

苜蓿草压扁试验台设计与试验*

赵建柱 郭海林 王枫辰 张筱青 王一如 黄韶炯

(中国农业大学工学院, 北京 100083)

摘要: 进行苜蓿草压扁试验台的研制,以获取苜蓿草最佳压扁效果参数。结合苜蓿草压扁效果的影响因素:压料间隙、苜蓿草田间长势、刈割压扁机作业行驶速度、压料辊转速以及预紧机构初始预紧力,进行了压扁装置、驱动装置、间隙调节机构及数据采集系统的设计。利用试验台改变压料间隙、苜蓿草喂入量、喂入速度及压料辊转速等,可对苜蓿草的压扁效果进行多因素正交试验。试验结果表明:压料辊压力变化具有一定规律,试验台可以有效模拟真机工况。各影响因素中,喂入量对压扁后粗蛋白质质量分数的影响最大,其次分别为压料间隙、喂入速度和压料辊转速。

关键词: 苜蓿草 压扁试验台 设计 试验

中图分类号: S223.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)S0-0119-05

引言

苜蓿草因其产量高、适应性强、草质优良、营养丰富、适口性好、易于家畜消化等特点,作为优势牧草被广泛种植^[1]。作为干饲料存储时,苜蓿草在刈割后应立刻进行一定程度的压扁^[2-3],目的是尽可能保证苜蓿草茎、叶干燥速度一致,减少因叶子脱落而造成营养成分的损失^[4]。因此,压扁装置在苜蓿草刈割压扁机械中,起着举足轻重的作用。为有效减少苜蓿草压扁干燥过程中的营养损失,需研究各因素对压扁效果的影响^[5]。

本文分析影响苜蓿草压扁效果各因素,并进行苜蓿草压扁试验台的设计,在试验台上模拟真机调节各影响因素参数进行测试试验。

1 苜蓿草压扁影响因素及调节方法

1.1 影响因素

影响苜蓿草压扁效果的因素主要有:压料间隙、预紧机构初始预紧力、苜蓿草田间长势、刈割压扁机作业行驶速度及压扁辊转速等^[6-13]。其中前2项为结构参数,后3项为工作参数。

1.1.1 结构参数

(1) 压料间隙

如图1所示,压料间隙,即上下压扁辊中心连线上,一压料辊凹槽到另一压料辊凸台之间距离 H 。

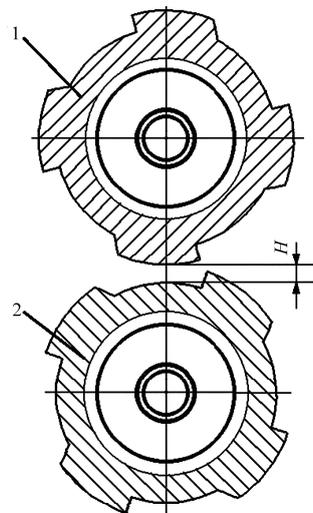


图1 压料间隙示意图

Fig.1 Gap of rubber roller

1. 上压扁辊 2. 下压扁辊

(2) 预紧机构初始预紧力

图2为现有苜蓿草压扁装置预紧机构,该机构能够防止在苜蓿草压扁过程中,因进料量突然增加而使压扁机构卡死而无法继续工作的情况。弹簧上端与固定板接触,固定板与侧板固定连接。弹簧下端与滑动板接触,压料辊通过轴承与滑动板连接。

将滑动板与上压料辊视为一整体,即滑动机构,其受力简图如图3所示,图中 k 表示弹簧刚度, Δx 表示弹簧变形量。

由图3可知,要使 Δx 发生改变, P 必须先克服

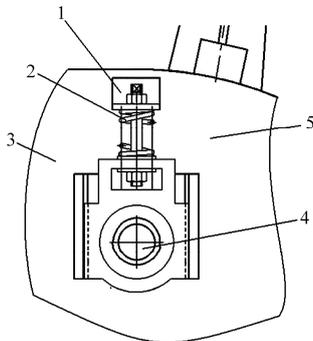


图2 现有压扁机械预紧机构

Fig. 2 Pre-tightening structure of flattening machine

1. 固定板 2. 弹簧 3. 滑动板 4. 压料辊轴 5. 侧板

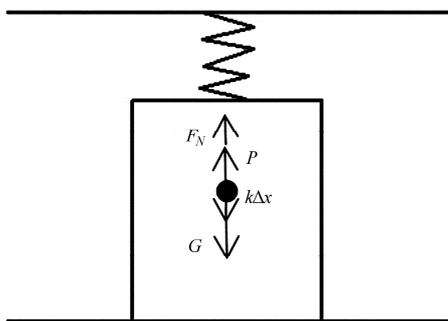


图3 滑动机构受力简图

Fig. 3 Force diagram of slide structure

预紧机构初始预紧力以及滑动机构的重力。初始预紧力的大小,会影响压料辊对苜蓿草积压情况。

1.1.2 工作参数

(1) 喂入量

试验台用喂入量来模拟苜蓿草田间长势,即均匀平铺在单位面积输送带上的苜蓿草质量。

(2) 输送带喂入速度

试验台用输送带喂入速度来模拟刈割压扁机作业行驶速度。

(3) 压料辊转速

查《农业机械设计手册》,压料辊圆周线速度与机器最大前进速度的比值大于3时,才能保证饲草顺利通过压料辊而不致堵塞和堆积。

1.2 影响因素调节方法

压料间隙通过改变上下压料辊中心距离来调节;试验台上需要测试压扁所需压力,在压扁试验过程中压料间隙为定值,因此使用一个刚度足够大的螺纹杆来替代弹簧;苜蓿草田间长势用喂入量模拟调节;刈割压扁机作业行驶速度用苜蓿草喂料机构输送带送料速度模拟调节;压料辊转速,使用变频电动机作为动力源,实现对压料辊转速的调节。

2 试验台设计

试验台总体结构如图4所示,主要由机架、中间传动机构、滑动板、螺纹顶杆、压力传感器、螺纹压

杆、上下压料辊、转矩转速传感器、数据采集卡、变频电动机、变频器、输送带等组成。

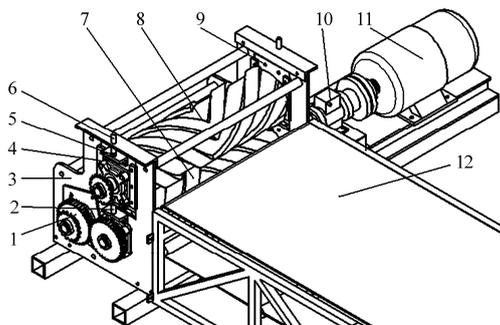


图4 苜蓿草压扁试验台结构示意图

Fig. 4 Structure of alfalfa flattening test bench

1. 中间传动机构 2. 螺纹顶杆 3. 左侧板 4. 左侧滑动板 5. 压力传感器 6. 螺纹压杆 7. 下压料辊 8. 上压料辊 9. 右侧滑动板 10. 转矩转速传感器 11. 变频电动机 12. 喂料机构

2.1 压料间隙调节系统

试验台下压料辊固定不动,通过调节上压料辊位置来实现压料间隙的调节,如图5所示。

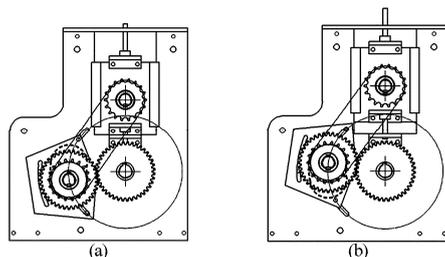


图5 压料间隙调节机构工作示意图

Fig. 5 Functional diagram of regulating structure

(a) 压料辊间隙最小 (b) 压料辊间隙增大

中间传动机构包括齿轮、链条等,左侧板加工有相对应的导槽。通过螺栓连接并调节中间传动机构位置,使其绕下压料辊轴旋转,作用如下:将下压料辊的动力传递给上压料辊;改变上、下压料辊的旋向;当上压料辊位置改变时,通过调节中间传动机构的位置,从而保证两链轮的中心距不变。

如图5a所示,当中间传动机构位于最下端时,滑动板也位于最下端,此时,两压料辊之间的间隙为最小值。当旋转螺纹压杆和螺纹顶杆向上时,滑动板带动上压料辊向上移动,压料间隙增大,如图5b所示,同时调节中间传动机构位置,保证两链轮中心距不变。

2.2 喂料机构

刈割压扁机在田间作业时,保持一定速度行驶,由切割器切割并带动苜蓿草进入两压料辊之间,实现压扁作业。试验中所用喂入量及喂入速度均由实际收割情况反算所得。使用变频电动机控制输送带线速度,其值在0~15 km/h之间无级调节,输送带有效长度5 m,宽度0.5 m。

2.3 数据采集系统

试验台数据采集系统主要由压力传感器、转矩转速传感器、数据采集卡、PC 机等组成。使用 LabWindows/CVI 交互式开发平台^[14],对苜蓿草压扁过程中各传感器的数据进行实时采集和储存。为有效测得在压料间隙不变情况下,预紧机构施加的初始预紧力及其在压扁苜蓿草过程中的变化情况,使用螺纹压杆替代弹簧。将螺纹压杆与压力传感器相连,并用来限制其位移,左右各有 1 个压力传感器,压力传感器所测力为苜蓿草压扁过程中螺纹压杆所受的瞬态力。安装简图如图 6 所示。

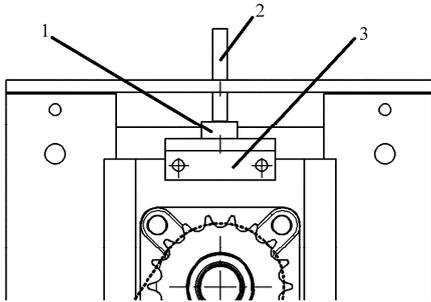


图 6 压力传感器安装示意图

Fig. 6 Position of pressure sensor

1. 压力传感器 2. 压力传感器压杆 3. 压力传感器安装台

3 测试试验及结果

3.1 正交试验

2013 年 9 月,在河北张家口市河北北方学院的试验台上进行了苜蓿草压扁测试试验。对压扁自然晾干后的苜蓿草进行取样分析,并测其粗蛋白质质量分数。利用正交试验法^[15],得出各影响因素对压扁后苜蓿草粗蛋白质的影响。表 1 为四因素三水平表。

表 1 正交试验因素水平
Tab. 1 Orthogonal factor level

水平	因素			
	压料辊间隙 A/mm	喂入量 B /kg	喂入速度 C/ (km·h ⁻¹)	压料辊转速 D/(r·min ⁻¹)
1	2	1.5	2.0	400
2	4	2.0	3.0	600
3	6	3.0	4.0	800

在试验台进行正交试验的过程中,数据采集系统对相关数据进行了采集并实时记录。

表 2 为部分传感器数据所对应的压扁条件。表中 a、b、c、d 表示压料辊间隙、喂入量、喂入速度、压料辊转速的水平值。

3.2 试验结果

试验时,在压料辊转动前,通过螺纹压杆施加给

压力传感器一个初始预紧力,压料辊转速稳定时,初始预紧力趋于稳定。启动输送带电动机,输送机构开始工作,记录此过程中压力传感器 F1、F2 数据及压料辊转速,如图 7~9 所示。为了方便区分各条曲线,图中传感器 F2 数值均乘以 -1。

表 2 传感器数据所对应的压扁条件

Tab. 2 Condition of sensor data

编号	因素			
	a	b	c	d
1	1	3	3	3
2	2	1	2	3
3	3	2	1	3

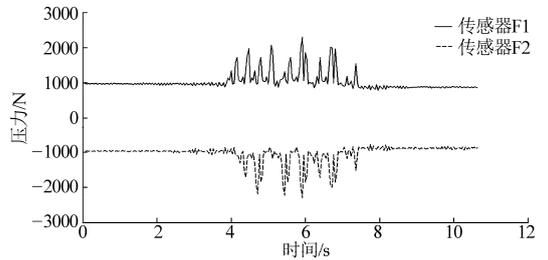


图 7 编号 1 条件下所对应的传感器数据

Fig. 7 Sensor data of No. 1

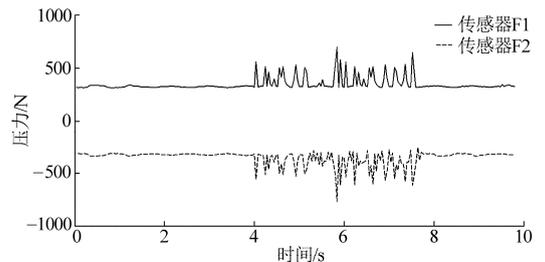


图 8 编号 2 条件下所对应的传感器数据

Fig. 8 Sensor data of No. 2

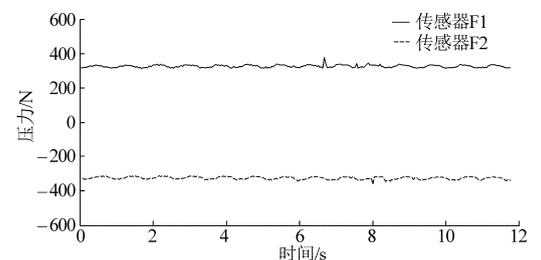


图 9 编号 3 条件下所对应的传感器数据

Fig. 9 Sensor data of No. 3

图 7 所示,初始预紧力为 1 000 N,在小间隙、大进料量情况下,压力传感器测得数值变化最大,约为 1 200 N;图 8 中,初始预紧力为 300 N,此压扁条件下,压力值变化约为 400 N;图 9 中,由于是大间隙、小进料量,压力传感器数据几乎没有变化。

表 3 为正交试验法各序号所对应的粗蛋白质质量分数及正交直观分析法所得结果。

由表 3 可知,喂入量的极差值最大为 1.71,压

料间隙次之,之后是喂入速度和压料辊转速,由此可得影响苜蓿草压扁后粗蛋白质质量分数的各因素影响由大到小分别为:喂入量、压料间隙、喂入速度、压料辊转速。

测试过程中,整机参数如表4所示。

表3 试验结果分析

Tab.3 Direct-viewing analysis of result

试验序号	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	粗蛋白质质量分数/%
1	1	1	1	1	26.73
2	1	2	2	2	27.13
3	1	3	3	3	26.05
4	2	1	2	3	25.41
5	2	2	3	1	26.89
6	2	3	1	2	25.09
7	3	1	3	2	25.49
8	3	2	1	3	27.34
9	3	3	2	1	25.08
K_1	79.91	77.63	79.16	78.70	
K_2	77.39	81.36	77.62	77.71	
K_3	77.91	76.22	78.43	78.80	
k_1	26.64	25.88	26.39	26.23	
k_2	25.80	27.12	25.87	25.90	
k_3	25.97	25.41	26.14	26.27	
极差 <i>R</i>	0.84	1.71	0.52	0.37	
因素主次			<i>B</i> 、 <i>A</i> 、 <i>C</i> 、 <i>D</i>		

表4 整机参数

Tab.4 Performance parameters of test bench

参数	数值
上、下压料间隙/mm	2~6
压料辊转速/($r \cdot \min^{-1}$)	0~1200
输送带线速度/($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	0~15
输送带长度/m	5
输送带宽度/m	0.5
压料辊变频电动机功率/kW	7.5
输送带变频电动机功率/kW	2.5
压力传感器测量范围/N	0~3000
转矩传感器测量范围/($\text{N} \cdot \text{m}$)	500
数据采集频率/Hz	20
数据采集通道数/个	4

4 结论

(1)该试验装置能对影响苜蓿草压扁效果的因素:压料间隙和压料辊转速便捷地进行调整;对苜蓿草田间长势和刈割压扁机作业行驶速度较真实地模拟;对工作过程的转矩、转速和压力,可实时采集、显示和存储。

(2)进行了单因素及多因素组合试验,为真机的设计以及苜蓿草的刈割压扁作业提供数据支持。

(3)对试验数据的正交直观分析结果可知,影响压扁后苜蓿草粗蛋白质质量分数的各因素中,喂入量影响最大,极值为1.71,其次为压料间隙、喂入速度及压料辊转速。

参 考 文 献

- 张春梅,王成章,胡喜峰,等.紫花苜蓿的营养价值及应用研究进展[J].中国饲料,2005(1):15-17.
- 周晓杰,王春光.压缩条件对苜蓿草径向受力的影响[J].农业机械学报,2009,40(2):115-118.
Zhou Xiaojie, Wang Chunguang. Effect of compressing conditions on radial force of alfalfa [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(2):115-118. (in Chinese)
- 汪春,车刚,李玉清.干燥过程对紫花苜蓿粗蛋白含量影响规律的试验研究[J].农业工程学报,2006,22(9):225-228.
Wang Chun, Che Gang, Li Yuqing. Experimental study on effect of drying process on crude protein content of alfalfa [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(9):225-228. (in Chinese)
- 李树,童莉葛,王立.减少苜蓿茎和叶干燥速率差异的实验研究[J].北京科技大学学报,2006,28(4):383-387.
Li Shu, Tong Lige, Wang Li. Experimental research on decreasing the drying rate differences between stems and leaves of the alfalfa [J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 2006, 28(4):383-387. (in Chinese)
- 郭江泽,王成章,严学兵,等.压扁处理对苜蓿水分散失的影响[J].草业科学,2009,26(6):106-109.
Guo Jiangze, Wang Chengzhang, Yan Xuebing, et al. Effect crushing treatment on moisture loss of alfalfa [J]. Pratacultural Science, 2009, 26(6):106-109. (in Chinese)
- 王秀领,闫旭东,徐玉鹏,等.影响苜蓿干草中蛋白质含量的因素研究[J].草业科学,2008,25(3):47-50.
Wang Xiuling, Yan Xudong, Xu Yupeng, et al. Preliminary study on the factors affecting the protein contents of alfalfa hay [J]. Pratacultural Science, 2008, 25(3):47-50. (in Chinese)
- Zheng Xianzhe, Jiang Yiyuan, Pan Zhongli. Drying and quality characteristics of different components of alfalfa [J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(2):97-101.
- Krishona Martinson, Hans Jung, Marcia Hathaway, et al. The effect of soaking on carbohydrate removal and dry matter loss in orchardgrass and alfalfa hays [J]. Journal of Equine Veterinary Science, 2012, 32(6):332-338.
- 周卫东,黄新,王亚琴,等.不同处理方法对自然晒制苜蓿干草的影响[J].草业科学,2006,23(2):43-46.
- 王常慧,杨建强,董宽虎,等.不同刈割方式对苜蓿草粉营养价值的影响研究[J].中国生态农业学报,2004,12(3):140-142.
Wang Changhui, Yang Jianqiang, Dong Kuanhu, et al. Effects of different cutting ways on the nutritive value of alfalfa meal [J].

Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2004, 12(3):140-142. (in Chinese)

- 11 李爱平, 汪春. 苜蓿段长度对干燥速度与悬浮速度影响的试验[J]. 农业机械学报, 2006, 37(8):168-170.
Li Aiping, Wang Chun. Experimental study on the effect of alfalfa's length on drying and floating velocity [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8):168-170. (in Chinese)
- 12 高彩霞, 王培. 收获期和干燥方法对苜蓿干草质量的影响[J]. 草地学报, 1997, 5(2):113-116.
Gao Caixia, Wang Pei. Effect of various harvest time and drying methods on nutritive of alfalfa hay [J]. Acta Agrestia Sinica, 1997, 5(2):113-116. (in Chinese)
- 13 王荫坡. 中国畜牧业机械化[M]. 北京:农业出版社, 1988.
- 14 章小梅, 姜茂仁, 郑海波. 基于 LabWindows/CVI 平台数字信号处理实验软件的研制[J]. 仪器仪表学报, 2001, 22(4):20-22.
Zhang Xiaomei, Jiang Maoren, Zheng Haibo. Development of test software for digital signal processing based on the LabWindows/CVI platform [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2001, 22(4):20-22. (in Chinese)
- 15 李云雁, 胡传荣. 试验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.

Design and Test of Alfalfa Flattening Test Bench

Zhao Jianzhu Guo Hailin Wang Fengchen Zhang Xiaoqing Wang Yiru Huang Shaojiong
(College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: To acquire better flattening performance of the alfalfa cutting and flattening machine, a kind of test bench was proposed. According to alfalfa flattening impact factors, including flattening gap and velocity, alfalfa growth, machine walking velocity and so on, the flattening device, drive system and data acquisition system have been designed. The multi-factors orthogonal test for alfalfa flattening was executed by changing the flattening roll gap, flattening roll rotational speed and feeding rate on test bench. The results of validity test showed that the pressure values between flattening rolls showed a regular change, and the most significant impact factor of the nutrient content of alfalfa is the spreading quantity, followed by the roll gap, feeding rate and roll rotational speed. This alfalfa flattening test bench can simulate the actual operation effectively, and provide the guidance of alfalfa cutting and flattening machine design.

Key words: Alfalfa Flattening test bench Impact factors Data acquisition