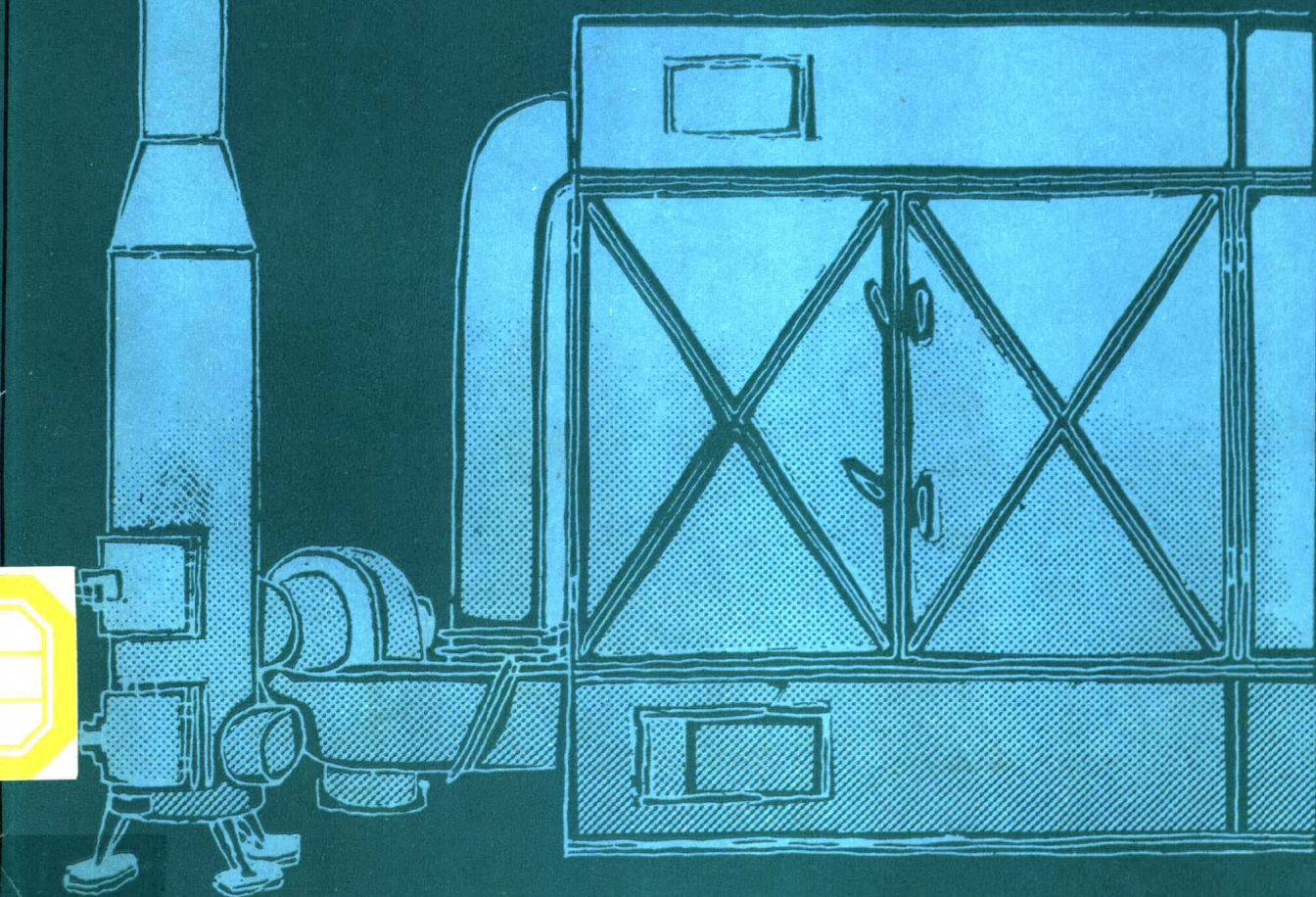


李笑光 编著

农作物干燥与通风贮藏

天津科学技术出版社



农作物干燥与通风贮藏

李笑光 编著

3

内 容 提 要

本书是一部从理论到实践比较全面地论述了农作物干燥与通风贮藏的著作,而且内容比较新。全书共分两篇,第一篇农作物干燥,主要介绍了农作物干燥的基础理论、干燥方式和干燥能源的选用以及各种干燥设备的结构和设计方法等。并对干燥设备的使用和试验分析方法及测试仪器等分别作了论述。书中还列出了各种数据和参数及设计图表供选用。第二篇农作物通风贮藏,介绍了影响农作物安全贮藏的主要因素和农作物通风贮藏的方法以及通风贮藏作业的管理等内容。在书后还介绍了电子计算机在农作物干燥与通风贮藏中的应用。

农作物干燥与通风贮藏

李笑光 编著

责任编辑:王绍荣

*

天津科学技术出版社出版

天津市赤峰道130号

天津市蓟县印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

*

开本787×1092毫米 1/16 印张11 字266 000

1983年8月第1版

1983年8月第1次印刷

印数: 1-4 000

ISBN 7-5308-0476-6/S·36 定价: 4.05 元

前 言

农作物是一种活的有机体，当水分、温度、氧气三个条件同时满足其要求时，农作物就会萌动发芽。同时，霉菌也容易繁殖。尤其在阴雨天，空气的相对湿度高，常造成农作物霉烂变质。针对农作物的这些生理特点，只要将这三个条件加以控制，就能有效地抑芽防霉。因此，农作物干燥就是要降低农作物的水分，控制促使其发芽霉烂的条件，从而达到使其不发芽、不霉烂并可长期贮存的目的。

我国大部分地区的农作物，在收获季节里常逢阴雨，由于不能及时晾晒和缺乏干燥设备来降低农作物的水分，致使农作物发芽、霉烂，常造成很大损失。又由于农作物水分含量高，更无法长期贮藏。农作物的日收量增大，含水率偏高的问题愈加突出，为此，配有干燥设备是非常必要的。配有干燥设备就可提早时间收获农作物，以减少农作物在田间的损失。另外，由于干燥时的温度较高，不仅有灭菌的作用，还可杀死一些害虫。在干燥过程中，除虫卵可被杀死外，即使是潜入果实内部的食心虫类，受热后也会爬出果外，或在高温下死亡。同时使已出现的病斑不再蔓延扩大。加热干燥后的农作物也比较耐贮藏。

近些年来，我国又研制和引进了许多农作物干燥设备及一些贮藏设施，特别是近几年又研制了一些多用途干燥设备和金属体间接加热热风炉，经使用在农业生产中发挥了很大作用。但由于有关资料甚少，各地的使用情况又不一致，给建造和使用及进一步推广造成了一些困难。为普及和进一步促进农作物干燥与通风贮藏技术的发展，现编著成书，提供给从事农作物干燥与贮藏的农业科技人员和使用人员以及农业院校的师生参考使用。

本书比较系统地论述了农作物干燥的基础理论，干燥方式，干燥能源和各种干燥设备以及设计与使用参数的选择，试验分析方法与操作管理，并论述了农作物通风贮藏的方法与管理等内容。在结束语中还介绍了电子计算机在农作物干燥与通风贮藏中的应用知识。书中所采用的设计与使用参数及查算图表等，曾在国内和从国外引进的部分干燥设备

上作了一些试验、校核。另外，为了使其它单位制逐步过渡到国际单位制，本书以国际单位制为主，并例举了一些换算方法，而且还在附录中列出了有关换算表。当然，本书系一般农作物的研究，重点是谷类（包括种子、饲料），虽然只有少量内容涉及到其它农产品，然而所论述的原理与方法可用于分析许多农产品的干燥与贮藏过程及其设备的设计。

本稿承蒙中国农业工程研究设计院张昆高级工程师审阅。书中还引用了美国依利诺斯州立大学E·D·罗达教授于1983年在东北农学院讲学时，提供给作者的一些资料和数据，在此一并致谢。

由于时间仓促，水平有限，书中错漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

1988.4

目 录

前 言

第一篇 农作物干燥

第一章 农作物干燥的基础理论.....	(1)
第一节 农作物干燥的基本知识	(1)
第二节 农作物干燥的基本原理	(10)
第三节 湿度计算图在农作物干燥中的应用	(15)
第二章 农作物干燥能源	(27)
第一节 可能利用的能源	(27)
第二节 使用各种能源的经济性对比	(38)
第三章 农作物干燥设备	(39)
第一节 堆放分批式干燥设备	(39)
第二节 连续流动式干燥设备	(51)
第三节 常用空气加热设备	(56)
第四节 常用电器控制设备	(62)
第五节 其它附属设备	(65)
第四章 农作物干燥参数的选择及其设备的设计方法.....	(67)
第一节 农作物干燥参数的选择	(67)
第二节 农作物干燥设备的设计方法	(84)
第三节 农作物干燥设备设计举例	(86)
第五章 农作物干燥的试验与分析方法.....	(100)
第一节 基本试验测定方法	(100)
第二节 干燥设备性能指标、经济指标的计算方法	(104)
第三节 测试仪器	(106)
第四节 利用正交试验确定较优干燥工艺参数的方法	(113)
第五节 回归分析方法	(127)
第六章 农作物及其它农产品干燥作业的管理.....	(131)
第一节 干燥前的准备工作	(131)
第二节 干燥过程中的操作方法	(133)
第三节 干燥结束后的工作	(136)

第二篇 农作物通风贮藏

第七章 影响农作物贮藏的主要因素.....	(138)
第一节 霉菌与害虫及农作物状况	(138)
第二节 农作物水分	(139)

第三节 水分的迁移	(139)
第八章 农作物通风贮藏的方法及其设施	(141)
第一节 通风贮藏的方法	(141)
第二节 贮藏设施	(142)
第三节 贮藏设施设计中应注意的问题	(143)
第九章 通风贮藏作业的管理	(147)
第一节 贮藏前的准备工作	(147)
第二节 利用计算图表观察贮藏的过程与确定通风作业的条件	(147)
第三节 不同季节的通风操作方法	(150)
第四节 农作物贮藏中的检查	(151)
第五节 电子计算机在农作物干燥与通风贮藏中的应用	(152)
结束语	(156)
附录	(157)
参考文献	(169)
参考资料	(170)

第一篇 农作物干燥

农作物干燥过程是一个复杂的传热、传湿过程，而且在这个过程中还伴随着农作物籽粒本身的生物化学的品质变化。在干燥过程中，不仅要除去农作物中的多余水分使之达到安全贮藏的标准，而且还要保证其应有的特性。因此，必须掌握一定的干燥技术和合理地组织干燥工艺的各个环节才能达到上述的要求。

第一章 农作物干燥的基础理论

第一节 农作物干燥的基本知识

一、干球温度和湿球温度

干球温度系普通温度计所指示的湿空气温度。湿空气是干空气与水蒸汽的混合物，自然空气就是一种湿空气。

如果用一小块湿纱布覆盖同样的温度计的感温球，并使一定速度的气流通过湿纱布，结果读出的温度将低于在相同条件下的干球温度。这是因为感温球周围的水分蒸发而引起的冷却作用造成的，由此获得的读数就称为湿球温度。

湿球温度的形成过程是：当空气的相对湿度低于100%时，纱布上的水就会慢慢蒸发。水分的蒸发首先从水本身中吸取所需要的汽化潜热（在一定温度下1kg液体转变为同温度的蒸气时所吸收的热量，称为汽化潜热），因而导致水温下降，使纱布上的水与周围空气之间形成温差，空气将向纱布上的水传热。空气与水的温差越大，空气向水传热就越快。当水温降到某一温度时，空气传给水的热量恰等于水分蒸发所消耗的热量。此时，水温即不再下降，这个温度就是反映纱布中水温的湿球温度。

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。空气的相对湿度低，则蒸发率和冷却程度越高。因此，可通过所测得的干球温度与湿球温度来确定湿空气的相对湿度。

二、压力

已经知道，湿空气是由干空气和水蒸气所组成的混合气体，所以湿空气的总压力 P ，等于干空气的分压力 $P_{\text{干}}$ 与水蒸汽的分压力 $P_{\text{汽}}$ 之和。即

$$P = P_{\text{干}} + P_{\text{汽}} \dots\dots\dots (1-1)$$

在农作物干燥中所处理的湿空气就是大气，所以湿空气的压力 P ，就是当地的大气压力 B ，即

$$B = P_{\text{干}} + P_{\text{汽}} \dots\dots\dots (1-2)$$

大气压力 B 的数值，因所在地区的不同而不同，我国各地区的大气压力数值可由有关设计手册中查到。一般陆地上的大气压力在96~107kPa（千帕）之间，海洋面上的大气压力平均为101.325kPa。标准大气压规定为101.325kPa。大气压力的其它表示方法与单位换算参见附录。

三、绝对湿度和相对湿度

每立方米湿空气中所含水蒸气的重量，就称为空气的绝对湿度。绝对湿度只能表示湿空气在某一温度条件下实际所含水蒸气的重量。然而，空气在不同的温度条件下所能吸收水蒸气量的限度是不同的，因此还不能由绝对湿度来直接说明湿空气的干、湿程度。必须是在相同温度的条件下，才能根据绝对湿度的数值来判断哪一种空气为干燥或潮湿。这在应用上很不方便，因此，在论述空气的干、湿程度时经常采用的是相对湿度。

空气中水蒸气的实际含量对最大可能含量的接近程度即为相对湿度。

我们知道，在一定温度下，空气所能含的水蒸气量是有一定限度的。当空气中的水蒸气量，达到空气所能保持的最大含量时，即称为达到了饱和程度。空气保持水分的能力是随着温度的升高而增加的。因此，空气的相对湿度可用空气的实际含水量与在同样温度下的饱和空气的含水量之比来表示。即

$$\varphi = \frac{\gamma_{\text{汽}}}{\gamma_{\text{饱}}} \times 100\% \dots\dots\dots (1-3)$$

例如，已知18℃时的饱和空气的绝对湿度 $\gamma_{\text{饱}} = 0.0153 \text{ kg/m}^3$ ，当绝对湿度 $\gamma_{\text{汽}} = 0.0109 \text{ kg/m}^3$ 时，空气的相对湿度为

$$\varphi = \frac{0.0109}{0.0153} \times 100\% = 71.2\%$$

再如，已知30℃时的饱和空气的绝对湿度 $\gamma_{\text{饱}} = 0.0301 \text{ kg/m}^3$ ，当绝对湿度 $\gamma_{\text{汽}} = 0.0153 \text{ kg/m}^3$ 时，空气的相对湿度为

$$\varphi = \frac{0.0153}{0.0301} \times 100\% = 50.8\%$$

根据 φ 的数值，可知 $t = 30^\circ\text{C}$ ， $\gamma_{\text{汽}} = 0.015 \text{ kg/m}^3$ 的空气，绝对湿度虽然较前一种高，但确较为干燥。

空气的相对湿度也可以用空气的水蒸气分压力与在同样温度下的饱和水蒸气分压力之比来表示。即

$$\varphi = \frac{P_{\text{汽}}}{P_{\text{饱}}} \times 100\% \dots\dots\dots (1-4)$$

三、含湿量

在农作物干燥的湿度计算中，需要具体确定对空气进行加湿或减湿的数量，这就有一个以什么样的数值来表达空气中水蒸气的含量最为方便的问题。如用绝对湿度来表示，由于温

度是变化的, 空气的体积也随之变化, 虽然其中水蒸气的绝对含量未变, 但每 m^3 体积内含有的水蒸气量则仍相应地发生了变化, 绝对湿度也就不同了; 如果用 1kg 湿空气中所带有的水蒸气量来表示空气的湿度, 虽没有随空气温度变化的问题, 但湿空气在其状态变化过程中, 由于水分的蒸发或水蒸气的凝结, 不仅水蒸气的含量发生了变化, 而且湿空气的总重量也是变化的 (因为 $G = G_{\text{干}} + G_{\text{汽}}$)。因此采用湿空气的容积或重量为标准, 都会给计算带来麻烦。但无论湿空气的状态如何变化, 其中干空气的重量总是不变的, 为了计算方便起见, 就采用 1kg 干空气来作为计算的标准。

在 1kg 干空气中所含的水蒸气的重量, 称为湿空气的含湿量, 用符号 W 表示, 即

$$W = \frac{G_{\text{汽}}}{G_{\text{干}}} (\text{kg/kg 干空气}) \dots\dots\dots (1-5a)$$

要特别指出的是 1kg 干空气, 它不同于 1kg 湿空气, 它是把水蒸气的重量计算在干空气之外的。也就是说在 $(1+W)\text{kg}$ 的湿空气中含有 $W\text{kg}$ 水蒸气。由于以 1kg 干空气为标准, 这个数值不随温度的改变而改变, 所以根据含湿量 W 的变化, 就可以确定处理过程中空气的干湿程度。

另外, 根据气体状态方程式和气体常数 R (干空气 $R_{\text{干}} = 287.1\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; 水蒸气 $R_{\text{汽}} = 461.5\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$) 可进一步写出含湿量的公式为

$$W = \frac{G_{\text{汽}}}{G_{\text{干}}} = \frac{P_{\text{汽}}}{P_{\text{干}}} \cdot \frac{R_{\text{干}}}{R_{\text{汽}}}$$

将 $R_{\text{干}} = 287.1$ 及 $R_{\text{汽}} = 461.5$ 代入上式, 整理可得

$$W = 0.622 \frac{P_{\text{汽}}}{P_{\text{干}}} (\text{kg/kg 干空气}) \dots\dots\dots (1-5b)$$

对大气而言

$$P_{\text{干}} = B - P_{\text{汽}}$$

所以

$$W = 0.622 \frac{P_{\text{汽}}}{B - P_{\text{汽}}} (\text{kg/kg 干空气}) \dots\dots\dots (1-5c)$$

又因,

$$P_{\text{汽}} = \varphi P_{\text{饱}}$$

则

$$W = 0.622 \frac{\varphi P_{\text{饱}}}{B - \varphi P_{\text{饱}}} (\text{kg/kg 干空气}) \dots\dots\dots (1-5d)$$

四、焓

在农作物干燥中, 对空气的加热或冷却都是在压力变化不大近似于定压条件下进行的, 所以在过程中吸收或放出的热量, 可用过程前后的焓差来计算。

湿空气的焓也是以 1kg 干空气为标准的, 它是 1kg 干空气的焓和 $W\text{kg}$ 水蒸气的焓的总和, 即相对于 $(1+W)\text{kg}$ 湿空气而言的, 用符号 H 表示, 即

$$H = H_{\text{干}} + WH_{\text{汽}} (\text{kJ/kg 干空气}) \dots\dots\dots (1-6)$$

式中 $H_{\text{干}}$ —— 1kg 干空气的焓(kJ/kg)

$H_{\text{汽}}$ —— 1kg 水蒸气的焓(kJ/kg)

在农作物干燥所涉及的温度范围内,干空气和过热水蒸气的比热均可视为定值。若规定0℃时干空气的焓为0,则

$$H_{\text{干}} = C_{\text{干}} \Delta t = 1.005 (t - 0) = 1.005t$$

式中 1.005—空气的定压重量比热(kJ/kg·K)

水蒸气的焓可按下列半经验公式计算,即

$$H_{\text{汽}} = 2500 + 1.84t$$

式中 2500—0℃时水的汽化潜热(kJ/kg)

1.84—水蒸气的定压重量比热(kJ/kg·K)

所以,湿空气的焓为

$$H = 1.005t + W(2500 + 1.84t) \quad (\text{kJ/kg干空气}) \quad \dots\dots\dots (1-7)$$

以上介绍了湿空气的几个主要状态参数。从式(1-5d)和式(1-7)表明, t 、 H 、 W 、 φ 、 B 及 $P_{\text{水}}$ 六个参数之间存在着一定的关系。其中 $P_{\text{水}}$ 只取决于空气的温度 t ,即对应于一个温度 t 值,就有一个饱和压力 $P_{\text{水}}$ 值。当大气压力为一定时, H 、 W 、 t (或 $P_{\text{水}}$)、 φ 四个参数中,只要知道其中的任意两个,即可根据这两个公式计算出其余的参数。 $P_{\text{水}}$ (有的书用 P_{bh} 表示)值可从本书附录8中查到。

五、露点

衡量湿空气特性的另一个重要标准是露点。露点的定义是:将某一状态下的空气,在含湿量不变的情况下,冷却到饱和程度即它的相对湿度 $\varphi = 100\%$ 时所对应的温度,就称为该状态下空气的露点温度。更确切地说,露点温度是指当空气中水蒸气分压力 $P_{\text{水}}$ 等于湿空气完全饱和时水蒸气的分压力 $P_{\text{水}}$ 状态下的温度。

露点温度也可用含湿量来分析,例如每kg干空气中含有水分0.0109kg,该空气可以是高于15.5℃的任何温度,如28℃,30℃,这无关紧要。此时它是不饱和的空气。要使此每kg含有水分有0.0109kg的不饱和空气变为饱和,从表1-1可知,温度应下降到15.5℃,这个温度就是该空气的露点温度。

表1-1 空气的最大含水能力

温 度 °C	4.5	10.0	15.5	28.6	30.0
kg水/kg干空气	0.0052	0.0074	0.0109	0.0222	0.0274

当空气的温度下降到露点以下时,空气中的水分就会凝结成水滴。这种情况对于自然风干燥和辅助加热干燥以及农作物通风贮藏来说,都是一个值得注意的问题。

六、比容与重度

工质的容积通常因所处的温度和压力不同而不同(如空气等),反映定量工质容积大小的状态参数就是比容。比容是指单位重量的工质所占有的容积,用符号 v 表示,单位是 m^3/kg 。设容器中有 G kg工质,所占容积为 $V \text{ m}^3$,则比容为

$$v = \frac{V}{G} \quad (\text{m}^3/\text{kg}) \quad \dots\dots\dots (1-8)$$

比容的倒数称为重度。它是指单位容积工质所具有的重量,用符号 γ 表示,单位为 kg/m^3 。

$$\text{即 } \gamma = \frac{1}{v} = \frac{G}{V} \quad (\text{kg}/\text{m}^3)$$

$$\text{或 } v\gamma = 1 \quad \dots\dots\dots (1-9)$$

由于工质的比容随温度和压力而变化,实际应用中往往需要规定某一状态为标准。国际上把压力为1个标准大气压,温度为 0°C (或 273K)的状态规定为标准状态。习惯上把标准状态的压力、温度、比容分别记作 P_0 、 t_0 、 v_0 ,容积记作 V_0 。标准状态即

$$P_0 = 1 \text{ 标准大气压} = 101.325 \text{ kPa}$$

$$t_0 = 0^\circ\text{C} \quad \text{或 } T_0 = 273\text{K}$$

$$v_0 = 0.774 \text{ (标准) m}^3 \quad \gamma_0 = 1.293 \text{ kg/(标准) m}^3$$

所以在定压情况下,实际的比容与重度可通过标准状态下的 v_0 与 γ_0 求得,即

$$v = v_0 \frac{T}{T_0} = v_0 \frac{273+t}{273} \quad \dots\dots\dots (1-10)$$

$$\gamma = \gamma_0 \frac{T_0}{T} = \gamma_0 \frac{273}{273+t} \quad \dots\dots\dots (1-11)$$

七、农作物水分

农作物是有生命的物质,并含有一定数量的水分,因此,常把农作物看成为一种有生命的湿物体。即

$$G = G_{\text{干}} + W \quad \dots\dots\dots (1-12)$$

式中 G ——农作物重量(kg)

$G_{\text{干}}$ ——Gkg农作物中绝干物质的重量(kg)

W ——Gkg农作物中水分的重量(kg)

农作物水分的表示方法有两种:湿基表示法和干基表示法。所谓湿基表示法,是以农作物(湿物料)重量为基准,即把农作物重量 G 作为100%,农作物中水分的含量以农作物水分在农作物中所占的重量百分数来表示。

$$M(\%) = \frac{W}{G} \times 100\% = \frac{W}{G_{\text{干}} + W} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1-13)$$

式中 M ——农作物湿基水分(%)

所谓干基表示法,是以农作物中绝对干物质重量 $G_{\text{干}}$ 为基准,即把农作物绝对干物质重量作为100%,以农作物中水分重量对农作物绝对干物质重量之比的百分数来表示。

$$M_{\text{干}}(\%) = \frac{W}{G_{\text{干}}} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1-14)$$

式中 $M_{\text{干}}$ ——农作物干基水分(%)

通常所说的农作物水分,是指农作物的湿基水分。农作物干基水分,常用在农作物干燥理论计算中,因为农作物中绝对干物质是不随农作物中水分重量的变化而变化的,计算起来比较方便。但在使用干基水分时必须加符号注明。

对于等量的同一农作物,干基水分总是大于湿基水分。例如,在100kg农作物中,含有绝干物质80kg,水分重20kg,则

$$\text{衣物湿基水分 } M(\%) = \frac{20}{100} \times 100\% = 20\%$$

$$\text{衣物干基水分 } M_{\text{干}}(\%) = \frac{20}{80} \times 100\% = 25\%$$

农作物中湿基水分与干基水分相互换算式为

$$M(\%) = \frac{M_{\text{干}}}{100 + M_{\text{干}}} \times 100\% \dots\dots\dots (1-15)$$

$$M_{\text{干}}(\%) = \frac{M}{100 - M} \times 100\% \dots\dots\dots (1-16)$$

M 和 $M_{\text{干}}$ 都是以百分数表示, 但为了运算方便, 在计算中常常不考虑百分号, 而只以 M 和 $M_{\text{干}}$ 的值进行计算, 最后 $\times 100\%$ 。有时在利用干基计算时, 为了方便也常用小数表示。

根据上式可以求出某湿基水分的相应干基水分。仍用上例, 一批农作物的湿基水分为20%; 则其干基水分为

$$M_{\text{干}} = \frac{M}{100 - M} \times 100\% = \frac{20}{100 - 20} \times 100\% = 25\%$$

由(1-12)式中可知, 若农作物重量为100kg, 农作物中水分为 W kg, 则其干物质的含量为 $100 - W$ (kg), 因此, 在 G kg重量的潮湿农作物中用含水率表示的干物质重量为

$$G_{\text{干}} = G \frac{100 - M}{100} (\text{kg}) \dots\dots\dots (1-17)$$

设有 G_1 kg重量的湿农作物, 其水分为 M_1 , 经过干燥后, 这部分农作物的重量为 G_2 (kg), 其水分为 M_2 , 则

干燥前湿农作物中的绝干物质重量 $G_{\text{干}1}$ 为

$$G_{\text{干}1} = G_1 \frac{100 - M_1}{100} (\text{kg})$$

干燥后农作物中的绝干物质重量 $G_{\text{干}2}$ 为

$$G_{\text{干}2} = G_2 \frac{100 - M_2}{100} (\text{kg})$$

由于在干燥过程中, 干物质的重量是不变的, 即有 $G_{\text{干}1} = G_{\text{干}2}$,

所以有

$$G_1 \frac{100 - M_1}{100} = G_2 \frac{100 - M_2}{100} = G_{\text{干}} = \text{常数}$$

$$\text{或 } G_1 = G_2 \frac{100 - M_2}{100 - M_1} \dots\dots\dots (1-18)$$

$$G_2 = G_1 \frac{100 - M_1}{100 - M_2} \dots\dots\dots (1-19)$$

(1-18)或(1-19)式揭示了 G_1 、 G_2 、 M_1 、 M_2 四个量的相互关系, 只要知道其中的三个量就可求出第四量。进一步可看出, 农作物重量由 G_1 变为 G_2 , 水分可由 M_1 变为 M_2 。所减轻的重量等于被汽化的水分量, 并用失水重量 $W_{\text{失}}$ 来表示。

$$W_{\text{失}}(\text{kg}) = G_1 - G_2 = W_1 - W_2 \dots\dots\dots (1-20)$$

将(1-18)、(1-19)式分别代入(1-20)式得:

$$W_{\text{失}} = G_1 \frac{M_1 - M_2}{100 - M_2} (\text{kg}) \quad \dots\dots\dots (1-21)$$

或 $W_{\text{失}} = G_2 \frac{M_1 - M_2}{100 - M_1} (\text{kg}) \quad \dots\dots\dots (1-22)$

由(1-21)、(1-22)式可知,只要知道干燥前或干燥后农作物的重量,并测得干燥前、后农作物的水分,就可知道在该干燥过程中农作物的失水量。

干燥前、后农作物水分的变化,称为水分降低百分率,用 $M_{\text{降}}(\%)$ 表示,则有

$$M_{\text{降}}(\%) = (M_1 - M_2) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1-23)$$

从(1-23)式只能知道水分降低百分率,而不能知道水分汽化量的多少。这是因为原始水分含量不同,即使水分降低百分率相同,所除去的水分量也不相等。

例如:1000kg农作物,原始水分分为25%,经过干燥后降到20%,水分降低百分率为5%,而失水量为:

$$W_{\text{失}} = 1000 \times \frac{25 - 20}{100 - 20} = 62.5 \text{kg}$$

又如,原始水分分为20%的1000kg农作物,经干燥后水分降低到15%,水分降低百分率也为5%,而失水量却为:

$$W_{\text{失}} = 1000 \times \frac{20 - 15}{100 - 15} = 58.8 \text{kg}$$

可见,虽然水分降低百分率相同,但因其原始水分条件不同,水分汽化量也就不同。原始水分高的,在相同水分降低百分率下,水分汽化量就大。

干燥过程中所失去的水分 $W_{\text{失}}$ 占干燥前农作物重量 G_1 的百分率称为失重率,用 $G_{\text{失}}(\%)$ 表示。

$$G_{\text{失}}(\%) = \frac{W_{\text{失}}}{G_1} \times 100\% = \frac{M_1 - M_2}{100 - M_2} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1-24)$$

农作物失重率 $G_{\text{失}}(\%)$ 和农作物水分降低百分率 $M_{\text{降}}(\%)$ 也是两个不同的概念,应用时应注意。

农作物的水分含量是农作物出售、贮藏及加工中要考虑的一个重要因素,农作物干燥的目的也就是将农作物的水分降低到安全贮藏及适合加工的范围内。然而,欲知农作物水分的

表1-2 收获与安全贮藏水分(%,湿基)

农作物种类	最大收获水分	收获损失最少的适宜水分	一般收获水分	安全贮藏水分	
				贮藏一年	贮藏五年
黑 麦	25	16~20	12~18	13	11
大 麦	30	18~20	10~18	13	11
燕 麦	32	15~20	10~18	14	11
小 麦	38	18~20	9~17	13~14	11~12
稻 谷	30	25~27	16~25	12~14	10~12
玉 米	35	28~32	14~30	13	10~11
高 粱	35	30~35	10~20	12~13	10~11

注:具体应用时也可按国家最新标准或当地情况确定。

含量，必须通过测定计算，其具体方法后面还要详述。

表1-2列出了一些农作物的收获水分和安全贮藏水分，以供参考。贮藏室内的农作物应以水分含量最高部分的指标作为农作物能否安全贮藏的指标。农作物可贮藏的时间，随农作物种类和水分不同而异。然而，欲贮藏五年的农作物，其水分应比被认为可安全贮藏一年的水分低2%左右。

八、农作物和空气的水分平衡

在农作物干燥过程中，当农作物含水率、相对湿度和温度处于特定条件下时，尽管干燥空气还未饱和，似乎还能吸收掉农作物中的一些水分，但实际上已不能再进行任何干燥。例如，空气的温度是15.5℃，相对湿度是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（参见表1-3）。

与任何含水物质一样，农作物也具有持水的本能。并且随着含水率的下降，农作物对于保持剩余水分的能力也趋于增强。同样，在特定含水率条件下，当农作物的温度降低，其持水能力也就增强。

在特定温度条件下，随着空气相对湿度的上升，这种空气吸收农作物水分的能力就越差。而且在某特定温度下，农作物含水率和空气相对湿度将会处于这样一种状态：即农作物的持水倾向和空气的吸水倾向达到平衡。此时，农作物既不会将水分散失到空气中，也不会吸收空气中的水分。

表1-3示出了在三种不同温度条件下达到平衡时的空气相对湿度和农作物含水率。

表1-3

农作物含水率与空气相对湿度的平衡值

相对湿度 (%) 农作物含水率 湿基 (%)						
	17	16	15	14	13	12
温度 (°C)						
4.5	78	73	68	61	54	47
15.5	83	79	74	68	61	53
25.0	85	81	77	71	65	58

表1-3是一张概括性的表，表中所列出的数据只是大致适用于本书所提及的农作物。在实际应用时，也可通过图1-1来查算。对于所查值若处于图中标定曲线及数值之间时，可按常用的线性内插法进行查算，其它图表的查算方法与此相同。另外，当温度低于30℃时，也可从表9-1中直接查得。但应用这些图表时需注意的是，由于测试的品种、仪器不尽相同，故从图表中查出的相同情况下的数据也略有差异，但这些差异对农作物干燥与通风贮藏来说影响不大。

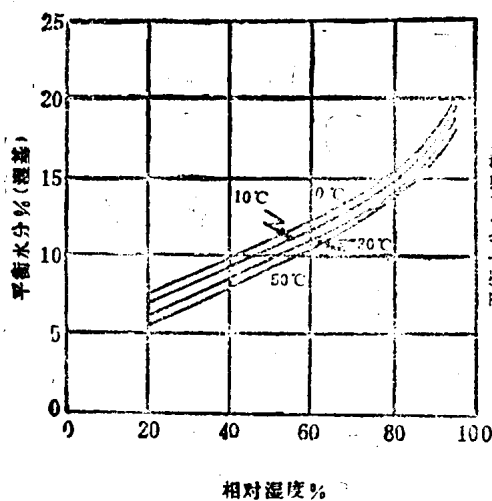


图1-1(a) 大麦和空气的水分平衡曲线

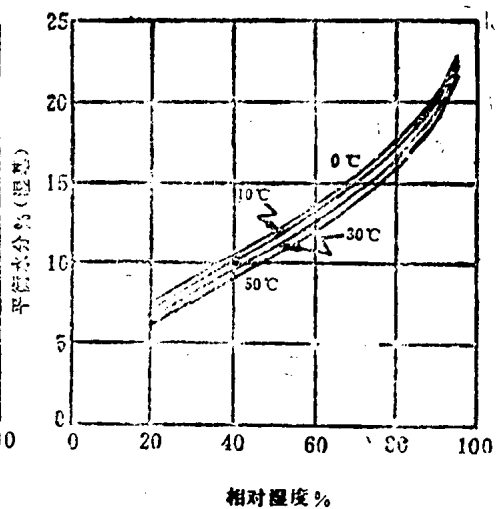


图1-1(b) 蚕豆和空气的水分平衡曲线

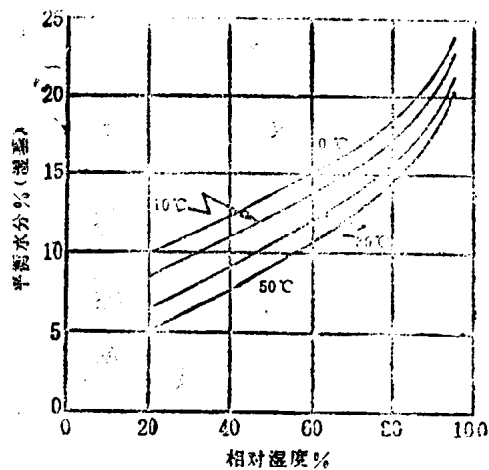


图1-1(c) 黄玉米和空气的水分平衡曲线

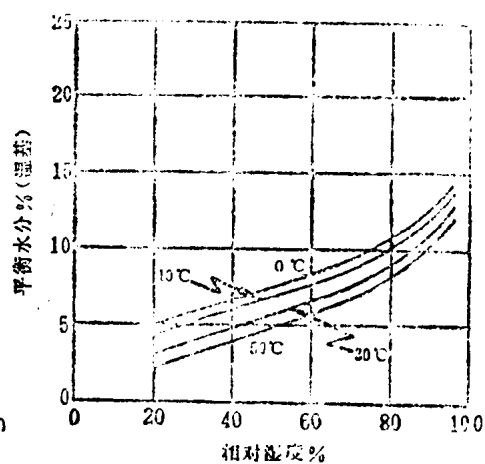


图1-1(d) 花生米和空气的水分平衡曲线

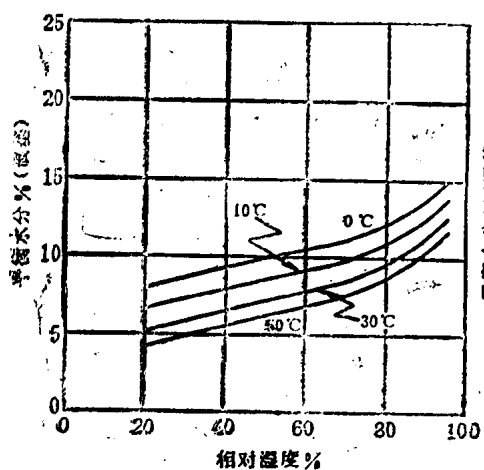


图1-1(e) 带壳花生和空气的水分平衡曲线

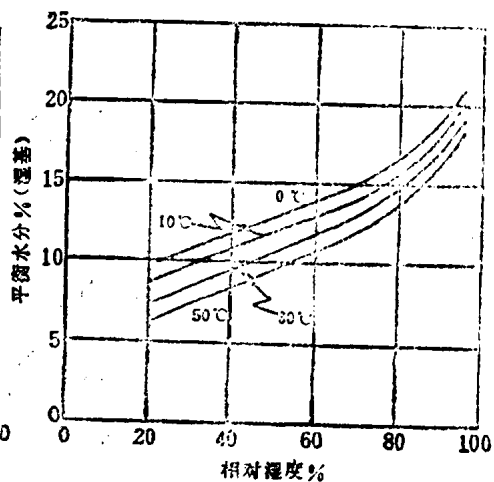


图1-1(f) 稻谷和空气的水分平衡曲线

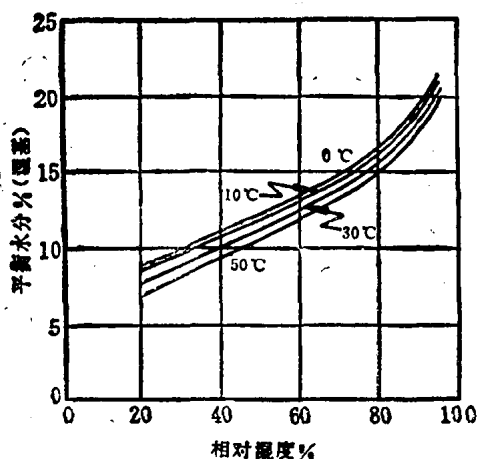


图1-1(g) 高粱和空气的水分平衡曲线

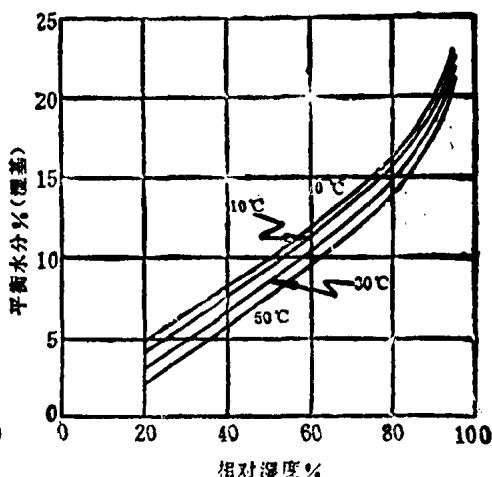


图1-1(h) 大豆和空气的水分平衡曲线

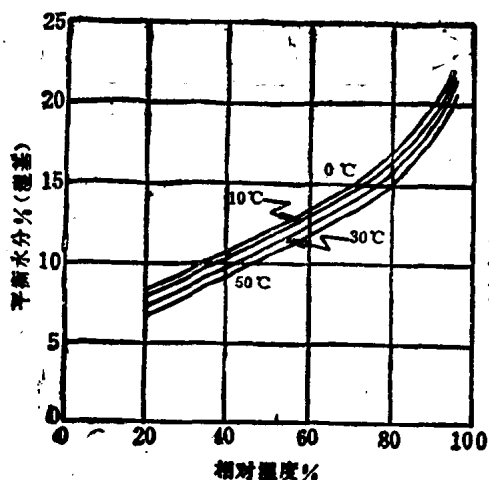


图1-1(i) 硬粒小麦和空气的水分平衡曲线

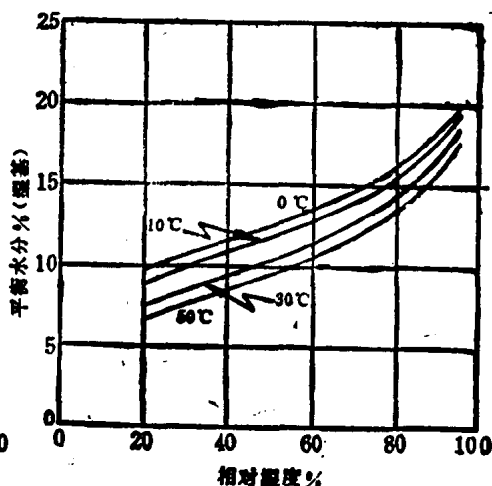


图1-1(j) 软粒小麦和空气的水分平衡曲线

第二节 农作物干燥的基本原理

一、空气在干燥过程中的作用

前面已经讲过,降低农作物中所含水分是农作物能否安全贮藏的一个重要因素。因此,要使农作物能够长期安全贮藏,必须把农作物水分降低到安全水分的范围内。

农作物的干燥过程就是农作物的降水过程,同时,这个降水过程必须是增进其贮藏稳定性,保持和改善干燥后农作物品质的过程。

在农作物干燥过程中,干燥空气(即气流)是一个最重要的因素。它起着两种作用:①把从农作物中蒸发出来的水分带走;②提供使水分蒸发所需要的热量。而能否有效地带走水分和提供蒸发所需要的热量,则主要取决于空气的温度和相对湿度。在温度一定的条件下,