

深床干燥玉米的破碎敏感性

朱文学^①

曹崇文^②

(洛阳工学院) (中国农业大学机械工程学院)

摘要 在3种类型干燥机上进行了玉米干燥对比试验,测定了玉米破碎敏感性。试验结果表明,玉米破碎敏感度与热风温度和速度、谷物初始含水率及冷却方法有关,其中热风速度的影响最为显著。3种类型干燥机中,顺流干燥逆流冷却对玉米破碎强度的影响最小,干后玉米破碎敏感度最低。

关键词 干燥机;玉米;破碎敏感性

中图分类号 S 226.600.2; S 513.093

Breakage Susceptibility of Shelled Corn Dried in Heated Air

Zhu Wenxue

Cao Chongwen

(Luoyang Institute of Technology) (College of Machinery Engineering, CAU)

Abstract The drying experiments of corn in three types of dryer were carried out, breakage susceptibility of corn was measured. The results show that it is related to temperature and velocity of air, initial moisture content of corn, as well as the cooling methods. The temperature was the most remarkable effect factor on breakage susceptibility. Among three types of dryer, the concurrent flow dryer with counter flow cooling has the least effect on breakage resistance, the breakage susceptibility of corn after drying was the smallest.

Key words dryer; corn; breakage susceptibility

玉米破碎敏感性是衡量玉米破碎强度的指标,可根据其预测玉米在运输和储存过程中受到外力时破碎的可能性。玉米的破碎敏感性与其含水率有关,含水率越高,破碎敏感性越低^[1];与试验前所经历的处理过程有关,如收获、运输和干燥过程,根本原因是这些过程改变了玉米的破碎强度。人工干燥过程中玉米受热排湿,籽粒不断膨胀和收缩,形成内部湿热应力,诱导了内部应力裂纹的产生,使玉米破碎强度降低^[2]。干后玉米含水率低,籽粒脆性大,受力时更易破碎,因此,测定干后玉米破碎敏感性有很高的实用价值。

1 试验设备

采用组合干燥实验台作为干燥设备^[3]。实验台主要由风机、加热器、料斗、干燥盒、进气盒、排气盒和排粮机构等组成。进气盒与排气盒不同形式的组装,可得到不同类型的干燥机,以适应顺流干燥、逆流干燥和顺流干燥逆流冷却的需要。干燥机的主要结构参数和操作参数如表1所示。

收稿日期:1998-08-20

①朱文学,河南省洛阳市西苑路48号 洛阳工学院105信箱,471039

②曹崇文,北京清华东路17号 中国农业大学(东校区)50信箱,100083

表1 干燥机主要结构参数和操作参数

干燥方式	干燥段长度/m	冷却段长度/m	冷却段风速/(m·s ⁻¹)	干燥时间/min
顺流干燥	0.6	0	0	25
逆流干燥	0.6	0	0	25
顺流干燥 逆流冷却	0.6	0.2	0.18	25

破碎敏感性试验设备为离心式谷物破碎敏感性试验仪^[4],其工作原理为离心破碎,主要工作部件为铝质离心圆盘、钢制冲击圆筒和圆孔筛。离心圆盘中间开十字槽,槽深20 mm,宽25 mm,圆盘通过联轴器与电机连接,圆周速度29.3 m·s⁻¹。冲击圆筒直径300 mm,圆孔筛直径5.0 mm。破碎敏感度

$$B = \frac{\text{样品量} - \text{筛面物料残留量}}{\text{样品量}} \times 100\%$$

2 试验方法

采用秋天刚收获的马齿型玉米掖单13进行干燥试验。收获时玉米含水率31%,试验前分别将玉米晾晒到含水率21%和18%,堆放48 h,使其水分均匀。另准备一小样,自然晾晒至含水率14%,作为对比样品。破碎敏感性试验用样品量100 g,试验前过5.0 mm圆孔筛,并拣出其中的破碎粒和大杂质。

进行顺流干燥、逆流干燥和顺流干燥逆流冷却对比试验,风速45~111 ℃,风速0.15~0.63 m·s⁻¹。测量玉米出干燥机时的温度、含水率以及干燥介质的温度。为确定冷却方法对破碎敏感性的影响,干后采用3种方式冷却:保温冷却,干后立即取样放入保温桶中,保温12 h,然后自然冷却;自然冷却,干后取样摊放,在室内冷却12 h;风冷,干后取样,由风机强制冷却30 min,然后自然放置12 h。分别测定其破碎敏感度,每次试验重复3次。采用不同干燥方法和冷却方法得到的样品含水率不同,为了在同一含水率条件下进行破碎敏感性比较,将玉米安全含水率(14%)设定为标准含水率,换算公式^[5]如下:

$$B_n = B_m \exp[0.29(w_m - w_n)]$$

式中: B_n , B_m 分别为标准和测定的谷物破碎敏感度,%; w_n , w_m 分别为标准和测定的谷物含水率(湿基)。

3 试验结果与分析

3.1 深床干燥玉米的破碎敏感性

试验结果显示,使用不同类型干燥机干燥后的玉米破碎敏感性差别很大,所有经干燥机干燥后的玉米,其破碎敏感性均与热风温度、速度,物料初始含水率和冷却方法有关。在干燥介质和谷物条件相同时,顺流干燥逆流冷却时玉米的破碎敏感性最低。

图1示出热风温度103 ℃,风速0.35 m·s⁻¹,玉米初始含水率21%时,干后自然冷却谷物的破碎敏感度。可以看出,逆流干燥时破碎敏感度最高,顺流干燥逆流冷却时破碎敏感度最低,且低于自然晾晒玉米的破碎敏感度。这说明人工干燥并不一定导致谷物的破碎强度大幅度降低,选择合理的工艺参数进行干燥,可将谷物的破碎强度控制在自然晾晒水平以下。自然冷却

条件下,热风温度低于 85 °C 的顺流干燥、热风温度低于 60 °C 的逆流干燥和热风温度低于 120 °C 的顺流干燥逆流冷却都能使干后玉米的破碎敏感度降至自然晾晒水平。

出现上述现象的主要原因是,在不同类型的干燥机内,谷物与气流的相对流向和湿热交换过程不同,干后谷物的含水率和温度不同。顺流干燥时,谷物与气流同向流动,湿谷物接触的是温度最高的热风,干燥过程中谷物温升较小。当谷物含水率降低后,热风温度也相应降低,干后谷物温度较低,与环境的温差小,冷却时形成的热应力较小。逆流干燥时,谷物与气流相对流动,干谷物接触的热风温度最高,温升高,造成的热损伤较大。由于干后谷物温度高,与冷却环境的温差大,冷却时形成的热应力较高。顺流干燥逆流冷却时,湿谷物接触的是温度最高的热风,干燥过程中谷物温升较小,逆流冷却又使通过干燥段后的谷物缓慢冷却,存在缓苏过程,谷物出口温度接近室温,因此在整个干燥和冷却过程中谷物的温度和水分变化柔和,降低了干燥热应力。

3.2 工艺方法及工艺参数对破碎敏感性的影响

方差分析表明,影响玉米破碎敏感性的参数主要有热风温度、速度,玉米初始含水率和冷却方法,其中热风温度的影响最为显著,其次为冷却方法、风速和玉米初始含水率。

热风温度对破碎敏感性的影响。热风温度对玉米的破碎敏感性影响很大。试验中在使用不同类型干燥机时,玉米的破碎敏感度均随温度的升高而升高。图 2 示出在风速为 $0.35 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,玉米初始含水率 21% 时,顺流干燥和逆流干燥条件下玉米破碎敏感度随热风温度变化的

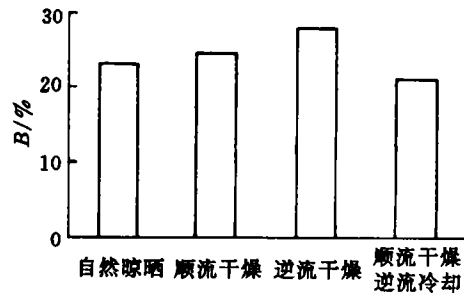


图1 干燥机类型对玉米破碎敏感度B的影响

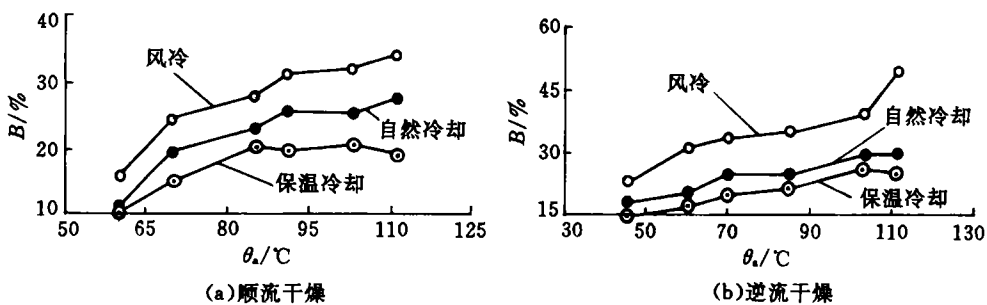


图2 破碎敏感度B与风温 θ_0 的关系

规律。可以看出:随温度的升高,2种方法干燥的玉米,其破碎敏感度几乎均为线性增加,逆流干燥的增幅更大些;温度相同时,逆流干燥的玉米破碎敏感度较高。值得注意的是,当风温达到约 100 °C 时,无论顺流干燥还是逆流干燥,保温冷却玉米的破碎敏感度都呈下降趋势,而风冷和自然冷却玉米的破碎敏感度依然上升,其中风冷玉米上升幅度更大。由于保温冷却使谷物在冷却时温差减小,降低了热应力,所以认为保温冷却谷物的破碎敏感度最能反映干燥过程中谷物破碎强度的变化,也就是说反映了谷物受到的热损伤程度的变化;因此,可以认为热风温度对谷物破碎敏感度的影响有一极值,当超过这一极值后,风温对谷物破碎敏感度的影响减轻

了。本次试验中测定的达到这一极值的温度为:顺流干燥 85 °C,逆流干燥 103 °C。

热风速度对破碎敏感性的影响。虽然在所有试验中,玉米破碎敏感度都随热风速度的上升而上升,但热风速度对玉米破碎敏感度的影响相对较小。图 3 示出热风温度为 103 °C,玉米初始含水率 21%,顺流干燥时玉米破碎敏感度随风速的变化规律。可以看出:玉米破碎敏感度随风速变化的曲线基本呈线性增长,风冷时斜率较高,自然冷却和保温冷却时斜率较小;自然冷却时,低风速(0.15 m·s⁻¹)干燥玉米的破碎敏感度与高风速(0.63 m·s⁻¹)干燥时之差小于 6%;风冷时斜率较高可以认为是风冷快速降温所致,保温冷却时玉米破碎敏感度随风速的变化则可认为最接近干燥过程中破碎敏感度随风速的变化。风速升高时破碎敏感度升高缓慢,主要原因是采用不同风速干燥,干后谷物温度和降水率差别不大。相同干燥条件下,降水率、谷物温度与风速的关系见表 2。

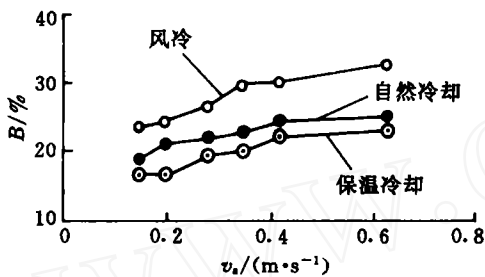


图 3 风速 v_a 对破碎敏感度 B 的影响

表 2 谷物温度和降水率与风速的关系

谷物温度/°C	降水率/%	风速/(m·s ⁻¹)
42	3.4	0.15
44	3.8	0.20
44	4.2	0.28
45	4.5	0.35
48	4.9	0.42
50	5.2	0.63

玉米初始含水率对破碎敏感性的影响。玉米初始含水率对破碎敏感性的影响较小。在玉米初始含水率较低的情况下,干燥时破碎敏感度略高,这显然与谷物温升较高有关。在试验用 3 种干燥机中,使用逆流干燥机时谷物所受影响最大。图 4 示出初始含水率分别为 18%和 21%,顺流干燥时玉米破碎敏感度与谷温和风温的关系。与图 2(a)比较可以看出,2 种初始含水率条件下,破碎敏感度与风温的关系变化不大,初始含水率对顺流干燥时谷物破碎敏感度的影响不十分显著,但低温段比高温段显著。这主要因为较高温度(>85 °C)干燥时,谷物降水幅度较大,出口谷物温度和含水率差别较小,谷物温度差低于 2 °C,含水率差低于 1.5%;较低温度(<80 °C)干燥时,谷物温度差 5~10 °C,含水率差 2%~4%。

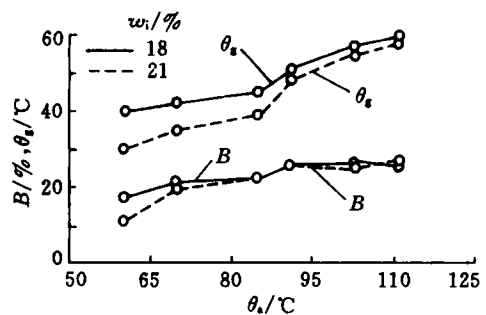


图 4 破碎敏感度 B 、谷物温度 θ_s 与初始含水率 w_i 的关系

冷却方法对破碎敏感性的影响。图 2、图 3 已示出冷却方法对破碎敏感度的影响。风冷时玉米的破碎敏感度大幅度提高,随风温和风速变化曲线的斜率较大;自然冷却和保温冷却时,玉米的破碎敏感度差别较小。产生上述结果的主要原因一是采用不同干燥方式干燥后的谷物温度不同,二是采用不同冷却方式干燥后谷物的冷却速度不同。风冷时谷物从出口温度降到环境温度需 5 min,自然冷却需 30 min,而保温冷却则需 10 h。如果出口谷温较高(与环境温度差大于 20 °C),快速的降温会产生较大的热应力,这不但会诱导应力裂纹的发生,而且会降低谷

物的破碎强度。如果出口谷温较低,不同冷却方法导致的破碎敏感度差别会小得多。图5示出顺流干燥逆流冷却时冷却方法对玉米破碎敏感度的影响。顺流干燥逆流冷却时,选择不同的热风温度和风速,出口谷温与环境温度差均低于 10°C ,故无论采用何种冷却方法,冷却速度都不会太大,冷却速度差也较小。在这种情况下,冷却方法造成的玉米破碎敏感性差异较小。

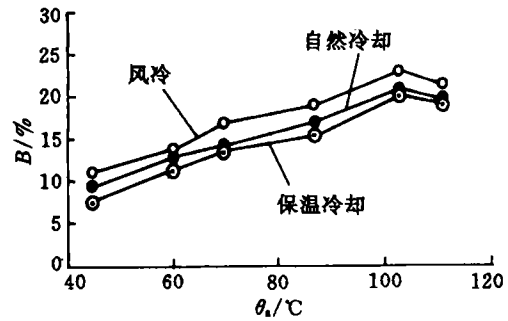


图5 冷却方法对破碎敏感度 B 的影响

4 结 论

干燥过程对玉米破碎敏感性有重要影响。在同等干燥条件下,顺流干燥逆流冷却所得样品的破碎敏感度较低。玉米破碎敏感度与热风温度、热风速度、谷物初始含水率和冷却方法有关,其中热风温度的影响最为显著:热风温度越高,破碎敏感度越高;在较低温度($<70^{\circ}\text{C}$)干燥时,玉米破碎敏感度可达到与自然晾晒同等水平。干燥机类型不同,玉米破碎敏感性随各参数变化的规律有差异。

参 考 文 献

- 1 Eckhoff S R, Wu P C, Chung D S, et al. Moisture content and temperature effects on Wisconsin breakage tester results. *Trans of the ASAE*, 1988, 31(4):1241~1246
- 2 Gunasekaran S, Paulsen M R. Breakage resistance of corn as a function of drying rates. *Trans of the ASAE*, 1985, 28(6):2071~2076
- 3 朱文学. 干燥过程中谷物应力裂纹和发芽率的模拟与试验研究:[学位论文]. 北京:中国农业大学,1997
- 4 Singh S S, Finner M F. A centrifugal impactor for damage susceptibility evaluation of shelled corn. *Trans of the ASAE*, 1983, 26(6):1858~1863
- 5 Cecilia D R, Charles R. Adjustment of maize quality data for moisture content. *Cereal Chemistry*, 1990, 67(3):292~295