和品质的检测指标	207
三、粮食质量和品质检测方法	213
第七章 粮食运输安全与管理技术	237
第一节 我国交通运输业及粮食运输发展概述	237
一、我国交通运输业的发展	237
二、综合运输体系的发展与建立	237
三、我国粮食运输的发展	237
第二节 粮食运输方式	241
一、粮食包装运输	241
二、粮食散装运输	244
三、粮食集装箱运输	249
第三节 粮食运输管理	252
一、粮食运输的基本原则	252
二、粮食运输计划	252
三、粮食包装物及铺垫物	252
四、粮食发运	254
五、粮食接收	256
六、粮食中转	258
七、粮食运输责任划分	259
八、粮食运输定额损耗	263
九、粮食运输事故及处理	265
第四节 粮食物流系统及其合理化	268

一、物流产业与现代物流	268
二、粮食物流及其合理化	269
三、发展粮食物流的意义	271
四、影响粮食物流发展的因素	272
五、粮食运输合理化	274
六、粮食物流系统的规划	277
第八章 储粮安全生产	284
第一节 粉尘爆炸及其预防	284
一、粉尘爆炸的条件	284
二、粉尘爆炸的预防	285
第二节 储粮化学药剂的安全使用	287
一、储粮化学药剂的安全管理	287
二、储粮保护剂的安全使用	288
三、储粮熏蒸剂的安全使用	289
第三节 气调储藏的安全防护	292
一、供气装置的安全管理	292
二、气调储藏装置的使用安全	292
三、气调储藏的安全防护	293
第四节 仓储作业的事故预防	293
一、消防	293
二、灾害天气的防范	294
三、机械作业的安全	294
四、仓房进、出粮的安全	294
主要参考文献	296

第一章 粮食特性

粮食在储运期间是以粮堆的形式出现的，粮堆是由颗粒堆聚而成的群体。据测定 500g 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。通常粮食在储运时，形成了一个由数目相当大的粮粒组成的粮食群体——粮堆。当然粮堆的组成并非单一的粮食籽粒，而是由生物和非生物的多种成分组成。由包括粮粒在内的这些生物和非生物成分也同时形成了粮食储藏生态系统，在系统中粮堆会表现出一些有别于单个粮粒的特性，如物理特性和生理特性。在粮堆这个特定的生态系统中，这些特性又反过来影响粮食的储运安全。

第一节 粮食的物理特性

一、粮堆的散落性

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。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。粒小、饱满、圆形粒状、相对密度大、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。此外，粮食中含杂质的量增加，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，使粮粒表面黏滞，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。

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° 的直壁状，完全丧失了散落性。

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。在装粮时，散落性大的粮食要适当降低堆装高度，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：

$$P = \frac{1}{2} r h^2 \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right)$$

式中 P ——每米宽度的仓壁上受的侧压力, kg/m ;

r ——粮食的容重, kg/m^3 ;

h ——粮食的堆高, m ;

α ——粮食的静止角。

生产中往往根据侧压力的计算, 来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, 常采取包打围的堆装方法, 使仓墙不承受侧压力。

散落性也是确定自流设备的理论依据。当使用输送机输送粮食时, 输送机皮带和地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。

1. 静止角

静止角系粮食由高点落下, 自然形成圆锥体, 此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。

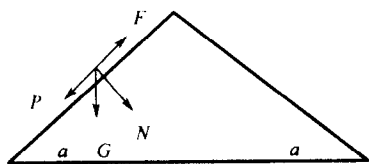


图 1-1 粮粒在斜面上的受力分析图

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 1-1 是粮粒在斜面上的受力分析图。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 的作用, 如粮粒与粮堆的斜面摩擦系数为 f , 则摩擦力 F 为 fN 。图中 P 分力是使粮粒下落的力, 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。表 1-1 给出了主要粮种静止角的大小。

表 1-1 主要粮种的静止角

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

表中所示, 油菜籽粒小、形圆、表面光滑, 其静止角比粒形较大、表面粗糙的稻谷小得多。此外, 粮食中杂质含量、水分含量也会影响静止角。表 1-2 给出了同一种大豆含水量、含杂率不同时的静止角。

表 1-2 大豆含水量与含杂率不同时的静止角

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

2. 自流角

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自流角/(°)

粮 种	刨 光 木 板	铁 板	水 泥 或 砖
小麦	24~27	24~28	21~23
大麦	26~27	25~30	25~28
燕麦	26~28	21~25	24~27

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。

二、粮食的自动分级

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不同, 运动状态也不同。因此粮食在振动、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。

自动分级现象的发生与粮食输送移动时的作业方式、仓库类型密切相关。作业方式不同, 自动分级状况也不相同; 仓库不同, 自动分级现象也不相同。按其作业方式、仓库类型和粮堆形成的条件可大体分为三种情况。

1. 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。

2. 房式仓入库

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和固定式。如移动式入库，一般是输送机头先从仓端壁处开始，随入库逐步由内向外退移。因此，饱满的粮粒和沉重的杂质多汇集于机头

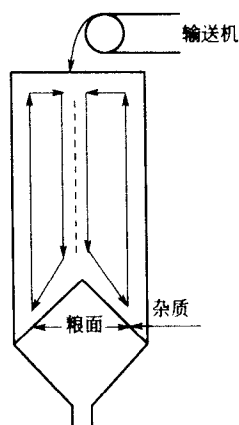


图 1-2 立筒仓自动分级

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。如固定式入库，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杂质区。

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

3. 立筒仓

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，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，靠近墙壁就形成环状轻型杂质区（见图 1-2）。而沉重的杂质多集中于落点处，形成一个柱形重型杂质区。出仓时，正好相反，比较饱满和密度大的粮粒首先出来，靠近仓壁的瘪小籽粒和轻浮杂质后出来。所以粮食品质也因出仓的先后不同而有差异（见表 1-4）。

表 1-4 立筒仓粮食进、出仓自动分级

作 业	部 位	容重/(g/L)	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 30min	666	1.80	1.54	2.50
	经 3.5h	660	3.50	5.0	2.98
	经 4.5h	496	1.70	9.0	19.90

按照自动分级形成的原因，自动分级可分为重力分级、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、较重的物料分于两者之间，从而形成了分层的现象。

浮力分级是指粮粒下落过程受力不同而造成自动分级的。重力为 g 的粮粒由高点下落，会受到空气的阻碍作用，空气对粮粒产生浮力 P （见图 1-3）。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。

气流分级通常发生在露天堆粮的过程中(见图1-4)。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。

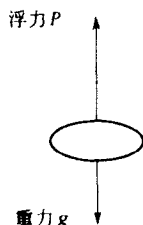


图 1-3 浮力分级受力图

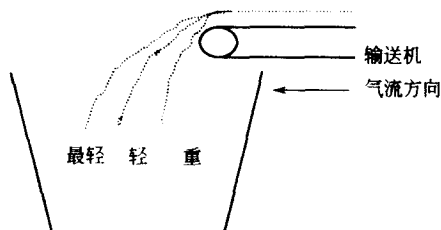


图 1-4 气流分级受力图

自动分级现象使粮堆组成重新分配,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,如不能及时发现还会蔓延危及整堆粮食。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。

防止自动分级最有效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,在卸粮时不断扇面旋转,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,也可安装旋转散粮器。散粮器是用机械方法,在入粮时将粮食均匀布散开,比较好地解决了粮食入仓时的自动分级和防止瘦小破碎粒、草秆等轻浮杂质流散到粮堆边缘。入粮时,将散粮器悬挂在入粮口,倒入的粮食经抛盘抛向四周,抛散的半径可通过调整转速来解决,转速高时,抛散直径较大,反之,抛散直径就小。另外立筒仓采取中心管进粮与中心管卸粮的方式,也可以有效减轻粮食分级现象。

三、粮食的孔隙度

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体积密度，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、热能交换的基础。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，但它的作用远远比宏观的孔隙复杂。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^①，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。几种粮食的密度、容重、孔隙度见表 1-5。

表 1-5 几种粮食的密度、容重、孔隙度

粮 种	密度/(kg/L)	容重/(kg/m ³)	孔隙度/%
小 麦	1.22~1.35	687~781	35~45
大 米	1.36~1.33	800~821	43
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

粮食的孔隙度用百分率来表示，可根据粮食的容重和密度来推算。

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

粮食的孔隙度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。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

① 本书中“重量”一词是粮食储运中经常使用的词，表示质量。

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。

四、粮食的热特性

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,深层粮温变化总是落后于表层,就是粮堆不良导热性的具体表现。

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,即有导热,又有对流和辐射,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。粮堆的导热性就是粮堆在传递热量时所表现出的特性,通常以粮食的导热性和导温性来衡量,而导热性和导温性可用粮堆的导热系数和粮堆的导温系数来说明。

粮堆的导热系数是指1m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1m²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 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%时导热系数为0.107。这表明,粮堆的导热系数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。这是因为空气的导热系数较小 [λ 为0.0234W/(m·K)],粮堆中空气的存在导致粮堆的导热系数下降。

显然,低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。粮食的这一性质,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,由于粮堆难以导热,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1.5m和2m处,分别要经过10和20昼夜才有明显的温升;距离2.5m,要经过30昼夜;距离3m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。

利用粮堆的不良导热性,采取合理的保管技术,对于粮食的安全储藏是非常有利的。如低温进仓的粮食甚至在夏季,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措施,也是充分利用了粮食的不良导热性。

物体在传递热的同时,本身也会吸收部分热量而温度升高。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,其升温的幅度是不同的。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:

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

式中 α ——导温系数, m^2/h ;

C ——粮食的比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

γ ——粮食的容重, kg/m^3 ;

λ ——热导率, $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

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性,即受到同样的热量,粮食温度升高的快慢程度。 α 大表明粮食易被冷却干燥, α 小表明不易干燥和冷却。通常粮堆的 α 值约为 $6.15 \times 10^{-4} \sim 68.5 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{h}$,数值较小,说明粮食不易升温 and 冷却。

C 和 γ 的乘积为体积热容量,表明物体储热能力的大小。如果粮食的 λ 值一定, $C\gamma$ 的值越大,则 α 值越小。也就是粮食的储热能力大,不易加热升温,也不易冷却。

应该看到:当给定粮堆后, λ 就随之确定。因此,粮食的导温系数就取决于粮食的比热容,即比热容。比热容大, α 值就减少;比热容小, α 值增大。粮食的比热容指的是1kg粮食升高1K时所需的热量。粮食比热容的大小,取决于粮食的化学成分或各种成分的比例。如干淀粉的比热容为 $1.55 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,纤维的比热容为 $1.34 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,脂肪比热容为 $2.05 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$,谷类粮食干物质的比热容为 $1.55 \text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。粮食的比热容是干物质与水分比热容之和,而同种粮食的比热容因水分含量不同而有差别。因此,粮食的导温系数是粮食比热容的函数,粮食的比热容又是水分的函数。

粮食的比热容通常用下式计算:

$$C = C_g + \frac{C_s - C_g}{100} \omega$$

式中 C ——比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

C_g ——粮食干物质比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;

C_s ——水的比热容, $\text{kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;