

国外

谷物干燥参考资料

上海科学技术文献出版社

•
国外谷物干燥参考资料

上海科学技术文献出版社出版
(上海高安路六弄一号)

新华书店上海发行所发行
上海商务印刷厂印刷

•
开本 787×1092 1/16 印张 2.75 字数 68,000

1978年12月第1版 1978年12月第1次印刷

印数: 1—7,200

书号: 16192·1 定价: 0.40 元

说 明

在毛主席“农业学大寨”的伟大号召下，我国粮食生产连年丰收。但是在谷物干燥方面，缺乏高效率的干燥处理设备，至今还主要靠太阳自然干燥。不少地区，收获季节往往阴雨连绵，收下的谷物不能及时干燥，致使发芽、霉烂变质，造成损失很大。为解决上述问题，各地广泛开展了谷物干燥机具的研制工作。为了配合该项工作的开展，我们与上海市农业机械化研究所根据美国爱迪生电器研究所出版的《谷物干燥手册》，摘译成这本《国外谷物干燥参考资料》，供有关同志参考。

原著主要对谷类作物的机械干燥，从理论、实践、经济效益、设备等方面作了详细介绍。涉及的作物包括小麦、燕麦、大麦、黑麦、高粱、玉米（玉米粒和玉米穗）、大豆、花生以及稻谷。原著所列数据全用英制和华氏温度，为便利读者参考，一律换算为公制和摄氏温度。在翻译和计算中如有差错之处，谨请读者批评指正。

上海科学技术情报研究所

1978年9月

目 录

一、鼓风干燥谷物的经济优越性	1
1. 提早收获,减轻气候影响	1
2. 提早收获,有利机械作业	1
3. 提早收获,减少田间损失	1
4. 提早收获,合理安排人力物力和提高土地利用率	2
5. 机械干燥,保证谷物质量,减少损失	2
二、鼓风干燥的基本原理	2
1. 鼓风干燥的基本关系	3
2. 空气在干燥中的作用	3
3. 相对湿度	3
4. 湿球温度	4
5. 露点	4
6. 谷物和空气的水分平衡	4
7. 谷物温度和水分凝聚	7
8. 谷物温度与霉菌生长	7
9. 气流方向和测量单位	8
10. 静压	8
11. 谷物干燥过程	9
三、干燥方法	10
1. 三种主要的干燥方法和各种应用	10
2. 三种干燥法的优缺点比较	11
3. 通风——冷却	11
四、自然风干燥	12
1. 干燥作业	12
(1) 对相对湿度的考虑	12
(2) 谷物收缩的估算	13
(3) 最小气流量和干燥谷物的最大堆积深度	13
(4) 根据静压表选择恰当的谷物干燥风扇	14
(5) 根据风扇选择表选择恰当的风扇	17
(6) 小粒谷物的干燥过程	17
2. 储藏仓和空气分配系统	20
(1) 谷物干燥储藏仓的要求	20
(2) 三种空气分配系统	21

(3) 主、支通风管道式空气分配系统·····	21
(4) 主、支通风管道的详细结构·····	22
(5) 如何设计一座干燥粮仓·····	23
(6) 单中间带孔壁式通风道系统·····	24
(7) 带孔通风底板式空气分配系统·····	24
(8) 多仓式储藏·····	26
五、辅助加热干燥 ·····	27
1. 辅助加热干燥的使用概况·····	27
2. 辅助加热器的使用和特性·····	28
3. 加热器自动作业的控制装置·····	28
4. 干燥空气的温度估算·····	28
5. 加热器的必要产热效率的估算·····	29
6. 辅助加热干燥过程·····	30
六、热风干燥 ·····	30
1. 关于热风干燥的使用说明·····	30
2. 热风干燥的粮仓和空气分配系统·····	30
3. 干燥机的情况·····	31
4. 干燥温度、气流量和谷物堆积深度·····	31
5. 收获速度决定应该采用的干燥机的效率·····	32
6. 干燥机规格的计算·····	33
7. 仓内热风干燥的过程·····	34
8. 谷物干燥程度·····	34
9. 挂车干燥·····	34
七、玉米穗干燥 ·····	35
1. 粮仓内玉米穗的干燥·····	35
2. 通风仓内玉米穗干燥·····	36
3. 直立通风管道式通风仓·····	37
4. 其他干燥储藏仓·····	38
5. 玉米穗自然风干燥·····	41

一、鼓风干燥谷物的经济优越性

采用加热风或自然风进行鼓风干燥的机械化谷物干燥法有很多优点:

1. 提早收获,减轻气候影响

一般说来,谷物从成熟到符合贮存条件需要一到三个星期的田间自然干燥时期。但是,具有干燥设备的农场可提早收获,从而避免因天气不良而遭受的损失。图1示出,在配套有干燥设备的情况下,几种谷物在提早收获时可允许的最高含水率。此外,各种花生在机械收获时的含水率为21~60%。

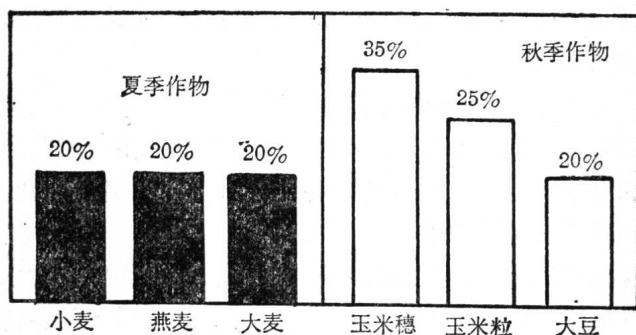


图1 几种谷物在收获时可允许的最高含水率*

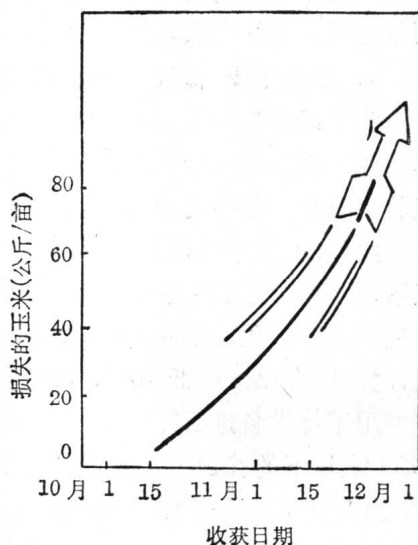


图2 玉米的不同收获日期与田间损失关系

由于高产杂种玉米成熟比一般低产品种晚,因此,玉米作物一成熟就收获这点特别重要。

2. 提早收获,有利机械作业

一般说来,收获越早,操作条件越好,因为土地较干而且平整。在这样的条件下,联合收割机和其他机械可操作得较迅速,而且磨损也小,有利于安全生产和提高效率。

3. 提早收获,减少田间损失

成熟后的作物留在田间等待干燥时间越长,则产量越低。麦类在田间干燥时,每亩散落的麦粒可高达九公斤。此外,田间干燥的作物还会因风吹雨淋而倒伏,造成的损失更大。图2中的数据是一项持续十年的研究结果,说明了玉米收获越晚,田间损失越大。

表1从另一个方面示出了田间干燥付出的代价。

表1中的数据是按亩产量三百二十公斤计算。随产量的升高,田间损失的百分比也增大。其他谷类作物收获期延迟亦会增加田间损失(唯花生例外)。可根据下述谷粒散落的数据估计出田间损失。

* 图1中夏季作物、秋季作物应为夏收作物、秋收作物。

表1 玉米的田间损失

成熟后天数	6	10	20	25	30	34	40	50
谷粒含水率(%)	25	23	20	18	17	16	15	15
田间损失(%)	1.5	2.0	3.0	5.0	7.0	9.0	12.0	14.0

玉米——每平方米散落二十二粒,相当于每亩损失四公斤。

小麦——每平方米散落二百二十粒,相当于每亩损失四公斤半。

大豆——每平方米散落五十四粒,相当于每亩损失四公斤半。

燕麦——每平方米散落一百一十粒,相当于每亩损失四公斤半。

4. 提早收获,合理安排人力物力和提高土地利用率

具有干燥设备的农场可在谷类作物成熟后立即进行收获,更精确地安排农机和劳动力。而依赖田间干燥的农场则无法肯定收获日期。此外,提早收获后,土地即可再播种。

5. 机械干燥,保证谷物质量,减少损失

为了维持谷物的最高营养价值,必须及时和彻底地干燥。田间干燥能导致营养价值下降15%,因为阳光会破坏胡萝卜素。风和雨可使谷粒散落,而且,在田间时间过长,外壳裂缝将更容易使谷物受霉菌、真菌、鸟和鼠类的侵害。

此外,机械干燥设备还可用于冷却贮藏的谷物,使其营养价值不致于降低。研究的结果表明,贮存温度过高将促进胡萝卜素、维生素甲和脂肪变质,引起碳水化合物和蛋白质发生物理和化学变化,从而影响谷物的营养价值和可口性,并使这种谷物较难为食用者所消化。据计算,贮存温度降低10%,可使谷物变质速度减慢50%。

用干燥设备进行冷却可使贮存的谷物不易受霉菌和虫害侵蚀。在温度为15.5°C或含水率11%以下的谷物中,多数象鼻虫和甲虫即停止繁殖和产卵。在温度为10°C以下的谷物中,虫类基本停止采食。在贮存温度和水分均较低的谷物中,霉菌的生长也同样受到抑制。表2示出,一些长期贮存谷物的可允许的最高含水率。

表2 几种谷物长期贮存时可允许的最高含水率

谷 物	小 麦	燕 麦	大 麦	高 粱	玉 米 粒	大 豆	稻 米
最高含水率	12%	13%	13%	12%	13%	11%	12%

除上述优点外,玉米种植场具有干燥设备,可把玉米粒干燥到安全储藏的程度,从而使玉米摘穗-脱粒机具有实用价值。此外,储藏脱粒玉米的粮仓的投资仅是储藏玉米穗粮仓的四至五成。

对种子来说,干燥设备更重要,因为种子必须在准确控制的温度下干燥,以保证较高的发芽率。

二、鼓风干燥的基本原理

这一章主要介绍谷类作物的鼓风干燥的基本原理。关于这些原理在通风粮仓、加热器和风扇等的结构、设计以及如何选择的问题,则将在其他章节中讨论。

1. 鼓风干燥的基本关系

含水率高的谷物在高温下迅速变质,潮湿的谷物会发生化学变化和受到害虫的侵蚀。但是贮存的谷物的最危险的敌人是霉菌。

干燥的目的是要把谷物的含水率降低到可以安全贮存的水平,而这一水平主要取决于谷物的温度以及将要贮存的时间。含水率和温度越低,谷物的贮存时间就越长。

有关干燥谷物的各项考虑中,最基本的问题应是确定为了防止霉菌繁殖必须在几天内完成干燥。为了解答这个问题,首先要掌握霉菌生长的基本关系,亦即霉菌在 4.5°C 时基本停止繁殖,而在 26°C 到 32°C 内生长最迅速。这一关系决定了在特定条件下为干燥一定量谷物所需要的通风仓容积以及通风量和热量。

2. 空气在干燥中的作用

干燥空气起着两种作用:① 把从谷物中蒸发出来的水分带走。② 提供使水分蒸发的热量。上述两者都重要,但相对来讲,后者作用更重要,因为它限制着一般干燥机的性能。

流过潮湿谷物的空气将把水分带走,水分的蒸发使空气和谷物低温——空气所下降的温度正是提供了蒸发水分所必须的热量。如果温度不下降,水分也不会蒸发。

蒸发 1 公斤水约需要 589 千卡热量(假设效率达到 100%)。由于 1 公斤空气降温 1°C 散发热量 0.24 千卡。因而须使 2450 公斤的空气降温 1°C ,才能释散出 589 千卡的热量。同样,使少量的空气更大幅度地降温,也可产生上述相等的热量,例如使 245 公斤空气降温 10°C 。

但是,空气的降温限度以空气的含水量而定。这一点将在后面详细讨论,根据空气的作用,现已发展和推广的鼓风干燥法共有三个主要类型,即:

① 采用不加热空气的自然风干燥法。

② 在干燥空气进入谷物前辅助加热(使空气温度升高 $5.5^{\circ}\text{C}\sim 11^{\circ}\text{C}$)的辅助加热干燥法。

③ 在干燥空气中添加大量热量使温度升高到 38°C 或更高的热风干燥法。

在此提及这三种方法仅是为了便于进行下面的讨论,具体细节将在后面的其他章节中介绍。

3. 相对湿度

在特定温度下,1 公斤空气所能含的水分是有限度的。当空气中的水分达到所能保持的最大含量时,该空气即称为达到了饱和程度。空气所能保持的水分是随温度的升高而增加的,参见表 3。

表 3 空气的含水能量

温 度	4.5°C	10.0°C	15.5°C	26.6°C	30.0°C
公斤水分/公斤干燥空气	0.0052	0.0074	0.0109	0.0222	0.0274

表 3 示出,空气的含水能量是随温度的上升而相应递增的。例如:当温度由 4.5°C 升到 15.5°C ,每公斤干燥空气含水量增加 0.0057 公斤。当温度由 15.5°C 升到 26.6°C ,每公斤干燥空气的含水量增加 0.0113 公斤。

在论述空气含水量时,最常用的术语是相对湿度,即空气的含水量与在同样温度下的饱

和空气所含的水分之比。由此， 4.5°C 下的每公斤含水 0.0026 公斤的空气是饱和程度的 50% ，其相对湿度是 50% 。

在特定温度条件下，空气的相对湿度越低，则在该温度下进行的干燥越迅速，这是确定谷物是否可通过自然风或辅助加热干燥法在一定时间内干燥到符合贮存条件的主要因素。从下文可以看出，相对湿度甚至可以决定，在特定空气和谷物含水量等条件下，究竟能不能用自然风进行干燥。

为了确定干燥能力和干燥时间，空气的温度比相对湿度还重要。假设空气的相对湿度是 50% ，根据表 3，可见在 15.5°C 时，每公斤空气含水 0.00545 公斤，并还可多含水 0.00545 公斤；处于 26.6°C ，相对湿度为 50% 时，每公斤空气含水 0.0111 公斤，并还可多含水 0.0111 公斤。这些数据示出，在较高的相对湿度（即超过 70% ）条件下，只有采用较热的空气才能进行干燥。

相对湿度将随着空气的加热而降低。温度为 4.5°C 和相对湿度为 100% 的空气，一旦被加热到 15.5°C 时，其相对湿度下降到约 50% 。在干燥农作物时为空气提供少量的热量，如辅助加热干燥法，其目的正是为了获得上述的效果。

4. 湿球温度

用标准温度计测温时，应使温度计的球状体与待测物接触。由此获得读数称为干球温度，亦即被测物的实际温度。

如果用一小块湿布覆盖同样的温度计的球状体，结果读出的温度将低于干球温度，因为球状体周围的水分蒸发起着冷却的作用。在特定温度下的蒸发率，以及由蒸发导致的冷却程度，均取决于空气的相对湿度。相对湿度越低，则蒸发率和冷却程度越高。在干燥农作物时，湿球温度是很重要的，这是因为可以根据湿度图（图 3）中的干球和湿球温度曲线的交点，而简便地求得空气的相对湿度。此外，湿球温度能迅速示出，处于某一温度和某一相对湿度条件下的一定量的空气能为干燥提供最大量的热量，换句话说，该空气能从谷物中蒸发掉水分的最大量。

5. 露点

衡量湿空气特性的另一个重要的标准是露点。露点的定义是：将相对湿度提高到 100% 时，潮湿空气所降到的温度。参见表 3，假设每 1 公斤干燥空气含有水分 0.0109 公斤，该空气可以是 28°C ， 30°C ，或者是高于 15.5°C 的任何温度都可以。这无关紧要，因为露点仅仅是衡量含水量的一种标准，与空气温度无关。因此任何空气，不管它的温度和相对湿度是多少，只要每公斤空气含水 0.0109 公斤，它的露点都是 15.5°C ，也就是该空气的饱和温度。

当空气温度下降到露点以下时，空气中的水分就会滴落。后文示出，这种情况对于辅助加热干燥、自然风干燥以及贮存谷物的通风冷却都是一个值得注意的问题。

6. 谷物和空气的水分平衡

为什么相对湿度能够成为进行干燥的一个限制因素呢？前面已讲到，当谷物含水率、相对湿度和温度处于特定条件下，尽管干燥空气还未饱和，似乎还能吸掉谷物中一些水分，但实际上已不能进行任何干燥。例如，空气的温度是 15.5°C ，相对湿度 70% ，这空气虽低于饱和 30% ，却不能对含水率为 14% 左右的谷物进行干燥。

与任何含水物质一样，谷物具有一种持水的本能。这种本能来源于其原子和分子结构。简而言之，随着含水率下降，谷物对于保持剩余的水分的本能趋于增强。同样，在特定含水

率条件下,当谷物的温度降低,其本能也就增强。

随着特定温度条件下的空气的相对湿度上升,这种空气吸收谷物水分的能力越差,在特定温度条件下谷物含水率和相对湿度将会处于这样一种状态:即谷物的持水倾向和空气的吸水倾向达到了平衡,这种状况称作为空气与谷物含水率的平衡,此时,谷物既不会把水分丧失给空气,又不会吸收空气中的水分。

表 4 示出处于三种温度条件下达到平衡的空气相对湿度和谷物含水率。

表 4 谷物含水率与空气相对湿度的平衡

谷 物 含 水 率 (%)			17	16	15	14	13	12
温 度	4.5°C	相 对 湿 度	78	73	68	61	54	47
	15.5°C		83	79	74	68	61	53
	25°C		85	81	77	71	65	58

表 4 是一张概括性的表,表中列出的数据大致上适用于本文所提及的谷物和其他作物。假设谷物的含水率是 17%,这种谷物与相对湿度为 78%、温度为 4.5°C 的空气相平衡。如果空气的相对湿度超过 78%,就不能进行干燥。此外,达到平衡的相对湿度是随谷物含水率的减少而减少。因此,当谷物含水率是 13% 时,空气的相对湿度必须低于 54%,否则无法进行干燥。当相对湿度接近平衡点时,干燥的进程将缓慢得似乎毫无进展。

表 4 示出,达到平衡的相对湿度是随着温度上升而上升。因此含水率为 16% 的谷物,不可能在相对湿度为 73%,温度为 4.5°C 的空气中得到干燥。但是当相对湿度提高到 79% 温度提高到 15.5°C 时,即可进行干燥。

上述谷物含水率与空气相对湿度平衡关系表明了为什么要对自然风辅助加热的原因。因为当空气的相对湿度高于达到平衡的相对湿度,加上少量的热就能使相对湿度减低,并提高达到平衡的相对湿度。

在通常干燥温度条件下,含水率超过 18~20% 的谷物可以看作与相对湿度为 100% 的空气相平衡,这个事实以及上面有关水分平衡的论述都说明了有关自然风干燥的一些实用规律的道理。

这些规律是:连续开动自然风干燥机,直至谷物含水率下降到 15% 左右,然后每当空气相对湿度低于 70% 时,再开动干燥机,使谷物得到进一步干燥。70% 相对湿度是在自然风干燥的常用温度下与含水率为 15% 的谷物达到含水量平衡时的相对湿度。如果相对湿度超过 70% 时,开动干燥机不仅起不到任何干燥作用,反而会使谷物吸收空气中的水分。

以上有关谷物与空气的水分和温度的讨论,可以被纳入一张用途很广的湿度图,见图 3,在下面我们还将详细地讨论。

图 3 中上端的饱和曲线上标有温度刻度,它与最右端纵轴刻度的关系表示每公斤处于该温度的饱和空气的含水量。与该饱和曲线略呈平行的两条粗黑曲线表示空气与含水率为 13% 和 15.5% 的脱粒玉米处于平衡状态。该水分平衡线具有代表性,除脱粒玉米以外,也适用于处于同样含水率的其他谷物。上面的饱和曲线与下面的空气温度横轴相联的垂直线上标有空气的相对湿度,其每段表示 10%。并每隔 20%,用曲线相连。

通过参考该表,可查得许多情况,以 A 点为例,说明如何使用。

① 相对湿度: 如果已知每公斤空气中的含水量和该空气所处的温度,标上 A 点,根据

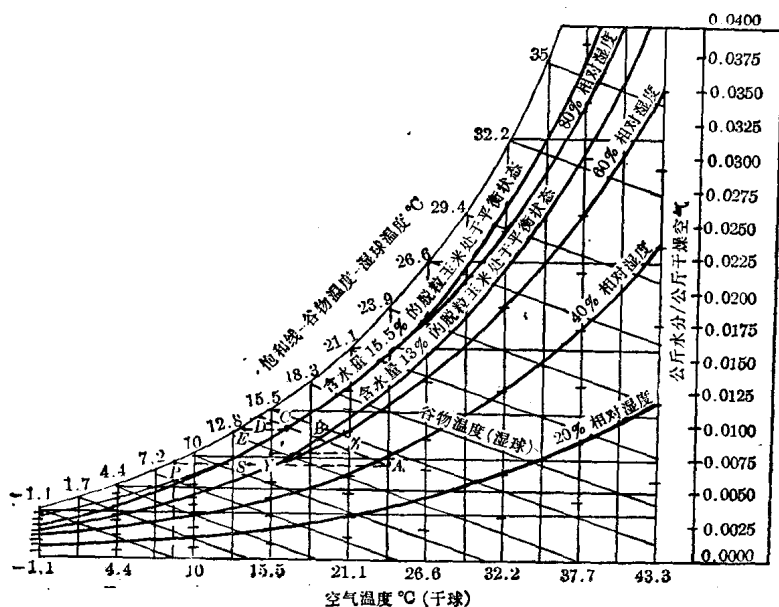


图3 湿度图*

离A点最近的垂直线上的相对湿度标志,即可估计出该空气的相对湿度。图3中由A点表示的空气的相对湿度约是37%。

② 空气含水量: 如果已知相对湿度(或空气的干球和湿球的温度)标上A点。从最右端的纵轴上读出空气的含水量,图3中由A点表示的空气的含水量约为0.007公斤。

③ 露点: 由A点向左至饱和曲线画一条横线,其连接点(P点)就是该空气的露点。图3中由A点表示的空气的露点约是8.3°C左右。

④ 将相对湿度降至特定水平所必需的热量: 假设空气的相对湿度为70%, 温度为15.5°C, 不适宜对含水率为13%的谷物进行干燥。而相对湿度是50%时能满足干燥要求, 那么将空气的相对湿度从70%降到50%, 应加多少热量? 只要由Y点向右画一条横线, 直至约与50%的垂直线相连为止, 即Z点。图中的Z点表示50%的相对湿度和21.1°C的温度的交点, 说明要使相对湿度为70%, 温度为15.5°C的空气降到50%的相对湿度必须使温度提高5.5°C, 即将温度从原来的15.5°C提高到21°C。按一公斤空气增加0.55°C需要0.133千卡热量计算, 约需1.33千卡热量。

⑤ 湿球温度: 湿球温度通常是通过湿球温度计测出, 但在已知空气温度和相对湿度的情况下, 可从图3中查出。图3中A点表示的空气的湿球温度是14.4°C。

⑥ 谷物温度: 在干燥过程中, 应知道谷物应冷却到几度。该温度决定不致于引起霉菌生长的最长干燥时间。图3中可以查到这一温度。因为, 干燥过程中谷物应冷却到的温度基本上和干燥空气的湿球温度相同, 因而当采用图3中由A点表示的空气进行干燥时, 谷物应冷却到14.4°C。

还可以利用图3观察干燥过程中发生的情况, 假设在早秋或夏季, 采用A点空气进行干燥, 随着谷物中的水分蒸发, 空气温度下降, 同时空气的含水量增大。随着干燥的进行, 空气进入由图中向上倾的虚线表示的状态, 如果空气在谷物中停留的时间足够长, 而谷物的含

* 图3中20%相对湿度、40%相对湿度、60%相对湿度和80%相对湿度应为细线。

水率又超过 18~20%，从谷物中排出的空气将是彻底饱和，由 *D* 点表示。上述的向上倾的虚线是湿球温度线，因为虽然空气的含水率和干球温度会变化，其湿球的温度保持不变。如果考虑到湿球温度计量着空气和水分中的总热量，以上这点就清楚了。在冷却过程中空气中散发出的热将全部用来吸掉水分。因此每公斤空气和水分中的总热量保持恒定，湿球温度保持不变。

同样，谷物在干燥过程中被冷却到的温度基本上与湿球温度一样。从谷物中蒸发的水分使谷物本身降温，这就同蒸发水分使湿球温度下降一样。在有空气流过的谷物中塞进一只干温度计，即可测出谷物的温度。如果知道干燥空气的湿球温度或相对湿度，这种温度是很容易确定的。

假设谷物的含水率小于 18~20%，流过谷物的空气就不会完全饱和。空气将不断地吸取谷物中的水分，直至与谷物的含水率达到平衡。在 13% 含水率的谷物中，由 *B* 点代表的这一点将比代表 15.5% 含水率的谷物的 *C* 点更快达到平衡。这时，从谷物排出的空气将处于含水率平衡的状态。

由 *B* 点表示温度和湿度的空气，尽管能干燥 15.5% 含水率的谷物，但对 13% 含水率的谷物起不到任何干燥作用。

假设在秋末期间开始干燥，采用由 *S* 点表示的空气，即温度约为 14°C、相对湿度约为 68% 的空气。该相对湿度低于与含水率为 15.5% 的谷物平衡的相对湿度，但高于含水率为 13% 的谷物。增加一定辅助热将使温度提高而含水率保持不变。这样，空气将通过由横向虚线代表的各种状态，直至达到 *A* 点代表的温度，模拟了早秋时的湿度和温度条件。显然，现在能对低湿度的谷物进行干燥，使其含水率降到 11% 或 12%，适合于长期贮藏。

7. 谷物温度和水分凝聚

在有些条件下，与谷物含水率平衡的干燥空气不会按上述状态通过谷物，由此会产生一些麻烦。假设 *C* 点代表的空气与 15.5% 含水率的谷物平衡。由 *C* 点向饱和线划一条水平线，其交接点 (*E* 点) 即是该空气的露点，约 13.5°C 左右。如果这种与谷物处于平衡的空气的温度在通过谷物时降低到 13.5°C 以下，空气中的水分就会跑到谷物中去。

在实际干燥冷谷物的过程中，采用辅助加热时确实也会发生这样的情况：少量加热的干燥空气在流过下层谷物时吸掉谷物中的一部分水分。然而其他部分谷物温度可能低于这种载水的空气的露点，在此种情况下，空气将立即降到自己的露点以下，造成水分凝结。

自然风干燥时，也会发生同类的事情，特别是在用空气驱散冬季贮藏的谷物中积聚的热量时（在下一章中将谈到通风冷却）。

前面已经提到，谷物有可能从超过相对湿度的干燥空气中吸取水分，但是，只有当大量的空气流过谷物时，才有可能显著地发生这类情况。在这种情况下，水分是以蒸气状态被谷物吸收，并且基本上分布在整個谷堆上。

由于冷凝而沉积在谷物上的水分，一般以水珠状态降聚在谷物上并集中于谷堆的一部分，因而很难干燥，容易引起霉菌的发展而造成损害。而如果水分是均匀地分布，霉菌的生长就较慢些。

8. 谷物温度与霉菌生长

在干燥空气里加上一定量的热，以提高干燥速度，通常是较为理想的，但也较容易引起霉菌生长。热既能加快干燥速度，又能促进霉菌的生长，而在有些情况下，霉菌的生长速度

大大超过谷物的干燥速度。

表 5 表示了将收获时的湿谷物的含水率降到 15.5% 的时限。如果谷物需要进一步干燥以降低含水率,使之符合长期储藏的要求,干燥时间无论多长,无关紧要。这表适用于相对湿度为 80% 或超过 80% 的状况,这样的相对湿度也是空气或辅助加热空气在干燥的谷物中可达到的湿度。

表 5 避免谷物中霉菌生长可允许的最长干燥时间

谷 物 温 度(°C)		32.2	26.6	21.1	18.3	15.5	12.8	10	7.2
在霉菌生长前将含水率降到 15.5% 的安全干燥时间	小时	100	140	195	230	265	315	370	440
	天	4.1	5.8	8.1	9.6	11.0	13.5	15.4	18.3

将表 5 中 32.2°C、21.1°C 和 10°C 的安全干燥时间进行对比,可以看到谷物温度每升高 11.1°C,霉菌生长速度加快一倍。同样,作为粗略计算依据,谷物温度每增高 5.5°C,霉菌生长速度加快 40%。

为了确保霉菌生长的加速不超过干燥速度的加快,在使用辅助加热干燥时,必须先查实辅助加热将会把谷物的温度提高到多少。如湿度图所示那样将空气从 S 点加热到 A 点,然后再从表中查出将谷物含水率降低到 15.5% 的安全干燥时间,由此即可估计是否能在这个时限内达到干燥的目的。

相对湿度虽然对自然通风或辅助加热干燥有很大关系,但对热风干燥关系不大,因为温度的大幅度提高,会使相对湿度降到很低的程度。

9. 气流方向和测量单位

可用以下两种方式使空气通过谷物:

- ① 在下部吸风,使空气通过谷物。
- ② 往上压送,使空气通过谷物。

一般第二种方式更适合于干燥目的。原因主要有二个:第一,当把空气往上压送过谷物时,下面的谷物先得到干燥,最湿的谷物是在上面,便于检查。而且一旦上层的谷物干燥,所有的谷物一定都已干燥。第二,由于采用风扇压送,空气将得到轻度加热。在压送空气干燥时,这股热传给了谷物,而在吸风干燥时,这股热未到谷物就已耗散。尽管这股空气的热量很小,但是积累起来将使自然风干燥的漫长时间大大缩短。

在以上讨论干燥原理时,为了便于讨论,使用的空气单位是公斤,但在实际中采用米³/分或厘米³/分/升的计算单位更为方便。

4000 厘米³/分/升相等于在一升谷物中每分钟压送过 4000 厘米³的空气。

10. 静压

当空气被压送过谷物时,会受到一定阻力。该阻力可能很低,也可能高到不能进行干燥的程度,这取决于谷物的种类、堆放的高度,并在一定的程度上还取决于谷物的含水率。此外,这种阻力还随着气流量的增大而增大。谷物对气流的阻力称为静压,以水柱来计量,阻力出现在气流通过的一切通道。当空气分配系统将干燥空气送入谷物中时,会产生一股阻力,该阻力按静压来计量。在设计良好的系统中,静压约为 5.35 毫米(水柱)。

静压越高,把一定量的空气送入谷物所需的风扇功率越大,这样就使得待干燥的谷物堆积深度受到一个实际限度,虽然从理论上来说,只要风扇功率足够大,对任何深度的谷物都可

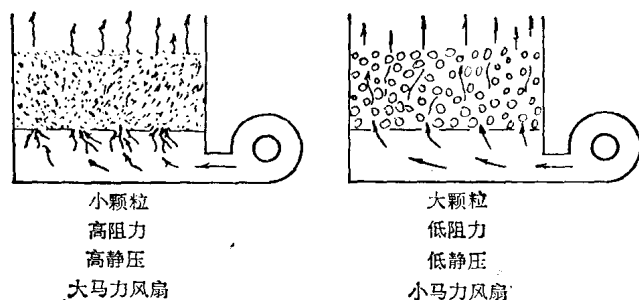


图4 大颗粒与小颗粒谷物对气流的阻力

进行干燥,但在实际中,对下述三个问题是必须考虑的。即①大部分风扇都是电动的,而农村电力供应公司对采用的马达的功率往往有限制;②采用功率更大的马达来解决由较高的静压造成的问题,设备费用就增大了;③随着静压的增大,耗用的动力越来越大。

表8(见第15页)示出采用不同气流量对不同深度的一些谷物进行干燥时产生的静压。在此不必要对该表进行详细考虑。但必须注意到表内每一行中都示出静压是随着谷物深度的增大而增大。在特定气流量的情况下,静压的增大与谷物深度成平方比,谷物深度大一倍,静压增至四倍,而功率的消耗也须增至四倍。每升谷物的耗电费也相应增大一倍。由于以上种种原因,在农场进行干燥时,虽然有时101.6毫米的静压也行,但最好将静压控制在76.2毫米。表8示出的有关静压的数据已包括5.35毫米作为通风道磨擦损失。其他静压表也是这样。

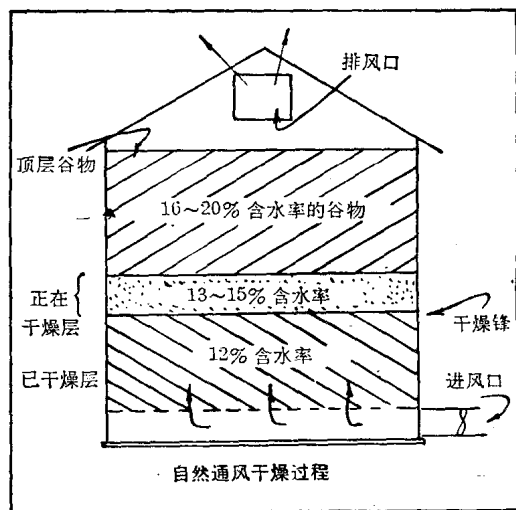


图5 干燥谷物的干燥层

图4示出小粒谷物对气流的阻力比大粒谷物大,因为小粒谷物挤得更紧一些,表8中的数据证实了这一点。燕麦比大豆颗粒小,所以在任何堆积深度,无论采用什么样的气流量下,燕麦产生的静压都大于大豆。大颗粒作物在干燥时可比小颗粒的堆得深些。低含水率的谷物和较湿的谷物相比,在使用同样干燥风扇时,尽管深度加大意味着静压提高,但前者可堆得比后者更深些,因为对较干燥的谷物进行安全干燥所需的气流量较小。

11. 谷物干燥过程

当把空气压送过谷物时,所有的谷物并非同时均匀地干燥。实际上,可把粮仓内进行干燥的谷物看作三个层次:①已干燥层,②正在干燥层,③未干燥层。参见图5,看看谷物在干燥过程中的变化过程。当空气进入谷物,接近进风口的谷物先得干燥,无论采用自然通风或辅助加热,这一层谷物的含水率总是在一定程度上低于所要求达到的含水率,随着干燥的进行,已干燥层逐渐向上扩展。

空气穿过已干燥层,进入并吸掉正在干燥的一层谷物的水分,直至空气达到平衡含水率或饱和状态。如果谷物是非常潮湿的话,空气在达到这种饱和状态之前,能吸掉多少水分,

决定了正在干燥层的深度。正在干燥层的层底,即与已干燥层交接的界面称为正在干燥锋。

用层别来表示在空气进入和排出处的谷物的含水率的差别,层别的多少和正在干燥层的深度取决于通过谷物的气流量和其相对湿度。在气流量大的情况下,可能除了底部已干燥层,其余都属于正在干燥层,层别可能减少,即谷物最高层到最低层之间含水率的差别减少。在相对湿度低的情况下,也可能是这样,因为空气在通过谷物的全过程将始终能吸掉谷物中的水分。

虽然进行辅助加热干燥法时是通过添加一定热量来控制相对湿度以减少层别和避免已干燥层发生过干的情况。但在采用热风干燥法时就不可能这样做了,因为这时的空气温度较高,使相对湿度降到很低。在热风干燥中,控制层别和发生过干情况的办法是使用高气流量进行浅层干燥。

干燥锋从来不象图5所示那样平整。当空气从谷物底部全面均匀地进入谷物时,才产生一个大略平整的干燥锋。但当前一般采用通风道进行干燥时,在空气进入谷物的各进口处出现一条弯曲的干燥锋。

杂物和碎粒的局部集中同样也会扰乱干燥锋,并产生一系列干燥问题,因为它们的干燥速度比干净谷物慢得多。所以很值得在干燥前把谷物扬净,并使谷物中的杂物和碎粒分布均匀。

三、干燥方法

1. 三种主要的干燥方法和各种应用

在前一章中已提到在农场进行的鼓风干燥法主要有如下三种形式:

- ① 自然风干燥。使用未加热的自然空气进行干燥。
- ② 辅助加热干燥。对干燥空气加上少量的热,以便使相对湿度降到可以进行干燥的程度。空气的温度应提高 $5.5^{\circ}\text{C} \sim 11^{\circ}\text{C}$ 。
- ③ 热风干燥。将干燥空气加热到约 38°C , 甚至更高。

前面二种干燥法,需要一到三个星期或更多的时间,才能使谷物的含水率减少到安全程度。这两种方法一般被用来干燥将在农场中储藏一段时间的谷物。热风干燥法被用来干燥马上要出售的谷物,有时也用于干燥待储藏的谷物。

使用哪一种干燥法好,取决于各个农场的作业情况,这三种干燥法可干燥任何作物,但就特定作业来说,采用其中的一种可能更有利些。谷物一般是散装干燥,但有时也可装包干燥。装包干燥法不很普遍,同时由于干燥设备的使用效率不高,以及谷物搬运费用大,一般在经济上是不合算的。为此,本文不准备讨论装包干燥。

干燥谷物的容器可以是设有空气分配系统的粮仓或挂车。在挂车中干燥只能采用热风,这将在后面讨论。

农场中一般采用的是分批干燥法,即采用自然风,热风或辅助加热的空气在粮仓中对谷物分批进行干燥,谷物干燥后一般仍留在粮仓内。但在热风干燥情况下,谷物分批在专门的粮仓内干燥,然后转移到储藏粮仓或马上出售。另外,还有一种连续干燥法,亦即在干燥时,

在谷堆上部不断地加入潮湿谷物，并在底部把已干燥谷物运出。这种干燥法一般用于商业性干燥企业。因此本文不准备作更多的讨论。

2. 三种干燥法的优缺点比较

热风干燥

优点 ① 不受气候条件限制。② 时间短，一般不超过一天。③ 按风扇马力计算，干燥能力较高。

缺点 ① 基本设备成本和保养费用均较高。② 需要耗用燃料。③ 有失火的危险。④ 需要有人看管，需要根据不同谷物将温度仔细地调节到安全干燥程度。⑤ 采用某几种干燥机时，有燃料燃烧体污染谷物的可能。

辅助加热干燥

优点 ① 设备成本和保养费用低。② 不受气候条件限制。③ 燃料费用低。④ 最有效地利用了粮仓，谷床深度可大于热风干燥。⑤ 比热风干燥减少看管。

缺点 ① 有失火的危险。② 有造成谷物中水分凝聚的可能。③ 有加快霉菌生长可能性。④ 耗用燃料不一定能使干燥速度超过自然风干燥。

自然风干燥

优点 ① 基本设备成本和保养费用最低。② 不耗用燃料。③ 无失火危险。④ 与辅助加热相比，引起水分凝聚和促进霉菌生长的可能性较小。⑤ 需要的看管工作量最少。⑥ 与辅助加热一样，可以有效地利用粮仓。

缺点 ① 干燥速度缓慢，需要几天到几个星期。② 受气候条件限制。③ 与可将几批谷物放在同一仓内进行干燥的热风干燥相比，每季需要更多的仓用来干燥同量谷物。

3. 通风——冷却

通风或谷物冷却，二个互相通用的术语，并不是一种干燥法。由于它涉及到空气在谷物中的流动问题，同时也因为所采用的设备往往与干燥中使用的设备一样，在这里将简略地谈一下。

对储藏谷物进行通风是为了保持含水率早已达到要求的谷物的质量。通风所用的空气量较少，因而只能取得极小的干燥作用，通风用的气流量差异很大，小到 16 厘米³/分/升，大到 800 厘米³/分/升。而干燥用的气流量则是 800 厘米³/分/升到 6400 厘米³/分/升，甚至还要大。

为了了解为什么需要冷却，应先了解谷物在储藏中将会发生些什么变化。刚入仓时，谷物温度与外界空气一样，根据收获时间的条件，当时谷物的温度将处在 10°C~26.6°C，甚至更高。随着季节的变化，外界温度下降，这时谷物上部表面和靠墙的一层温度下降。但是由于谷物的导热性较差，中间部分的谷物的温度略微下降，但仍比外界的空气的温度高 11°C~27.5°C。

现在可出现这样一个现象，叫做水分迁移。谷物中间的暖空气上升或向四周迁移，到靠近谷物上部或壁部较冷的谷物层时，暖空气被下降了的冷空气所代替。当暖空气达到冷层时，它将被冷却到其露点以下，使水分积聚在谷物上，这种现象叫做水分迁移。这些积聚在表面和四周靠近仓壁的谷物上的水分将会引起霉烂。为了避免发生水分迁移，必须经常使外界空气流过谷物，并随着外界温度的下降使整个仓内谷物的温度均匀地下降到与外界温度一样。

冷却之所以必要,是为了驱散谷物进仓时所带的热量,以及由于自身产热势而产生的热量。以下三个方面是造成自身产热势的原因:

① 由于虫和霉菌的活动,即使是干净的谷物,当其温度高于 10°C 时,也会产生热和水分。

② 谷物是有生命的,而在谷粒内部发生的生命过程尽管由于低温而进展缓慢,但仍会产生热和水分。这样产生的热有时使谷物的内部和外部的温差高达 16.5°C 。

③ 高度集中而不易干燥的杂物和碎粒,可能成为氧化作用、虫害以及霉菌在储藏谷物中的活动中心。这些是使谷物产生热点的原因。观察谷堆表面,气流最暖的地方,就有热点。

如果通风气流方向正好与用于干燥的气流方向相反,应在谷物下面吸引空气,而不是向上压送。如果把外界冷空气向上压送过谷物,这股空气就会变热,并吸掉下层谷物中的水分,而这种水分将积聚在上层谷物上,就象水分迁移一样。当在下部吸引冷空气时,冷空气将先通过最冷的谷层,然后当把谷物内部的热量吸掉后再被排出。因此有一些干燥风扇是可以反装的,以便用于冷却由该风扇干燥过的储藏谷物。

可以有规律地每天鼓风几个小时,使储藏的谷物冷却,或者通过观察插在谷堆中的温度计所示的温度,在必要时鼓风。

四、自然风干燥

1. 干燥作业

(1) 对相对湿度的考虑

自然风干燥时,空气不加热,因而对空气中存在的水分应引起重视并加以考虑,因为它决定了是否可以对仓内谷物进行干燥。空气的相对湿度必须低于与谷物含水率相平衡的相对湿度,否则不能对谷物进行干燥。

在早期干燥阶段,相对湿度关系不大,当时的谷物很潮湿,就是相对湿度很高的话,也能进行干燥。但是随着含水率逐渐下降达到 16% 时,相对湿度越来越显得重要。

表6示出了与各种含水率谷物处于平衡的空气中的相对湿度。

温度对平衡的谷物含水率有一定影响,当温度比 25°C 高 11°C 时,谷物含水率下降约 2% 。反之,当温度比 25°C 低 11°C 时,谷物含水率增加 2% 。在晚秋和冬季,当温度比表上所示出的温度低 22°C ,干燥空气的相对湿度必须比表上所示的降低 10% ,才能进行干燥。

此表可用于确定采用特定相对湿度和温度的空气是否可以干燥和含水率可降低到什么程度。下面举例说明该表的用法。

例1. 玉米粒(黄色)的含水率是 16% ,空气温度是 12.8°C ,相对湿度约为 65% ,这时是否可以干燥?

表中可以看到在 25°C 时,玉米粒(黄色)的平衡含水率在相对湿度为 60% 时,是 12.9% 。而在相对湿度为 75% 时,是 14.8% 。在相对湿度 65% 时,平衡含水率是 14.8% 与 12.9% 之差的 $\frac{1}{3}$ 加上 12.9% ,即,