

影响玉米薄层干燥速率的诸因素研究

王登峰 李慧珍 喻凡 王忠

(吉林工业大学)

提 要 通过对吉林省几个主要品种的玉米进行薄层干燥试验,确定了影响玉米薄层干燥速率各因素的主次,分析了各因素对玉米薄层干燥速率影响的规律性,提出了玉米品种对薄层干燥速率有不可忽视的影响,建立了吉林省两个产量较大的玉米品种的薄层干燥方程,从而为进一步进行玉米深床干燥的研究打下了基础,为设计适合我国特点的玉米干燥系统提供了理论依据。

关键词 玉米 薄层干燥 干燥速率。

1 引 言

国外对玉米干燥进行了大量的研究^[1~7],在单粒和薄层干燥研究的基础上,又开始了有实用价值的玉米深床干燥的研究,提出了一些玉米干燥的数学模型。计算机模拟方法也被应用于玉米干燥的研究上。在干燥设备和干燥技术上也发展迅速,玉米干燥机已经成为定型产品,其生产也已系列化,标准化。近些年来正以高效、节能和高质为目标进行更深入的研究。

国内对玉米干燥的研究起步较晚^[8~10],近年来才先后引进、试制和推广了一些玉米干燥设备,具有了一定的干燥能力。对于干燥技术研究的重点还是在机型的研制上。而对玉米干燥理论的研究也不多见,近几年才有一些学者从事这方面的研究工作^[11]。因为气候条件、玉米品种的不同、玉米颗粒的尺寸、形状、种皮厚度和颗粒质地软硬程度等差异,所以在干燥过程中玉米水分扩散的难易也会不同,这必将导致玉米干燥速率的差异。这样,国外关于干燥理论和干燥技术的某些理论不可能直接套用。因此,研究适合我国玉米干燥特点的干燥理论和干燥技术,具有较重要的实际意义。

通过对吉林省产量较大的几个主要品种的玉米进行薄层干燥试验,探讨了玉米品种对玉米薄层干燥速率的影响,确定了影响玉米薄层干燥速率诸因素的主次,分析各因素对玉米薄层干燥速率影响的规律性,并建立了相应的薄层干燥方程,以便为进一步进行玉米深床干燥的研究打下基础。

2 影响玉米薄层干燥速率诸因素的确定

综合以往的研究结果^[1~5]看来,影响玉米薄层干燥速率的因素主要有:热风温度,玉米

的初始水分和风量比。热风的相对湿度对玉米薄层干燥速率的影响不大,因此在试验过程中略去了热风相对湿度对玉米薄层干燥速率的影响。从以往的研究中还可以看到,一些学者基于试验建立的各自不同的薄层干燥方程,即使输入相同的原始数据,得到的结果也有较大差异。其原因较为复杂,但玉米品种不同是个重要原因。从玉米本身的生理结构上看,品种不同的玉米即使在生长条件相同的情况下,其发育过程也是不同的,并且玉米颗粒的尺寸、形状、种皮厚度和颗粒质地软硬程度的差异,将导致干燥过程中玉米水分扩散的难易。据此,把玉米品种也作为影响干燥速率的一个重要因素,并通过试验探讨玉米品种对干燥速率的影响。

综上所述,确定了热风温度,初始水分,风量比和玉米品种作为干燥速率的主要影响因素来进行干燥试验,并设计了相应的玉米干燥试验系统。

3 玉米干燥试验系统

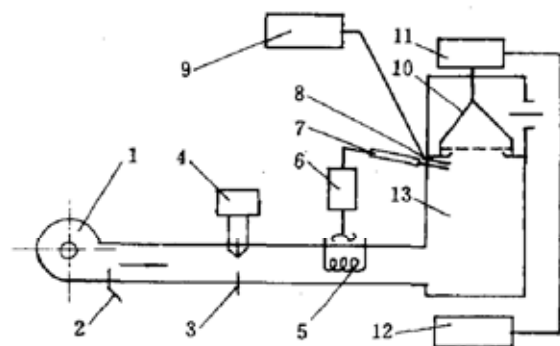
在玉米薄层干燥试验中,采用垂直式自动称重试验系统如图1。主要有供风与风量控制;加热及温度自动控制与记录以及自动称重三大部分组成。此系统可以满足:(1)控制与调节热风的温度与流速。(2)实现试验数据的自动采集与记录。

试验系统中,加热段管道和试验箱都采用硅酸铝耐火材料作保温层,以减少热损失。样品筛盘的下边缘延伸到油槽里形成对空气的密封,以使所有的热空气都通过样品筛盘。

试验时风量的测量与控制采用的是风量调节阀、孔板流量计和微压计,按试验要求的三种不同风速,设计了三个不同孔径的标准穿孔板,孔板前后的压力差由微压计测得,并据此换算出通过样品筛盘的风速。为了确保测量精度,试验中还使用了风速仪对风速进行监测与校准。

热风温度由一个插入试验箱底部测量精度为 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 的热电偶来测取,并由一台精度为 0.1°C 的3800型数字/模拟混合记录仪连续记录。温度的控制与调节采用的是电接点式水银温度计与KWJ-I型晶体管控温继电器。

样品的重量用EB2800型电子天平称量,它是利用下称法通过试验箱上面的小孔用挂钩与样品筛盘相连,以实现在整个试验过程中连续称量,并由打印机按规定的的时间间隔打出。由于风机运转时有风压的影响,使称得的样品重量不准,为了避免这部分误差,在试验系统中设置了一个脉动式继电器,它的两个触点分别用于风机的停转和打印时



1. 风机 2. 风量调节阀 3. 孔板 4. 微压计
5. 电阻加热器 6. 温控装置 7. 水银接电表
8. 测温热电偶 9. 温度记录仪 10. 样品筛盘
11. 天平 12. 天平数字输出记录仪 13. 试验箱

图1 玉米薄层干燥试验系统示意图
Fig. 1 Schematic diagram of experimental system for thin-layer drying of corn

刻的自动控制。试验中确定采数周期为 5min, 设定继电器使风机按停 30 s, 运转 4min30s 的顺序循环, 并在风机停止时的最后一刻测量和打印样品的重量, 以消除风压的影响。

4 玉米薄层干燥的正交试验

为了考察热风温度, 玉米的初始水分, 风量比和玉米品种对薄层干燥速率的影响, 尽量减少试验次数; 采用了四因素三水平的薄层干燥正交试验, 试验时根据生产实际中常用的范围, 取热风温度的变化范围是 25℃~125℃, 玉米初始水分的变化范围是 19%~39%(wb), 风量比的变化范围是 0.14~0.64m³/(s·m²), 至于玉米品种的选取, 是在吉林农业大学试验站和长春市农研所试验站, 分别对五种玉米进行了三次田间采样, 得到了三种不同初始水分的试验样品。玉米采回后立即进行人工脱粒, 用快速测水仪测定玉米水分后装入样品袋中密封, 并存放在冰箱里, 以便在试验前调制到要求的水分。在正交试验中, 选取了其中三个产量较大的玉米品种——英粒子、四单 8 和吉单 101。试验按正交表 $L_9(3^4)$ 进行, 具体试验安排如表 1。试验时将调制到一定初始水分的样品提前半小时从冰箱中取出一份 300g, 使其温度达到室温, 并按要求设定各试验参数的值, 待稳定后, 将试验样品放入筛盘并挂于天平底部, 同时启动各种记录仪器开始试验, 试验期间每隔 2h 记录一次室内空气的干、湿球温度和相对湿度。当被试样品的水分比小于 0.2 或试验已达 12h 时结束试验。然后, 将烘过的样品送入恒温干燥箱, 在 100℃ 下烘 72h, 以测定干物质。

表 1 薄层干燥的正交试验安排

Tab. 1 The orthogonal experimental arrangement for thin layer drying of corn

试验号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
热风温度 /℃	25	25	25	75	75	75	125	125	125
风量比 /m ³ ·s ⁻¹ ·m ⁻²	0.14	0.41	0.64	0.14	0.41	0.64	0.14	0.41	0.64
初始水分 /小数(wb)	0.223	0.305 0.300	0.387	0.295 0.296	0.350 0.383	0.206 0.197	0.378 0.375	0.195 0.187	0.281 0.281
玉米品种	英粒子	四单 8	吉单 101	吉单 101	英粒子	四单 8	四单 8	吉单 101	英粒子

5 试验结果的分析

因为各次重复试验的结果相差不大, 所以只重复试验一次, 并取其均值。为了便于在图形上直观地考察各因素的影响, 本文在同一干燥时间上对每个因素相同水平下的试验结果叠加后取均值, 其中平衡水分 Me 由文献[1]提出的平衡水分模型求得。这样就可以得到每个水平综合意义下的试验曲线。因为试验的正交性, 除了要考察的条件外, 其它条件均处于完全对等的状态, 所以具有可比性, 从而得到各因素对干燥速率影响的曲线见图 2 至图 4。

从图中可以看出,当热风温度取三个不同水平的值时,玉米的水分比变化最大,因此,影响玉米干燥速率最显著的因素是热风温度,其次是玉米的初始水分。随着热风温度和初始水分的增加,玉米的干燥速率加快;风量比对于干燥速率的影响较小,所以在建立薄层干燥方程时忽略了风量比的影响;玉米品种的影响,就所观察的三个品种来看,其干燥速率有一定差别,吉单 101 玉米的干燥速率较四单 8 和英粒子慢(图 4 中不带▲和×标记的三条曲线),但差别不是十分明显。

为了进一步考察玉米品种对干燥速率的影响,在原来三个品种的基础上,又另取四单 8 种及小白头霜两种玉米,在热风温度为 75℃,风量比为 $0.4\text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$,初始水分为 37%(wb)的条件下,进行了五种玉米的薄层干燥对比试验,结果见图 4 中下面的五条曲线。可见,籽粒较小的四单 8 种和小白头霜玉米的干燥速率较快、其次是四单 8 和英粒子,吉单 101 的干燥速率最慢,它们之间的最大差值达 0.15,由此可见,不同品种的玉米其干燥速率是不同的,有些品种之间差别较大,一般是小粒玉米的干燥速率明显大于大粒玉米,因为玉米品种对薄层干燥速率有一定影响,所以并非任何品种的玉米都能采用同一薄层干燥方程,尤其是在干燥速率差别较大的情况,这一点在进行玉米干燥的研究中不可忽视。

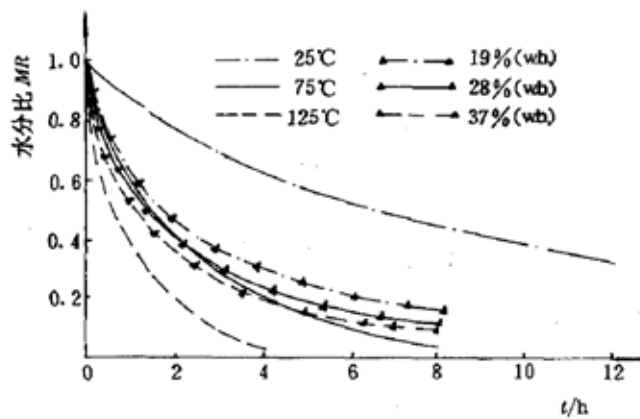


图 2 热风温度和初始水分对薄层干燥速率的影响
Fig. 2 Effects of the initial moisture content and drying air temperature on thin-layer drying rate

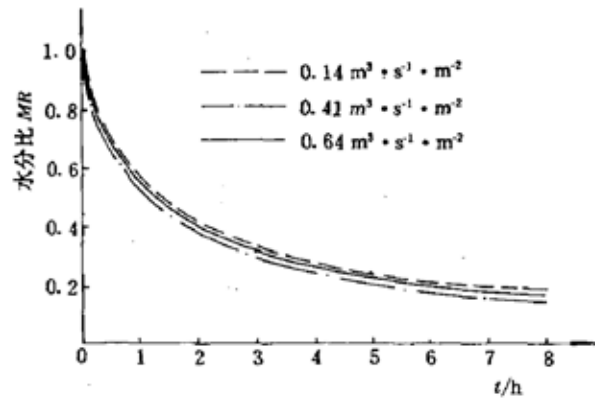


图 3 风量比对薄层干燥速率的影响
Fig. 3 Effect of airflow rate on thin-layer drying rate

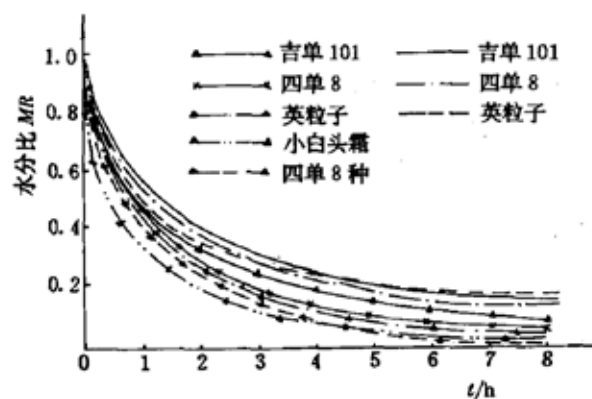


图 4 玉米品种对薄层干燥速率的影响
Fig. 4 Effect of corn variety on thin-layer drying rate

6 玉米薄层干燥方程的建立

在建立薄层干燥方程时,以对玉米干燥速率影响较大的热风温度和初始水分为两个因素,并对热风温度补加了 50℃和 100℃两个水平的试验点后,对吉单 101 和四单 8 进行了全面试验。薄层方程的形式是通过试验数据散点图分析,用试验数据分别对几种类型的薄层方程进行拟合、比较,结果表明,用 Page1949 年提出的薄层干燥方程进行回归效果最好。其方程为:

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-Kt^N} \quad (1)$$

式中 MR 为水分比, M 为玉米的水分(wb), M_0 为初始水分(wb), M_e 为平衡水分(wb), K, N 为干燥常数, t 为干燥时间, min。

因此,以式(1)作为玉米薄层干燥方程的形式。

把式(1)线性化得:

$$\ln(-\ln MR) = N \ln t + \ln K \quad (2)$$

用式(2)对每次试验数据以最小二乘法进行线性回归,就可求得回归常数 K, N 及相关系数 r , 所有的相关系数均在 0.99 以上。然后对吉单 101 玉米作出 K, N 随热风温度和初始水分变化的关系曲线见图 5 和图 6, 从图中可见, 热风温度和初始水分对 K 值的影响较大, 对 N 值的影响较小。因此, 取 N 为定值 ($N = \sum N_i/n = 0.688$), 再根据原始数据重新对干燥常数 K 进行二次多项式回归, 从而得到吉单 101 玉米的薄层干燥方程为

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-Kt^{0.688}} \quad (3)$$

$$K = -0.04 - 1.366 \times 10^{-4}T + 3.274 \times 10^{-6}T^2 + 0.356M_0 - 0.715M_0^2 + 1.852 \times 10^{-3}TM_0 \quad (4)$$

式中 T 为热风温度, ℃。

以同样的方法还建立了四单 8 玉米的薄层干燥方程

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = e^{-Kt^{0.762}} \quad (5)$$

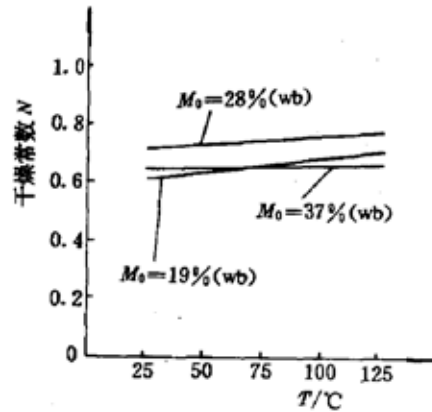


图 5 热风温度和初始水分对 N 的影响
Fig. 5 Effect of drying air temperature and initial moisture content on drying constant N

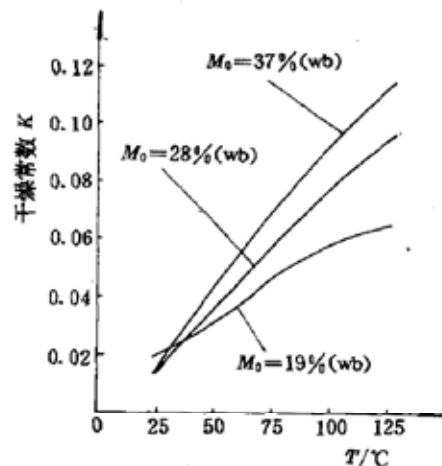


图 6 热风温度和初始水分对 K 的影响
Fig. 6 Effect of drying air temperature and initial moisture content on drying constant K

$$\text{其中 } K = -0.184 + 7.087 \times 10^{-4}T - 5.042 \times 10^{-7}T^2 \\ + 0.975M_0 - 1.685M_0^2 + 2.165 \times 10^{-4}TM_0 \quad (6)$$

比较两个方程可见,不同品种的玉米其薄层干燥方程是不同的。

7 结 论

通过上述对玉米薄层干燥的试验研究,在所选取的试验参数范围内和试验条件下,得如下结论:

1) 玉米品种对薄层干燥速率有不可忽视的影响,不同品种的玉米应该有自己的薄层干燥方程,如将同一薄层干燥方程用于各种玉米是不合适的。

2) 本文建立了吉林省产量较大的吉单 101 和四单 8 两种玉米的薄层干燥方程,为进一步进行玉米深床干燥的研究打下了基础。

3) 影响玉米薄层干燥速率最显著的因素是热风温度,其次是玉米的初始水分,风量比的影响很小,随着热风温度和初始水分的增加,玉米的干燥速率加快。

4) 上述研究结果为设计适合我国特点的玉米干燥设备提供了理论依据。

参 考 文 献

- 1 T L Thompson, R M Peart and G H Foster. Mathematical simulation of corn drying—a new model. Transactions of the ASAE, 1968, 11(4): 582~586
- 2 J M Troeger and W V Hukill. Mathematical description of the drying rate of fully exposed corn. Transactions of the ASAE, 1971, 14(6): 1153~1156(1162)
- 3 M K Misra and D B Brooker. Thin—layer drying and rewetting equation for shelled yellow corn. Transactions of the ASAE, 1980, 23(5): 1254~1260
- 4 R Shroshine, A Emam et al. Comparison of drying rates and quality parameters for selected corn. Inbreds/Hybrids, ASAE, 1981, 3529
- 5 Huizhen Li and R V Morey. Thin—layer drying of yellow dent corn. Transactions of the ASAE, 1984, 27: 581~585
- 6 M L Stone and G A Kranzler. A microprocessor controlled thin—layer dryer. ASAE, 1981: 5028
- 7 Joe M Bunn Pe. An animated grain drying model. Agricultural Engineering, 1982, (4): 24~27
- 8 何金榜. 谷物低温干燥主要参数的研究. 农业机械学报, 1983, (3): 70~76
- 9 郑州粮食科研设计所, 全国粮食机械情报中心站. 粮食干燥技术. 1983
- 10 曹崇文. 谷物干燥的数学模拟. 北京农业机械化学院学报, 1984, (3): 79~93
- 11 李慧珍. 玉米深床干燥的计算机模型. 吉林工业大学交流论文, 1983, No. 83—0. 1, 267

Studies on the Factors Effecting Thin—Layer Drying Rate of corn

Wang Dengfeng Li Huizhen Yu Fan Wang Zhong

(Jilin University of Technology)

Abstract

In this paper, through thin—layer drying tests of several corn varieties of Jilin province, the primary and secondary factors affecting thin—layer drying rate are determined and the influential regularity of the different factors is analyzed. It is presented that corn varieties have a not negligible effect on thin—layer drying rate. Thin—layer drying equations of two higher yield corn varieties in Jilin province are built. Conclusions of the study provide a basis for further research on deep—bed drying of corn and furnish a theoretical basis for designing corn drying systems suitable for Chinese conditions.

Key words Corn Thin—layer drying Drying rate

欢迎订阅中国科协报

《中国科协报》是中国科学技术协会主管和主办的报纸,江泽民总书记题写了报名。《中国科协报》是中国科协指导工作、交流经验、研讨政策、传播信息、反映科技人员的意愿的新闻媒介,其宗旨是:发挥全国各级科技群众团体的优势,依靠广大会员和科技工作者,宣传“科学技术是第一生产力”的重要思想,宣传尊重知识、尊重人才的社会风尚,宣传科技社会团体的功能和作用,促进科学技术的繁荣和发展,促进科学技术的普及和推广,促进科学技术人才的成长和提高,为经济振兴、科技进步和社会发展作出贡献。

《中国科协报》的读者对象是:各级科协和学会(协会、研究会)干部和从事科普工作的人员,各级各类学会会员,各个领域从事科研、生产的科技人员和管理人员,高等和中等学校师生,一切关心科技事业发展和科协工作的党政领导干部、行政管理干部和社会各界人士。

《中国科协报》对开四版,采用计算机激光照排和胶版印刷,每周四出版。全国公开发行,国内邮发代号 1~179,读者可及时到当地邮局订阅。如在当地邮局订阅有困难,请直接汇款至本社经理部。本报月价 1.08 元,季价 3.24 元,全年 12.96 元。另请加订报款的 15% 为邮费。

本社地址:北京市海淀区学院南路 86 号

联系人:冷艳玲

邮 编:100081

电 话:8318877—496