

单轴卧式全混日粮混合机加工性能试验研究

刘江涛¹, 张志杰²

(1 仲恺农业工程学院 机电工程学院, 广东 广州 510225; 2 黑龙江九三油脂集团公司, 黑龙江 哈尔滨 150090)

【摘要】【目的】优化自行设计的单轴卧式全混日粮混合机的结构与运动参数, 为单轴卧式全混日粮混合机的研究提供参考。【方法】采用三因素二次回归正交旋转组合试验设计, 以物料长度及混合均匀度分别作为评价指标, 对剪切刀数量、转子转速、加工时间、含水率等试验因素进行优化。【结果】优化的单轴卧式全混日粮混合机参数的合理组合: 剪切刀数量为 12 个, 转子转速为 60~70 r/min, 混合时间为 6~9 min, 全混合日粮含水率为 35%。【结论】说明单轴卧式全混日粮混合机适用于全混合日粮的搅拌混合加工。

【关键词】 单轴卧式全混日粮混合机; 剪切性能; 混合性能; 加工工艺参数

【中图分类号】 S817.12⁺4

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)07-0218-05

Study on characteristics of the single-shaft horizontal total mixed ration mixer

LIU Jiang-tao¹, ZHANG Zhi-jie²

(1 College of Mechanical & Electrical Engineering, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou, Guangdong 510225, China; 2 Heilongjiang 93 Fat Company, Harbin, Heilongjiang 150090, China)

Abstract: 【Objective】The main structure of the single-shaft horizontal TMR mixer was discussed in the paper, and the cutting characteristics and mixing characteristics of the single-shaft horizontal TMR mixer were studied separately in the experiment. 【Method】For optimization parameters in structure and motion, the experimental method of the three-factor quadratics rotary orthogonal combination was adopted, and two evaluation indexes (mixing homogeneity, material length) were applied separately in the experiment. By the experiment, the reasonal parameters in structure and motion were obtained. 【Result】The set of parameters recommended is: cutting-blade quantity 12 pieces, rotational speed 60—70 r/min for the rotor, processing duration 6—9 min, moisture content of ration 35%. 【Conclusion】Single-shaft horizontal TMR mixer can mix total mixed ration.

Key words: single-shaft horizontal total mixed ration mixer; cutting characteristic; mixing characteristic; processing parameter

在反刍动物饲养中, 我国仍普遍采用精粗分饲的传统饲养方式, 使生产性能受到影响, 生产潜力得不到发挥, 也难以应用现代营养学原理配制日粮进行集约化饲养管理。为克服精粗分饲这种传统饲喂方法的不足, 国外许多牧场在奶牛等反刍动物饲养中纷纷采用全混日粮(Total Mixed Ration, TMR)

饲养技术。而全混日粮饲养技术应用的关键支撑技术是 TMR 混合机的开发与应用, 在这方面, 国外已进行了几十年研究, 目前已有 20 多家公司研制出多种型号的 TMR 混合机^[1-2], 满足了牧场饲养管理的需要。

我国在反刍动物 TMR 混合机的研制方面还处

* [收稿日期] 2008-11-04

[基金项目] 2006 年粤港关键领域重点突破招标项目(20060103-3)

[作者简介] 刘江涛(1975—), 男, 陕西合阳人, 讲师, 在读博士, 主要从事农产品加工机械与食品加工机械研究。

于发展阶段^[1,3]。针对我国畜牧业的实际需要^[4-9]及 TMR 混合机研究的现状,本文对自行设计的单轴卧式 TMR 混合机的剪切与混合性能进行了试验研究,以期为单轴卧式全混日粮混合机的研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验设备

本研究自行设计的 TMR 混合机采用单轴的类型,该机主要由转子和混合机壳体组成,其示意图如图 1 所示,其外型尺寸为 1 600 mm×1 000 mm×1 100 mm。

转子是单轴卧式 TMR 混合机的重要部件,设计转子时,考虑到 TMR 混合机最主要的搅拌混合功能,在转子上按正反螺旋线方向安装有内叶板和外叶板。内叶板和外叶板等间距对称布置在转子

上,相邻内叶板之间或外叶板之间的相位角为 120°,当对称的内叶板和外叶板处于垂直位置时其水平投影为同向(两端叶板除外),但内叶板表面顺着正螺旋线方向布置,外叶板表面与反螺旋线方向成一锐角布置。为实现在搅拌混合的同时完成对全混日粮中粗饲料的进一步剪切加工,在外叶板上安装有剪切刀(每个外叶板上可安装 2 个,总共可安装 24 个),并在混合机壳体底部安装有 2 排支持剪切的定刀,其中剪切刀刃口厚 0.2 mm、定刀高 16 mm、动定刀间隙 1 mm、刃口重叠 10 mm;为强化对全混日粮中粗饲料的加工,在内叶板上安装有锯齿形揉搓刀(每个内叶板上安装 1 个,总共安装 12 个),实现在搅拌混合的同时辅助完成对全混日粮中粗饲料的揉搓加工。为实现物料在混合室内的平衡运动,内叶板设置较宽而外叶板设置较窄,转子两端的内叶板和外叶板皆向混合室中部回推物料。

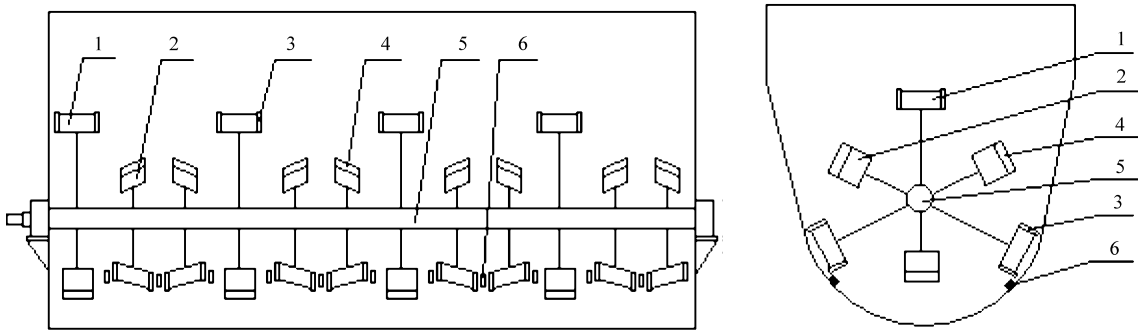


图 1 单轴卧式全混日粮混合机结构示意图

1. 外叶板;2. 内叶板;3. 剪切刀;4. 揉搓刀;5. 转子轴;6. 定刀

Fig. 1 Scheme of the TMR mixer

1. Outside paddle;2. Inside paddle;3. Cutting blade;4. Rubbing blade;5. Rotor shaft;6. Fixing blade

1.2 剪切性能及混合效果试验

本研究对单轴卧式 TMR 混合机的主要性能剪切与搅拌混合性能分别进行了研究,其中长秆剪切试验是为了试验该机对细长秆类粗饲料(如牧草及稻秆等农作物)进行剪切加工的可行性,混合试验是为了试验该机通过细剪切、揉搓、搅拌作用而能达到的混合效果。

1.2.1 试验材料 长秆剪切性能试验采用平均长度为 650 mm、含水率为 8.7% 的干稻秆,添加量为 30 kg;短秆剪切性能试验采用平均长度为 45 mm 的短稻秆,添加量为 30 kg(以含水率 8.7% 的干稻秆计);混合性能试验采用短稻秆、玉米秸秆、麸子、玉米面和食盐作为试验原料,添加量为 100 kg(粗精料质量比为 4 : 6)。

1.2.2 试验方法 本研究采用三因素二次回归正交旋转组合试验设计。

(1)剪切加工试验安排。根据本混合机具的设计思想及预备试验,在长稻秆剪切性能试验中,确定以剪切刀数量(按先两侧后中间且切刀在叶板上均分原则增减)、剪切时间、转子转速为试验因素,以稻秆剪切后的平均长度 Y_1 (mm) 为考核指标,因素水平编码表如表 1 所示。

在短稻秆剪切性能试验中,依据以上稻秆剪切试验结果及稻秆已较短的情况,确定短稻秆剪切性能试验的剪切刀数量为 12 个(每个外叶板安装 1 个),并确定以转子转速、剪切时间、稻秆含水率为试验因素,以稻秆剪切后的平均长度 Y_2 (mm) 为考核指标,确定因素水平编码表如表 2 所示。

表 1 长稻秆剪切性能试验因素水平编码表
Table 1 Experimental variables & levels

水平 Level	因素 Factor		
	剪切刀数量(X_1) No of cutting blade	剪切时间(X_2)/min Cutting duration	转子转速(X_3)/(r·min ⁻¹) Rotation of rotor
−1.682	8	4	60
−1	11	7	72
0	16	11	90
1	21	15	108
1.682	24	18	120

表 2 短稻秆剪切性能试验因素水平编码表
Table 2 Experimental variables & levels

水平 Level	因素 Factor		
	转子转速(X_1)/(r·min ⁻¹) Rotation of rotor	剪切时间(X_2)/min Cutting duration	稻秆含水率(X_3)/% Moisture content
−1.682	55	4	10
−1	67	6	20
0	85	9	35
1	103	12	50
1.682	115	14	60

(2)混合加工试验安排。在本研究中剪切刀数量确定为 12 个(每个外叶板安装 1 个)。根据稻秆剪切试验及混合加工预备试验,确定转子转速、混合时间、日粮含水率为试验因素,以变异系数 Y_3 (%)为混合均匀度的考核指标进行试验,因素水平编码表如表 3 所示。

表 3 混合加工试验因素水平编码表
Table 3 Experimental variables & levels

水平 Level	因素 Factor		
	转子转速(X_1)/(r·min ⁻¹) Rotation of rotor	混合时间(X_2)/min Mixing duration	日粮含水率(X_3)/% Moisture content
−1.682	45	4	10
−1	55	6.5	20
0	70	10	35
1	85	13.5	50
1.682	95	16	60

1.3 质量评价指标

根据有关资料,本研究选定物料长度^[10-13]作为 TMR 混合机剪切性能的评价指标,选定混合均匀度^[14-15]作为 TMR 混合机搅拌混合性能的评价指标。

1.3.1 稻秆平均长度指标的测定 取出 50 g 稻秆样品,检出稻秆茎梗,按其长度归为 0~10,10~20,20~30,30~40,50~60 mm 和大于 60 mm 共 6 档,用每档数据的中值(大于 60 mm 档,中值取 60 mm)乘以该档中的稻秆茎梗个数并进行累加,再除以稻秆茎梗总数,即得稻秆平均长度。对全混日粮,稻秆平均长度满足 20~40 mm 较为适宜。

1.3.2 混合均匀度指标的测定 本研究日粮混合均匀度选用变异系数进行评价,并用绿豆作为示踪物。对全混合日粮,变异系数小于 10%时认为混合质量较好,变异系数小于 20%时混合质量可以接受。变异系数的计算公式为:

$$CV=\frac{S}{\bar{X}}\times 100\%。$$

式中:CV 为样品的变异系数,S 为样品中绿豆含量的标准差, $\bar{X}$ 为样品中绿豆含量的平均值。

2 结果与分析

本研究的试验结果如表 4 所示。

2.1 剪切加工性能的分析

2.1.1 单因素对稻秆平均长度的影响 在长稻秆剪切性能试验中,将另外 2 个因素确定为零水平,研究另一因素变化对稻秆平均长度的影响,结果见图 2。由图 2 可见,随剪切刀数量、剪切时间、转子转速水平值的增加,稻秆平均长度也几乎呈相同的趋势下降。因此,各试验因素取较高水平值均有利于长稻秆的剪切加工。

由图 3 可见,在短稻秆剪切性能试验中,随剪切时间、转子转速水平值的增加,稻秆平均长度几乎呈

相同的趋势下降;而随稻秆含水率水平值的增加,稻秆平均长度呈上升趋势。因此,剪切时间、转子转速取较高水平值,稻秆含水率取较低水平值有利于稻秆的细剪切加工。

表 4 剪切性能及混合效果试验方案及结果

Table 4 Experimental plan & results

序号 No.	X_1	X_2	X_3	物料长度 Y_1 /mm Material length	物料长度 Y_2 /mm Material length	变异系数 Y_3 /％ Deviation coefficient
1	1	1	1	30.7	13.5	21.2
2	1	1	-1	38.6	10.2	21.7
3	1	-1	1	41.9	22.2	19.8
4	1	-1	-1	65.9	16.1	20.0
5	-1	1	1	49.1	24.9	28.1
6	-1	1	-1	65.6	22.4	33.2
7	-1	-1	1	67.3	32.6	29.3
8	-1	-1	-1	106.8	27.3	28.2
9	1.682	0	0	35.4	18.7	30.7
10	-1.682	0	0	74.9	37.9	29.3
11	0	1.682	0	35.4	21.9	30.7
12	0	-1.682	0	66.8	36.4	21.5
13	0	0	1.682	31.6	35.7	31.4
14	0	0	-1.682	67.9	18.6	31.4
15	0	0	0	40.5	16.1	17.7
16	0	0	0	49.1	30.5	20.7
17	0	0	0	41.9	22.4	16.9
18	0	0	0	52.3	18.1	14.2
19	0	0	0	49.5	21.1	17.4
20	0	0	0	63.7	23.4	15.6
21	0	0	0	51.9	21.7	13.0
22	0	0	0	51.8	16.5	11.2
23	0	0	0	53.3	17.0	20.5

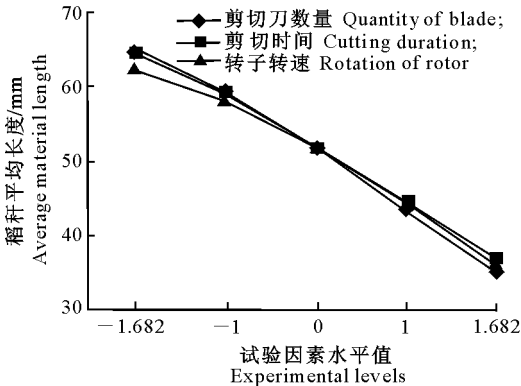


图 2 长稻秆剪切加工单因素对稻秆平均长度的影响
Fig.2 Effect of single factor on average matercal length

2.1.2 双因素对稻秆平均长度的影响 在长稻秆剪切性能试验中,将 1 个因素确定为零水平,研究另 2 个因素变化对稻秆平均长度的影响。在长稻秆剪切性能试验中,影响稻秆平均剪切长度的交互因素的主次顺序依次为:剪切刀数量和剪切时间、剪切刀数量和转子转速、转子转速和剪切时间;在短稻秆剪切性能试验中,影响稻秆平均长度的交互因素的主次顺序依次为:转子转速和剪切时间、转子转速和稻

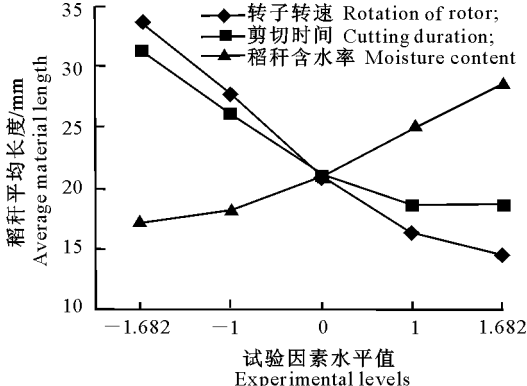


图 3 短稻秆剪切加工单因素对稻秆平均长度的影响
Fig.3 Effect of single factor on average matercal length
秆含水率、剪切时间和稻秆含水率。

综合以上试验分析,各试验因素取值如下:
1)剪切刀数量。在进行细长秆粗饲料的剪切加工时,剪切刀数量宜取 21~24 个;在进行短秆粗饲料的细剪切加工及应用短秆粗饲料的全混日粮加工时,剪切刀数量宜取 12 个。
2)转子转速。在进行细长秆粗饲料的剪切加工时,转子转速宜取 100~120 r/min;在进行短秆粗饲

料的细剪切加工及应用短秆粗饲料的全混日粮加工时,转子转速取值为 60~70 r/min。

3)剪切加工时间。在进行细长秆粗饲料的剪切加工时,剪切时间宜取 15~18 min;在进行短秆粗饲料的细剪切及应用短秆粗饲料的全混日粮加工时,剪切时间宜取 6~9 min。

2.2 混合加工性能的分析

2.2.1 单因素对混合均匀度的影响 在混合加工性能试验中,将另外 2 个因素确定为零水平,研究另 1 个因素变化对日粮混合均匀度的影响。由图 4 可见,随着试验因素水平值的增加,转子转速和日粮含水率对混合均匀度有显著影响,其对变异系数的影响呈先下降后上升的变化趋势,这是因为转速过低不利于物料的运动而使物料间融合能力降低,转速过高又会使物料易于分离。同样,日粮含水率过低使物料易于分离;过高又会使物料极易黏附在一起而难以均匀分布。混合时间对变异系数的影响也呈先下降后上升的变化趋势,这是因为混合时间过短物料间融合不足,混合时间过长物料间又会出现离析。

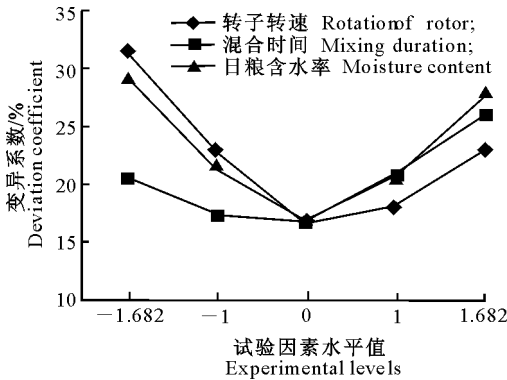


图 4 混合加工单因素对混合均匀度的影响

Fig. 4 Effect of single factor on mixing evenness

2.2.2 双因素对混合均匀度的影响 在混合加工性能试验中,将 1 个因素确定为零水平,研究另 2 个因素变化对日粮混合均匀度的影响。在本试验中影响混合均匀度指标的交互因素的主次顺序依次为:转子转速和日粮含水率、转子转速和混合时间、混合时间和日粮含水率。

由上所述可知,日粮含水率取值 35%时,对全混日粮搅拌混合加工比较有利。混合时间不宜过长,本研究中混合时间取 6~9 min 较适宜。转子转速不宜过高。

3 结 论

1)本研究说明单轴卧式全混日粮混合机能进行细长秆类粗饲料(如牧草及稻秆等农作物)的剪切加工及全混日粮的搅拌混合加工。

2)根据反刍动物对全混日粮质量的要求,本文以物料长度及混合均匀度为指标,对单轴卧式全混日粮混合机的结构及运动参数进行了优化,推荐的参数组合为:剪切刀数量为 12 个,转子转速为 60~70 r/min,混合时间为 6~9 min,全混日粮含水率取 35%较适宜。

[参考文献]

[1] 王德福. 双轴卧式全混合日粮混合机的试验研究 [J]. 农业工程学报, 2006, 22(4): 85-88.
Wang D F. Experimental study on the twin-shaft horizontal total mixed ration mixer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Engineering, 2006, 22(4): 85-88. (in Chinese)

[2] Livshin N, Malz E, Edan Y. Regularity of dairy cow feeding behavior with computer-controlled feeders [J]. J Dairy Sci, 1995, 78(2): 296-304.

[3] 王德福. 双轴卧式全混合日粮混合机的混合机理分析 [J]. 农业机械学报, 2006, 37(8): 178-182.
Wang D F. The analysis of mixing principle on the twin-shaft horizontal total mixed ration mixer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(8): 178-182. (in Chinese)

[4] 王德福, 夏吉庆. 玉米秸秆和青贮揉搓加工试验研究 [J]. 东北农业大学学报, 2006, 37(4): 503-507.
Wang D F, Xia J Q. Experimental study of rubbing corn straw [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2006, 37(4): 503-507. (in Chinese)

[5] 范占炼, 王光文. 奶牛全混合日粮的应用 [J]. 当代畜牧, 2006(6): 11-12.
Fan Z L, Wang G W. Application of total mixed ration for dairy cow [J]. Contemporary Livestock, 2006(6): 11-12. (in Chinese)

[6] 蒋恩臣. 畜牧业机械化 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
Jiang E C. Livestock mechanization [M]. Beijing: Chinese Agricultural Publishing House, 2005. (in Chinese)

[7] 任广跃, 王红英. 翻转卸料双轴桨叶饲料混合机工作性能试验研究 [J]. 农业工程学报, 2004, 20(2): 132-135.
Ren G Y, Wang H Y. Experimental study of working characteristic of the twin-shaft paddle mixer [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Engineering, 2004, 20(2): 132-135. (in Chinese)

[8] 边四辈, 陈国梁. 奶牛日粮配方设计要点 [J]. 中国奶牛, 2002(2): 20-21.
Bian S B, Chen G L. Dosing design of dairy ration [J]. Chinese Dairy, 2002(2): 20-21. (in Chinese) (下转第 228 页)