

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

粮油储藏学

(第二版)

主编 王若兰

前 言

本教材为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，是在普通高等教育“十一五”国家级规划教材《粮油储藏学》（王若兰主编，中国轻工业出版社，2009年）的基础上修订而成的。修订指导思想系根据学科的完整性和科技发展，并密切结合粮食储藏技术实际，以及高等院校《粮油储藏学教学大纲》的要求确定，总共75学时（含20学时实验），适合作为高等院校相关专业本科教材，也可作为粮油、食品、农业、轻工等有关专业的研究生以及相关领域科研人员的参考书。

粮食产后体系的科学问题具有显著的多学科交叉特征，粮食储藏是一门集理论、应用和实践为一体的学科，随着科技的发展和进步，这一学科的相关知识也在不断更新和完善。本教材在作者多年教学、科研工作的基础上，针对我国在该领域的现状与发展，吸纳国外先进技术，按照科学性、先进性和实用性的原则，内容既包含了粮油储藏技术领域的基本理论和现代粮食储藏主要技术，也涵盖了近年来该学科和领域的相关研究新进展，同时还汇集了作者多年来承担的“九五”“十五”“十一五”国家科技支撑计划项目和国家高技术研究发展计划（863计划）项目的重大科研成果。教材编写力求言简意赅、立论严谨、实用性强，以满足学生的需求，丰富粮油储藏理论，推动行业的技术进步，适应学科、技术和社会的发展。

本教材由王若兰主编，编者及分工如下：赵妍编写第1章、第7章，宋永令编写第2章，渠琛玲编写第3章，王若兰编写第4章、第6章，黄亚伟编写第5章、第8章，舒在习编写第9章、第10章、第11章和第12章。

在本教材编写过程中，河南工业大学的有关部门给予了大力的支持与帮助，在此对所有关心支持本教材编写工作的同仁表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥和疏漏之处，恳请读者指正，以便本教材日臻完善。

编者

2016年1月

目 录

第一篇 粮油储藏基础理论

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 粮食的物理参数	4
第三节 粮食的流散特性	6
第四节 粮食的热特性	16
第五节 粮食的吸附特性	18
第六节 粮堆中的微气流	29
思考题	31
参考文献	31
第二章 粮食的收获后生理	33
第一节 粮食的呼吸作用	33
第二节 粮食的后熟与陈化	42
第三节 粮食的休眠与萌发	50
思考题	57
参考文献	57
第三章 粮油的化学成分及品质变化	58
第一节 粮油的化学组成及分布	58
第二节 粮油品质	66
第三节 粮油在储藏期间的品质变化	68
第四节 主要粮油储存品质控制指标	88
思考题	92
参考文献	92
第四章 粮食储藏生态系统	94
第一节 储粮生态系统的组成及特征	94

第二节 中国储粮生态区域的划分及其特点	104
第三节 储粮生态系统的环境因子	111
第四节 粮食结露与发热霉变	118
思考题	126
参考文献	127

第二篇 粮油储藏通用技术

第五章 储粮机械通风技术	128
第一节 概述	128
第二节 储粮机械通风系统的组成及分类	130
第三节 流体力学基础理论	136
第四节 通风系统主要参数	143
第五节 通风机	147
第六节 均匀送风风道的设计	156
第七节 通风系统的测试与调整	159
第八节 机械通风条件的判断与选择	167
第九节 机械通风的操作管理	176
思考题	177
参考文献	178
第六章 粮食低温储藏技术	179
第一节 概述	179
第二节 低温粮仓的建筑要求	186
第三节 低温储粮的隔热技术	194
第四节 机械制冷低温储粮	200
第五节 低温仓冷负荷计算	215
第六节 空调与谷物冷却机低温储粮	218
思考题	224
参考文献	225
第七章 气调储粮	226
第一节 概述	226
第二节 气调储粮密封技术	234
第三节 生物降氧储粮技术	243
第四节 氮气储粮技术	246
第五节 二氧化碳储粮技术	254

第六节 化学脱氧与真空气调储粮	257
第七节 气调储粮技术管理	261
思考题	266
参考文献	266
第八章 粮食地下储藏	268
第一节 地下仓储粮概述	268
第二节 地下储粮原理	273
第三节 地下仓的建造	276
第四节 地下储粮的技术管理	279
思考题	282
参考文献	282
第九章 粮食露天储藏技术	283
第一节 概述	283
第二节 粮食露天储藏囤、垛建造	286
第三节 粮食露天储藏技术	298
第四节 露天储粮技术管理	303
思考题	307
参考文献	307

第三篇 粮油储藏专项技术

第十章 原粮及成品粮的储藏	309
第一节 稻谷与大米的储藏	309
第二节 小麦与小麦粉的储藏	325
第三节 玉米与玉米粉的储藏	339
第四节 杂粮的储藏	346
思考题	358
参考文献	359
第十一章 食用油料的储藏	360
第一节 油料的储藏特性	360
第二节 主要油料的储藏	362
思考题	384
参考文献	385

第十二章 食用油脂的储藏	386
第一节 油脂概述	386
第二节 油脂的储藏特性	391
第三节 影响油脂安全储藏的因素	394
第四节 油脂的储藏技术	397
第五节 油脂储藏技术管理	403
思考题	407
参考文献	408

第一篇 粮油储藏基础理论

第一章 粮食的物理性质

【学习指导】

了解粮粒及粮堆的构成；掌握常见的粮食物理参数；熟悉和掌握粮食的流散特性，重点包括散落性、自动分级、预防措施、孔隙度，以及上述问题与储粮稳定性的关系；熟悉和掌握粮食的热特性，重点包括导热性、导温性，以及上述问题与储粮稳定性的关系；熟悉和掌握粮食的吸附特性，重点包括吸附类型、影响吸附的因素、吸湿特性；了解粮堆中的微气流，掌握微气流与储粮稳定性的关系。

第一节 粮粒及粮堆的构成

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——散落性、自动分级；粮食的热特性——导热性和导温性；粮食的吸附特性——气体吸附特性和吸湿特性、吸附滞后现象等。这些物理特性相互依赖，又相互制约，不仅影响其他物理性质，同时也被其他物理的、生化的、生物的性质所影响，并对粮食的生命活动、虫霉危害、储藏稳定性等产生有利的或不利的的影响，并与粮食清理、干燥、通风、控温、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性质。

一、粮粒的构成

粮食是小麦、稻谷、玉米、谷子、大麦等禾谷类籽粒及薯芋类、豆类和油料的总称。由于受到遗传特性、地理环境和栽培条件等因素的影响，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的或不利的的影响。粮粒的构成如图 1-1 所示。

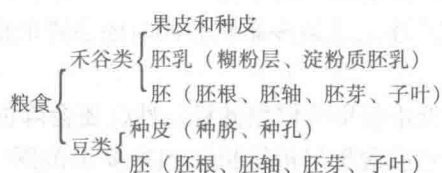


图 1-1 粮粒的构成

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，形成了抵御不良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。一般来说，胚越大，储藏稳定性越差，这是对于储藏不利的一面。因此，各种粮食构成方面的差异，是导致粮食储藏稳定性差异的原因之一。

二、粮堆的构成

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，500g 稻谷约 20000 粒、小麦 15000 粒、玉米 1500 ~ 2000 粒、蚕豆 400 ~ 2600 粒、油菜籽 170000 ~ 240000 粒。通常一个粮仓装粮 100 万 ~ 1000 万 kg。在这个群体中包括生物成分和非生物成分，储藏期间生物成分和非生物成分相互影响、相互制约，对储藏稳定性起着决定性作用。因此，了解粮堆的构成对储粮稳定性的影响，可以有效防止储藏期间不利因素的形成和发展。

（一）粮粒

粮堆是由无数粮食颗粒堆聚而成的群体，在这个群体中，粮粒彼此之间在体积、形状、饱满程度、成熟度、有机成分含量、体积质量、水分含量、破损情况等诸多方面存在一定的差异。导致这些差异的主要原因是：

- （1）同一种粮食，但品种不一样；
- （2）同一个品种，但种植和生长条件不一样；
- （3）同一个品种，种植和生长条件也一样，但在植株上生长的部位不同；
- （4）收获时间的差异；
- （5）收获方式及脱粒方式的差异；
- （6）收获后晾晒与否，导致入仓粮食的水分差异。

（二）杂质

粮堆内除了粮食颗粒之外，还有在收获、脱粒、晾晒、运输等诸多环节中混入粮堆内的杂质。粮堆内的杂质分为有机杂质和无机杂质两种。

有机杂质包括：植物的秆、根、茎、叶、壳和外来植物种子或杂草种子。

无机杂质包括：石子、沙子、炉渣、泥块和一些金属物等。

杂质对储粮稳定性的影响主要包括：

- （1）有机杂质具有较强的呼吸能力，使储粮稳定性下降；
- （2）有机杂质是虫霉的滋生场所，给以后储粮发热霉变提供了条件；
- （3）杂质聚集的地方，改变了粮堆内部原有的孔隙度，给以后储粮发热霉变创造了条件；
- （4）杂质含量高可以改变粮食原来的散落性；
- （5）杂质含量超标不仅产生上述诸多影响，同时还会降低粮食等级。这对企业或是生产者都是不利的。

综上所述，杂质含量高低不仅影响储粮的稳定性，还会降低粮食等级。因此，粮食入仓之前要进行充分清理，使杂质含量尽量维持在国家要求范围（ $\leq 1\%$ ）之内，这对于仓储企业是非常重要的。

（三）储粮害虫

储粮害虫给储粮带来的危害是多方面的。首先，由于害虫的危害，造成了粮食重量的损失。据有关部门调查，我国储藏中的粮食损失，国家粮库为0.2%；农户的储粮损失为6%~9%，其中引起损失的主要因素是储粮害虫的危害。目前，我国粮食的年产量已超过5亿吨，而农户储粮占1/2以上，因此储粮因虫害而引起的损失是非常大的。有些害虫喜食粮食籽粒的胚芽，使种子粮的发芽率降低甚至完全丧失，影响农业生产。有些害虫蛀蚀粮食的胚乳，使粮食的营养价值降低。有些害虫还能危害仓、厂建筑与包装器材。虱状恙螨可引起人皮肤患谷痒症和皮炎。害虫在取食、呼吸、排泄和变态等生命活动中散发的热量，能促使粮食发热；害虫的分泌物、粪便、尸体、蜕、丝茧等会污染粮食，直接影响人体健康和畜禽的生长发育。由此可知，储粮害虫不仅会造成肉眼可见的直接损失，还会造成间接损失和由于商品生虫而引起的商品信誉损失，以及造成对人们心理的不良影响等。

在粮食储藏的全过程中，虫害问题自始至终都应加以注意。应根据情况，“以防为主，综合防治”，尽早采取措施，彻底除治害虫，使它不会大量繁殖为害。

（四）微生物

微生物是形体微小、结构简单、分解能力特别强的所有低等生物的总称。微生物与人类的生产和生活有着非常密切的关系，人类可利用微生物生产出各种预想的食物和抗生素，但微生物也可使人类致病。微生物与其他生物相比，其基本特点是形体极其微小，一般仅为几微米至几十微米，肉眼看不见，需借助显微镜才能观察到。从基本特点可知微生物的五大共性：体积小、面积大；吸收多、转化快；生长旺、繁殖快；适应强、易变异；分布广、种类多。由于微生物的这些特点，在自然条件下，无论是田间生长或收获之后的粮食及其加工产品上，均带有大量的微生物，也就是说不带微生物的粮食是不存在的。粮食微生物就是寄附在粮食子粒及其加工产品和副产品上的微生物，主要包括霉菌、酵母菌、细菌和放线菌，其中对储粮危害最大的是霉菌，粮食微生物不仅寄附于粮食及其制品的外部，也寄生在粮粒的内部。

根据粮食作物在田间生长期和粮食收获进仓储藏期，两种不同生态环境中微生物的来源，可相应地将微生物划分为两个生态群：田间微生物区系和储藏微生物区系。田间微生物区系主要指粮食收获前在田间所感染和寄附的微生物类群，主要包括附生、寄生、半寄生和部分腐生菌类，交链孢霉是田间真菌的典型代表。储藏微生物区系主要指粮食收获后，在进入储藏及加工期和各流通过程中，传播到粮食上来的一些腐生微生物，其中以霉腐菌为主，许多曲霉和青霉是最重要的储藏真菌，它们能够导致粮食发热霉变。

微生物含有多种酶类，它们可以通过呼吸作用，分解不同的有机物质，为其生长、繁殖、代谢所利用，粮食含有丰富的糖类、蛋白质、脂肪及无机盐等营养物质，也是微生物良好的天然培养基，所以储粮是微生物良好的呼吸基质。储粮微生物将粮食中的糖类、蛋白质、脂肪等主要营养物质分解为葡萄糖、氨基酸、脂肪酸等小分子物质，然后在体内合成为自身的组成成分和储藏物质，并储存能量；同时又分解自身的储藏物质，释放出二氧化碳、水和热量，这个过程称为微生物的呼吸作用。微生物就是通过这种方式进行新陈代谢，来维持自身的生命活动并危害粮食，在粮堆内积聚热量促使储粮发热霉变。

微生物在适宜的环境条件下，会大量生长繁殖，使粮食发生一系列的生物化学变化，是造成粮食品质劣变的一个重要原因。粮食微生物对储粮的危害，不仅使粮食的营养物质

分解，造成质量损失，营养降低，同时还能引起粮食的发热霉变，使储粮变色变味，造成食用品质、饲用品质、工艺品质降低，甚至能产生毒素，使粮食带毒，影响人畜安全。

（五）粮堆内气体成分

粮堆中粮粒与粮粒之间的空间被各种气体所填充，这是粮食在储藏中维持正常呼吸，进行水分、热能交换的基础。粮堆中的气体成分和大气的成分有所差异，正常情况下，粮堆中的氧气含量要稍低于大气中氧气含量，二氧化碳的含量要高于大气中二氧化碳的含量，氮气和其他惰性气体成分含量基本相同，导致这些差异的主要原因，就是在粮堆内进行着粮食的生理代谢——呼吸。

组成粮堆的基本粮粒、有机杂质、昆虫和所携带的微生物均具有生命活动能力，所以称之为粮堆内“生物成分”。粮堆内的无机杂质及气体，不具备生命活力，因此称为粮堆内“非生物成分”。储藏期间生物成分的活动及代谢，会影响到粮堆内温度、湿度、气体成分。同时，粮堆内温度、湿度、气体成分的变化反过来也会影响到生物成分的代谢。生物成分和非生物成分之间相互影响，相互制约，组成了粮堆生态系统的有机统一，为粮食能否安全储藏提供了理论基础。

第二节 粮食的物理参数

当前，我国政府和社会各界都高度关注粮食工作，特别是粮食质量和粮食卫生安全，而粮食的物理参数是评价粮食质量的重要参考指标。在储粮生态系统中，这些主要的物理参数一方面可以直接反映储粮品质；另一方面也可与其他物理的、生化的、生物的因素相互作用，影响粮食的储藏稳定性。

一、容重

容重是指粮食籽粒在单位容积内的质量，又称体积质量，以 g/L 表示。在很多国家，容重是评价粮食质量的一个重要参数。一般而言，同一品种的粮食，其容重与粮食籽粒的成熟度、饱满度、组织结构、表面光洁度等有关。籽粒成熟度高、饱满、结构紧密、表面光洁的，容重较高；反之，容重较低。

在我国，多种粮食，如小麦、玉米等都以容重作为定等基础指标。目前的研究表明，对同一小麦品种，容重与其总淀粉含量、蛋白质含量、沉降值和硬度均呈显著正相关；此外，容重与小麦的加工出粉率正相关。

GB 1351—2008《小麦》规定容重为小麦质量定等指标（3等为中等），具体数值如下：1等 ≥ 790 g/L；2等 ≥ 770 g/L；3等 ≥ 750 g/L；4等 ≥ 730 g/L；5等 ≥ 710 g/L；等外 < 710 g/L。GB 1353—2009《玉米》规定容重为玉米质量定等指标（3等为中等），具体数值如下：1等 ≥ 720 g/L；2等 ≥ 685 g/L；3等 ≥ 650 g/L；4等 ≥ 620 g/L；5等 ≥ 590 g/L；等外 < 590 g/L。

二、相对密度

在规定温度和操作条件下，粮食净体积的质量与同体积水的质量之比称为粮食的相对密度。一般而言，相对密度表示的是粮食籽粒内含物的充实程度，籽粒成熟度越高、越饱

满，则其内部积累的营养成分越多，相对密度越大。GB/T 5518—2008《粮油检验 粮食、油料相对密度的测定》中规定，粮食相对密度测定的原理为：一定质量的粮食试样加入到一定体积的规定液体中，导致液体体积增加，增加的体积即为试样净体积，计算试样与同体积纯水的质量之比。此外，粮食的相对密度与其容重呈正相关，当其他条件相同时，相对密度大的粮食其容重也大。在单位容积内，粮食相对密度与其容重的换算关系为：容重 = 相对密度 × 净体积。

三、千粒重

千粒重是指 1000 粒粮食籽粒的重量，其单位为 g。对于粮食种子而言，千粒重是体现种子大小与饱满程度的一项指标，可用于检验种子质量，也可用于田间预测产量。GB/T 5519—2008《谷物与豆类 千粒重的测定》中规定，粮食的千粒重分为自然水分千粒重和干基千粒重，其测定原理均为：对试样中完整籽粒计数并称重，用籽粒重量除以试样粒数，再以相应于 1000 粒的重量表示结果。对于玉米、大豆、花生仁等大粒种子也可采用百粒重来表示。

四、水分含量与水活度

粮食的水分含量是指粮食试样中水分的质量占试样质量的百分比。研究发现，粮食籽粒中的一部分水分以毛细作用的形式，保持在粮粒内部的颗粒间隙中，这些水具有自然界中水的普遍性质，可称为“自由水”；另一部分水分则以分子间力保持在粮粒中，吸附在粮粒的有效表面，称为“吸附水”；还有一部分水分以化学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，被称为“结合水”，而所测定的粮食水分含量，就是上述三种水分的总和。水分含量是粮情检测的基本项目，其与储粮稳定性密切相关。正常储藏的粮食均含有一定量的水分，这是粮食籽粒维持生命和正常生理代谢所必需的。此外，储藏于不同生态环境中的粮食籽粒，为了保证其储粮稳定性所要求的粮食水分含量是不同的。对于粮食籽粒而言，其水分含量的测定，依据 GB 5497—1985《粮食、油料检验 水分测定法》的规定，可分为 105℃ 恒重法、定温定时烘干法、隧道式烘箱法和两次烘干法四种。

水分活度是指物质中所含水分的活性部分。对于粮食籽粒而言，其储藏稳定性与其所含水分的活性密切相关，因此单纯的水分含量对粮食储藏缺乏科学的指导作用。为了描述粮食籽粒中所含的水分作为生物化学反应和微生物生长的可用价值，引入了水分活度的概念，粮食及其制品的生化变化和品质劣变，都与水分活度有关。因此，水分活度与水分含量相比，是更有用的参数。水分活度相同的粮食，其含水量可以不同。这样，评价水分对粮食储藏稳定性的影响就有了统一的标准。

五、热容量与比热容

粮食在传递热量的同时，本身也会吸收部分热量而升温。一定质量的粮食温度升高 1 度 (1K 或 1℃) 时所吸收的热量称为粮食的热容量。依据公式 $Q = cm\Delta t$ (式中 Q 为一定质量的粮食吸收或放出的热量； c 为粮食的比热容； m 为粮食的质量； Δt 为粮食升高或降低的温度) 可知， cm 即为粮食的热容量，其国际单位制中的单位为焦耳/开尔文或焦耳/摄氏度 (J/K 或 J/℃，K 与℃ 在表示温差的量值意义上等价)。

比热容是热力学中常用的一个物理量。对于粮食而言，比热容为 1kg 粮食升高 1 度（1K 或 1℃）时所需的热量，其国际单位制中的单位是 J/（kg·K）或 J/（kg·℃）。对于同等质量的不同粮食而言，比热容越大的粮食在温度变化相同的情况下，吸收或放出的热量越多。

六、粮食的裂纹率

粮食籽粒在干燥过程中会出现裂纹的现象，影响粮食的加工品质，而出现裂纹的粮粒数占全部试样粮粒数的百分率即为粮食的裂纹率。

带有裂纹的粮食籽粒其可承受的机械强度下降，在后续加工过程中裂纹极易扩展，进而导致粮粒破碎，减少加工出品率或降低加工产品的等级。若裂纹扩展到了种皮，则相对柔软且淀粉含量高的胚乳部分有可能暴露出来，这会大大增加虫霉侵染粮粒的可能性，降低粮食的储藏稳定性。此外，若种用粮的粮粒出现裂纹，会损伤种子的结构，降低种子的发芽率和生活力。

对于粮食籽粒而言，其干燥时的初始和结束时的水分含量、干燥所用热风的温湿度、干燥后的冷却速度、干燥机型等均会影响粮食的裂纹率。

七、色泽

色泽是指粮食籽粒的颜色和光泽。粮食在储藏过程中，若由于环境条件不适宜而导致生虫、发热、霉变等，其固有的颜色和光泽会发生变化。粮食色泽的鉴定可参照 GB/T 5492—2008《粮油检验 粮食、油料的色泽、气味、口味鉴定》执行，鉴定结果以“正常”或“基本正常”表示。依据现行的国家标准，白小麦要求种皮为白色或黄白色的麦粒不低于 90%，红小麦要求种皮为深红色或红褐色的麦粒不低于 90%；黄玉米要求种皮为黄色或略带红色的籽粒不低于 95%，白玉米要求种皮为白色或略带淡黄色或略带粉红色的籽粒不低于 95%。

八、气味

新鲜的粮食根据种类的不同会带有不同的固有气味，这些粮食的不同气味随着储藏时间的延长而发生变化。粮食在储藏期间容易产生陈仓气味，其主要成分是乙醛、丙醛、戊醛、己醛、丙酮及丁醛等，其中戊醛和己醛易使大米带有陈米气味，并影响米饭的风味。另外，大米在储藏过程中挥发性硫化物的含量逐渐减少，使米饭失去应有的米香气味。如果粮食在储藏期间出现发热和明显的品质变化，可能出现甜味、酒味、酸味和霉味等。因此，粮食的气味可以反映其品质和新鲜程度，而成为小麦、稻谷、玉米、大豆等主要储备粮种的储存品质控制指标。粮食气味的鉴定可参照 GB/T 5492—2008 执行，鉴定结果以“正常”“基本正常”表示。

第三节 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

(一) 粮食散落性定义

粮食从高处自然下落形成粮堆时，因颗粒小，内聚力小，向四面流动成为一个圆锥体的性质称为粮食的散落性。粮食散落性的好坏通常用静止角或自流角来表示。

(二) 粮食散落性标志

1. 粮食的静止角

静止角是指粮食由高点自然下落到平面，形成圆锥体，此圆锥体的斜面与底面水平线之间的夹角（也称自然休止角）。静止角大小与粮食散落性成反比，即粮食散落性好，静止角小，粮食散落性差，静止角大。

粮粒在粮堆斜面上静止或运动，受到粮粒在斜面上受力的制约。图 1-2 所示为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 ，粮粒与粮堆的斜面摩擦因数为 f ，则摩擦力 F 为 $N \times f$ 。图中倾斜分力 P 是使粮粒下落的力， F 是阻碍粮粒下滑的力，当 $P > F$ 时，粮粒就下滑，当 $P \leq F$ 时，粮粒停留在斜面上。

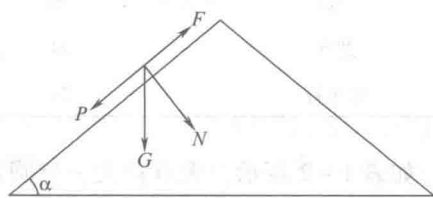


图 1-2 粮粒受力分析图

2. 粮食的自流角

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，开始向下滑动的角度，即粮粒下滑的极限角度。自流角是一个相对值，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测定的自流角也不同。自流角表示的是某种粮食在某种材料上的滑动性能。自流角越大，滑动性能越差；自流角越小，滑动性能越好。表 1-1 所示为三种麦类在不同材料上的自流角。

表 1-1

三种麦类在不同材料上的自流角

单位：(°)

粮食种类	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

(三) 影响粮食散落性的因素

影响粮食散落性的因素很多，主要包括粮粒的大小、形状、表面光滑程度、籽粒饱满度、杂质含量、水分含量等。粒大、圆形粒状、表面光滑、饱满、杂质少、水分低的粮食散落性好，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 1-2 所示为主要粮食静止角的大小。

表 1-2

主要粮食的静止角

单位: (°)

粮食种类	静止角		变动范围
	最小值	最大值	
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	6
油菜籽	20	27	7

如表 1-2 所示, 大豆粒大、呈圆形、表面光滑, 其散落性比粒形较小、细长或椭圆形、表面粗糙的稻谷好得多。

此外, 粮食中水分含量增加, 其散落性会降低; 杂质含量增加, 其散落性也会降低。这主要是由于水分含量的增加会使粮粒表面涩滞、粮粒间的摩擦力增大; 而杂质含量的增加会堵塞粮粒间的孔隙, 阻碍流散。当粮食发热霉变后, 其散落性会大大降低甚至完全丧失, 造成粮堆的结块、结顶等现象。表 1-3 给出了同一种大豆水分含量、杂质含量与静止角的关系。

表 1-3

大豆水分与杂质含量对静止角的影响

粮食种类	水分含量/%	静止角/(°)	杂质含量/%	静止角/(°)
大豆	11.2	23.3	1.0	23.8
大豆	17.7	25.4	3.0	25.0

(四) 散落性与储粮的关系

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。在实际工作中, 合理地运用粮食的散落性既可检测粮情, 又可保证仓墙的安全, 还可以节省劳力提高工效。

(1) 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, 水分含量增大, 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, 完全丧失了散落性。

(2) 由于散落性较大的粮食对装粮容器的侧压力也大, 因此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下列简化计算:

$$P = \frac{1}{2} rh^2 \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\alpha}{2} \right) \quad (1-1)$$

式中 P ——每米宽度仓壁上受的侧压力, 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, ($^\circ$)。

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,常采取围包散装的形式存放粮食。

(3) 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。

(4) 散落性是确定粮食输送及自流设备技术参数的依据。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。

二、自动分级

任何一批粮食,都是非均质的聚集体。粮粒有饱满、瘪瘦、完整、破碎之分,形态多种多样。同时杂质也轻重不同,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品质呈现出有规律分布:破碎粒、轻浮夹杂物、杂草种子在底部比顶部多(表1-4)。

表1-4 小麦自然形成粮堆时的分级情况

品质指标	圆锥体顶部	圆锥体底部
容重/(g/L)	70.7	66.7
破碎粒/%	1.84	2.20
较轻杂质/%	0.51	2.14
杂草种子/%	0.32	1.01
沙石杂质/%	0.13	0.49
瘪粒/%	0.09	0.47

(一) 自动分级的类型

按照自动分级形成的原因,自动分级可归纳为重力分级、浮力分级和气流分级。

1. 重力分级

重力分级的情况明显地发生在有震动运输的过程中。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、较轻和较大、较重的物料分布于两者之间,从而形成了分层的现象。

2. 浮力分级

浮力分级是粮粒下落过程中受力不同而造成自动分级的。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 （图 1-3）。当 $P > F$ 时，粮粒飘浮走； $P < F$ 时，粮粒下落； $P = F$ 时，粮粒飘浮不定而悬浮。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。而轻的杂质在缓慢的下落过程中，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。

3. 气流分级

气流分级通常发生在露天堆粮的过程中（图 1-4）。当输送机在刮风天卸粮时，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。

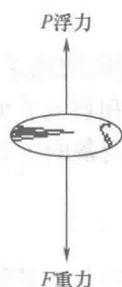


图 1-3 浮力分级



图 1-4 气流分级

（二）不同仓房、不同装粮条件下的自动分级

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，自动分级状况不同；仓库不同，自动分级现象也不相同。按作业方式、仓库类型和粮堆形成的条件可大体分为以下几种情况。

1. 自然流散成粮堆

粮食自高点下落自然流散成粮堆时，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。这些差异综合影响，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（图 1-5）。

2. 房式仓入库

房式仓入库一般有输送机进粮和人工入仓两种。输送机进粮又分移动式 and 固定式。如果是移动式入库，一般是输送机头先从仓一端开始，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，那么与自然流散形成粮堆一样，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，因为粮食落点低，倒粮点分散，所以自动分级就不明显，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（图 1-6），涡旋气流的运动，使粮面上细小的较轻的杂质飘向筒壁。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，而沉重的杂质多集中于落点处。出仓时，正好相反，比较饱满和相对密度大的粮粒首先流出仓，靠近仓壁的瘪小子粒和较轻杂质最后出仓。所以粮食品质也因出仓的先后不同而有差异（表 1-5）。

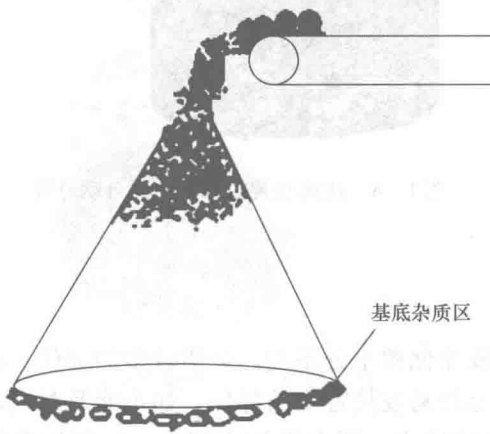


图 1-5 粮堆的杂质区

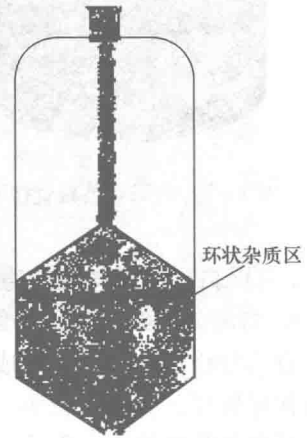


图 1-6 立筒仓自动分级情况

表 1-5 筒仓粮食进、出仓自动分级现象

作业	部位	容重/ (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 0.5h	666	1.80	1.54	2.50
	出粮 3.5h	660	3.50	5.0	2.98
	出粮 4.5h	496	1.70	9.0	19.90

4. 浅圆仓

浅圆仓的高度一般比立筒仓低（个别浅圆仓除外），浅圆仓装粮方式类似于立筒仓，一般情况下都是通过仓顶输送设备将粮食卸载后，通过溜管和闸阀门将粮食直接引入仓内入粮口。然后粮食通过两种方式装入仓内。一是直接自由下落，在仓内形成一个大的圆锥体粮堆。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，在仓内形成与立筒仓类似的圆环状杂质区，因浅圆仓的直径比立筒仓大，所形成的圆环状杂质区比立筒仓更为明显。二是装有抛粮器的装仓方式，因为抛粮器抛撒直径有限，所以这类装粮方式不仅会出现圆环状杂质区，同时还会增加一个中心部位圆柱状杂质区。两种自动分级所形成的杂质区如图 1-7、图 1-8 所示。