

螺旋齿辊式秸秆调质装置性能试验*

李文哲¹ 董欣¹ 王德福¹ 韩增德² 曹洪国² 吴鸿欣²

(1. 东北农业大学工程学院, 哈尔滨 150030; 2. 中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

【摘要】 利用所研制的螺旋齿辊式秸秆调质装置试验台,采用调质齿辊差速转动方式对摘穗后玉米秸秆进行压裂、破节的连续调质正交试验,分析了调质齿辊工作间隙、调质齿辊转速及秸秆喂入速度对秸秆调质性能的影响。试验结果表明,调质齿辊工作间隙对秸秆调质作业性能影响显著,最优参数组合为调质齿辊工作间隙 2 mm,调质齿辊转速 65 r/min,秸秆喂入速度 4 km/h。

关键词: 玉米秸秆 调质装置 试验

中图分类号: S225.5; S817.12⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2011)12-0143-05

Performance Experiment of Helix Teeth-roller Straw Adjusting Material Device

Li Wenzhe¹ Dong Xin¹ Wang Defu¹ Han Zengde² Cao Hongguo² Wu Hongxin²

(1. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China

2. Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

Abstract

Through the self-designed test-bed of helix teeth-roller corn straw adjusting material device, the snapping corn straw were cracked and broken continuously by different rolling way of teeth-roller adjusting material device. In order to reach the optimal parameter combination, effect on processing teeth-roller's working clearance, speed of rotation and feeding speed of adjusting material device was analyzed by using the orthogonal tests method. The results showed that teeth-roller's working clearance significantly influenced processing performance. Optimal group of parameters was the working clearance of 2 mm, the feeding speed of 4 km/h, the rotate speed of the teeth-roller of 65 r/min.

Key words Corn straw, Adjusting material device, Experiment

引言

玉米秸秆的机械化收获和打捆在实际生产中遇到两个问题,一是玉米摘穗收获期的秸秆含水率高,达 70%~80%,采用自然状态下干燥,失水速度慢、干燥时间长,影响即时收获和打捆;二是玉米秸秆坚硬挺实,打捆成形困难,且打捆后因弹性变形应力作用易产生涨捆现象,这些问题制约了秸秆的资源化利用。为促进秸秆快速干燥,减少秸秆的变形应力,为玉米秸秆的打捆成型创造有利条件,需要在秸秆机械化收获作业同时,利用机械装置对摘穗后的玉米秸秆进行裂皮、破节等改变其力学及物理状态的调质处理,从而加速秸秆的水分蒸发和减小变形应

力。

目前,带秸秆回收功能的玉米收获机械大都是将玉米秸秆割倒、铺放或切碎还田,还不具备对玉米秸秆进行调质的功能^[1-4]。国内河南科技大学开展了与背负式玉米收获机相配套的秸秆调质装置试验研究,调质辊上辊辊面为梯形截面的牙型,但试验因素只考虑了调质辊间隙和调质辊转速,并以玉米秸秆含水率变化为试验指标进行了双因素试验^[5]。本文研制螺旋齿辊式秸秆调质装置,采用调质齿辊差速转动方式,选择秸秆喂入速度、调质齿辊转速及调质齿辊工作间隙等因素,进行室内秸秆调质正交试验,考察各参数变化对其作业性能的影响,以期得到最优组合。

收稿日期: 2011-10-31 修回日期: 2011-11-10

* 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2009AA043602)

作者简介: 李文哲,教授,博士生导师,主要从事生物质资源化利用工艺与装备研究,E-mail: liwenzhe9@163.com

1 试验装置

1.1 调质装置结构

如图1所示,研制的秸秆调质试验装置由螺旋齿辊式秸秆调质部件、秸秆输送装置和控制系统等部分组成。调质部件是一对螺旋齿辊2和3,辊长900 mm,直径200 mm,上、下螺旋齿辊的辊面上均以5°螺旋角沿圆周纵向均布螺旋凸棱10个,凸棱沿齿辊横截面为梯形,梯形下底宽10 mm,上底宽5 mm,高10 mm,且二辊相位方向相同;工作时,链传动4和7带动两个辊子相向差速旋转;通过浮动压下装置8一方面可以调整两辊之间的间隙,另一方面可以起到缓冲作用。

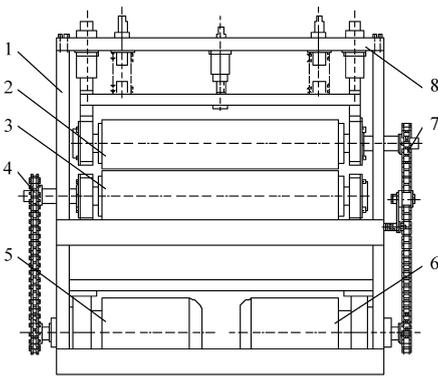


图1 秸秆调质装置结构简图

Fig.1 Structure sketch of adjusting material device

1.机架 2.上调质齿辊 3.下调质齿辊 4,7.链传动 5,6.电动机 8.浮动压下装置

1.2 调质装置工作原理

螺旋齿辊2、3分别由变频调速电动机5、6控制,以便于差速调节和满足运动部件间作业参数的最佳组合。调质作业时,上、下调质齿辊、链传动和浮动压下装置相配合,实现上、下调质齿辊相向差速转动,对送入的玉米秸秆进行压扁、揉搓、裂皮及破节等连续的调质作业后抛出。

研制螺旋齿辊式秸秆调质装置的目的是将其安装在秸秆收获调质机上,实现秸秆收获的同时完成调质作业。因此,物料的喂入速度须与收获机械的行驶速度协调一致。为此设计了相应的输送装置及其控制系统。秸秆输送装置由变频调速电动机控制以一定速度向调质装置输送玉米秸秆,模仿机具前进时的状态。

2 秸秆调质过程及性能评价

2.1 秸秆调质过程

玉米秸秆的调质是秸秆从两个旋转方向相反的调质辊间通过,发生压扁、破皮及裂节等力学及物理状态的改变。秸秆调质过程不是沿其整个长度上同

时发生,而是在秸秆喂入过程中连续进行的过程。秸秆调质从截面AA'开始,达到CC'时終了,AA'平行于CC',AA'C'C即为秸秆调质区。调质区的形状用秸秆与调质辊接触面的正视图和俯视图表示,如图2所示。

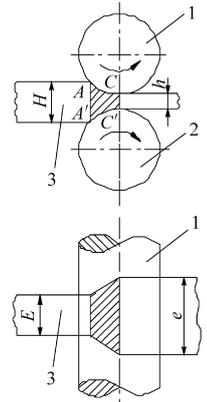


图2 秸秆调质过程

Fig.2 Adjusting material processing of straw

1.上调质齿辊 2.下调质齿辊 3.秸秆

2.2 秸秆调质性能评价

目前国家标准中尚没有关于秸秆调质性能指标的规定,试验中,根据对调质部件工作性能和调质后秸秆横截面的变化规律,提出采用调质后秸秆的宽展率、压下率及破节率为直接评定指标;依据被调质的秸秆经晾晒使含水率快速蒸发的自然规律,以秸秆失水率为间接评定指标。

(1) 宽展率

宽展率指秸秆调质前、后横截面径向宽度变化量与其调质前横截面径向宽度的比值,即

$$\delta_k = \frac{e - E}{E} \times 100\% \quad (1)$$

式中 E 、 e ——秸秆调质前、后横截面径向宽度,mm

(2) 压下率

压下率指秸秆调质前、后横截面径向厚度变化量与其调质前横截面径向厚度的比值,即

$$\delta_y = \frac{H - h}{H} \times 100\% \quad (2)$$

式中 H 、 h ——秸秆调质前、后横截面径向厚度,mm

(3) 失水率

失水率指秸秆调质前的含水率与秸秆调质后经自然晾晒一段时间含水率的变化,即

$$\delta_p = P_0 - P_k \quad (3)$$

式中 P_0 ——秸秆调质前的含水率,%

P_k ——秸秆调质后经自然晾晒一段时间的含水率,%

上述性能指标数值愈大,表明秸秆调质效果越显著。

3 调质作业性能的正交试验

3.1 试验材料

试验材料为秋季摘穗后立即收获的玉米秸秆,茎秆平均直径19.77~21.02 mm,平均高度1950~2450 mm,平均含水率79.05%。

3.2 试验方案

试验中,调质齿辊的轴向及径向参数不变,上、下调质齿辊差速旋转,试验因素选取秸秆喂入速度、调质齿辊转速以及调质齿辊工作间隙三因素,每个因素取三水平进行正交试验,试验因素水平如表 1 所示。因调质齿辊差速作业,文中调质齿辊的转速为慢辊转速。试验指标为秸秆调质的宽展率、压下率及失水率,秸秆破节率为直观评定指标。

表 1 试验因素水平
Tab.1 Levels of test factors

水平	因素		
	秸秆喂入速度	调质齿辊转速	调质齿辊工作
	$A/\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$B/\text{r}\cdot\text{min}^{-1}$	间隙 C/mm
1	3	65	2
2	4	83	4
3	5	101	6

为了综合分析、评价各因素的优劣性,选择正交表 $L_9(3^4)$ 安排正交试验,其中安排第 4 列为空列。根据试验安排,试验前对每组参数组合取 10 根玉米秸秆,测量秸秆调质前径向宽度和厚度;试验时对每组参数组合的秸秆连续喂入,试验后测量调质后秸秆的径向宽度和厚度并剪切秸秆根部 400 mm 长的一段;分组置于室外晾晒 3 d 后,测量每组的含水率。同时随机选取 10 根未调质秸秆,剪切相同长度作为对照组,置于同一条件晾晒相同时间。试验指标宽展率和压下率由调质前、后秸秆径向尺寸按式(1)、(2)确定;试验指标失水率由调质前秸秆的含水率与调质后经自然晾晒 3 d 后秸秆的含水率按式(3)确定。分别采用极差法和方差分析法对单一指标进行了正交分析,由综合平衡法确定各因素的最佳水平^[6]。

3.3 试验结果与分析

3.3.1 宽展率、压下率及失水率试验结果

玉米秸秆调质处理的效果如图 3 所示,正交试验表以及对应的宽展率、压下率及失水率试验结果如表 2 所示;对照组试验后含水率 65.08%,失水率

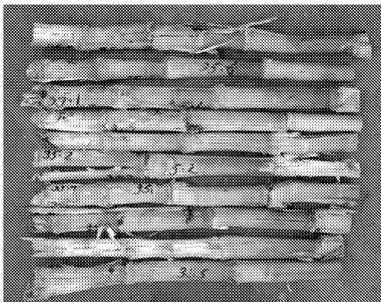


图 3 玉米秸秆调质效果

Fig.3 Adjusting material effect of corn straw

13.97%。

表 2 正交试验结果

Tab.2 Orthogonal test results

编号	A	B	C	D	宽展率	压下率	失水率
					$\delta_k/\%$	$\delta_y/\%$	$\delta_p/\%$
1	1	1	1	1	38.03	24.61	58.19
2	1	2	2	2	21.97	14.90	32.60
3	1	3	3	3	11.24	7.75	19.50
4	2	1	2	3	33.08	16.60	41.90
5	2	2	3	1	9.43	8.98	18.83
6	2	3	1	2	37.61	21.27	46.54
7	3	1	3	2	15.54	14.59	19.38
8	3	2	1	3	30.87	20.25	53.44
9	3	3	2	1	22.91	17.34	33.46

3.3.2 试验结果分析

(1) 宽展率

宽展率为指标的正交试验极差与方差如表 3、4 所示。试验结果表明,对于试验指标宽展率,秸秆喂入速度较优水平为 A_2 ,调质齿辊转速较优水平为 B_1 ,调质齿辊调质间隙较优水平 C_1 ,主次顺序为 C 、 B 、 A 。因素优化水平组合为 $C_1B_1A_2$,即调质齿辊间隙为 2 mm、调质齿辊转速为 65 r/min 和秸秆喂入速度为 4 km/h 时,秸秆调质效果好,试验因素对宽展率的影响如图 4 所示。

表 3 宽展率极差分析

Tab.3 Extreme analysis results of percentage spread

指标	A	B	C
k_1	23.75	28.88	41.46
k_2	26.71	20.76	35.50
k_3	23.11	23.92	12.07
R	3.60	8.13	23.43

表 4 宽展率方差分析

Tab.4 Variance analysis results of percentage spread

差异源	平方和	自由度	均方	F	临界值	显著性
A	22.1	2	11.05	4.33		
B	100.7	2	50.35	19.75	9	*
C	833.35	2	416.68	163.4		**
误差	5.10	2	2.55			
总和	961.25	8				

方差分析表明,对试验指标宽展率影响最显著的因素是调质齿辊的调质间隙,其次是调质齿辊转速,秸秆喂入速度影响不显著。

(2) 压下率

压下率为指标的正交试验极差与方差如表 5、6

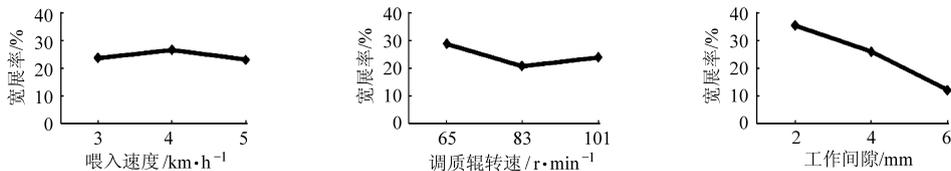


图4 试验因素与宽展率的关系

Fig.4 Relationship of each factor and percentage spread

表5 压下率极差分析

Tab.5 Extreme analysis results of reduction ratio

指标	A	B	C
k_1	15.75	18.60	22.04
k_2	15.61	14.71	16.28
k_3	17.39	15.45	10.44
R	1.78	3.89	11.60

表6 压下率的方差分析

Tab.6 Variance analysis results of reduction ratio

差异源	离差平方和	自由度	均方	F	临界值	显著性
A	5.87	2	2.93	0.68		
B	25.59	2	12.80	2.95	9	
C	201.84	2	100.92	23.30		**
误差	8.66	2	4.33			
总和	241.96	8				

所示。试验结果表明,对试验指标压下率,秸秆调质喂入速度较优水平为 A_3 , 调质齿辊转速较优水平为 B_1 , 调质齿辊工作间隙较优水平为 C_1 , 主次顺序为 C、B、A。因素优化水平组合为 $C_1B_1A_3$, 即调质齿辊工作间隙 2 mm, 调质辊转速 65 r/min, 喂入速度 5 km/h 时秸秆调质效果好, 试验因素对压下率的影

响如图 5 所示。

方差分析表明,对秸秆调质作业压下率的影响最显著因素是调质齿辊工作间隙,调质齿辊转速和秸秆喂入速度影响不显著。

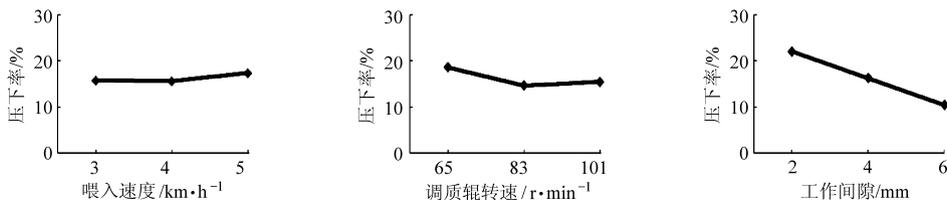


图5 试验因素与压下率的关系

Fig.5 Relationship of each factor and reduction ratio

(3) 失水率

失水率为指标的正交试验极差与方差如表 7、8 所示。试验结果表明,对试验指标失水率,秸秆调质喂入速度较优水平为 A_1 , 调质齿辊转速较优水平为 B_1 , 调质齿辊工作间隙较优水平为 C_1 , 主次顺序为 C、B、A。因素优化水平组合为 $C_1B_1A_1$, 即调质齿辊工作间隙为 2 mm, 调质辊转速为 65 r/min, 喂入速度为 3 km/h 时秸秆调质效果好, 此时, 经过晾晒 72 h 的秸秆含水率为 17.15% (失水率 58.19%) 达

表8 失水率的方差分析

Tab.8 Variance analysis results of drriage

差异源	平方和	自由度	均方	F	临界值	显著性
A	2.92	2	1.46	0.06		
B	71.24	2	35.62	1.50	9	
C	1 681.99	2	841.00	35.35		*
误差	47.59	2	23.79			
总和	1 803.74	8				

表7 失水率极差分析

Tab.7 Extreme analysis results of drriage

指标	A	B	C
k_1	36.77	39.82	52.72
k_2	35.76	34.96	35.99
k_3	35.43	33.17	19.24
R	1.34	6.66	33.49

到适宜打捆的含水率小于 20% 要求,而未调质处理秸秆经相同时间晾晒含水率高达 65.08%,表明调质处理能够显著加速秸秆水分蒸发过程,试验因素对失水率的影响如图 6 所示。

方差分析表明,对秸秆调质作业试验指标失水率影响最显著因素是调质齿辊工作间隙,调质齿辊转速和秸秆喂入速度影响均不显著。

根据调质装置对玉米秸秆裂皮、破节的调质农

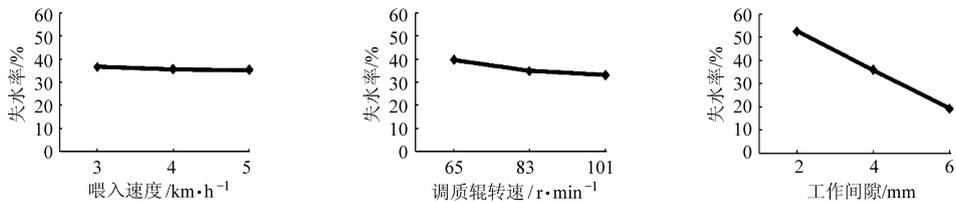


图6 试验因素与失水率的关系

Fig. 6 Relationship of the each factor and dryage

艺要求以及上述试验数据的分析表明,对玉米秸秆调质性能指标——宽展率、压下率和失水率影响最主要的因素是调质齿辊工作间隙,3个指标均以 C_1 为最好,调质齿辊转速对秸秆的上述3项指标均以 B_1 最好;秸秆喂入速度对秸秆的宽展率、压下率和失水率指标分别以 A_2 、 A_3 和 A_1 最好,但均不显著。

综合考虑生产率影响,得到调质齿辊工作间隙 2 mm,调质齿辊转速 65 r/min,秸秆喂入速度 4 km/h 时对秸秆调质处理使其裂皮、破节及快速干燥的效果最佳;此时,对应组合试验的破节率直观评定在 90% 左右。

4 结论

(1) 研制的螺旋齿辊秸秆调质试验装置,能够

综合考察影响调质性能的各种因素,差速作业实现对已摘穗玉米秸秆压裂、破节的调质处理。

(2) 试验表明,调质齿辊工作间隙对玉米秸秆裂皮、破节的调质性能影响最显著。

(3) 用宽展率、压下率及失水率等指标评价秸秆调质性能,最优组合为调质齿辊工作间隙 2 mm,调质齿辊转速 65 r/min,秸秆喂入速度 4 km/h。此时,秸秆裂皮、破节的调质效果最优,且加快失水速率,对应试验组合的秸秆破节率直接感官评定为 90% 左右,理论分析能够反映秸秆破皮、裂节的调质性能。

参 考 文 献

- 贺俊林,佟金. 我国玉米收获机械的现状及其发展[J]. 农机化研究,2006(2):29~31.
He Junlin, Tong Jin. Situation of corn-harvesting mechanization and suggestions for its developing in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(2):29~31. (in Chinese)
- 张道林,孙永进,赵洪光. 自走式穗茎兼收型玉米联合收获机的设计与试验[J]. 农业工程学报,2005,21(1):79~82.
Zhang Daolin, Sun Yongjin, Zhao Hongguang. Design and experiment of the self-propelled combine harvester for corn and stalk[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(1):79~82. (in Chinese)
- 陈志,韩增德,颜华,等. 不分行玉米收获机分禾器适应性试验[J]. 农业机械学报,2008,39(1):50~52.
Chen Zhi, Han Zengde, Yan Hua, et al. Orthogonal validation experiment on crop divider of corn-harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008, 39(1):50~52. (in Chinese)
- 丛宏斌,李汝莘,李洪江,等. 玉米收获机茎秆堆放装置设计[J]. 农业工程学报,2010,26(5):107~111.
Cong Hongbin, Li Ruxin, Li Hongjiang, et al. Design of stacking mechanism for corn straws on combine[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(5):107~111. (in Chinese)
- 姚利玲,刘师多,师清翔,等. 玉米秸秆调质装置的试验[J]. 河南科技大学学报:自然科学版,2010,31(1):74~76.
Yao Liling, Liu Shiduo, Shi Qingxiang, et al. Design and test on corn stalk conditioning equipment[J]. Journal of Henan University of Science & Technology: Natural Science, 2010, 31(1):74~76. (in Chinese)
- 袁志发,周静芋. 试验设计与分析[M]. 北京:高等教育出版社,2000:292~303.