

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.008

玉米切茬还田装置切断根茬影响因素试验*

官涛¹ 李其昫¹ 李亚娉² 张道林¹

(1. 山东理工大学农业工程与食品科学学院, 淄博 255049; 2. 山东大学化学与化工学院, 济南 250100)

摘要: 以切茬高度、切茬线速度和作业速度为因素, 切茬装置切割玉米根茬的切断效果为指标, 进行了三因素三水平正交试验, 并用 SPSS 进行试验数据分析。结果表明切茬装置切割玉米根茬的切割率在给定因素水平上的较优组合是: 切茬高度 15 mm, 切茬线速度 12.385 m/s, 前进速度 0.8 m/s。对切茬高度做了单因素试验, 用 Origin 进行数据拟合并绘图, 计算显示在固定切茬线速度为 12.385 m/s、前进速度为 0.8 m/s 下, 完成切茬作业的切茬高度最高值为 22 mm。

关键词: 玉米 切茬还田装置 正交试验 影响因素

中图分类号: S225.5⁺1 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2013)S2-0037-04

Experiment of Influencing Factors of Stubble Cutting in Corn Stubble Cutting and Returning Device

Gong Tao¹ Li Qiyun¹ Li Yaping² Zhang Daolin¹

(1. School of Agricultural and Food Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China

2. School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Ji'nan 250100, China)

Abstract: In order to study the cutting effects of corn stubble cutting and returning device, orthogonal experiment was conducted from three factors, including stubble cutting height, stubble cutting linear velocity and operating speed. Each factors performed three levels. The experimental data were analyzed in SPSS software. The results showed that the optimal operation combination was: stubble cutting height of 15 mm, stubble cutting linear velocity of 12.385 m/s and forward speed of 0.8 m/s in a given level. Single factor experiment was conducted on stubble cutting height. The drawing was plotted and the data was fitted by Origin software. The computation indicated the highest value of stubble cutting height for finishing stubble cutting work was 22 mm under fixed stubble cutting linear velocity of 12.385 m/s and forward speed of 0.8 m/s.

Key words: Corn Stubble cutting and returning device Orthogonal experiments Influencing factors

引言

秸秆还田技术越来越多的用于谷物收获机上, 其中用于玉米收获作业的玉米联合收获机在收获玉米的同时, 从只收获果穗发展到穗茎兼收, 在保护性耕作的大力倡导下^[1-2], 秸秆的还田作用逐渐地显

现出来, 据研究表明秸秆还田后土壤地力有不同程度的提高, 累计持续还田作业的土壤养分比不进行还田作业的土壤高。而且地表覆盖农作物秸秆也对作物起到了一定的保温保湿的作用, 有助于后续作物的生长和耕地的可持续利用^[3-4]。目前, 秸秆还田机主要的刀型是锤爪式, 它适用玉米、高粱和棉花

收稿日期: 2013-06-25 修回日期: 2013-07-20

* 公益性行业(农业)科研专项资助项目(200903059-0402)、山东省科技发展计划资助项目(2010GNC10965)、山东省自然科学基金专项资助项目(ZR2009DL012)和山东省自然科学基金资助项目(2010ZRE04018)

作者简介: 官涛, 硕士生, 主要从事收获机械设计研究, E-mail: 3230.love@163.com

通讯作者: 李其昫, 教授, 主要从事农业机械设计研究, E-mail: liqiyun@sdu.edu.cn

等强度较大的秸秆,但是其消耗动力较大^[5],横畦比较密、比较高的地方也不太适应。另一种是直刀式,直刀式的优点是粉碎效果较好,但缺点是割茬较高^[6]。本试验采用前切茬后切碎方式的玉米切茬还田装置,考察切茬装置从玉米秸秆根茬附近入切的切断效果,通过试验寻找较合理的因素水平组合以及良好条件下能够切断秸秆的最高切茬高度。

1 试验设备和原理

1.1 试验台

试验台的总体结构如图1所示,主要由切茬装置、切碎装置、电磁调速电动机、电磁调速电动机控制器、行走导向装置、匀速牵引器组成。电磁调速电动机是整个试验台的动力系统,电动机输出的动力通过链轮链条等传送给切茬装置和切碎装置,带动其中的刀具绕刀轴转动。试验台在匀速牵引器的牵引下向前行驶,当刀具触及根茬时实现切茬。电磁调速电动机控制器控制输入电动机的电流频率,来改变电动机的转速从而调节刀轴的转速以及切茬刀刃的切割线速度。电磁调速电动机控制器显示电动机反馈回来的瞬时转速,通过对照瞬时转速来调节控制器上的转速旋钮达到检测和调节电动机转速的目的。

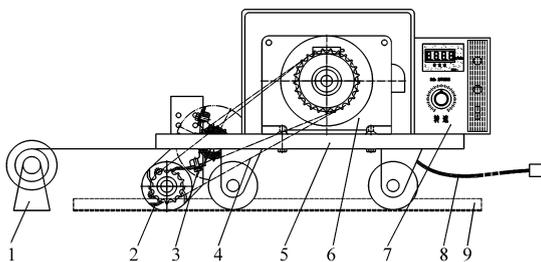


图1 试验台总体结构图

Fig.1 Overall structure of test bench

1. 匀速牵引器 2. 切茬装置 3. 切碎装置 4. 传动装置 5. 试验台底架 6. 电磁调速电动机 7. 电磁调速电动机控制器
8. 电源线及控制线 9. 行走导向装置

1.2 工作原理

玉米切茬还田装置主要包括切茬装置和切碎装置两大部分,其工作原理是:试验时,调整好电动机及刀轴转速,整机按一定前进速度向前行驶,当刀具触及直立的玉米秸秆根茬处时,在刀具向上切割作用下,将玉米秸秆从根茬处切断,并将整株玉米秸秆向后抛送至切碎装置中,切碎的碎秆撒到机具外,完成对玉米秸秆的切碎及还田作业^[7-9]。

2 试验设备与材料

2.1 测试仪与设备

FD-C1型固体类化工原料水分仪、电磁调速

电动机控制器、卡尺、试验台等。

2.2 试验材料

本试验采用黄淮海地区普遍种植的鲁单818,秸秆根茬处直径17~22 cm,种植区域为山东省淄博市张店区马尚镇大套村农场。经水分仪检测,秸秆断面处的含水率平均为2.7% (自然风干)。试验秸秆为随机挑选。

3 试验设计与结果分析

3.1 试验指标

本试验的试验指标是切割率 Y ,示意图见图2。计算公式为

$$Y = (D - a) / D \times 100\%$$

式中 D ——秸秆根茬处直径,mm

a ——残留厚度,mm

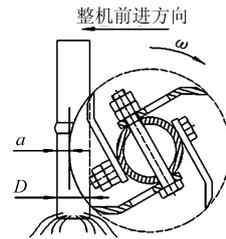


图2 切割率 Y 示意图

Fig.2 Sketch of knifing rate

3.2 正交试验

选择无空列的 $L_9(3^4)$ 正交表,对每组试验重复3次,表头设计和试验安排、试验方式及结果见表1。

表1 正交试验及结果

Tab.1 Orthogonal experiments and results

方案 编号	切茬高 度/mm	切茬线速度 /m·s ⁻¹	前进速度 /m·s ⁻¹	(D - a) / D		
				1	2	3
1	15	7.431	0.5	17/18	4/5	14/17
2	15	9.908	0.8	15/17	8/9	15/19
3	15	12.385	1.0	13/18	10/17	11/17
4	40	7.431	1.0	4/9	7/19	7/18
5	40	9.908	0.5	3/5	11/19	2/3
6	40	12.385	0.8	7/8	8/9	4/5
7	65	7.431	0.8	1/2	9/19	1/2
8	65	9.908	1.0	5/7	13/20	14/19
9	65	12.385	0.5	14/19	7/10	5/7

表中切茬线速度的计算公式为

$$v = \pi DNZ_2 / (60\,000Z_1)$$

式中: $D = 123$ mm, N 取 600、800、1 000 r/min, $Z_1 = 13$, $Z_2 = 25$ 。

用SPSS建立数据表集,数据格式:4列、27行。1个反应变量“ Y ”,3个分组变量:切茬高度(mm)、切茬线速度(m/s)和前进速度(m/s)。

操作过程如下^[10-11]：

(1) Analyze → General Linear Model → Univariate
…打开[Univariate]主对话框。

(2)将左边“切茬率”变量选入右边“Dependent Variable”，将左边“切茬高度 mm、切茬线速度 m/s、前进速度 m/s”选入右边“Fixed Factors”。

(3)选择[Model…]，打开[Univariate Model]子对话框，选择“Custom”将左边的“切茬高度 mm、切茬线速度 m/s、前进速度 m/s”逐项选入“Model”中，按[Continue]。

(4)选择[Post Hoc…]，在弹出的对话框中将左边“切茬高度 mm、切茬线速度 m/s、前进速度 m/s”逐项选入“Post Hoc Test for”中选择“Duncan” → [Continue]。

(5)单击[ok]完成。

对输出结果进行筛选、翻译并做数据分析。

从表 2 主体间因子分析表中看出各水平的自由度均为 9，符合 3 水平，重复 3 次的要求。说明 SPSS 格式数据表的建立是正确的。

表 2 主体间因子分析

Tab.2 Factor analysis of inter-subject

变量	数值	自由度
切茬高度/mm	15	9
	40	9
	65	9
切茬线速度/m·s ⁻¹	7.431	9
	9.908	9
	12.385	9
前进速度/m·s ⁻¹	0.5	9
	0.8	9
	1	9

SPSS 分析得出的误差方差等同性的 levene 检验中显示，组间自由度 df1 = 8，组内自由度 df2 = 18，sig(p 值) = 0.088。一共有 9 组试验，每组 3 次，所以 df1 = 9 - 1 = 8；共 27 次试验，所以 df2 = 27 - 9 = 18。由 F 检验显著性水平 sig(p 值) = 0.08 > 0.05，说明 SPSS 中默认的零假设成立，即所有组中因变量的误差方差均相等，没有显著差异。说明用 SPSS 对数据处理有意义。

从表 3 主体间效应的检验表中可以看出，因素切茬高度的 sig 值 0.000 1 < 0.05、切茬线速度的 sig 值 0.010 < 0.05，而前进速度的 sig 值 0.05 < 0.063 < 0.1，即切茬高度、切茬线速度对切茬率在 α = 0.05 水平上显著，前进速度在 α = 0.1 水平上显著。说明切茬高度、切茬线速度对切割率有显著的影响，前进速度对切割率也有比较显著的影响。

表 3 主体间效应的检验

Tab.3 Effect of inter-subject

来源	III 型平方和	df	均方	F	sig
校正模型	0.368	6	0.061	6.882	0.000 1
截距	13.290	1	13.290	1490.191	0.000 1
切茬高度/mm	0.207	2	0.103	11.589	0.000 1
切茬线速度/m·s ⁻¹	0.105	2	0.052	5.862	0.010
前进速度/m·s ⁻¹	0.057	2	0.028	3.194	0.063
误差	0.178	20	0.009		
总计	13.836	27			
校正总计	0.547	26			

由表 4 Duncan 多重比较可以判定因素水平的较优组合：切茬高度三水平差异显著且水平 15 mm 最好，切茬线速度三水平差异显著且 12.385 m/s 水平最好，前进速度由于一、二水平差异不大，考虑要提高作业效率，选取第二水平 0.8 m/s。即较优组合为：切茬高度 15 mm，切茬线速度 12.385 m/s，前进速度 0.8 m/s。

表 4 切割率 Duncan 分析

Tab.4 Duncan analysis of knifing rate

切茬高度 /mm	N	子集	
		1	2
65	9	0.624 520	
40	9	0.656 267	
15	9		0.823 957
sig		0.484	1
切茬线速度 /m·s ⁻¹	N	子集	
		1	2
7.431	9	0.620 951	
9.908	9	0.711 355	0.711 355
12.385	9		0.772 438
sig		0.056	0.185
前进速度 /m·s ⁻¹	N	子集	
		1	2
1	9	0.636 633	
0.8	9		0.733 143
0.5	9		0.734 968
sig		1	0.968

3.3 单因素试验

由正交试验可以看出切茬高度对切割率有显著影响，而切茬高度为刀具刀刃的最低工作高度，而此高度大于零时才能保证刀具工作时不切割土层，即不打土。因而试验要求在保证切割率达 100% 条件下，尽量提高切茬高度。保持其他因素处于优水平前提下寻找能完成切断秸秆的最高的切茬高度。为此对影响切割率比较显著的切茬高度做单因素试验。其中固定切茬线速度为 12.385 m/s，前进速度为 0.8 m/s。

试验数据及 Origin 拟合如表 5 和图 3 所示。

表 5 切茬高度 x 对切割率 y 的单因素试验数据
Tab. 5 Single factor experiment

x/mm	$y/\%$			$\bar{y}/\%$
	1	2	3	
15	100.000 0	100.000 0	100.000 0	100.000 0
25	100.000 0	95.000 0	98.000 0	97.666 7
40	87.500 0	88.888 9	80.000 0	85.463 0
50	74.257 4	77.464 8	73.737 4	75.153 2
65	73.684 2	70.000 0	71.428 6	71.704 3

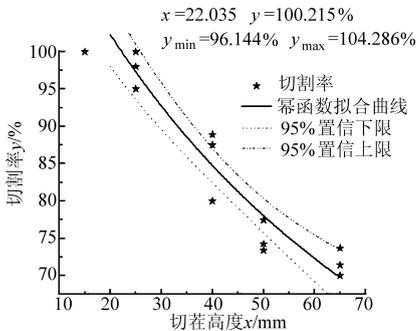


图 3 单因素试验数据散点图及拟合图

Fig. 3 Scatter diagram and fitting diagram of single factor experiment

拟合之前对数据进行预处理,高度为 15 mm 时,3 组 y 值均为 100%,此组数据是秸秆完全被切断的情况,对应的切割效果应超过 100%,由于无法具体表示只能用 100% 表示,故不应将其加入拟合

数据行列,将其作 mask 处理^[12],拟合时不将其考虑在内。而高度为 25 mm 时虽有数据 100% (完全切断)的情况,但另两组数据没有达到 100%,原因是接近切断的临界点。故保留该数据。将所有数据用 Origin 进行拟合,选择的函数的模型为幂指数(拟合程度高)。拟合的幂指数函数曲线为 $y = 10\,000/(77.4 + 1.014\,22x)$,由 Origin 分析后可得当 y 在 100% 附近时对应的 x 值为 22 mm。由于 $R^2 = 0.903\,26 > 0.902\,5$,拟合效果良好,可以相信 Origin 拟合及预测的结果^[12]。即在固定切茬线速度为 12.385 m/s,前进速度为 0.8 m/s 下,完成切茬作业的切茬高度的最高值为 22 mm。这也证实 25 mm 时,出现数据 100% 是合理的,处于临界值附近,证明了理论分析的正确性。

4 结论

(1)切茬装置切割玉米根茬的切割率在给定因素水平上的较优组合是:切茬高度 15 mm,切茬线速度 12.385 m/s,前进速度 0.8 m/s。

(2)切茬高度对切割率的单因素试验显示固定切茬线速度为 12.385 m/s,前进速度为 0.8 m/s 下,拟合的幂指数函数曲线为 $y = 10\,000/(77.4 + 1.014\,22x)$,完成切茬作业的切茬高度的最高值为 22 mm。实际生产工作时,由于地表并不平整,切茬刀下方应加仿形装置避免刀具打土。

参 考 文 献

- 高焕文,李洪文,李问盈. 保护性耕作的发展[J]. 农业机械学报, 2008,39(9):43~48.
Gao Huanwen, Li Hongwen, Li Wenying. Development of conservation tillage [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(9):43~48. (in Chinese)
- 李其昫,贾晓东. 保护性耕作技术现状与发展趋势[J]. 农机化研究, 2006(11):224.
- 孙星,刘勤,王德建,等. 长期秸秆还田对剖面土壤肥力质量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2008,16(3):587~592.
Sun Xing, Liu Qin, Wang Dejian, et al. Effect of long-term application of straw on soil fertility [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2008, 16(3): 587~592. (in Chinese)
- Gaunt J L, Neue H U, Cassman K G, et al. Microbial biomass and organic matter turnover in wetland rice soils [J]. Biology and Fertility of Soils, 1995,19(4):333~342.
- 吴子岳,高焕文,张晋国. 玉米秸秆切断速度和切断功耗的试验研究[J]. 农业机械学报, 2001,32(2):38~41.
Wu Ziyue, Gao Huanwen, Zhang Jinguo. Study on cutting velocity and power requirement in a maize stalk chopping process [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001,32(2):38~41. (in Chinese)
- 薛玉霞. 秸秆还田机的选用[J]. 现代农机, 2012(1):48.
- 魏元振,李其昫,曹树红,等. 玉米植株受切运动规律试验分析[J]. 农业机械学报, 2012,43(增刊):116~119,145.
Wei Yuanzhen, Li Qiyun, Cao Shuhong, et al. Experiment on motion law of being cutted maize stalk [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012,43(Supp.):116~119,145. (in Chinese)
- 李其昫,任延昭,张道林,等. 悬挂式玉米联合收获机挂接件标准化问题研究[J]. 农机化研究, 2012(5):30~33.
- 任延昭,李其昫,宫涛,等. 玉米茎秆在立式切碎装置中切后运动规律的试验分析[J]. 农机化研究, 2013(1):164~168.
- 刘小虎. SPSS 12.0 for windows 在农业试验统计中的应用[M]. 沈阳:东北大学出版社, 2007:90~94.
- 王颖. 试验设计与 SPSS 应用[M]. 北京:化学工业出版社, 2006:168~180.
- 肖信. Origin 8.0 实用教程—科技作图与数据分析[M]. 北京:中国电力出版社, 2009:68~82.
- Atchison J E, Hettenhaus J R. Innovative methods for corn stover collecting, handling storing and transporting [R]. NREL/SR-510-33893, 2004.