

人工干燥大豆的破碎敏感性

朱文学^① 曹崇文 方建军

(中国农业大学机械工程学院)

摘要 在薄层干燥试验台上进行了大豆干燥试验,测定了大豆的破碎敏感性。干燥后大豆经离心式破碎敏感性测试仪冲击,其破碎以破瓣为主,碎粒(小于5 mm)率只占总破碎粒的30%。方差分析显示,风温和风速对破碎敏感性影响高度显著,初始含水率和品种对破碎敏感性影响显著。风温和风速越高,大豆热损伤越严重,破碎敏感性越高。初始含水率和品种与破碎敏感性的关系尚需进一步研究。

关键词 干燥;大豆;破碎敏感性

中图分类号 S379.1

Experimental Study on Breakage Susceptibility of Soybean After Artificial Drying

Zhu Wenxue Cao Chongwen Fang Jianjun

(College of Machinery Engineering, CAU)

Abstract The thin layer drying experiments of soybean were carried out, breakage susceptibility of soybean after drying was measured. The main type of breakage of soybean after impacting is cotyledon scattering, the ratio of breakage cotyledon account for 30% of total breakage. The variance analysis shows that breakage susceptibility is related to air temperature, air velocity, initial moisture content and variety of soybean. The effects of air temperature on breakage susceptibility is more remarkable than other parameters. The higher the air temperature and velocity, the higher the breakage susceptibility. Further research is needed to find the relationship among the initial moisture content, variety of soybean and the breakage susceptibility.

Key words drying; soybean; breakage susceptibility

干燥过程中的吸热和排湿使大豆籽粒收缩和膨胀,产生湿热应力,破坏籽粒的内部结构,导致破碎强度降低并伴随裂纹生成。干后大豆水分降低,脆性增大,在后续的储运过程中受机械作用破碎的可能性增加。大豆受冲击后的破碎率与大豆的含水率有关,含水率越高,破碎敏感性越低^[1]。大豆破碎敏感性(含水率为14%时的冲击破碎率)与干燥过程密切相关,因为干燥过程对大豆组织结构影响很大。进行大豆破碎敏感性研究一方面可以评价干燥对大豆品质的损害程度,另一方面也可以预测大豆后期储运中的破碎情况。本文将重点研究干燥过程对大豆破碎敏感性的影响。

收稿日期:1996-07-19

①朱文学,北京清华东路17号中国农业大学(东校区)50信箱,100083

1 试验设备及方法

采用薄层干燥试验台进行干燥试验^[2]。试验台主要由风机、电热管、物料盘和天平组成。大豆装在物料盘内,物料盘悬挂在固定于试验台上部的天平上。干燥过程中,按 10 min 时间间隔称重,到 13.5% 含水率时结束干燥。

破碎敏感性试验设备为离心式谷物破碎敏感性试验仪^[3],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,槽宽 25 mm,圆盘通过联轴器与电机连接,圆周速度为 $29.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。冲击圆筒直径为 300 mm,圆孔筛筛孔直径为 5 mm。大豆从喂料斗喂入到冲击圆盘中心,由离心力加速,高速冲击到周围圆筒壁面上,被冲击破碎。将从出料口得到的大豆过圆孔筛,即可根据下式求出大豆的破碎敏感性: $S_b = [(m_s - m_r) / m_s] \times 100\%$ 。式中: S_b 为破碎敏感性; m_s, m_r 分别为样品和筛面上残留物料的质量。

试验用大豆为吉林 4 号和冀豆 2 号,初始含水率分别为 9.6% 和 9.7%。干燥前加水将大豆的含水率分别调整到所需的初始含水率,堆放 24 h,使水分均匀。干后立即将样品密封在塑料袋内,室温下放置 48 h,然后进行破碎敏感性试验。样品量 100 g,试验前过 5 mm 圆孔筛,并拣出其中的破碎粒和大杂质。破碎敏感性指标分别为碎粒(小于 5 mm)率 $\eta_{\text{粒}}$ 、破瓣率 $\eta_{\text{瓣}}$ 和总破碎率 $\eta (= \eta_{\text{粒}} + \eta_{\text{瓣}})$ 。碎粒率根据上式求出。从过 5 mm 圆孔筛后的样品中检出脱落的种皮和散开的子叶瓣,称量并求与样品质量的比值,即为破瓣率。进行单因素试验和多因素正交试验,多因素正交试验因素及因素水平见表 1。

表 1 试验因素表

因 素	水 平		
	1	2	3
风温/ $^{\circ}\text{C}$	33	51	72
风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.15	0.26	0.35
初始含水率(湿基)/%	16.2	18.9	21.5
品 种	吉林 4 号 冀豆 2 号 —		

2 试验结果及分析

2.1 干后大豆的冲击破碎特征

经破碎敏感性测试仪冲击后的大豆籽粒,其破碎特征主要为表皮破裂,两瓣子叶散开,脱落后的表皮完整,并有少量的碎粒(小于 5 mm)产生。在所有的试验条件下, $\eta_{\text{粒}} < 15\%$,而 $\eta_{\text{瓣}}$ 大致是 $\eta_{\text{粒}}$ 的 2 倍,个别试验条件下比例更高。由此可见大豆的表皮及子叶破碎强度都比较高,离心式破碎敏感性测试仪所产生的离心力很难使它们破碎,但冲击力具有撕裂表皮的能力。大豆子叶间的结合强度相对较弱,表皮被撕裂后,子叶间的结合很容易被破坏,子叶从表皮中散落出来;因此,破瓣是大豆破碎的主体,考察干燥对大豆破碎敏感性的影响时,不仅要考虑碎粒率,而且要考察破瓣率。

2.2 正交试验结果分析

表 2 示出正交试验方差检验结果,可以看出,干燥介质参数大豆参数对 $\eta_{\text{粒}}, \eta_{\text{瓣}}$ 和 η 这 3 项指标的影响不一致。在 95% 置信度下,影响碎粒率的参数有风温、风速及风温与风速的交互作用,风温对指标的影响比风速的影响高度显著;影响破瓣率的参数有风温、风速、品种及风温与水分、风温与品种的交互作用,其中风温对试验指标的影响高度显著,影响总破碎率的参数有

风温、风速及风温与水分、风温与品种、水分与品种的交互作用,其中风温和风速的影响高度显著。综合以上分析,可见风温和风速对干后大豆破碎强度的影响高度显著,各因素的显著程度依次为风温、风速、品种和水分。

表2 方差 F 检验结果(显著水平)

指标	因素				交互作用					
	风温①	风速②	初水分③	品种④	①×②	①×③	①×④	②×③	②×④	③×④
$\eta_{粒}$	0.001	0.002	0.112	0.593	0.012	0.762	0.397	0.955	0.472	0.382
$\eta_{瓣}$	0.001	0.034	0.231	0.029	0.400	0.013	0.001	0.984	0.482	0.118
η	0.001	0.001	0.180	0.116	0.022	0.182	0.006	0.957	0.286	0.049

各因素的部分交互项显著说明各因素对大豆破碎敏感性的影响不是孤立的,存在复杂的关系。不同的大豆品种,有不同的成份及结构,原始的破碎强度有差别。初始水分不同,水分与固体物质的结合方式有差异,影响干燥速度。风温和风速是干燥的外部条件,它们的共同作用是热风干燥的前提。干燥时不同参数的干燥介质作用于不同初始水分和品种的大豆,形成不同的干燥速度,在原始的破碎强度基础上,不同程度地降低大豆的破碎强度。

2.3 单因素分析

2.3.1 风温对大豆破碎敏感性的影响

干燥介质温度越高,大豆破碎敏感性越高,如图1(a)所示(试验条件:吉林4号,初始含水率18.9%,风速 $0.26\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。 $\eta_{粒}$ 随温度的上升逐渐增高, $\eta_{瓣}$ 和 η 总的来说是随温度上升而提高,但在 85°C 时略有下降。干燥过程中观察到,较高温(大于 60°C)干燥后大豆种皮上的裂纹

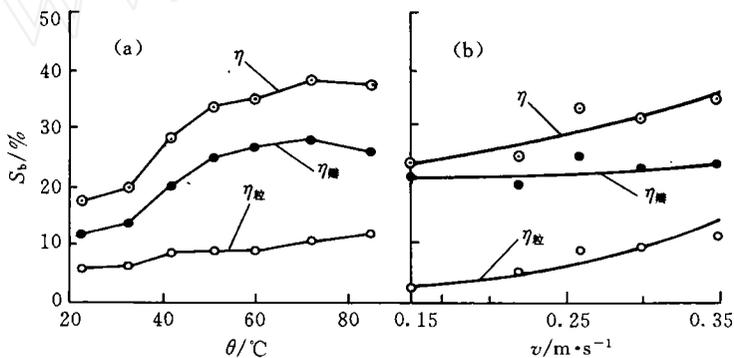


图1 风温 θ (a)和风速 ν (b)对大豆破碎敏感性 S_b 的影响

明显增加;更高温(85°C)干燥时,大豆种皮很快干燥,较坚韧,裂纹大量出现,子叶出现软化现象,表明子叶组织发生了变化。破碎敏感性试验时,冲击后虽然有一些籽粒种皮上存在大量的裂纹,且子叶和种皮有脱落的迹象,但为了保证试验的一致性,没有把这种籽粒计在破瓣之中。因此,高温下 $\eta_{瓣}$ 和 η 略有降低并不能说明高温有利于提高大豆的破碎强度。由于风温与风速、品种和初始含水率交互作用显著,所以在不同的风速、品种和初始含水率条件下,风温对破碎敏感性的影响有一定的变化。

2.3.2 风速对大豆破碎敏感性的影响

大豆破碎敏感性随风速的上升而增大,如图1(b)所示(试验条件:吉林4号,温度 51°C ,初

始含水率 18.9%)。可以看出,虽然有个别异常点,但破碎敏感性总的趋势是随风速的增加指数上升,碎粒率、破瓣率和总破碎率的回归方程的相关系数分别为 0.91,0.93,0.89。与温度对破碎敏感性的影响相比,在因素取值范围内,风速的变化引起的破碎敏感性变化较小,碎粒率、破瓣率和总破碎率的变化范围分别为 2.1%~11.3%,21.9%~25%,24.0%~35.2%,风温变化引起的破碎敏感性变化较大,碎粒率、破瓣率和总破碎率的变化范围分别为 5.8%~11.9%,11.5%~28.2%,17.3~38.3%,进一步证明了风温对破碎敏感性的影响比风速的影响更显著。风速对破碎敏感性的影响方式是与风温共同作用,决定了大豆的干燥速度,干燥速度越高,种子籽粒的破碎敏感性也越高^[4]。

2.3.3 初始含水率对大豆破碎敏感性的影响

方差分析中,初始含水率单因素对所有的试验指标的影响都不显著(置信度水平 95%)。对于破瓣率,初始含水率与温度的交互作用显著;对于总破碎率,初始含水率与品种的交互作用显著:说明初始含水率对破碎敏感性的影响不明显,只有与其他因素交互才起作用。图 2 示

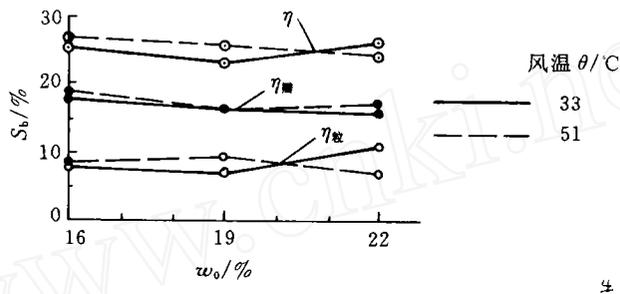


图 2 初始含水率 w_0 对大豆破碎敏感性 S_b 的影响

出初始含水率与大豆破碎敏感性的关系,试验条件为冀豆 2 号,风速 0.26 m/s^{-1} 。可以看出,在风温不同时, $\eta_{\text{粒}}$, $\eta_{\text{瓣}}$ 和 η 随初始含水率的变化不一致,很难找出统一的规律。所有的同一初始含水率试验中,大豆破碎敏感性差别不大:图 2 中风温为 51°C ,初始含水率从 16.2% 变化 21.5% 时, $\eta_{\text{粒}}=7.3\% \sim 9.6\%$, $\eta_{\text{瓣}}=16.5\% \sim 18.9\%$, $\eta=24.9\% \sim 27.3\%$ 。

2.3.4 品种对大豆破碎敏感性的影响

不同品种大豆的外形特征、成份及物理特性不同,决定了它们具有不同的干燥特性和原始的破碎敏感性。所选的两大豆品种的破碎敏感性都随温度和风速的上升而增加,但具有不同的变化规律。图 3 所示出风速 $v=0.26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,初始含水率 $w_0=16.2\%$ 时,总破碎率随温度的变化曲线。可以看出,两品种的 η 值变化不大,但吉林 4 号先迅速上升而后下降,而冀豆 2 号连续上升,因此,可以认为品种对破碎敏感性有影响,但极有限。这可能是由于两大豆品种外形特征相似,粒径差别不大造成的。其余试验条件下品种对破碎敏感性的影响与图 3 相似,不再详述。大豆品种繁多,其外形特征、成份及物理特性差别很大,本试验所选用的品种非常有限,不能说明品种对破碎敏感性的影响规律,有待于进一步研究。

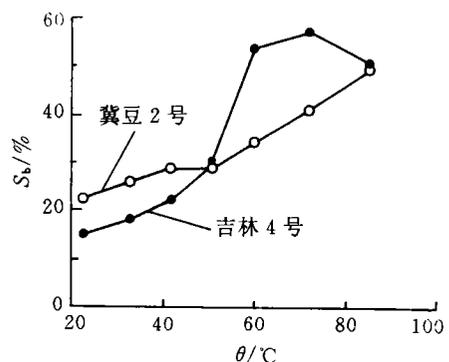


图 3 品种对大豆总破碎率 η 的影响

3 结 论

大豆籽粒中两瓣子叶之间的结合强度较低,子叶破碎强度较高,干燥后大豆经离心式破碎敏感性测试仪冲击而破碎主要以破瓣为主,碎粒率只有破瓣率的30%。考察干燥作业对大豆破碎敏感性的影响时应以总损伤率(碎粒率+破瓣率)为主。

方差分析显示,风温和风速对破碎敏感性影响高度显著。风温和风速越高,大豆热损伤越严重,破碎敏感性越高。初始含水率和品种与破碎敏感性的关系尚需进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Paulsen M R, Nave W R, Gray L E. Soybean seed quality as affected by impact damage. *Trans of the ASAE*, 1981, 24(6): 1 577~1 583
- 2 朱文学, 曹崇文, 玉米应力裂纹的生成和发展过程研究, *农业工程学报*, 1996, 27(2): 170~174
- 3 朱文学, 曹崇文, 谷物破碎敏感性测试技术的发展与应用, *农业工程大学学报*, 1995, 15(4): 47~52
- 4 Gunasekaran S, Paulsen M R. Breakage resistance of corn as a function of drying rates. *Trans of the ASAE*. 1885, 28(6): 2071~2076