

序

我国是个农业大国，是世界上最大产粮国家，年平均总产量稳定在5亿~6亿t。随着农业生产的发展，粮食、油料及油脂储备任务与日俱增，但粮食收获后的损失是一个世界性的问题，据联合国粮农组织对20个国家的调查报告，世界平均年仓储粮损耗占年产粮总量的10%左右，有些地处亚、非、拉热带的国家甚至高达30%，损耗原因包括储粮中的虫、霉、品质劣变，漫不经心的管理，或缺乏先进的储粮技术。因此，搞好粮油储藏，减少收获后的损失，用以弥补世界粮食的紧缺，是一项十分重要的任务，将它与粮食增产放在同等重要的地位也不过分。

粮油储藏是从生产收获过渡到人们消费的中间状态，无论是军需民食，还是为食品加工、种用、种质、医药工业、饲料工业，甚至纺织业提供原料，都离不开原粮储藏。进入21世纪，人们奔小康已不仅仅是追求温饱，而是进一步发掘和追求粮食、油料、油脂及其加工食品的营养、品质与保健功能。为此，我们必须认真思考这个严峻的供需关系，思考食用怎样的粮、油（包括油脂）才对健康有益，怎样才能防止疾病，怎样将粮油储藏提高到绿色、保鲜、环保的水平。

基于粮、油以及加工原料是群体子粒组成的生态体系，是有生命的、活的有机体，加上应用现代化设计的庞大仓储容量规模，要搞好粮、油中长期的保鲜储藏，必将涉及粮堆内在与外界众多复杂、紧密的影响和联系，必然是一门多学科、多变性的自然科学与工程应用科学相互交叉与渗透的学科。

近20年来，粮油储藏科学领域的科技工作者在理论和实践中都进行了大量科学研究和技术改革、创新工作，在专业领域不断探索。国家粮食主管部门每年投入资金，拨款立项，下达攻关课题，迄今已掌握了不同储藏条件下粮堆虫、霉消长的规律及防治措施，发现了不同储藏条件下，主要粮、油种类品质变化的机理并提出了防止陈化、劣变的对策，进行了不同储藏技术的选型、定型与设施设计，并确定了技术参数。多年来对绿色储藏、保持品质的研究取得的众多成果，为我国制定粮油储藏品质控制及检测规范提供了依据。

随着现代化科学发展的进程，粮油储藏技术正沿着信息化、自控化、电子自动化与网络远程管理之路迈进。

一个学科的成熟要经历无数次的实践、论证，不断完善才能形成系统论述。我国的粮油储藏学是一门新兴学科，它起步较晚，渊源于农学的农产品保鲜工程，至20世纪40年代才有专著。近30年来，我国粮油学科的科技工作者和仓储工作者为解决生产中存在的问题，进行了长期的实践，积累了丰富的经验和研究成果，为学科的发展奠定了坚实的基础。本书编者以高等教育“九五”国家重点教材《粮油储藏学》（中国财经出版社，1999）为雏形，较大幅度地进行了修订、充实和提高，收集了近10年来的国内外文献资料，结合我国仓储现实条件进行论述，概括了现实仓储中存在的新问题，提出了有效、可行的解决途径，体现了粮油储藏事业向现代化、自动化的转变进程。本书理论清晰、技术先进，是一本务实、有价值、有益的将科研成果和实践经验融合得体、理论与实践互相渗透的优秀教材。深信本书的问世，会使读者得到新的领悟和收益。

路茜玉

2008年8月于郑州

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，系统地介绍了粮油储藏的理论基础知识和国内外粮油储藏技术。编写内容根据学科的完整性及高等院校《粮油储藏学》教学大纲的要求确定，总计75学时（含20学时的实验），适合作为高等院校粮油储藏、粮食工程、食品科学与工程、农产品储藏、粮食物流、粮食期货等相关、相近专业的专用教材，也可作为粮食、农业、轻工、食品、期货、物流等相关专业的研究生、科研及企事业单位技术、管理人员的参考用书。

粮油储藏学是研究粮食与储藏环境相互关联的一门应用技术，它介绍了粮食在储藏期间，不同储藏条件、不同储藏管理技术、不同的环境条件对粮食生理、生化及品质变化的影响，是一门应用性、实践性很强的学科。随着科学的发展和进步，这一学科的相关知识也在不断更新和充实。本教材在原版《粮油储藏学》（路茜玉主编，中国财经出版社1999年出版）的基础上，经过知识新增、更新、修订而成，教材内容反映了科技发展并充分结合粮食储藏实际，更详细、系统、新颖，更适应学科的发展和社会的需求，既包含了粮油储藏学科的基本理论和现代粮食储藏主要技术，又涵盖了近年来该学科领域的发展及相关研究成果。

本书以研究粮食本身的属性及粮堆的特性为起点，共十三章，可分为三大部分，即基础理论、储藏技术和分粮种的保管措施。第一章至第四章为粮油储藏的基础理论，阐明了粮食的物理、生理、化学和生态特性及与储藏技术的关系；第五章至第十章详细讲述了目前国内外常用粮食储藏技术的理论、设备、应用及前景；第十一章至第十三章分别叙述了主要粮种的保管技术措施。

本书由王若兰主编，由我国粮油储藏学的创始人之一、老一代粮食储藏学科知名专家路茜玉主审，参编人员有田书普（编写第一章、第五章、第八章）、王金水（编写第二章、第三章、第四章第三节、第四节、第五节）、卞科（编写第四章第一节、第二节）、王若兰（编写第六章、第九章）、张玉荣（编写第十章、第十一章）、舒在习（编写第十二章、第十三章），卞科和王若兰共同编写第七章。

河南工业大学的有关部门在本书的编写过程中，给予了大力的支持与帮助。在此，对所有关心支持本书编写工作的同事们表示衷心的感谢。

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，以使本教材不断完善。

中国轻工业出版社食品教材书目

(截至 2008 年 7 月)

本科教材

粮食机械原理及应用技术 (普通高等教育十一五国家级规划教材)	44.60
食品工艺学 (普通高等教育十五国家级规划教材)	48.00
食品分析 (普通高等教育十五国家级规划教材)	38.00
食品工程原理 (普通高等教育十五国家级规划教材)	60.00
食品工厂设计与环境保护 (普通高等教育十一五国家级规划教材)	39.00
食品生物技术导论 (普通高等教育十一五国家级规划教材)	45.00
粮油食品加工工艺学 (普通高等教育十五国家级规划教材)	35.00
食品加工机械与设备 (北京市高等教育精品教材立项项目)	55.00
功能食品教程 (北京市高等教育精品教材立项项目)	50.00
现代食品微生物学 (北京市高等教育精品教材立项项目)	55.00
现代食品微生物学实验技术 (北京市高等教育精品教材立项项目)	30.00
天然产物提取工艺学 (教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材)	45.00
食品物性学 (教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材)	25.00
大豆制品工艺学 (第二版) (教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材)	36.00
食品物流学 (教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材)	26.00
食品原料与资源学 (教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材)	32.00
动植物检验检疫学 (教育部高等学校轻工与食品学科教学指导委员会推荐教材)	22.00
食品毒理学 (普通高等教育十一五国家级规划教材)	41.00
现代食品检测技术 (第二版) (普通高等教育十一五国家级规划教材)	42.00
食品质量与安全实验技术 (普通高等教育十一五国家级规划教材)	36.00
食品安全保藏学 (第二版) (普通高等教育十一五国家级规划教材)	32.00
水产品安全性 (普通高等教育十一五国家级规划教材)	36.00
食品加工中的安全控制 (第二版) (普通高等教育十一五国家级规划教材)	43.00
食品标准与法规 (食品质量与安全专业)	36.00
食品原料安全控制 (食品质量与安全专业)	38.00
食品工艺学概论 (食品质量与安全专业)	45.00
食品环境学 (食品质量与安全专业)	35.00
食品微生物学 (食品质量与安全专业)	40.00
食品免疫学 (食品质量与安全专业)	35.00
食品安全学导论 (食品质量与安全专业)	32.00
动植物检验检疫学 (食品质量与安全专业)	48.00
食品质量与安全专业英语 (食品质量与安全专业)	30.00
食品工程导论 (第三版)	54.00
食品加工原理 (影印版)	37.00
食品科学导论 (影印版)	43.00
功能性食品学 (第二版)	48.00
食品酶学	24.00

食品化学与营养学	50.00
食品安全与检测	34.00
食品安全与质量控制	30.00
食品感官评定	18.00
食品保藏学	32.00
粮油检验与分析	35.00
粮油加工概论	30.00
食品化学实验手册	20.00
乳品微生物学实验技术	32.00
天然香料加工工艺学	20.00
乳品工艺学	48.00
食品科学实验技术	18.00
大学生饮食营养与健康	22.00
食品营养与健康	12.80
食品科学导论	50.00
食品加工技术装备 (第二版)	60.00
冷库建筑	36.00
果蔬采后生理生化实验指导	22.00
发酵乳制品工艺学	33.00
食品病原微生物学	59.00
合成香料工艺学	45.00
日用香精调配技术	35.00
香料分析	22.00
制冷技术与食品冷冻冷藏设施设计	35.00
食品分析实验教程	30.00
食品微生物学实验指导	25.00
食品物理化学	28.00
食品工艺实验与检验技术	28.00
现代仪器分析技术及其在食品中的应用	42.00
食品工艺学 (第二版)	78.00
食品营养学 (第二版)	35.00
食品分析	22.00
食品生物技术	45.00
食品质量管理学	21.80
食品加工技术装备	79.00
食品风味化学	26.00
食品化学	44.00
食品卫生学	25.00
食品研究与数据分析 (第二版)	32.00
食品专业英语文选	30.00
食品微生物学	21.50
食品生物化学	29.80
食品酶学导论	18.00
食品技术原理	50.00

动物性食品加工学 (面向 21 世纪课程教材)

45.00

肉品科学与技术

42.00

肉与肉制品工艺学

38.00

软饮料工艺学

36.00

焙烤食品工艺学

50.00

园艺产品贮藏加工学

49.00

HACCP 原理与实施

46.00

食品加工原理

30.00

乳及发酵乳制品工艺学

32.00

生物化学学习指导

32.00

食品工厂机械与设备 (含光盘)

58.00

蛋品加工技术

30.00

生物化学实验 (工科专业适用)

22.00

购书办法: 各地新华书店、本社网站 (www.chlip.com.cn)、当当网 (http://list.dangdang.com/01.63.18.htm)、卓越网 (http://www.joyo.com/)、轻工书店 (联系电话: 65128352), 我社读者服务部办理邮购业务, 联系电话: 010-65241695。

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	(4)
第三节 粮食的热特性	(10)
第四节 粮食的吸附特性	(12)
第二章 粮食的生理性质	(25)
第一节 粮食的呼吸作用	(25)
第二节 粮食的休眠与后熟	(30)
第三节 粮粒的生活力与萌发作用	(33)
第四节 粮食的寿命与陈化	(34)
第三章 粮油的化学成分及品质变化	(38)
第一节 粮油的化学组成及分布	(38)
第二节 粮油品质	(44)
第三节 粮油在储藏期间的品质变化	(46)
第四章 粮食储藏生态体系	(58)
第一节 储粮生态系统的组成及特征	(58)
第二节 中国储粮生态区域的划分及特点	(61)
第三节 储粮生态系统的环境因子及作用	(68)
第四节 粮食结露、发热与霉变	(73)
第五节 储粮生态系统的调节	(81)
第五章 储粮机械通风技术	(83)
第一节 概述	(83)
第二节 储粮机械通风系统的组成及分类	(84)
第三节 流体力学基础及流道阻力计算	(89)
第四节 通风机	(96)
第五节 通风系统设计工艺及通风参数的选择	(103)
第六节 均匀送风风道的设计	(107)
第七节 通风系统的测试与调整	(109)
第八节 机械通风条件的判断与选择	(115)
第六章 低温储藏	(124)
第一节 概述	(124)
第二节 低温粮仓的建筑要求	(128)
第三节 低温储粮的隔热技术	(134)

第四节	自然低温储藏	(138)
第五节	机械制冷低温储粮	(140)
第六节	低温粮仓冷负荷计算及气流组织	(161)
第七节	低温储藏管理	(166)
第七章	气调储粮	(169)
第一节	概述	(169)
第二节	气调储粮密封技术	(177)
第三节	生物降氧储粮技术	(185)
第四节	二氧化碳储粮技术	(188)
第五节	氮气储粮技术	(192)
第六节	化学脱氧与真空气调储粮	(194)
第七节	气调储粮技术管理	(198)
第八章	粮食地下仓储藏	(203)
第一节	地下仓储粮概况	(203)
第二节	地下仓的分类	(205)
第三节	地下储粮原理	(207)
第四节	地下仓的构造	(209)
第五节	地下仓的建筑	(210)
第六节	地下仓储粮性能与品质	(212)
第七节	地下仓的热入冷藏及其效果	(216)
第八节	地下储粮的技术管理	(219)
第九节	地下仓常用机械设备	(222)
第九章	粮食露天储藏技术	(225)
第一节	概述	(225)
第二节	粮食露天储藏囤、垛建造	(227)
第三节	粮食露天储藏技术	(238)
第四节	露天储粮技术管理	(244)
第十章	粮食储藏检测技术	(249)
第一节	概述	(249)
第二节	温度检测	(250)
第三节	水分检测	(260)
第四节	气体成分检测	(269)
第五节	虫害检测	(274)
第十一章	原粮及成品粮的储藏	(281)
第一节	稻谷和大米的储藏	(281)
第二节	小麦与小麦粉的储藏	(298)
第三节	玉米与豆类的储藏	(311)

第十二章	食用油料的储藏	(325)
第一节	油料的储藏特性	(325)
第二节	主要油料的储藏	(327)
第十三章	食用油脂的储藏	(342)
第一节	油脂概述	(342)
第二节	油脂的储藏特性	(346)
第三节	影响油脂安全储藏的因素	(346)
第四节	主要油脂的储藏技术	(349)
第五节	油脂储藏技术管理	(357)
参考文献	(362)

第一章 粮食的物理性质

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——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、吸附滞后、粮堆内气流微循环所导致的水分转移等。这些物理特性相互依赖，又相互制约，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或不利的影 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、大麦等禾谷类子粒及薯类、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 利影响。粮食的构成归纳如图 1-1。

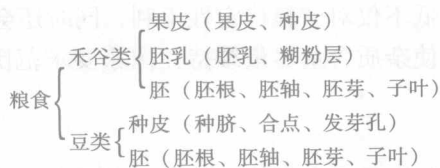


图 1-1 粮食的构成

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，这是储藏中不利的一面。因此，各种粮食构造方面的差异，是导致各种粮食储藏稳定性差异的原因之一。

二、粮堆的组成成分

粮堆是由无数粮食颗粒堆聚而成的群体。粮食储藏研究的对象是粮食的群体，而不是单一的粮食子粒。据测定，每 500g 稻谷约 20000 粒、小麦约 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 50 万~500 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，了解粮堆的组成成分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有：

- (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、砂子、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) 杂质含量的高低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，杂质含量高低不仅对储粮稳定性不利，同时还会降低粮食等级。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（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t，而农户储粮占1/2以上，因此储粮因虫害引起的损失是非常大的。有些害虫喜食粮食子粒的胚芽，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，储粮害虫造成的损失不仅会造成肉眼可见的直接损失，而且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，其基本特点是体形极其微小，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油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油及其制品的外部，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，可相应地将微生物区系划分为两个生态群：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。

由于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，粮油含有丰富的碳水化合物、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、水气和热量，这个过程称微生物的呼吸作用。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。

微生物在适宜储粮的环境条件下，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稍微有所差异，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的粮食生理代谢——呼吸。

粮堆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。孔隙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，粮堆内湿热就会郁积不散，易引起发热、霉变。所以粮堆中的孔隙，对保证粮食的安全储藏是必要的。

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”。粮堆内无机杂质及气体，不具备生命活力，因此，称之为粮堆内“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、气体成分的改变。同时，粮堆内气体成分、温度、湿度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有机统一，为粮食能否安全储藏奠定了理论基础。

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

(一) 粮食散落性定义

粮食在自然形成粮堆时，由于粮食颗粒小，内聚力小，下落时向四面流动成为一个圆锥体的性质称为粮食的——散落性。粮食散落性的好坏通常用静止角表示。

(二) 粮食散落性标志

1. 粮食的静止角

静止角是指粮食在不受任何外力影响条件下，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（休止角）。静止角与粮食散落性成反比，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 ，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。

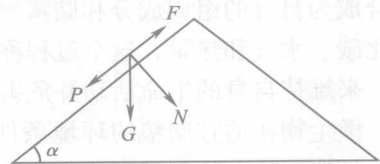


图 1-2 粮粒受力分析图

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自流角也不同。粮食的自流角是粮粒的外摩擦角。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。表 1-1 给出了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 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

(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、子粒饱满

度、杂质含量等。粒大、饱满、圆形粒状、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 1-2 给出了主要粮食静止角的大小。

表 1-2 主要粮食的静止角 单位：(°)

粮 种	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	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。这是由于粮食水分含量的增加，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。表 1-3 给出了同一种大豆含水量、含杂率与散落性的关系。

表 1-3 大豆含水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。

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下式简化计算：

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

式中 P ——每米宽度仓壁上受的侧压力，kg/m；
 r ——粮食的体积质量，kg/m³；

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, 常采取包打围作法。

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就不同, 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。

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的分布: 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
体积质量/(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
砂石杂质/%	0.13	0.49
瘪粒/%	0.09	0.47

(一) 导致自动分级的原因

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。

1. 重力分级

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 (见图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(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。

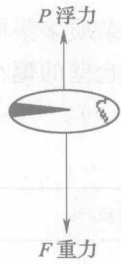


图 1-3 浮力分级

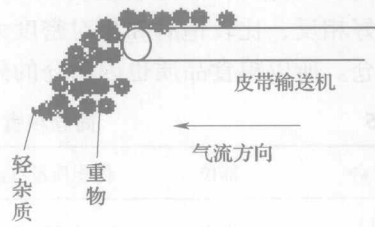


图 1-4 气流分级

(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。这些差异相互影响，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（见图 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。如是固定式入库，粮食入库时就有多个卸粮点，那么与自然流成粮堆一样，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，由于采用人工入粮时一是落点低，二是倒粮点分散，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（见图 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

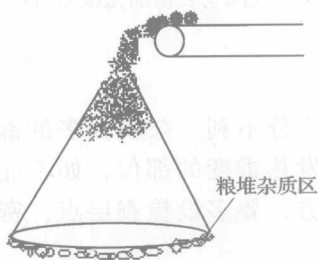


图 1-5 粮堆的杂质区

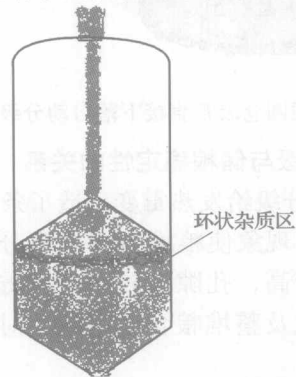


图 1-6 立筒仓自动分级情况

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(见表1-5)。

表 1-5 筒仓粮食进、出仓自动分级现象

作业	部位	体积质量/(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

4. 浅圆仓

浅圆仓的高度一般情况下比立筒仓低(个别浅圆仓除外),浅圆仓装粮方式类似立筒仓,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。由于粮粒与粮粒之间、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同的圆环状杂质区,由于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,由于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。

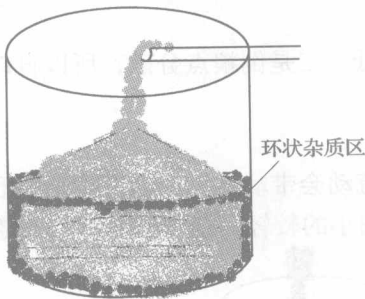


图 1-7 浅圆仓装粮直接下落自动分级

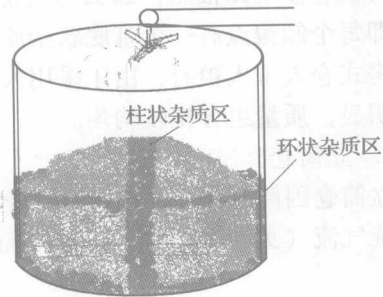


图 1-8 浅圆仓装粮加抛粮器自动分级

(三) 自动分级与储粮稳定性的关系

1. 自动分级给发热霉变创造了条件

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,往往水分含量较高,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。

2. 自动分级增加了日常管理的难度

通常储藏期间粮情的日常管理，都是通过检测粮堆的温度变化来给予判断。只要粮堆温度没有异常变化，一般情况粮食储藏稳定性基本处于正常状态。但是，在装仓过程中由于粮堆内出现自动分级，从而使原来基本处于均质的粮堆，产生新的分布。有些部位粮食饱满，孔隙度相对也比较大。而有些部位粮食质量相对较差，杂质也比较多，孔隙度也比较小。而那些粮食质量相对较差，杂质较多，孔隙度较小的部位，由于粮食自身的生理代谢及其他生物成分代谢与活动产生的水分及热量很难与外界平衡，从而是最容易出现问题的部位。而常规粮温检测都是通过粮堆内均匀布点来检测，均匀布点又是按区域划分，具有一定的规律，而这种规律布点不一定刚好分布在容易出问题的部位，因此，常规的粮温检查很有可能掩盖了部分隐患，要想真正反映粮堆真实状态，就必须增加一些辅助检测点来弥补常规检查所产生的不足。正是此原因导致自动分级增加了日常管理的难度。

3. 降低通风及环流熏蒸效果

自动分级中灰尘、杂质集中的部位，孔隙度小，是储藏过程中最容易出问题的部位。往往需要通过通风方式进行处理和解决，但是，在通风时由于这些部位孔隙度小，空气阻力的加大，因此气流很难通过，造成通风降温、降水效果降低。环流熏蒸害虫时也会出现类似的情况，造成药剂渗透困难，影响杀虫效果。

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，使用筛子振动去掉重杂质等。

(四) 防止自动分级的途径与方法

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。如皮带输送机头部的散粮器（见图1-9），在卸粮时借助粮流的惯性冲击力，使抛粮器旋转，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。立筒仓可采取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。

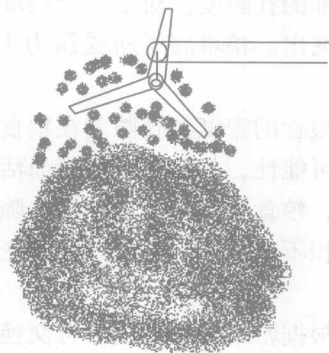


图1-9 皮带输送机上的散粮器

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率叫做密度，孔隙所占的百分率叫做孔隙度。

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比例较少，但它的作用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质量，即体积质量。这是和孔隙度密切相关的物理量。体积质量与孔隙度成反比。几种粮食的相对密度、体积质量、孔隙度见表1-6。