

粮油加工技术丛书

# 粮油贮藏



## 保管技术

LIANGYOU ZHIJIANG  
BAOGUAN JISHU

舒在习 编著

湖北科学技术出版社

# 目 录

一、粮油的基本特性 .....	(1)
(一) 粮油的物理特性 .....	(1)
(二) 粮油的化学组成与营养特性 .....	(14)
(三) 粮油的生理特性 .....	(23)
(四) 粮油的贮藏特性 .....	(33)
二、粮油贮藏防霉技术 .....	(37)
(一) 粮油贮藏中主要的微生物 .....	(38)
(二) 贮藏粮油的发热 .....	(47)
(三) 贮藏粮油的霉变 .....	(52)
(四) 粮油贮藏防霉去毒技术 .....	(59)
三、粮油贮藏害虫防治技术 .....	(67)
(一) 粮油贮藏中主要的害虫 .....	(67)
(二) 害虫的预防 .....	(81)
(三) 害虫的检查 .....	(88)
(四) 害虫的防治 .....	(94)
四、粮油安全贮藏保管技术 .....	(104)
(一) 粮油干燥技术 .....	(104)
(二) 常规贮藏技术 .....	(107)
(三) 高温密闭贮藏技术 .....	(113)

(四) 低温贮藏技术 .....	(115)
(五) 气调贮藏技术 .....	(121)
(六) “双低”和“三低”贮藏技术 .....	(125)
<b>五、常见粮油的贮藏技术 .....</b>	<b>(130)</b>
(一) 原粮贮藏 .....	(130)
(二) 成品粮贮藏 .....	(147)
(三) 油料贮藏 .....	(153)
(四) 油脂贮藏 .....	(162)
<b>参考文献 .....</b>	<b>(168)</b>

## ◆ 粮油的基本特性

### (一) 粮油的物理特性

粮食和油料在贮藏过程中是成堆存放的，粮堆是由众多粮油子粒聚集而成的群体。据测定每千克稻谷约 40 000 粒、小麦 30 000 粒、玉米 3 000 ~ 4 000 粒、蚕豆 800 ~ 1 200 粒、油菜 340 000 ~ 480 000 粒。粮堆中除了这些基本的粮粒外，还包括一些有机杂质、无机杂质、害虫、微生物以及粮粒间的空气等。这些生物和非生物成分共处同一粮堆中，使粮堆表现出一些有别于单个粮粒的特性。粮堆的基本特性与粮油安全贮藏关系极为密切。因此，要做好粮油贮藏工作，就必须了解粮油的基本特性。

#### 1. 粮堆的散落性

粮食是一种散粒体，内聚力很小。粮粒从高处自然下落形成粮堆时，向四周流动成为一个圆锥体的性质称为粮食的散落性。粮食散落性的大小通常用静止角来表示，所谓静止角是指粮食由高处落下时自然形成的圆锥体斜面与底面水平线之间的夹角。散落性越大，静止角越小；散落性越小，静止角越大。衡量粮食散落性的另一个指标是自流角。自流角是粮粒在不同材料的斜面上开始滑动时的倾角。与静止角不同，自流角既与粮食的散落性有关，又与

测试时所用的材料有关。

(1) 影响粮食散落性的因素 影响粮食散落性的因素有很多,如粮粒的形状、大小、表面的光滑程度、成熟度、水分及杂质的含量等。如果粮粒大、饱满、粒圆、表面光滑、水分低、杂质少,这种粮食的散落性就大,反之,其散落性就小。几种常见粮食的静止角如表 1-1 所示。

表 1-1 常见粮食的静止角

粮种	静止角 (°)		静止角变动范围 (°)
	起	止	
稻谷	37	45	8
小麦	23	38	15
玉米	30	40	10
大麦	28	45	17
糙米	27	28	1
大米	23	33	10
大豆	24	32	8
蚕豆	33	42	9
油菜子	20	27	7
芝麻	24	30	6

同一种大豆含水量、含杂率不同时的静止角如表 1-2 所示。

(2) 散落性与粮食贮藏的关系 散落性好的粮食,在装卸过程中容易流散,对于“四散”(散装、散运、散贮、

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 (°)	杂质 (%)	静止角 (°)
大豆	11.2	23.3	3.0	25.0
	17.7	25.4	1.0	23.8

散卸) 作业都比较方便。安全贮藏的粮食, 其散落性变化不大。如果粮食出汗返潮, 生虫发霉, 其散落性就会下降。粮食霉变结块时, 甚至完全丧失散落性。因此, 可以根据散落性的变化判断粮食的贮藏稳定性。粮食散贮时, 散落性较好的对仓壁所产生的侧压力就较大。同时, 粮堆越高, 对仓壁的侧压力也越大。因此, 对于同一仓房, 装散落性大的粮食要适当降低堆装高度, 装散落性小的粮食则可适当增加堆装高度。如果仓壁强度不足以抵抗粮堆的侧压力时, 可采用包打围的方法存放粮食。粮食的散落性也是确定自流设备角度的依据, 如溜筛、进出料斗和自流管的倾斜角度, 一般应比自流角大  $5 \sim 10^\circ$ ; 而使用输送机输送粮食时, 输送机的倾斜角要小于粮食的自流角, 这样才能保证设备正常工作。

## 2. 粮食的自动分级

通常情况下, 一批粮食中粮粒的大小、饱满程度、破碎状况是不同的, 杂质也是大小不一, 轻重不同。在震动或散落过程中, 它们受到的空气阻力、摩擦力、重力不同, 运动状态也不同。因此粮食在震动或散落时, 同类型、同质量的粮粒和杂质就会自动聚集在粮堆的某一部位, 使粮堆组成成分重新分布, 这种现象称为粮食的自动分级。

(1) 自动分级的类型 自动分级现象的发生与粮食输送移动时的作业方式、仓库类型以及粮堆形成的条件密切相关。在不同条件下，自动分级的情况各不相同。

①自然流散形成粮堆时的自动分级：粮食从高处自然下落流散成粮堆时，较重的杂质和饱满的粮粒落在圆锥体的中心部位，而较轻的破碎的粮粒和杂草种子就沿着斜面下滑至圆锥体的底部。随着圆锥体的不断扩大，杂质就在粮堆的底部不断积累，最终形成基底杂质区。小麦自然形成粮堆时的自动分级情况见表1-3。

表1-3 小麦自然形成粮堆时的自动分级情况

品质指标	圆锥体顶部	圆锥体底部
容重(千克/立方米)	707	667
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

②房式仓入库时的自动分级：房式仓是我国最常见的一种仓型。粮食入库一般有人工进粮和机械进粮两种。人工入粮时，粮食倒点分散，边倒边匀，自动分级不明显。如采用移动式输送机入库，饱满的粮粒和较重的杂质多汇集在输送机机头下粮堆的中央部位，而输送机两侧的粮食

则含有较多的瘪粒和较轻的杂质，形成带状杂质区。

③立筒仓入库时的自动分级：在粮食加工厂，立筒仓一般都是原料仓。因其仓身较高，且以输送机定点从仓顶中央进粮，自动分级现象明显。粮食从高处落下时会带动空气运动，形成涡旋气流，涡旋气流会将粮面上较轻的杂质吹向仓壁。随着粮面的升高，靠近仓壁处就形成环状轻型杂质区。而较重的杂质多集中在落点处，并在筒仓中心部位形成一个重型杂质区。粮食出仓时，情况刚好相反，饱满和密度较大的粮粒先流出，靠近仓壁的瘪粒和轻浮杂质后流出。因此粮食品质也因出仓的先后出现差异。

④散装粮长途运输时的自动分级：散装粮长途运输时，由于车船的颠簸和震动，粮堆中大而轻的物料上浮，细而重的物料下沉，从而形成了不同粮质的分层现象。

(2) 自动分级与粮食贮藏及粮食加工的关系 自动分级造成一批粮食品质不均一，使其加工产品质量不稳定。由于粮堆组成重新分配，对安全贮藏非常不利。杂质较多的部位，往往水分高，易发热、生虫、霉变。而灰尘集中的部位，孔隙度小，吸附性大，在熏蒸杀虫时药剂渗透困难，影响杀虫效果。同时，由于粮堆局部阻力增大，也影响通风降温降水的效果。在扦取样品的時候，自动分级还会影响样品的代表性，造成检验结果的误差，增加了判断粮情的难度。在粮食贮藏中，有时也可利用自动分级有利的一面，如利用风车等气流分级清理粮食，利用筛体震动除去重型杂质。

(3) 防范自动分级的措施 防范自动分级最有效的措施就是入库前认真清理粮食，降低杂质含量。其次，在粮



仓上或机械设备的卸粮端安装一些机械装置，使粮食均匀地向四周散落，减轻自动分级现象。如在皮带输送机头部安装散粮器，或在立筒仓入粮口处安装锥形散粮器、旋转散粮器。立筒仓还可采用中心管进粮与中心管卸粮的方式，可以有效减轻自动分级现象。对自动分级严重的粮堆，在加工之前应进行翻堆处理。在粮食贮藏的日常管理中，对于自动分级严重的部位要多设点、勤检查，以便及早发现问题。

### 3. 粮食的孔隙度

粮食堆放在一起，由于粮粒本身形状的不规则性，粮粒与粮粒之间就会形成空隙。在一个粮堆中，孔隙体积占粮堆总体积的百分率称为粮食的孔隙度，粮堆中粮粒体积占粮堆总体积的百分率称为密度。与孔隙度密切相关的另一个物理量是容重，容重是指单位体积内某种粮食的质量，它是小麦、玉米等粮食的定等指标。

(1) 影响粮食孔隙度的因素 一般而言，粮食颗粒大、完整、表面粗糙的，孔隙度就大；粮粒小、破碎粒多、表面光滑的，孔隙度就小。含细小杂质多时，孔隙度下降；含大而轻的杂质较多时，孔隙度上升。对于同一粮堆，底层承受的压力较大，孔隙度随贮藏时间的延长而下降，人工入库脚踏的粮堆孔隙度下降，自动分级明显的部位孔隙度变化也大。粮食在贮藏中如果吸湿膨胀，粮粒相互挤压，孔隙度也会下降。几种粮食的比重、容重和孔隙度见表1-4。

表 1-4 几种粮食的比重、容重和孔隙度

粮种	比重 (千克/升)	容重 (千克/立方米)	孔隙度 (%)
稻谷	1.04 ~ 1.18	511 ~ 586.5	50 ~ 65
大米	1.33 ~ 1.36	800 ~ 821	43
小麦	1.22 ~ 1.35	678 ~ 781	35 ~ 45
玉米	1.11 ~ 1.25	675 ~ 807	35 ~ 55
大麦	0.96 ~ 1.11	503 ~ 610	45 ~ 55
高粱	1.11 ~ 1.28	665.5 ~ 758	33 ~ 35
黄豆	1.14 ~ 1.28	658 ~ 761.5	38 ~ 43
绿豆	1.35 ~ 1.37	746.5 ~ 582	31 ~ 33
豌豆	1.27 ~ 1.35	663.5 ~ 765	36 ~ 37
蚕豆	1.08 ~ 1.38	607 ~ 835	38 ~ 40
油菜子	1.11 ~ 1.38	672 ~ 685	36
面粉	1.3	594 ~ 605	40 ~ 60
花生仁	1.01	600 ~ 651	40 ~ 48

(2) 孔隙度与粮食贮藏的关系 粮堆中的孔隙是粮粒正常生命活动的环境，能提供粮食呼吸所需的氧气，也可散发粮堆内的湿热气体。如果孔隙度小，当粮堆局部出现高温高湿时，气体交换不足，则易引起局部发热霉变。所以，粮堆中有一定的孔隙度，对安全贮粮有重要作用。另一方面，很多贮粮技术都要以粮堆孔隙度作为前提条件，如对粮堆进行自然通风或机械通风，用熏蒸剂杀灭贮粮害虫，开展气调贮藏等，都是利用粮堆具有孔隙这一性质而实现的。

#### 4. 粮食的导热性

粮食的导热性是指粮堆传递热量的能力。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有助于热量的传递，但正常的粮堆内气流速度缓慢，因此整个粮堆的导热性较差。如正常粮堆温度的变化总是落后于外温，粮堆深层温度的变化总是落后于表层，这些现象都是粮堆导热性较差的具体表现。

通常用导热系数来衡量粮堆的传热能力。粮堆导热系数是指1米厚的粮层在上层和底层的温度相差 $1^{\circ}\text{C}$ 时，在1小时内通过1平方米的粮堆表面面积的热量。如小麦水分在20%时，导热系数为0.232，水分在10%时导热系数为0.107。这表明，粮食含水量越高，粮堆的导热能力越大。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为0.0234，粮堆中空气的存在导致粮堆的导热系数比粮粒低很多。

粮堆是热的不良导体，对热量的传入、传出都很缓慢，在粮层表面30厘米范围内，粮温的变化受外温影响较大，超过30厘米后受外温的影响大大减弱。粮堆的这一性质，对于贮藏既有有利的一面，也有不利的一面。如采用低温贮藏粮时，当粮温降到适宜的温度后，压盖粮面，可以有效地保持粮堆处于低温状态，抑制粮食呼吸，减少虫霉的危害，延缓粮食陈化，有利于安全贮藏。而另一方面，由于粮堆是热的不良导体，粮堆内部的积热也不易散发出去，容易出现局部发热、生虫、霉变等不良现象。当粮堆局部发热时，由于粮堆导热性差，发热部位附近的粮食升温速

度比发热中心部位要慢得多。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置测温点，经常检查粮堆温度变化，以便尽早发现发热点，减少粮食损失。

### 5. 粮食的吸附特性

粮食吸附各种气体和蒸汽的性能称为吸附特性。粮食之所以具有吸附性，主要是因为粮粒是多孔的毛细管结构物质，其表面和内部的微观界面上各种分子受到作用的合力不等于零，处于力场不平衡的状态。该不平衡力场往往由于吸附某些物质而得到补偿。所以粮食的表面和内部的微界面可以自动地吸附某些物质。如果将粮食和其他有特殊气味的物质混放在一起，粮食就会沾染各种气味。粮食也能吸附空气中的水蒸气，从而使粮食的含水量增加，这一性质称为粮食的吸湿。在一定的条件下，粮食又可把吸附的气体或蒸汽散发出去，这就是粮食的解吸性。粮食对水汽的吸附与其品质的变化密切相关，是粮食结露、湿热扩散的重要原因。因此，了解粮食的吸附特性对安全贮藏十分重要。

(1) 吸附的类型 粮食对气体或蒸汽的吸附分为物理吸附和化学吸附两种类型。

一般情况下，粮食对气体的吸附主要是物理吸附，即吸附表面的分子和被吸附气体分子之间的作用力是分子间引力。这类吸附的特点是越易液化的气体，越易被吸附；吸附速度和解吸速度都较快；吸附量随着温度的升高而下降。

在某些情况下粮堆中发生的吸附是化学吸附，如熏蒸

药剂的残留，一些液体污染物的吸附等等。粮粒发生化学吸附的原因，是由于粮粒中某些部位分子上原子的价电子未完全被相邻原子所饱和，还有剩余的成键能力。因此吸附剂与粮粒之间发生电子转移，生成化学键。化学吸附的特点是吸附温度越高，吸附速度越快；一般条件下，不易吸附和解吸；在特殊条件下，吸附剂与粮食某些部位的分子形成稳定的化合物，就不可能解吸了，这就是一些化学药剂熏蒸后存在残毒的根本原因。

在粮堆中发生的物理吸附和化学吸附并非彼此孤立存在，根据吸附剂的不同，往往是物理吸附和化学吸附相伴发生。

(2) 影响粮食吸附作用的因素 粮食的吸附作用受到温度、吸附气体浓度、气体性质、粮粒的组织结构、化学成分等因素的影响。

在气体浓度不变的情况下，温度下降，物理吸附过程加强，吸附量增加，而化学吸附随着温度的下降吸附量减少。反之，温度升高，物理吸附过程减弱，吸附量减少，而化学吸附的速度增加，吸附量增加。

在温度不变的情况下，气体浓度增加，超过粮堆内部的压力，吸附量增加；相反吸附气体浓度降低，吸附动态平衡向解吸方向移动，吸附量减少。

在温度和气体浓度都不变的情况下，沸点较高，容易液化的气体，都易被吸附，能与粮油成分发生反应的气体，也易发生化学吸附。

粮食种类不同，其组织结构、化学成分各异，吸附能力也不相同。不同粮食对二氧化碳的吸附量见表1-5。

表 1-5 不同粮食对二氧化碳的吸附量 (毫升/千克, 20℃, 3 小时)

种类	花生	大豆	芝麻	玉米	糙米	稻谷	小麦	大米	面粉
吸附量	560	400	230	170	90	85	75	70	60

从表 1-5 中可以看出, 在同一条件下, 花生、大豆、芝麻等含蛋白质较多的粮食, 吸附能力大; 小麦、稻谷等含蛋白质较少的粮食, 吸附能力较弱。此外, 表面粗糙、组织疏松、破碎粒多、虫蚀粒多的粮食, 一般吸附能力较强。

对于同一粮粒, 不同部位的吸附能力也有差别。通常胚部的吸附能力最强, 皮层和糊粉层次之, 其他部位较小。

(3) 粮食的吸湿特性 粮食能吸附与解吸水蒸气的特性, 称为吸湿特性, 它是粮食吸附特性的一个具体表现。在贮藏期间, 粮食水分的变化主要与吸湿性能有关。粮食水分含量是粮食贮藏最重要的变量, 是影响贮藏稳定性的关键因素之一。

粮粒对水蒸气的吸附, 既有物理吸附也有化学吸附。吸湿的过程一般可分为吸着、吸收、毛细管凝结。当外界环境中的水气分压高于粮粒内部的水气分压时, 外界蒸汽分子被吸附在粮粒表面, 这种现象称为吸着。当蒸汽被吸入后, 如果蒸汽压力仍大于粮粒内的蒸汽压力, 蒸汽就会不断地进入粮粒内, 开始蒸汽分子扩散到粮粒内部的毛细管壁, 而被粮粒内部活性部位吸附, 形成单分子层, 继续吸附而变成多分子层, 称为吸收。当毛细管壁上的蒸汽吸附层逐渐加厚至中央汇合时, 被吸入的蒸汽分子在粮粒内的毛细管中达到饱和而凝结, 就出现了毛细管水分, 称为

### 毛细管凝结。

粮粒中有一部分水是以毛细作用的形式，保持在粮粒内部的颗粒间隙中，这些水具有自然界中水一样的性质，通常将这一部分水叫做“自由水”。另一部分水则以分子间力保持在粮粒中，吸附在粮粒的有效表面，叫做“吸附水”。还有一部分水以化学键的形式与粮食中的某一成分相结合，构成了粮粒物质整体的一部分，这部分水叫做“结合水”。

当外界环境中的水气分压低于粮粒内部的水气分压时，粮粒中的水分从毛细管中扩散到周围空气中，即粮粒中的水分发生解吸作用。解吸时首先是粮粒内的自由水扩散到空气中，然后是吸附水，粮食中的结合水受环境影响的可能性不大。

(4) 粮食的平衡水分 由于粮食具有吸湿性，所以粮食中的水分会随着大气的相对湿度而变化。当大气相对湿度低时，粮食水分会逐渐放出，反之粮食因吸湿而增加水分，直至达到平衡为止。在一定的温度和空气相对湿度条件下，粮食吸收水分和释放水分的速度相等时，即粮食对水气的吸附和解吸处于动态平衡，这时粮食所含的水分叫做平衡水分。表1-6是几种主要粮食在不同温湿度条件下的平衡水分。

从表1-6可以看出，由于子粒结构和化学组成的差别，不同种类的粮食在同一状况下所达到的平衡水分是不同的。在同一温度下，相对湿度越高，平衡水分越大；相对湿度越低，平衡水分越小。在同一相对湿度下，粮温越低，平衡水分越大；粮温越高，平衡水分越小。由于温度上升时，

表 1-6 不同温湿度条件下粮食的平衡水分

粮种	温度	相对湿度							
		20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
稻谷	30℃	7.13	8.51	10.00	10.88	11.93	13.12	14.66	17.13
	25℃	7.40	8.80	10.20	11.15	12.20	13.40	14.9	17.30
	20℃	7.54	9.1	10.35	11.35	12.50	13.70	15.23	17.83
	15℃	7.80	9.30	10.50	11.55	12.65	13.85	15.60	18.00
	10℃	7.90	9.50	10.70	11.80	12.85	14.10	15.95	18.40
	5℃	8.00	9.65	10.90	12.05	13.10	14.30	16.30	18.80
	0℃	8.20	9.87	11.09	12.29	13.26	14.50	16.59	19.22
	小麦	30℃	7.41	8.88	10.23	11.40	12.54	14.10	15.72
25℃		7.55	9.00	10.30	11.65	12.80	14.20	15.85	19.70
20℃		7.81	9.24	10.68	11.84	13.10	14.30	16.02	19.95
15℃		8.10	9.40	10.70	11.90	13.10	14.50	16.20	20.30
10℃		8.30	9.65	10.85	12.00	13.20	14.60	16.40	20.50
5℃		8.70	10.86	11.00	12.10	13.20	14.80	16.55	20.80
0℃		8.90	10.32	11.30	12.50	13.90	15.30	17.80	21.30
玉米		30℃	7.85	9.00	10.13	11.24	12.39	13.90	15.85
	25℃	8.00	9.20	10.35	11.50	12.70	14.25	16.25	18.60
	20℃	8.23	9.40	10.70	11.90	13.19	14.90	16.92	19.20
	15℃	8.50	9.70	10.90	12.10	13.30	15.10	17.00	19.40
	10℃	8.80	10.00	11.10	12.25	13.50	15.40	17.20	19.60
	5℃	9.50	10.30	11.40	12.50	13.60	15.60	17.40	19.85
	0℃	9.43	10.54	11.58	12.70	13.83	15.58	17.60	20.10



平衡向解吸作用增强的方向移动，加热会引起粮粒吸附物上的水分子部分脱离，因而水分吸附量减少，平衡水分就相应下降。当温度下降时，平衡则向吸湿作用增强的方向移动，水汽吸附量增长，平衡水分就相应升高。当温度由30℃降至0℃时，各种粮食的平衡水分几乎相应增加1.3%~1.4%。

(5) 粮食的吸附特性与贮藏的关系 由于粮食具有吸附特性，能吸附有特殊气味的物质，容易造成粮油污染。贮藏中的粮食吸附熏蒸杀虫剂，减少了药剂的有效浓度，不利于熏蒸杀虫，同时也造成了药剂在粮食中的残留。粮粒的吸湿性质和平衡水分的概念，指出了空气相对湿度对粮食水分的影响，当水分大的粮食存放在相对湿度低的环境时，粮食水分会散发，反之，如把干燥的粮食存放在空气潮湿的环境中，粮食则增加水分而受潮。因此，在粮食贮藏期间，利用通风、密闭、干燥等措施控制和调节水分时，必须运用粮食的吸湿性与平衡水分的概念和规律。

## (二) 粮油的化学组成与营养特性

### 1. 粮油的化学组成

粮食及油料的化学成分包括许多类物质，除了水分和主要营养物质（碳水化合物、蛋白质和脂肪）以外，还含有少量的矿物质、维生素、酶及色素等物质。粮食及油料子粒中各种化学成分的含量，在不同种类粮食及油料之间相差很大，但在正常的条件下，同一品种粮油的化学成分变动幅度较小。表1-7为几种主要粮食和油料子粒的化学成分及含量。