

不同含水率大豆秸秆与不同材料间滑动摩擦特性的研究

房欣,陈海涛,黄振华,李丽霞

(东北农业大学 工程学院,黑龙江 哈尔滨 150030)

摘要:应用斜面仪测定分析细碎化处理后大豆秸秆的滑动摩擦角,为大豆秸秆纤维制取机供料系统的设计提供理论依据。以揉搓粉碎处理后大豆秸秆含水率为试验因素,通过单因素试验研究,分别建立了不同含水率对揉搓粉碎处理后大豆秸秆与不同材料间滑动摩擦特性影响的数学模型并分析其变化规律。结果表明:含水率对滑动摩擦角有显著的影响,随着含水率的增大,大豆秸秆与钢板的滑动摩擦角呈先增大后减小的趋势,与输送带的滑动摩擦角呈增大的趋势。

关键词:大豆秸秆;滑动摩擦特性;含水率

中图分类号:TH117.1

文献标识码:A

文章编号:1000-9841(2012)05-0838-04

Sliding Friction Characteristic of Different Moisture Content of Soybean Stalk with Different Materials

FANG Xin, CHEN Hai-tao, HUANG Zhen-hua, LI Li-xia

(Engineering College, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, Heilongjiang, China)

Abstract: The sliding friction angle of soybean stalk after fragmenting was tested and analyzed with apparatus of incline plane, thereby, a new theory was found for the design of feeding system of soybean stalk fiber extruder. The moisture content of fragmented soybean stalk was selected as experimental factor, and the single-factor experiment was carried out. Then, the mathematic model was established, which reflected the variation law of moisture content on the sliding friction characteristics between soybean stalk and steel plate and that between stalk and rubber. The result indicated that the moisture content had significant influence on sliding friction angle, with the increasing of moisture content, the sliding friction angle between soybean stalk and steel plate had no significant variation firstly, and then decreased while the moisture content reached to a critical value, and the sliding friction angle between soybean stalk and rubber showed increasing trend.

Key words: Soybean stalk; Sliding friction characteristic; Moisture content

我国农作物秸秆资源丰富,据调查统计,2010年全国可收集秸秆资源量达7亿t,其中豆类秸秆约为0.28亿t。目前秸秆的利用技术主要有秸秆还田、能源化、饲料化和用于食用菌基料及工业产品原料等。但因为技术成熟度和经济性等问题,使得各项技术推广应用受到制约,秸秆综合利用率低,相当一部分秸秆被就地焚烧^[1]。

秸秆包含纤维素、半纤维素、脂键、木质素等成份。其中,秸秆纤维可用作造纸等各种产品的原料。然而,目前秸秆纤维的制取工艺主要采用添加酸、碱、石灰等化学品进行蒸煮的方法,使其在生产制造过程中不仅纤维得率低、耗水量大,而且产生大量污染物,造成严重的环境污染。因此,研究开发无化学污染的农作物秸秆纤维制取机,高值化利用丰富的资源,已经成为我国发展低碳经济和可持续现代农业亟待解决的现实问题。为实现秸秆低成本无污染利用奠定了基础^[2-4]。

供料系统是秸秆纤维制取机的重要组成部分。要保证纤维制取机的正常工作,就要保证喂料与出料的平衡。秸秆纤维制取机加工原料为细碎化处理后、含水率高(通常大于45%)的大豆秸秆^[1],其物理特性与普通的粉粒状物料有较大差异,市场上成型的供料系统并不适用于秸秆纤维的制取机。

本试验研究以粉碎揉搓处理后的大豆秸秆为研究对象,分别测定其在不同含水率条件下与钢板和橡胶输送带两种材料的滑动摩擦角,分析其影响变化规律,为农作物秸秆纤维制取机供料系统的供料方式和结构参数的选择提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为取自东北农业大学香坊试验农场2011年收获期的绥豆26大豆秸秆。

收稿日期:2012-04-13

基金项目:黑龙江省科技攻关重点课题(GA09B501-1);“十二五”农村领域国家科技计划课题;现代农业产业技术体系建设专项资金资助(CARS-04)。

第一作者简介:房欣(1988-),女,在读硕士,研究方向为农业机械装备及生物质材料。E-mail:fangxxin@126.com。

通讯作者:陈海涛(1963-),男,教授,博士生导师,从事农业机械装备及生物质材料研究。E-mail:htchen@neau.edu.cn。

1.2 试样准备

用去掉刀片和锤片的铡揉机对秸秆进行加工处理,所得试样的物理特性如表 1 所示。

参考 GB/T5262-2008^[5]中关于秸秆含水率的测定和相关文献的处理方法^[6],将处理后的秸秆置于烘箱内,以 105 ± 2℃ 的温度烘干 24 h,使秸秆绝干后密封存放。试验前,将按照试验设计的含水率水平计算需水量均匀喷洒于试样上,混合均匀后放入密封袋内存放一昼夜备用。

表 1 试样物理特性
Table 1 Experimental results

项目 Item	长度 Length/mm	平均直径 Average diameter/mm
均值 Mean	83.96	2.21
极差 Range	170	5.40
标准差 Standard deviation	37.60	1.69

1.3 试验设备

自制滑动摩擦特性试验台,如图 1 所示;YB502 型电子天平(上海海康电子仪器厂);DGG-9070AD 型电热恒温鼓风干燥箱(上海森信试验仪器有限公司)及 9QR20-60 型秸秆揉切机(哈尔滨龙牧机械设备有限公司)。

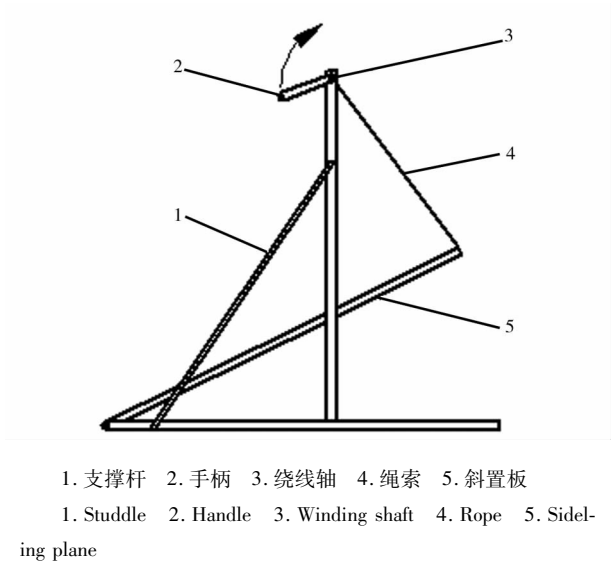


图 1 滑动摩擦特性试验台示意图

Fig.1 Sliding friction characteristic test-bed

1.4 试验方案

1.4.1 试验设计 以大豆秸秆含水率 75%、70%、65%、60%、55% 作为 5 个处理,以滑动摩擦角为目标函数,采用单因素响应曲面法,测量不同含水率大豆秸秆与不同材料间的滑动摩擦角,实施试验研究并拟合出回归方程。

1.4.2 试验方法 滑动摩擦角表示物料与所接触材料相对滑动时,物料与接触材料表面间的摩擦特

性,其正切值为滑动摩擦系数。因此,对不同含水率的大豆秸秆分别与钢板和橡胶输送带实施试验,测定其滑动摩擦角,每组试验重复 3 次,以其均值为最终结果。具体的操作方法是:在测定滑动摩擦角时,把物料装入无底容器内,并放置在部件 5 上,缓慢摇动手柄 2 转动绕线轴 3,使部件 5 的倾角逐渐增大。当物料刚开始在斜面上下滑时,该斜面倾角即为滑动摩擦角^[7]。

2 结果与分析

2.1 试验结果

试验结果如表 2 所示。

表 2 试验结果
Table 2 Determining results

序号 Serial number	含水率 Moisture Content /%	与钢板滑动 摩擦角 $\varphi_1/^\circ$	与输送带滑动 摩擦角 $\varphi_2/^\circ$
1	65	34.99	40.16
2	60	36.94	40.03
3	65	37.09	39.76
4	55	36.03	38.94
5	75	34.34	42.36
6	55	36.20	37.23
7	70	34.84	40.56
8	75	34.06	41.61

2.2 回归模型

应用 Design-expert 6.0.10 软件对试验结果进行分析处理,获得不同含水率对大豆秸秆与钢板滑动摩擦特性影响和大豆秸秆与橡胶输送带的滑动摩擦特性影响的回归模型,分别如式(1)、(2)所示。

$$\varphi_1 = 36.07 + 1.08x - 0.91x^2 \quad (1)$$

$$\varphi_2 = 40.11 + 1.79x - 0.049x^2 \quad (2)$$

2.3 回归模型方差分析

对(1)、(2)式回归模型进行方差分析,结果如表 3 所示。

在得到的上述模型中 $p_1 = 0.0496, p_2 = 0.0110$,说明大豆秸秆含水率对滑动摩擦角模型有意义。用 F 检验法对回归方程进行检验,从表 3 可知,2 个回归方程的 $F_1 < F_{0.05}$,说明方程拟合的效果好,又 $F_2 > F_{0.05}$,说明回归方程在 0.05 水平显著,即试验数据与所采用的数学模型相符合^[8]。

在得到的上述模型中 $p_1 = 0.0496, p_2 = 0.0110$,说明大豆秸秆含水率对滑动摩擦角模型有意义。用 F 检验法对回归方程进行检验,从表 3 可知,2 个

回归方程的 $F_1 < F_{0.05}$, 说明方程拟合的效果好, 又数据与所采用的数学模型相符合^[8]。
 $F_2 > F_{0.05}$, 说明回归方程在 0.05 水平显著, 即试验

表 3 回归模型方差分析

Table 3 Variances analysis of regression model

项目 Item	来源 Source	平方和 Square sum	自由度 Df	均方 Mean square	F 值 F value	临界值 Critical value
φ_1	回归 Regression	6.61	2	3.31	$F_2 = 5.81$	$F_{0.05}(2, 5) = 5.79$
	剩余 Residual	2.85	5	0.57		
	拟合 Fitting	0.59	2	0.29	$F_1 = 0.39$	$F_{0.05}(2, 3) = 9.55$
	误差 Error	2.26	3	0.75		
	总和 Sum	9.46	7			
φ_2	回归 Regression	14.46	2	7.23	$F_2 = 12.70$	$F_{0.05}(2, 5) = 5.79$
	剩余 Residual	2.84	5	0.57		
	拟合 Fitting	1.02	2	0.51	$F_1 = 0.84$	$F_{0.05}(2, 3) = 9.55$
	误差 Error	1.82	3	0.61		
	总和 Sum	17.30	7			

2.4 含水率对目标函数影响规律分析

大豆秸秆滑动摩擦角随含水率变化规律如图 3 所示。当含水率小于 63% 时, 对大豆秸秆与钢板间的滑动摩擦特性基本无影响; 当含水率大于 63% 时, 随着含水率的增加, 大豆秸秆与钢板间的滑动摩擦特性呈逐渐下降趋势。随着含水率的增加, 大豆秸秆与橡胶输送带的滑动摩擦特性呈逐渐增大趋势; 大豆秸秆与钢板的滑动摩擦角总体上小于与橡胶输送带的滑动摩擦角。

滑动摩擦角与接触物体的材料、表面光滑程度、干湿程度等有关。许多相关研究表明, 滑动摩擦角随含水率的增加而增大。随含水率的增加, 表面吸附或沉积形成液体薄膜, 在接触面周围形成弯月面力, 从而产生附加的摩擦力, 故在发生滑动摩擦时, 表现出滑动摩擦角的增加^[9]; 同时随着含水

率的增大, 更容易粘附于钢板或其它表面, 致使滑动摩擦阻力增加^[10]。

图 3 中, 含水率达到 63% 后, 随着含水率的继续增大, 滑动摩擦角开始减小, 这是由于含水率较高时, 会有较多的水充满在秸秆与斜面钢板的空隙之间, 随着空隙中水膜厚度的增大, 弯月面力消失, 在秸秆下滑的过程中, 实际上只是发生液膜剪切, 水膜起到了润滑作用, 从而表现为滑动摩擦角减小^[11]。图 4 中随着含水率的增加滑动摩擦角随之增大, 却没有在某一处出现极值而随即减小, 这是由于材料的差异, 相关研究表明, 材料的表面粗糙度及材料的亲疏水性对微表面接触分离中弯月面力存在影响^[12]; 且聚合物的摩擦主要来自粘着、变形和弹性粘滞^[11], 较为复杂。

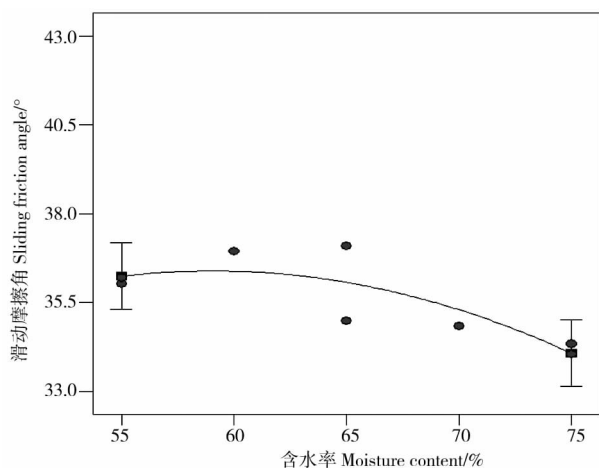


图 3 含水率对大豆秸秆与钢板的滑动摩擦角的影响
 Fig. 3 Influence of moisture content on sliding friction angle of soybean stalk with steel plate

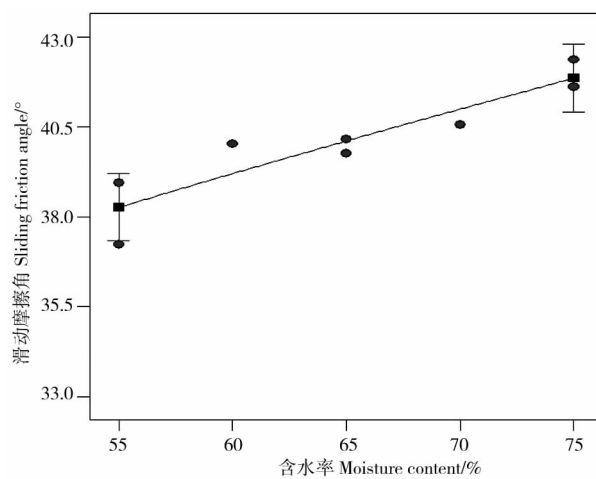


图 4 含水率对大豆秸秆与输送带的滑动摩擦角的影响
 Fig. 4 Influence of moisture content on sliding friction angle of soybean stalk with conveyor belt

3 结 论

通过单因素试验分别建立了不同含水率对揉搓粉碎处理后大豆秸秆与不同材料间滑动摩擦特性的数学模型,所建立的模型能有效反应含水率对大豆秸秆与不同材料间滑动摩擦特性的影响规律。含水率对大豆秸秆的滑动摩擦角有显著影响。随着含水率的增大,大豆秸秆与钢板的滑动摩擦角呈先增大后减小的趋势,与输送带的滑动摩擦角呈增大的趋势;大豆秸秆与钢板的滑动摩擦角总体上小于其与输送带的滑动摩擦角。

参考文献

- [1] 黄振华,陈海涛,房欣,等. 含水率对大豆秸秆流动力学性能的影响[J]. 大豆科学,2011,30(5):847-850. (Huang Z H, Chen H T, Fang X, et al. Flowability parameters for chopped soybean stalk[J]. Soybean Science,2011,30(5):847-850.)
 - [2] 韩永俊,陈海涛,刘丽雪,等. 水稻秸秆纤维制取工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2011,27(4):281-286. (Han Y J, Chen H T, Liu L X, et al. Optimization of technical parameters for preparing fiber from rice straw[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(4):281-286.)
 - [3] 韩永俊,陈海涛,刘丽雪,等. 水稻秸秆纤维地膜制造工艺参数优化[J]. 农业工程学报,2011,27(3):242-247. (Han Y J, Chen H T, Liu L X, et al. Optimization of technical parameters for making mulch from rice straw fiber[J]. Transactions of the CSAE,2011,27(3):242-247.)
 - [4] 陈海涛,李浩,孙培灵. 一种组合式秸秆纤维制取机:中国,200910206283.4[P].2009. (Chen H T, Li H, Sun P L. A combined type straw fiber extruder: China, 200910206283.4[P].2009.)
 - [5] GB/T 5262-2008. 农业机械试验条件测定方法的一般规定[S]. (GB/T 5262-2008. Agricultural machinery testing conditions-general rules for measuring methods[S].)
 - [6] Mani S, Tabil L G, Sokhansanj S, et al. Mechanical properties of corn stover grind[C]. An ASAE Meeting Presentation,2003,6.
 - [7] 周祖鄂. 农业物料学[M]. 北京:农业出版社,1994,102. (Zhou Z E. Agricultural material science [M]. Beijing: Agricultural Press,1994:101-109.)
 - [8] 刘振学,黄仁和,田爱民. 实验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社,2005:100-103. (Liu Z X, Huang R H, Tian A M. The design of experiments and data processing [M]. Beijing: Chemical Industry Press,2005:100-103.)
 - [9] 施卫省,刘基林,苏有勇,等. 水冬果实含水量对摩擦性质和出油率的影响[J]. 农机化研究,2007(6):120-122. (Shi W S, Liu J L, Su Y Y, et al. The effects of property of sliding friction coefficient and the rate of oil on Idesia Polycarpa Var. vestita with different moisture contents[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2007(6):120-122.)
 - [10] 尚海波,杨坚,陈世凡. 水稻芽种摩擦特性的试验研究[J]. 农机化研究,2011(11):157-160. (Shang H B, Yang J, Chen S F. The experimental study on friction properties of sprouting rice seeds[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research,2011(11):157-160.)
 - [11] B. 布尚. 摩擦学导论[M]. 北京:机械工业出版社,2006:137. (Bharat Bhushan. Introduction to tribology [M]. Beijing: China Machine Press,2006:137.)
 - [12] 刘思思,张朝辉,刘俊铭. 微平面接触分离中弯月面力的计算[J]. 物理学报,2010,59(10):6902-6907. (Liu S S, Zhang C H, Liu J M. Calculation of meniscus force during separation of micro-surfaces[J]. Acta Physica Sinica,2010,59(10):6902-6907.)
-
- (上接第 837 页)
- [4] 王敏,檀建新,路玲,等. 非发酵豆制品主要腐败菌的分离鉴定[J]. 中国酿造,2006(6):68-70. (Wang M, Tan J X, Lu L, et al. Isolation and identification of the main spoilage microorganisms in non-fermented soybean products[J]. China Brewing,2006(6):68-70.)
 - [5] 李博,李里特. 豆腐(豆浆)中屎肠球菌生长的温度预测模型[J]. 中国农业大学学报,2003,8(2):49-54. (Li B, Li L T. Predictive model for effect of temperature on the growth of E. faecium in tofu (soymilk) [J]. Journal of China Agricultural University,2003,8(2):49-54.)
 - [6] 胡洁云,欧杰,李柏林,等. 预报微生物学在食品安全风险评估中的应用[J]. 微生物学通报,2009,36(9):1-7. (Hu J Y, Ou J, Li B L, et al. The role of predictive microbiology in food safety risk assessment[J]. Microbiology,2009,36(9):1-7.)
 - [7] 李楠楠,范志红. 不同烹调方法对鱼营养价值及感官评价的影响[J]. 食品科学,2012,33(5):93-97. (Li N N, Fan Z H. Correlations between sensory texture and fat or water content in cooked fish[J]. Food Science,2012,33(5):93-97.)
 - [8] Zwietering M H, Jongenburger I, Rombouts F M, et al. Modeling of the bacterial growth curve[J]. Applied Environment Microbiology,1990,56(6):1875-1881.
 - [9] Ratkowsky D A, Olley J, McMeekin T A, et al. Relationship between temperature and growth rate of bacterial culture[J]. Journal of Bacteriology,1982,149(1):1-5.
 - [10] 冯力. 回归分析方法原理及 SPSS 实际操作[M]. 北京:中国金融出版社,2004. (Feng L. Regression analysis method and SPSS actual operation [M]. Beijing: China Financial Publishing House,2004.)