

黄贮饲料收获机关键部件设计与性能试验*

赵满全 黄 炎

(内蒙古农业大学机电工程学院, 呼和浩特 010018)

摘要: 设计了9HS-170型黄贮饲料收获机,阐述了该机的总体结构及工作原理,并对滚刀装置和抛送装置核心部件进行分析。通过对滚刀装置的理论分析得出动刀片工作圆弧段上任一点的运动轨迹均为余摆线,根据玉米秸秆的力学特性,其正常工作时动刀线速度为38.6 m/s,配合定刀完全可以对玉米秸秆进行切断粉碎,适合牲畜的咀嚼长度。应用Fluent软件对抛送装置内的气流场进行数值模拟与分析,得出叶片末端附近速度一般在35.7~42.8 m/s,抛送筒中存在二次流,抛送装置设计合理、性能良好。对整机进行了田间试验,试验结果表明,9HS-170型黄贮饲料收获机安全性能和操作性能良好,在地表较平坦的情况下该机平均生产率为0.7 hm²/h,割台损失率为2.8%,割茬高度为87 mm,轴承温升为7℃,均达到行业标准要求。

关键词: 饲料收获机 滚刀装置 抛送装置 结构仿真 田间试验

中图分类号: S817.11 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)S2-0091-05

Structure Simulation and Performance Experiment of Yellow Corn Forage Harvester

Zhao Manquan Huang Yan

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot 010018, China)

Abstract: Type 9HS-170 yellow corn forage harvester was designed and the overall structure and working principle of the machine was elaborated. The roller device and toss blower which were the core components of machine was analyzed. Trajectory of any point in circular arc section of work of moving blade was trochoidal, through the analysis of the theory of roller device. According to the mechanical properties of corn stalk, the corn stalk could be cut off to be suitable for livestock to chew in cases with fixed blade to cooperate and linear velocity of moving blade of 38.6 m/s. Moreover, peripheral speed of blade terminal was 35.7~42.8 m/s and there was secondary flow in toss tube, through numerical simulation and analysis of the air flow field of toss device by using the software of Fluent. Overall, the design of toss device was reasonable. The field experiment was conducted. The results showed that safety performance and operation performance of type 9HS-170 yellow corn forage harvester were good. The average productivity of machine was 0.7 hm²/h. The average loss rate was 2.8%. The stubble height was 87 mm. The bearing temperature rise was 7℃.

Key words: Forage harvester Roller device Toss device Structure simulation Field experiment

引言

农作物秸秆是农作物生产系统中一项重要的生物资源^[1],许多学者对农作物秸秆资源及利用现状进行了相关的分析,发现秸秆富含有机质和氮、磷、

钾、钙、镁、硫等多种养分,是极其宝贵的可再生生物资源^[2~3]。

我国是一个农业大国,各类农作物资源相当丰富^[4~7]。我国现阶段秸秆资源综合利用的途径,主要集中在能源、饲料和肥料等方面。其中内蒙古自

收稿日期: 2013-06-26 修回日期: 2013-07-10

* 内蒙古自治区科技创新引导奖励资金资助项目(20101734)和内蒙古农业大学科技创新团队计划资助项目(NDPYTD2010-8)

作者简介: 赵满全,教授,博士生导师,主要从事农业机械化新技术研究, E-mail: nmgzhaoqm@163.com

治区青饲料种植面积突破了 33.33 万 hm^2 , 同时还有大量的黄贮饲料^[8], 为了最大限度地提高秸秆性饲料的利用率, 保护生态环境, 实现可持续发展, 本文在已往研究基础上^[9-12], 设计 9HS-170 型黄贮饲料收获机, 能够一次完成切割、揉碎和抛送等作业, 其配套动力为 40~59 kW 的拖拉机, 并进行田间试验。

1 总体结构和工作原理

1.1 整机结构配置

该机主要用于玉米摘穗后对玉米秸秆进行强制顺序喂入、切碎、推进和抛送装车为一体的联合收获机具, 也可进行青贮玉米及其他秸秆类作物的收获。

9HS-170 型黄贮饲料收获机为后悬挂, 作业时无需对行工作。该机主要由机架、滚刀装置、螺旋输送推进器、抛送装置、正压装置、传动装置和链轮防护罩等组成。机架由主机架和三点悬挂架组成, 三点悬挂架由上悬挂、下悬挂和拖车挂接装置等组成。滚刀装置由滚刀轴、滚刀(V 型割刀)和定刀片等组成。螺旋输送推进器由胶带轮、轴、螺旋叶片和壳体等组成。抛送装置由箱体、圆盘、抛送叶片和抛送筒等组成。正压装置由正压辊和仿形装置等组成。整机结构如图 1 所示。

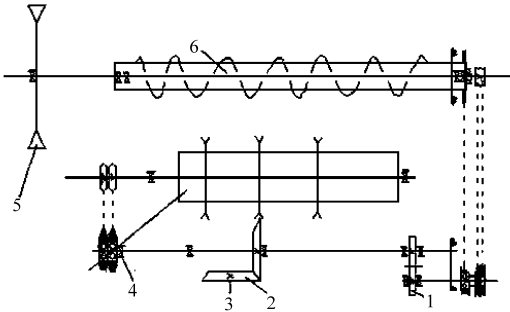


图 1 整机结构示意图

Fig. 1 Diagram of whole machine structure

1. 减速器 2. 变速箱 3. 机架 4. 滚刀装置 5. 抛射扇 6. 螺旋输送推进器

1.2 工作原理及技术参数

1.2.1 工作原理

9HS-170 型黄贮饲料收获机在田间工作时, 由拖拉机的动力输出轴传送动力。在滚刀装置的旋转作用下滚刀轴上的 V 型割刀(动刀)将玉米秸秆从根部切断, 通过定刀将秸秆切成小于 100 mm 的丝状物料并将丝状物料抛射到螺旋输送推进器内, 然后由螺旋输送推进器送入到抛送装置, 并将物料抛出装车。

1.2.2 主要技术与性能参数

外形尺寸(长×宽×高)为 2 167 mm×1 650 mm×

3 800 mm, 抛料高度不大于 3 800 mm, 结构质量为 1 500 kg, 动力输入转速为 540 r/min, 工作幅宽为 1 700 mm, 工作速度为 3~5 km/h, 90% 秸秆的切碎长度不大于 100 mm, 纯小时生产率不大于 1 hm^2/h , 配套动力为 40~59 kW 拖拉机。

2 滚刀装置

2.1 滚刀装置结构及工作原理

滚刀装置由滚刀(V 型割刀、动刀)、滚刀轴、定刀片组成, 结构如图 2 所示。

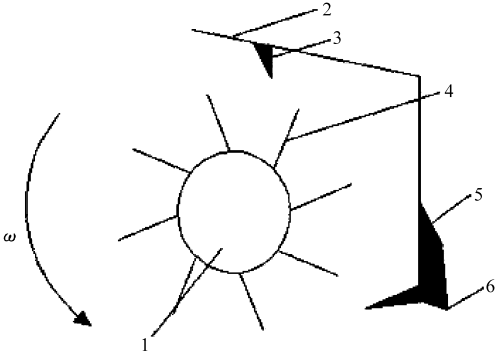


图 2 滚刀装置结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of roller device

1. 滚刀轴 2. 滚刀罩板 3. 定刀 I 4. 滚刀 5. 机架 6. 定刀 II

黄贮饲料收获机滚刀采用逆向旋转将秸秆从土壤中拔出或将根部切断, 使玉米秸秆随滚刀的旋转送至定刀进行切断粉碎, 然后粉碎的玉米秸秆被抛入到螺旋输送推进器内, 并通过螺旋输送推进器送入到抛送装置, 最后由抛送装置将物料抛出。许多学者对玉米秸秆的力学特性进行了相关的研究与测试^[13-16], 由于玉米秸秆比较粗, 具有一定的刚度和韧性, 该机根据秸秆的力学特性, 设计动刀的线速度为 38.6 m/s, 同时增设定刀片, 使切割过程有了支撑, 在定刀的配合下该机能很好地完成切割。

2.2 动刀与定刀工作原理及设计计算

根据整机参数, 滚刀的工作幅宽为 1 700 mm, 机架宽度为 1 720 mm, 为了使粉碎的秸秆适合牲畜的咀嚼长度, 定刀之间的距离选择为 50 mm, 定刀数量为 34。为了提高收获机的生产率, 设计动刀之间的角度为 22.5°, 动刀之间的距离为 50 mm, 动刀数量为 32, 均布于滚轴上。其动刀与定刀工作原理如图 3 所示。

2.3 滚刀的受力分析

滚刀(动刀)在动力的驱动下作旋转运动, 当动刀进入土壤或切割秸秆时, 受到土壤和秸秆对它产生的切削阻力。此阻力是动刀入土时土壤所发生的弹性、塑性变形力、土壤对工作部件表面的摩擦力以及在切削弧上工作部件对未耕作土壤的摩擦力等所

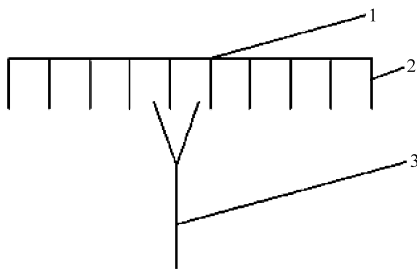


图 3 动刀与定刀工作示意图

Fig. 3 Schematic diagram of moving blade and fixed blade

1. 机架 2. 定刀 3. 动刀

有力的合力。切削阻力的大小和方向与工作部件的几何形状、运动特性、土壤性质、秸秆粗细和干燥情况有关。

假设工作时的动刀产生的切削力为 R_n , 土壤的切削力可以分解为水平力 R_x 和垂直力 R_y , 它们的大小和方向随 R_n 变化而变化, 并与 R_n 的水平夹角有关。当动力旋转一周时, 秸秆的切削阻力由 R_{max} 变化到零, 在最低点达到最大值。对垂直力 R_y 来说, 当前进速度较小时, R_y 几乎保持不变, 但当前进速度提高时会急剧增加。

2.4 滚刀的运动学分析

假定滚刀上一点为 a , 则可得 a 点的运动方程为

$$\begin{cases} x_a = v_m t - r \sin \omega t \\ y_a = r \cos \omega t \end{cases} \quad (1)$$

式中 r ——滚刀的旋转半径, mm

v_m ——机器的前进速度, m/s

ω ——旋转部件回转角速度, rad/s

根据圆周速度与机组前进速度比值定义

$$\lambda = \frac{r\omega}{v_m} \quad (2)$$

式中, $r = 268 \text{ mm}$, $v_m = 0.83 \sim 1.39 \text{ m/s}$, $\omega = 144.03 \text{ rad/s}$, 代入式 (2) 得 $\lambda = (27.77 \sim 46.51) > 1$ 。由此可以判断刀片工作圆弧段上任一点的运动轨迹均为余摆线。

3 抛送装置

3.1 抛送装置组成及工作原理

抛送装置主要由抛送器和抛送筒组成, 抛送器由轴、支架和抛送叶片构成。抛送叶片径向安装, 叶片数为 4, 叶片端部线速度为 40 m/s。抛送叶片端部与外壳的间隙为 13 mm, 抛送筒由下抛送筒、上抛送筒和导向板构成, 为了保证收获机与运输车安全, 在上、下抛送筒之间设计了中间抛送筒。

抛送装置在高速旋转的抛送叶片的作用下, 将螺旋输送推进器送入到抛送器内的物料, 从抛送器

出口抛出, 并沿抛送筒抛送到拖车上。国内外学者对抛送装置进行了大量的相关研究^[17~18], 随着流体力学计算技术的迅速发展, 可以运用数值模拟的方法研究相对复杂的三维流场 (如泵体、搅拌器等), 结果具有可靠性^[19~20]。

3.2 数值模拟及分析

应用 Fluent 软件对抛送装置内流场进行模拟分析, 研究其内部流场, 从而提高抛射效率, 降低功率消耗和减小噪音。首先建立抛送装置的三维实体模型, 定义静域和旋转域, 旋转域转速为 1 270 r/min, 同时建立静域与旋转域的交界面, 保证数据传送。采用多参考系模型 (MRF) 来求解, 在计算方法上, 选择使用广泛的 SIMPLE 算法^[21], 离散格式为一阶迎风格式, 湍流模型选取能模拟射流撞击、分离流、二次流、旋流等中等复杂流动中有更好表现的 RNG $k-\varepsilon$ 模型^[22]。

在 Fluent 的求解器中进行运算, 经过运算收敛精度为 1×10^{-3} , 然后进入 Fluent 的后处理, 得到抛送装置内部的速度矢量图, 如图 4、5 所示。

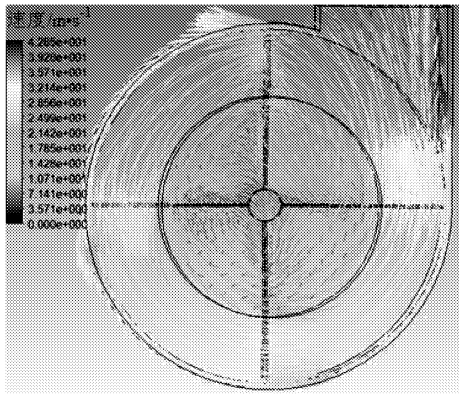


图 4 抛送器内速度矢量图

Fig. 4 Velocity vector plot of toss device

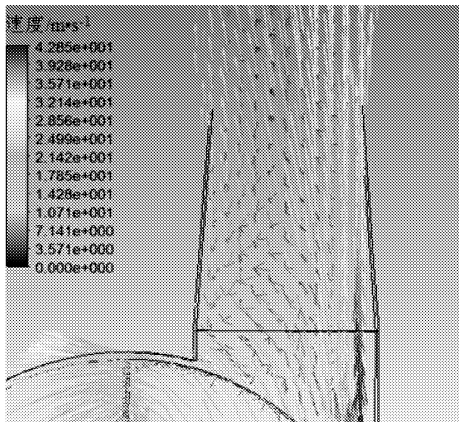


图 5 抛送筒内速度矢量图

Fig. 5 Velocity vector plot of toss tube

抛送装置内抛送叶片圆周线速度一般应为 30 ~ 50 m/s, 当抛送装置内的叶片绕轴高速旋转时, 叶片将给切碎物料以速度, 叶片上如有剩余的切碎物将

与外壳摩擦消耗无用功而降低抛送装置的效率。通过数值模拟可以得到叶片末端附近速度一般在 $35.7 \sim 42.8 \text{ m/s}$, 与设计要求符合。从图 5 可以看出, 抛送筒中存在二次流, 使得小部分气体无法顺利排出, 可能造成堵塞或者对小部分物料进行二次抛送, 但总体来说抛送装置设计合理、性能良好, 其内的流场有利于抛送物料。

4 田间试验

2011 年 10 月底在内蒙古呼和浩特市赛罕区白塔村进行田间试验, 并于 2012 年 11 月中旬委托内蒙古自治区农牧业机械试验鉴定站, 依据饲料收获机、农林拖拉机和机械、草坪和园艺动力机械和产品图样及设计文件等有关标准和产品图样, 对样机的性能进行测试。主要对收获机的生产率、安全性能、割台损失率、割茬高度和轴承温度等参数进行测试, 样机的作业速度为 4 km/h 。试验田地平整, 玉米秸秆无倒伏现象。试验结果表明, 9HS-170 型黄贮饲料收获机平均生产率为 $0.7 \text{ hm}^2/\text{h}$, 割台损失率为 2.8% , 割茬高度为 87 mm , 轴承温升为 7°C 。9HS-170 型黄贮饲料收获机的测试指标均达到行业标准

要求。

5 结论

(1) 9HS-170 型黄贮饲料收获机是一种用于各类高茎秆作物, 如玉米秸秆、高粱秸秆等的收割、切碎的设备, 可以一次完成切割、揉碎和抛送等作业。

(2) 根据秸秆的力学特性, 设计定刀数为 34, 动刀数为 32, 动刀间的角度为 22.5° , 末端线速度为 38.6 m/s , 通过动刀与定刀的配合, 可以对具有一定刚度和韧度的秸秆很好地进行切断、粉碎。

(3) 应用 Fluent 软件对抛送装置进行数值模拟分析, 可以更直观地反映出内部的流动情况, 结果显示抛送装置内存在二次流, 但总体来说其内部流场稳定, 有利于抛送物料。

(4) 经试验证明, 9HS-170 型黄贮饲料收获机能很好地完成对各类高茎秆作物机械化收获, 测定的该机安全性能可靠, 平均生产率为 $0.7 \text{ hm}^2/\text{h}$, 割台损失率为 2.8% , 割茬高度为 87 mm , 轴承温升为 7°C , 测试指标均达到了行业标准要求。

参 考 文 献

- 1 韩鲁佳, 闫巧娟, 刘向阳, 等. 中国农作物秸秆资源及其利用现状[J]. 农业工程学报, 2002, 18(3): 87~91
Han Lujia, Yan Qiaojuan, Liu Xiangyang, et al. Straw resources and their utilization in China[J]. Transactions of the CSAE, 2002, 18(3): 87~91. (in Chinese)
- 2 管小冬. 农作物秸秆资源利用浅析[J]. 农业工程学报, 2006, 22(增刊 1): 104~106.
Guan Xiaodong. Analysis of crop stalk utilization[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(Supp. 1): 104~106. (in Chinese)
- 3 高祥照, 马文奇, 马常宝, 等. 中国作物秸秆资源利用现状分析[J]. 华中农业大学学报, 2002, 21(3): 242~247.
Gao Xiangzhao, Ma Wenqi, Ma Changbao, et al. Analysis on the current status of utilization of crop straw in China[J]. Journal of Huazhong Agricultural University, 2002, 21(3): 242~247. (in Chinese)
- 4 李伟, 蔺树生, 谭豫之, 等. 作物秸秆综合利用的创新技术[J]. 农业工程学报, 2000, 16(1): 14~17.
Li Wei, Lin Shusheng, Tan Yuzhi, et al. Innovated techniques on comprehensive utilization of crop straw[J]. Transactions of the CSAE, 2000, 16(1): 14~17. (in Chinese)
- 5 崔明, 赵立欣, 田宜水, 等. 中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J]. 农业工程学报, 2008, 24(12): 291~296.
Cui Ming, Zhao Lixin, Tian Yishui, et al. Analysis and evaluation on energy utilization of main crop straw resources in China[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(12): 291~296. (in Chinese)
- 6 毕于运, 高春雨, 王亚静, 等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报, 2009, 25(12): 211~217.
Bi Yuyun, Gao Chunyu, Wang Yajing, et al. Estimation of straw resources in China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(12): 211~217. (in Chinese)
- 7 高利伟, 马林, 张卫峰, 等. 中国作物秸秆养分资源数量估算及其利用状况[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 173~179.
Gao Liwei, Ma Lin, Zhang Weifeng, et al. Estimation of nutrient resource quantity of crop straw and its utilization situation in China[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(7): 173~179. (in Chinese)
- 8 赵满全, 韩宝生, 王春光, 等. 青贮饲料收获机设计与试验[J]. 农机化研究, 2006(11): 106~109.
Zhao Manquan, Han Baosheng, Wang Chunguang, et al. Design and experiment on ensilage harvester[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2006(11): 106~109. (in Chinese)
- 9 车刚, 万霖, 张伟, 等. 青贮饲料收获机实体设计与实验[J]. 农业机械学报, 2010, 41(2): 82~86.
Che Gang, Wan Lin, Zhang Wei, et al. Solid design and experiment of forage harvester[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(2): 82~86. (in Chinese)
- 10 万霖, 车刚, 汪春, 等. 4QZR-30 型青贮饲料收获机设计与试验[J]. 农业机械学报, 2008, 39(3): 187~190.
Wan Lin, Che Gang, Wang Chun, et al. Design and study 4QZR-30 type of forage harvester[J]. Transactions of the Chinese

Society for Agricultural Machinery,2008,39(3):187~190. (in Chinese)

11 Zhang M, Sword M L, Buckmaster D R, et al. Design and evaluation of a corn silage harvester using shredding and flail cutting [J]. Transactions of the ASAE, 2003,46(6):1503~1511.

12 Shinnars K J, Koegel R G, Pritzl P J. An upward cutting cut-and-throw forage harvester to reduce machine energy requirements [J]. Transactions of the ASAE,1991,34(6):2287~2290.

13 陈艳军, 吴科斌,张俊雄,等. 玉米秸秆力学参数与抗倒伏性能关系研究[J]. 农业机械学报, 2011,42(6):89~92. Chen Yanjun, Wu Kebin, Zhang Junxiong, et al. Relationship between corn lodging resistance and mechanical parameters[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011,42(6):89~92. (in Chinese)

14 高梦祥,郭康权,杨中平,等. 玉米秸秆的力学特性测试研究 [J]. 农业机械学报,2003,34(4):47~52. Gao Mengxiang, Guo Kangquan, Yang Zhongping, et al. Study on mechanical properties of cornstalk [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(4):47~52. (in Chinese)

15 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)

16 刘庆庭,区颖刚,卿上乐,等. 农作物茎秆的力学特性研究进展[J]. 农业机械学报,2007,38(7):172~176. Liu Qingting, Ou Yinggang, Qing Shangle, et al. Study progress on mechanics properties of crop stalks[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(7):172~176. (in Chinese)

17 贾洪雷,王增辉,马成林,等. 玉米秸秆切碎抛送装置的试验研究[J]. 农业机械学报,2003,34(6):96~99. Jia Honglei, Wang Zenghui, Ma Chenglin, et al. Chopping and throwing mechanism of corn straw[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2003,34(6):96~99. (in Chinese)

18 翟之平,王春光. 叶片式抛送装置气流流场数值模拟与优化[J]. 农业机械学报,2008,39(6):84~87. Zhai Zhiping, Wang Chunguang. Numerical simulation and optimization for air flow in an impeller blower[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2008,39(6):84~87. (in Chinese)

19 黄思,王国玉. 离心泵内流场非对称性及受力的三维数值分析[J]. 农业机械学报,2006,37(10):66~69. Huang Si, Wang Guoyu. Analysis of flow field asymmetry and force on centrifugal pump by 3-D numerical simulation[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(10):66~69. (in Chinese)

20 李国威,王岩,吕秀丽,等. 偏置短叶片离心泵内三维流场数值模拟[J]. 农业工程学报,2011,27(7):151~155. Li Guowei, Wang Yan, Lü Xiuli, et al. Numerical simulation of three-dimensional flow field in centrifugal pump with deviated short splitter vanes [J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(7):151~155. (in Chinese)

21 李伟,施卫东,蒋小平,等. 多级离心泵轴向力的数值计算与试验研究[J]. 农业工程学报,2012,28(23):52~59. Li Wei, Shi Weidong, Jiang Xiaoping, et al. Numerical calculation and experimental study of axial force on multistage centrifugal pump[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(23):52~59. (in Chinese)

22 李晓俊,袁寿其,潘中永,等. 基于结构化网格的离心泵全流场数值模拟[J],农业机械学报,2013,44(7):50~54. Li Xiaojun, Yuan Shouqi, Pan Zhongyong, et al. Numerical simulation of whole flow field for centrifugal pump with structured grid [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(7):50~54. (in Chinese)

(上接第 90 页)

7 王常慧,杨建强,王永新,等. 不同收获期及不同干燥方法对苜蓿草粉营养成分的影响[J]. 动物营养学报,2004,16(2):60~64. Wang Changhui, Yang Jianqiang, Wang Yongxin, et al. Effects of the different harvesting time and different drying ways on nutrient levels in alfalfa meal[J]. Chinese Journal of Animal Nutrition,2004,16(2):60~64. (in Chinese)

8 杨世昆,刘贵林,贾红燕,等. 梯形板式太阳能空气集热器:中国,ZL200520104433.8[P]. 2005-08-12.

9 杨世昆,刘贵林,杜建强,等. 太阳能草捆干燥设备:中国,ZL200710300870.0[P]. 2007-12-29.

10 杨世昆,杨文大,刘贵林,等. 交替供热式太阳能饲草干燥设备:中国,ZL200320124589.3[P]. 2003-11-14.

11 何月娥,杨孝文,张梧邨. 农机试验设计[M]. 北京:机械工业出版社,1986.

12 罗运俊,何梓年,王长贵. 太阳能利用技术[M]. 北京:化学工业出版社,2005.

13 Wilman D, Gao Y, Altimimi M A K. Differences between related grasses, times of year and plant parts in digestibility and chemical composition[J]. Journal of Agricultural Science,1996,127(3):311~318.

14 Collins M. Wetting and maturity effects on the yield and quality of the legume hay[J]. Agronomy Journal,1983,75(3):523~527.

15 Mujumdar A S. Drying technology in agriculture and food sciences[M]. New York:Science Publishers, 2000:191~211.

16 Shahab Sokhansank, Patil F T. Kinetics of dehydration of green alfalfa[J]. Drying Technology,1996,14(5):1197~1234.

17 Llovera J, Ferran J. Harvest management effects on alfalfa production and quality in mediterranean areas[J]. Grass and Forage Science,1998,53(1):88~92.