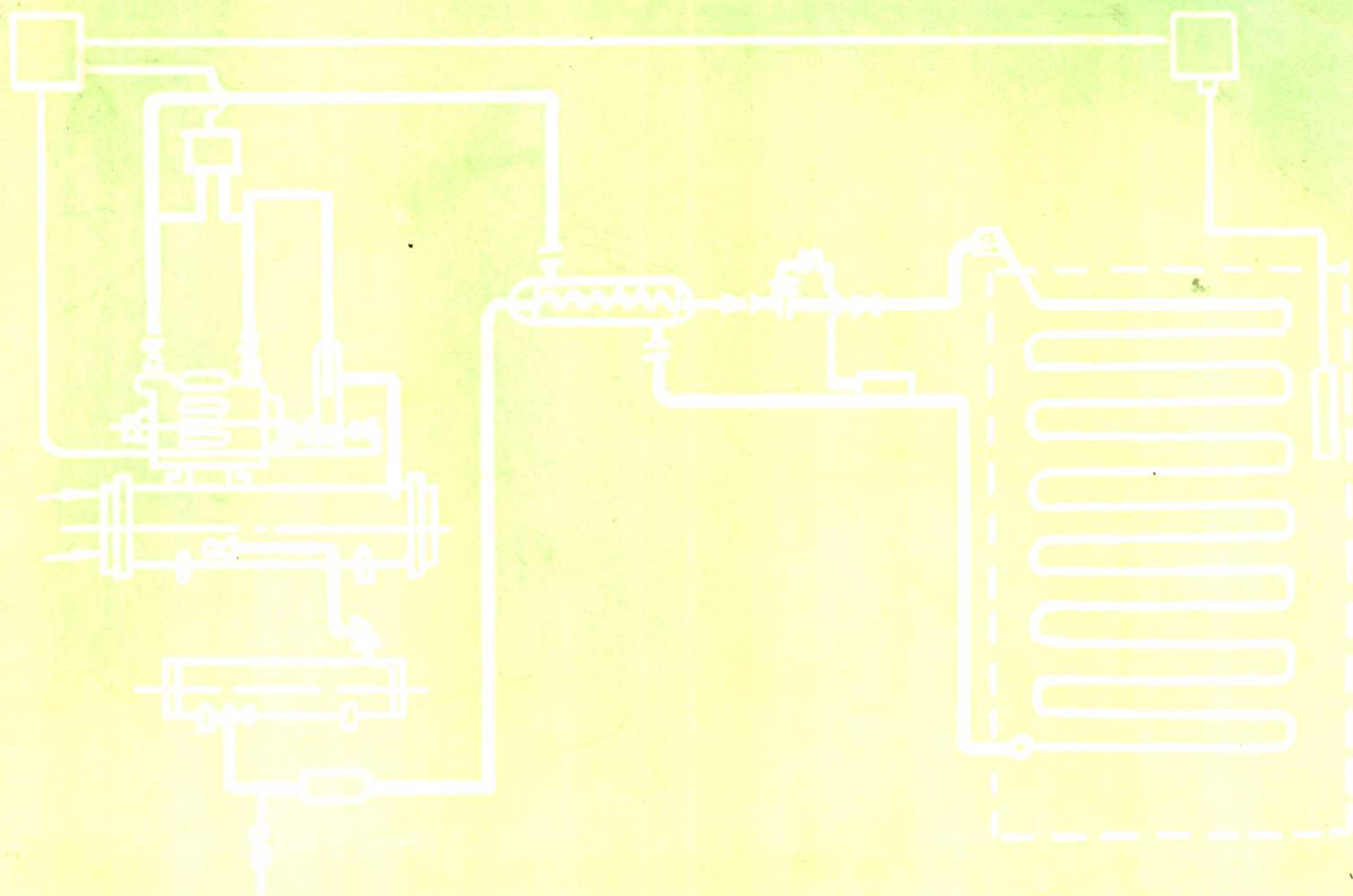




低温贮粮保鲜技术

杨 磊 等编著

陕西科学技术出版社



低温贮粮保鲜技术

杨 磊等编著

陕西省科学技术出版社

低温贮粮保鲜技术

杨 磊等编著

陕西科学技术出版社出版

(西安北大街131号)

陕西省新华书店发行 西安冶金建筑学院印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 16.75印张 插页2 390,000字

1985年8月第1版 1985年10月第1次印刷

印数: 1—12,150册

统一书号: 15202·114 定价: 3.40元

序 言

近年来，低温贮粮保鲜技术在我国得到应用，受到粮食部门和粮食科技工作者的重视，也引起粮食消费者的关注。

低温贮粮可以有效地延长粮食的安全贮藏期，延缓粮食的陈化，最大限度地保持贮粮的品质和新鲜度；能有效地控制虫、霉对贮粮的危害，从而避免了化学熏蒸对粮食的污染，并能减少倒仓、翻晒、烘干、药剂熏蒸等费用；可以解决成品粮的安全过夏以及应急地贮存高水分粮，缓和收获期阴雨时间较长，烘干设备不足的矛盾等。所以它是一种好的保鲜技术。

目前，低温贮粮仓的建设已越来越多，为了适应这一需要，我们编写了《低温贮粮保鲜技术》一书，总结了陕西省粮油科学研究所、西安冶金建筑学院、西安市大兴路粮库等单位协作开展的低温贮粮实验研究的经验和成果，并吸收了国内外的有关资料。重点介绍机械制冷低温贮粮的制冷工艺；制冷设备和通风系统的选择计算及运行管理；低温贮粮仓对围护结构的要求及计算。关于利用室外干寒空气对贮粮冷却以及低温对贮粮品质的影响也作了一定介绍。其次，对整体移动式低温贮粮制冷机、贮粮（冷藏—烘干）热化制冷循环以及低温气调贮粮技术也作了梗概的介绍。虽然本书的内容是针对粮食低温贮藏保鲜，它同样也可供其它农副产品的低温贮藏保鲜时使用。本书可供粮食科技工作者及从事低温贮粮建筑和管理的人员阅读，也可作为粮食院校教学的参考读物。

本书在编写过程中，西安冶金建筑学院马仁民、陈郁文两位同志对有关通风部分的内容进行了审阅，并提出宝贵意见，在此表示感谢。全书由杨磊同志统一编审，参加编写的还有宋东晓（第一、第八章）、李树林（第五章一、二、三节、第六章）孟献斌同志（第七章二、三、四节）。由于时间仓促和水平所限，缺点在所难免，希读者批评指正。

编 著 者

目 录

序 言

第一章 低温贮粮概述	(1)
第一节 低温贮粮的简况.....	(1)
第二节 低温贮粮的生物学基础.....	(3)
第三节 低温条件下粮食贮藏的稳定性.....	(13)
第四节 低温贮粮与其它贮粮方法的对比.....	(18)
第二章 低温贮粮仓的围护结构	(23)
第一节 低温贮粮仓对围护结构的要求.....	(23)
第二节 水蒸汽的渗透与防潮.....	(28)
第三节 围护结构的传热系数与隔热层厚度.....	(33)
第四节 低温贮粮仓隔热层和防潮层的结构与施工.....	(37)
第三章 低温贮粮耗冷量的计算	(40)
第一节 围护结构的耗冷量.....	(40)
第二节 贮粮冷却加工时的耗冷量.....	(44)
第三节 仓内通风换气的耗冷量.....	(46)
第四节 经营管理的耗冷量.....	(46)
第四章 粮食大气冷却的机械送风	(56)
第一节 湿空气及其状态参数.....	(56)
第二节 湿空气的 $I-d$ (焓-湿) 图及其应用.....	(60)
第三节 送风的形式与风道的种类.....	(64)
第四节 送风设备的选择.....	(71)
第五节 风压和风量的测定.....	(82)
第五章 低温贮粮机械制冷的原理与系统组成	(87)
第一节 蒸汽压缩式制冷的基本原理.....	(87)
第二节 低温贮粮常用的制冷系统组成.....	(88)
第三节 常用的制冷剂.....	(90)
第四节 蒸汽压缩式制冷的理论循环.....	(93)
第六章 低温贮粮常用的制冷设备	(98)
第一节 制冷压缩机.....	(98)
第二节 制冷装置中的冷凝器和蒸发器.....	(109)
第三节 节流机构和其它辅助设备.....	(114)
第四节 制冷装置的自动控制器件.....	(122)

第七章 制冷装置的选择与运行管理	(131)
第一节 制冷装置的选择计算	(131)
第二节 制冷装置的试运转, 气密性试验与充液	(144)
第三节 制冷装置的运行管理	(152)
第四节 制冷装置运行中常见故障的分析及排除	(156)
第八章 低温贮粮仓的通风系统与温、湿度测量	(173)
第一节 低温贮粮仓的通风系统	(173)
第二节 空气射流	(177)
第三节 通风系统的设计计算	(185)
第四节 通风系统设备的选择	(191)
第五节 低温贮粮仓温、湿度的测定	(196)
第九章 热泵在低温贮粮中的应用	(202)
第一节 移动式低温贮粮制冷机	(202)
第二节 热泵的原理	(205)
第三节 热泵在低温贮粮中的应用	(207)
第十章 低温一气调贮藏	(212)
第一节 气调贮藏的原理及对贮粮的作用	(212)
第二节 低温一气调贮粮与粮食品质	(214)
第三节 低温一气调贮藏时的气密结构	(215)
第四节 脱氧措施与制气设备	(222)
附 录	(223)
附表: 1. 全国主要地区的气象资料	
2. 空气在不同温度下饱和水蒸汽量和饱和水蒸汽压	
3. 圆形标准风管规格	
4. 矩形标准风管规格	
5. 矩形风管流量当量直径表	
6. 局部阻力系数表	
7. 风机运行故障分析表	
8. 氨的热力性质表	
9. 氟利昂12热力性质表	
10. 氟利昂22热力性质表	
11. 几种主要粮食的比重、容重和孔隙度	
12. 粮堆露点温度检查表	
13. 相对湿度检查表	
14. 粮食的热物性表	
15. 粮食的比热C、导热系数 λ 与水分M的关系式	
16. 基本符号与单位	

附图: (258)

1. 湿空气 I — d 图 ($B = 760$ 毫米水银柱)

2. 湿空气 I — d 图 ($B = 740$ 毫米水银柱)

3. 氨 NH_3 $\lg P - i$ 图

4. 氟利昂 12 $\lg P - i$ 图

5. 氟利昂 22 $\lg P - i$ 图

第一章 低温贮粮概述

第一节 低温贮粮的简况

一、低温贮粮的几种措施

低温贮粮是通过控制“温度”这一物理因素，使粮食处于一定的低温状态，促进粮食的贮藏稳定性，从而达到安全贮藏的一种保鲜技术措施。在贮藏期间，如粮温维持在20~15℃时，则称为“准低温贮藏”；如粮温在15℃以下，则称为“低温贮藏”。根据冷源的不同又分为自然低温贮藏和机械制冷低温贮藏。所谓“自然低温贮藏”，即在贮藏期间纯粹利用自然条件来降低和维持粮温。自然低温贮藏按获得低温的途径不同，又可简单地分为“自然通风冷却贮藏”、“地下低温贮藏”、“水下低温贮藏”等。在整个贮藏期间如利用制冷装置来实现降低仓温和粮温，使贮粮维持在一定的低温时，称为“人工制冷低温贮藏”。由于所用的制冷设备属制冷压缩机，所以又可称为“机械制冷低温贮藏”。若在贮藏期间，同时采取控制粮堆的低温状态和改变气体成分的方法，则可称为“低温—气调综合措施贮藏”，或者简称为“空调—气调贮藏”。

低温贮藏时的粮温和仓温如何选择和确定？这主要依据贮粮的品种特性、水分含量及当地气象条件等具体情况而定。若单纯从贮藏角度出发，就会认为温度越低为宜，但从经济效益考虑，并非温度越低越好。针对我国幅员辽阔、粮食贮藏量大及人口众多的具体条件，应尽量设法利用当地的自然条件，采用“自然低温贮粮”的保鲜技术措施，从而降低粮食保管费用。但是对于成品粮如大米或经济价值较高的粮食，为了保证安全过夏，若利用自然条件而无法保证贮藏温度时，则可采用“机械制冷低温贮藏”。因而“自然冷却”和“机械制冷”相结合的低温贮粮保鲜技术，是本书叙述的重点内容。

二、低温贮粮的基本生产过程

根据我国的经济水平与技术装备，低温贮粮的生产过程通常是：冬季自然冷却→春暖前适时密闭仓库→夏季辅助机械制冷降温。现将这一生产过程分述如下。

（一）冬季自然冷却

我国幅员辽阔，四季分明。一般在北纬30度以北的地区，冬季气温都在0℃以下，同时相对湿度较低（我国主要地区的气象资料见附表1），因此低温贮粮有充足的自然冷源，故应最大限度地利用其自然低温条件。这种利用冬季干寒空气对粮食进行冷却的方式有下述几种：

1. 仓外自然冷却 这是一种粮食先冷却后入仓的方法。选择地势稍高、通风条件较好的场地，将包装粮堆成通风露天垛。堆垛时要注意将垛的通风口对准当地冬季主导风的风向，这样可提高通风冷却效果。垛上要盖芦席或篷布，根据气温变化，或者白天盖夜间揭开，并密切注意气候变化，避免雨雪进入粮垛。

仓外自然冷却，最好将粮温降低到当地气温的最低温度，粮食在仓外冷却时间的长短主要取决于粮温与气温的温差。温差大则冷却时间短，温差小则冷却时间相应延长。如果粮食不急于入仓，可在露天多存放些时间；如果急于入仓，则可在夜间用轴流风机或大风量低风压的离心风机对露天垛进行强制通风，从而提高降温速率。

应该注意的是，露天垛自然冷却时，一定要经常测定垛心与包心粮食的温度，在其达到入仓温度的要求后才能入仓。

2. 入仓时的冷却 仓外自然冷却仅适合包装粮食，而对散装的粮食，则可结合粮食入仓除杂灭虫工作一同进行。较为简便的方法是将粮食先经过溜筛后再入仓。在粮食经过溜筛的同时，用轴流风机对粮食进行扇风，这样不仅可以提高降温效果，同时还可除去粮食中的杂质和害虫。

这里，需要指出的是气候条件的选择则直接关系到粮食入仓时冷却的效果，因此，最好能选择当地冬季大气温度与相对湿度最低的时机进行此项工作。

3. 仓内冷却 露天垛进行仓外自然冷却，它的缺点是要多一次倒运手续，同时需要有足够的场地。当场地较小时，可采用仓内冷却的低温贮粮措施，它不仅适合包装粮，也适合散装粮。

所谓仓内冷却，即粮食入仓后再进行冷却。为了提高自然冷却效果，粮垛应与粮仓的形式相适应。对于成品的包装粮一般粮垛间的走道方向应与仓库通气窗的方向一致，以便减小气流的阻力。冷却时，可选择适宜的天气，打开全部门、窗，对仓内进行冷却。

对于散装粮，为了提高冷却效率和通风均匀性一般采用通风机对粮食进行强制通风。为此，在粮食入仓前应在仓内先设置必要的风道（参阅第四章）。目前国内一般采用从粮堆底部送风的方法（即正压通风法）或抽风的方法（即负压通风法）。在强制通风过程中，要注意全仓粮温的变化，如发现存在通风不均匀时，则可在降温快的部位采用“粮面压盖”的方法加以补救，也可用单管通风法对降温慢的部位进行单独补偿，直到全仓各部位粮温基本一致为止。

（二）密闭仓库

冬季过后，气温也随之逐渐上升，当气温将接近粮温，而粮温无法降低时，应适时密闭低温仓房，这样可利用低温仓的隔热保温设施来减弱仓内外的热交换，从而较好地保持冬季获得的冷量，延缓仓内温度的上升，为贮粮过夏打好基础。

密闭仓房主要包括密封门窗、压盖粮面、堵塞通风道口等工作。

1. 密闭门窗 密封门窗，就是把那些暂时不用的门窗密闭，仅留一小门供出入。其它门窗一定要严密封闭。若为专门设计的隔热门窗，则须关严；若为一般粮仓门窗，最好就地取材，糊严实，不留一点缝隙，如条件允许，还可用一定的隔热材料加以覆盖。仓房密闭后，应尽量减少进出仓的次数与进仓人数和时间，且出入仓门时应当随即关闭。

2. 压盖粮面 对于隔热保温措施较差的仓房，压盖粮面是一种很好的保冷措施。其效果的好坏，关键在于压盖物料的厚度和采用导热系数较小的材料。例如可采用稻壳、麦壳或棉籽皮压盖，其优点主要在于它们具有较好的热物理性能、能吸收一定水分而不易结露。压盖的方法有包压和散压两种，它们各有利弊，只要实施得当，均可取得满意的效果。若采用稻壳、麦壳或棉籽皮散压，其厚度约为30厘米。



而粮食的呼吸作用往往受温、湿度的制约，如表 1—1 所示。温、湿度降低，则呼吸作用减弱，反之则升高。当粮食水分一定时，若温度升高，呼吸强度在开始时随温度的升高而急剧上升，到一定的温度界限后，呼吸强度则开始下降，如图 1—1 的曲线所示，温度在 50~55℃ 时，呼吸强度最高，当温度超过 55℃ 时随即下降。这是因为随着呼吸强度的上升，粮堆内的二氧化碳量不断增加，当二氧化碳的浓度超过 16% 后就会抑制粮食的生理呼吸，当二氧化碳高达 20~25% 时，生理呼吸将予停止，代之而起的是有机物质的单纯化学氧化。

表 1—1 不同温度下的玉米呼吸强度（每 100 克干物质在 24 小时内放出的 CO_2 毫克数）

水 分 (%)	5 ℃	15 ℃	25 ℃
14	2.0	10.2	28.0
17	6.0	24.5	37.6
19	21.6	30.4	73.6
25	30.4	36.8	113.6

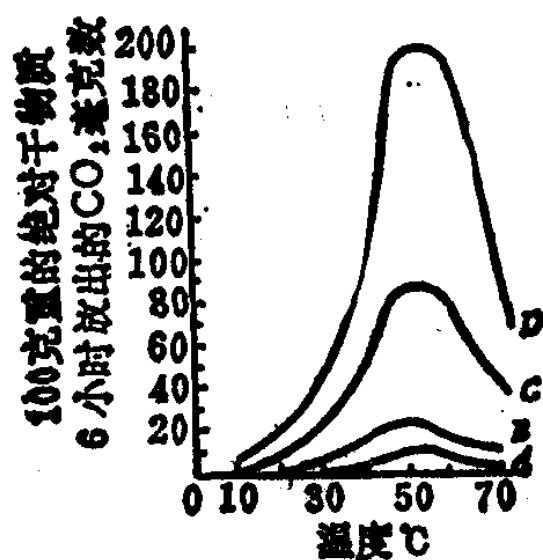


图 1—1 温度对粮食呼吸的影响

A—水分 14% B—16%

C—18% D—22%

从图 1—1 及表 1—1 中的数据可见，如能控制粮温便能控制粮食的呼吸作用。对一般水分正常的粮食，若保持在 20℃ 准低温下，呼吸作用就会大大降低，在 15℃ 以下就能抑制贮粮的呼吸作用而使其处于半休眠状态，0℃ 时呼吸作用几乎停止。

粮食呼吸时需要消耗自身的干物质。温度不同，其呼吸强度也不同。也就是说，温度不同，由呼吸作用所消耗的干物质的数量也不同。据有关试验表明，

当粮食的水分为 21.5% 时，在 5℃ 下贮藏六个月，干物质的损失为 1.1%，在 17℃ 下干物质损失达 31%。表 1—2 示出的贮藏量为 100 吨的不同水分的粮食，分别在 25℃、20℃、15℃、6℃ 条件下贮藏

的干物质的损失吨数。表 1—3 示出对含水分 22% 的高水分的粮食，贮藏在不同温度下，其干物质的损失率悬殊很大。

从这些数据可以清楚地看出，控制粮食的贮藏温度便能抑制粮食的呼吸作用，大大地降低干物质的损失，从而保持粮食的营养成分，这就意味着增加了粮食的数量。因此有人称低温贮藏是“不生产粮食而能增产粮食的技术措施”。

（二）温度对粮食营养品质及生物化学变化的影响

要保持粮食的营养品质，就应使贮粮保持一定的新鲜程度。实验证明，低温贮藏对保持粮食的营养品质是十分有利的，同时低温贮藏还能延缓粮食的生物化学变化过程，推迟粮食的陈化，提高粮食贮藏的稳定性。

表1—2 100吨不同水分的粮食在不同贮藏温度下的粮食干物质损失量 (吨)

粮食水分 (%)	贮藏时间	不同温度下的干物质损失量 (吨)			
		25℃	20℃	15℃	6℃
20	8天		5.3		0.8
18	15天		5.4		0.8
16	半年	21.6		5.7	1.5
15	半年	7.6		2.4	0.6
16	半年		10.8		1.5
15	半年		3.8		0.56

脂肪酸值通常可作为粮食品质劣变的指标之一。据有关资料对在不同条件下贮藏十六年的小麦进行分析,虽然总的说来小麦的脂肪酸值都呈上升趋势,但是常温贮藏下的脂肪酸值增加量大约是低温贮藏下的两倍。低温下贮藏十六年的小麦发芽率(87%)比常温条件下的发芽率(39%)高两倍多,而且小麦经十六年的低温贮藏后没有发现明显的霉菌,色泽与气味以及磨制成面粉的工艺品质、烘焙品质等指标均优于常温贮藏的小麦。

表1—3 水分22%的粮食温度与干物质的损失关系

温度 (℃)	干物质损失率 (%)		温度 (℃)	干物质损失率 (%)	
	小麦	大麦		小麦	大麦
10	0.0086	0.022	25		
15			30	0.13	0.094
20	0.056	0.055	35		

在日本,经过广泛研究把大米安全贮藏的温度标准定在15℃以下,这样便能很好地保持大米的营养成分与新鲜度。例如糙米,分别将其在低温与常温下贮藏二十个月后,发现在常温条件下贮藏的粮食的脂肪酸值较低温下的增长快;在常温下贮藏的粮食,其还原糖到了夏季(6~9月)都有明显的增加,而贮藏在低温下的变化则较少;水溶性氮在低温下的变化较小,而常温下贮藏的从六月到次年三月便有较大的降低;V_{B1}在低温下贮藏一年减少1/5,以后则无甚变化,但在常温下贮藏一年则减少了2/5,以后还继续缓慢减少。

粮食中的糖类即所谓的“碳水化合物”的含量,在正常的贮藏条件下一般变化很小,总的趋势呈现为还原糖增加、非还原糖减少,但在高温与高湿下,糖类易被水解而含量急剧变化。表1—4所示为小麦在不同贮藏温度下的蔗糖(非还原糖的代表)与麦芽糖(还原糖)的含量变化。蔗糖含量减少到0.77%,在16~21℃要经过160天,而在30~32℃时只要经过10天。可见低温对提高小麦的耐贮性有明显效果。

(三) 温度对粮食生活力的影响

种籽的生活力体现种籽的健全度与新鲜度。从贮藏角度来说,保持种籽的生活力即可保持种籽品质的新鲜度,使原有营养成分与蒸煮品质处于稳定。生活力强的种籽对不良环境的抵抗力强,有利于长期安全贮藏。从种籽的种用品质来说,保持种籽生活力的主要目

的是为了保持种籽的发芽力（发芽势与发芽率）。种籽的生活力强，其发芽力就强，就具备好的种用品质，使出芽整齐、健壮及有助于提高产量。

表1—4 不同温度下小麦的蔗糖与麦芽糖含量变化（以干重计算）

贮藏时间 (天)	水分 (%)	温度 (℃)	蔗 糖 (%)	麦 芽 糖 (%)
0	12.6	16~21	0.88	0.04
116			0.80	0.04
160			0.77	0.04
172			0.75	0.05
0	12.6	30~32	0.80	0.04
10			0.77	0.04
5	19.8	30~32	0.63	0.08

植物种籽生理学家和粮食贮藏学家都把粮食的生活力和发芽率作为粮食健全度和价值高低的标志。低温贮藏则是达到保持生活力和发芽率的最佳手段。粮食水分一定时，贮藏温度直接影响粮食的呼吸强度。旺盛的呼吸会缩短种籽的寿命。但粮食在15℃下则处于半休眠状态，低温能延长种籽寿命。例如，罗伯茨（Roberts, 1960）对禾谷类种子生活力进行了深入的研究，当贮藏温度在50~0℃范围内，温度每降低5℃，一些粮食种籽的寿命大约延长一倍；当贮藏温度每下降10℃，生活力期就增加3.3倍。

如何保存好杂交水稻稻种，无疑将关系到杂交水稻的推广与高产稳产。为此进行了低温贮藏杂交稻种的试验研究。浙江省岱山种子公司于1981年7月30日至1982年1月12日将11442斤水分为12.6%的杂交水稻种子进行低温贮藏165天后，测定其发芽率，试验结果如表1—5所示。表中数据说明，杂交稻种的原始发芽率为98.2%，经165天低温贮藏后的发芽率为97%，比入库时仅降低1.2%，而常温贮藏的稻种，贮藏同样时间，发芽率则降低了28%，低温贮藏比常温贮藏稻种的发芽率提高26.8%。由此可见，低温贮藏种子可以有效地保持种子的发芽率、提高种子质量、延长种子使用年限和促进农业增产。

表1—5 低温贮藏杂交水稻种子试验结果

时 间	仓 温 (℃)	仓 湿 (RH%)	稻 种 温 度			发 芽 率	
			上层	中层	下 层	低温贮藏	对照常温贮藏
81年7月31日	20	95	26	26		98.2	98.2
8 月	18.5~19.5	86~92	19~21		18.5~20		
9 月	18.5	86	19		18.5		
10月	17 ~18.5	56~84(通风)	19		18.5		
11月	17 ~18.5	71~81	19		18.5		
82年1月	18	70	19		16.5	97	70.2

二、温、湿度对贮粮害虫的影响

贮粮害虫的生长繁殖主要受温度的影响，因此，在粮食贮藏中，水分很低的粮食，往往会因躲藏在仓房内或随粮食带进的害虫在适宜温度下迅速繁殖蔓延，消耗粮食和氧气，产生二氧化碳、水和热，引起粮堆局部温度增高。表 1—6 所示，为大多数重要的贮粮害虫生长繁殖的温、湿度极限范围和整个发育周期，在平均 100 天内发育所需的安全温度（即由卵发育为成虫需时 100 天的平均温度）。

表 1—6 主要害虫生活的温、湿度极限范围与安全温度

虫 种	最适温度 ℃	能发育繁殖的 最低温度 ℃	能发育繁殖的 最低湿度 φ %	安全温度 ℃
锯 谷 盗	31~34	21	10	19
谷 象	28~30	22		17
赤拟谷盗	36	16	5	22
杂拟谷盗	33	22	2	21
谷斑皮蠹	38	20.5		22
米 象	29~31	15		18
长角谷盗	30~32	21	60	19
印度谷蛾	28~32	20	40	
麦 蛾	26~30	17	30	
粉 斑 螟	28~32	17	25	
谷 蠹	34	18	30	21

贮粮害虫虽然也是变温动物，但它们调节体温的能力极微，所以只有在一定的温度范围才能生活。从表 1—6 可见大多数重要的贮粮害虫的最适温度为 25~35℃，若将温度控制在 17℃ 或 15℃ 以下，虫体开始呈现冷麻痹，在这种状态下，任何害虫都不能完成它们的生活史，从而防止所有主要贮粮害虫的危害。当温度降到 5~10℃，昆虫出现冷昏迷，这时即使不能使其快速致死，也可使昆虫不能活动并阻止它们取食，结果由于饥饿衰竭而间接地使害虫死亡。5℃ 以下虫类便不能蔓延发展。当温度降到 0℃ 以下，昆虫体液开始冷冻；-4.5℃ 以下昆虫体液冻结而致死。

低温对害虫的防治作用与致死时间，一方面随低温状态的变化有很大的差别；另一方面也随虫种和虫期的不同而不同，如表 1—7 所示。螨类生长繁殖的适宜温度为 20~30℃，它比昆虫具有更大的抗低温性，在 15℃ 以下仍然能缓慢繁殖，低于 10℃ 其活动能力小，低于 5℃ 一般无活动能力；-5~0℃ 时有较低的致死率；-10℃ 以下的低温才能有效致死。一般限制主要贮粮螨类生长发育的温度在 0~10℃，如表 1—8 所示。它比限制主要贮粮害虫的生长发育温度低 5~10℃。所以在低温贮粮中，能有效地抑制昆虫的生长，但避免不了螨类生长繁殖，除非将温度降至 8℃ 以下。

表1—7 不同低温对贮粮害虫的致死时间(h为小时,其余为天)

虫种、虫期		5 °C	0 °C	- 5 °C	-10 °C	-15 °C
米 象	卵		7 以上	12以上	99 h	7.5 h
	幼 虫		17	3	24 h	2.2 h
	蛹		16	4.5	27 h	3.75 h
	成 虫	21	7.5	4.0	15 h	11 h
谷 象	卵	12	19	18	2	13 h
	幼 虫	138	39	23	6	16 h
	蛹	147以上	47	25	6	
	成 虫	152	67	24	14	19 h
杂拟豆盗	卵	13.8	16 h	14 h	1.4 h	1.0 h
	幼 虫	22		16 h	1.75 h	1.0 h
	蛹	13.8		10 h	1.5 h	0.5 h
	成 虫	22		24 h	2.0 h	0.5 h
豌豆象	成 虫	390以上	404以上	260以上	130以上	
锯 谷 盗	幼 虫	45	18	12	2	1
	成 虫	67	22	13	3	11
长角谷盗	幼 虫	80	70	29	18	1
	成 虫	95	80	32	20	1
烟 草 甲	卵	16	11	7	1	1 h
	幼 虫	20	12	7	60 h	
	蛹	33	14	5	2	1 h
	成 虫	33	13	6	5 h	1 h
日本蛛甲	卵		186	97	31	9
	幼 虫		219	164	36	17
	蛹		49	40	13	6
	成 虫		79	72	25	9
印度谷蛾			90	28	5	
粉 螨	成、若、幼虫		486	18	7	1
	卵		368	168	57	1
地中海粉螟				14	75H	
长 螨	成、若、幼虫		26	12	3	1
	卵		85	24	21	1
毛 螨	成、若、幼虫		50	18	8	3
	休眠体		500以上	500	330	120
肉食螨	成、若、幼虫		464	120	23	6

表1—8 限制主要贮粮螨类发育的温度

种 名	限制发育温度℃	种 名	限制发育温度℃
粉 家 毛 螨	0 0~15	长 普 通 肉 食 螨	8 10

三、温、湿度对粮食微生物的影响

粮食微生物是指寄附于贮粮上的微生物它主要包括真菌（霉菌、酵母菌、植物病原真菌等）、细菌、放线菌及病毒等。在粮食贮藏中，经常引起粮食的发热与霉坏变质的主要是真菌，而大多数贮藏真菌是曲霉属（*Aspergillus*）和青霉属（*Penicillium*）的种。

在粮堆这个生态体系中，粮食微生物的生活习性不同于贮粮害虫，它们互相与环境因素间的关系是不同的。差别在于：贮粮害虫的生态特性主要受温度制约，其次是粮食水分；而粮食微生物受温、湿度的综合影响，其中湿度的影响更大。

（一）粮食微生物生活的温、湿度范围

粮食微生物作为一种生物体，同样也只能在一定的温、湿度范围内发育、生长与繁殖，而粮食微生物生活的温度范围比其湿度范围较宽。

根据粮食微生物对湿度的不同要求，可将其分为湿生、中生和干生三个类型，如表1—9所示，而以湿生性微生物占绝大多数。

表1—9 粮食微生物对湿度的适应范围

微 生 物 类 型	要 求 的 湿 度 RH(φ)%	
	最 低	适 宜
湿生（好湿性）微生物	90以上	接近100
中生（中湿性）微生物	90~80	98~100
干生（低湿性）微生物	80~60	95~98

粮堆内的空气相对湿度与粮食水分有一定的相对平衡关系，可查表4—5。国外一般取与空气相对湿度70%相平衡时的粮食水分（13.5~14%）作为安全贮藏的最高水分，而在此相对湿度下，只有极少数干生性微生物轻微生长，而绝大多数的中生、湿生性微生物则不能生长。根据一般贮藏，真菌在适温下生长所需的最低相对湿度在70%以上，如表1—10所示。可以说，粮食干燥是抑制菌类的最有效措施。

粮食微生物对温度同样也有一定的要求，如表1—10所示，可将其分为高温、中温和低温三个类型，其中以中温性占绝大多数。图1—2示出不同属种的粮食微生物的生长繁殖所要求的温度也有很大差别。粮食微生物活动的最适宜的温度范围为20~40℃，其中以

表1—10 一般贮藏真菌在适温（26~30℃）下生长所需的最低相对湿度

一般贮藏真菌	最低相对湿度(%)	一般贮藏真菌	最低相对湿度(%)
嗜 盐 曲 霉	68	亮白曲霉、赭曲霉	80
局 限 曲 霉	70	黄 曲 霉	85
灰 缘 曲 霉	73	青霉（随种而定）	80~90

28~35℃时生活力最为旺盛；温度低于15℃时微生物的生长便受到抑制。8℃以下绝大多数粮食微生物便基本上不能生长繁殖；0℃以下除少数低温性微生物在高湿下能活动外，其余微生物均不能活动。

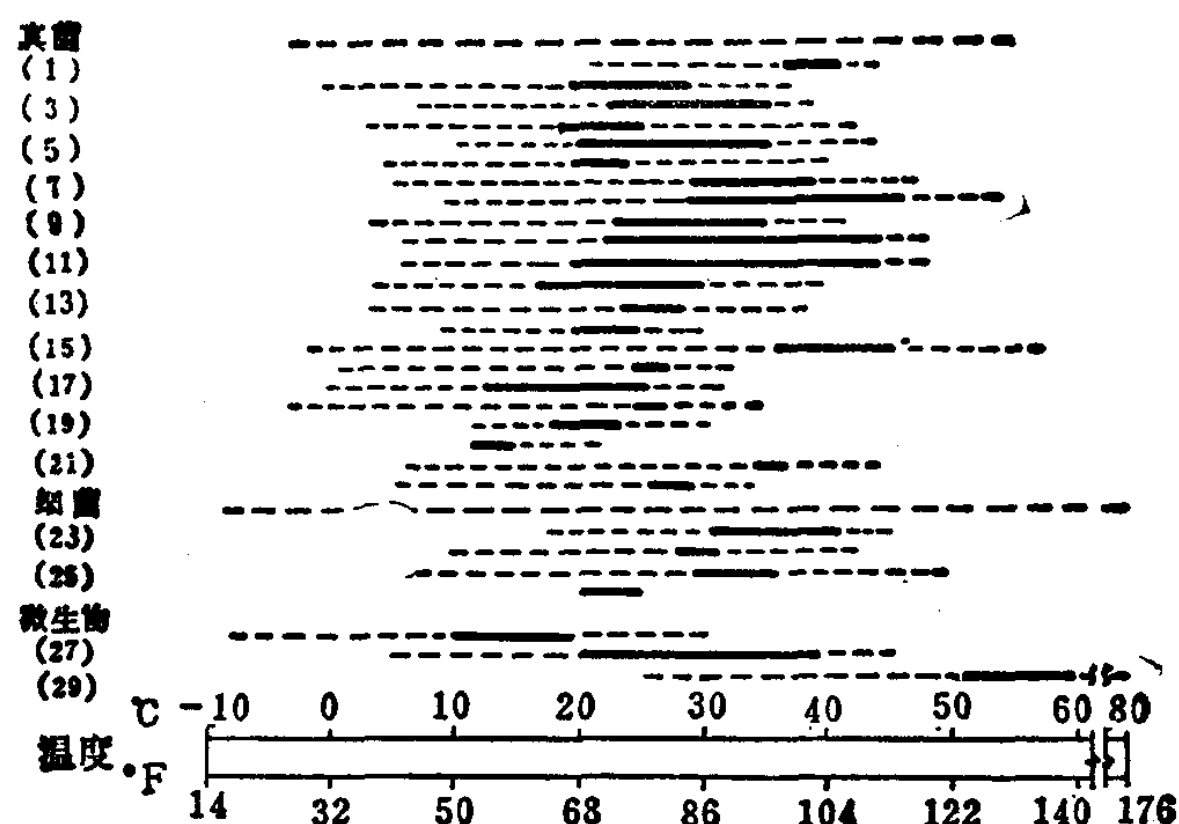


图1—2 不同属种粮食微生物的生长温度范围（粗实线表示适宜温度范围）

- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| (1) 李氏犁头霉 _c | (2) 细交链孢霉 _{bc} | (3) 阿姆斯特丹曲霉 _a | (4) 白曲霉 _{ab} |
| (5) 薛氏曲霉 _{abc} | (6) 棒曲霉 _{bc} | (7) 黄曲霉 _{bc} | (8) 烟曲霉 _{bc} |
| (9) 灰绿曲霉 _{ab} | (10) 构巢曲霉 _b | (11) 黑曲霉 _{bc} | (12) 匍匐曲霉 _a |
| (13) 杂色曲霉 _{ab} | (14) 芽枝霉 _b | (15) 小毛霉 | (16) 黄青霉 _{bc} |
| (17) 圆弧青霉 _b | (18) 扩张曲霉 _{bc} | (19) 绳状青霉 _b | (20) 小刺青霉 _{bc} |
| (21) 无根根霉 _c | (22) 黑根霉 _c | (23) 低温性微生物 | (24) 中温性微生物 |
| (25) 高温性微生物 | | | |

a—干生性；b—中生性；c—湿生性。

（二）低温贮藏下的粮食微生物生态特点

如上所述，低温贮藏能有效地抑制绝大多数中、高温微生物。但是在低温状态下还有一些微生物能在适宜的相对湿度下生长繁殖。在低温条件下主要有两种微生物的生长类型：

一种是中温性微生物的低限型。这是因为准低温（20℃以下）和低温（15℃以下）状态恰恰是中温性微生物生长的低限温度区，在这个低限温度区内，中温性微生物生长缓慢，如果相对湿度在70%以下，这些微生物不会很快发展；倘若此时相对湿度在75%以上，这些中温性微生物便能开始生长并缓慢而逐步发展起来。当局部区域积聚了一定的热量和水分后，就会大量繁殖，使粮食局部发热、结块和霉变。低温贮藏中可能对粮食造成危害的中温性微生物主要有毛霉、黑根霉、匍匐曲霉、构巢曲霉、杂色曲霉及白曲霉等。

另一种是低温性微生物的普生型。准低温和低温状态，刚好是低温性微生物生长繁殖的最适宜的温度区。在此温度下，如有适宜的相对湿度，低温性微生物能很好的发育、生长与繁殖。由于温度的作用，低温性微生物的生活周期比中、高温微生物的生活周期所需时间相对较长，因此其发展也比较缓慢，低温高湿才能使低温性微生物生长繁殖。所以在冬季只有在高水分粮食上才会发生霉菌。对粮食可能造成危害的这类微生物主要有毛霉、