

农作物秸秆饲用化加工技术装备研究

阿依肯·叶留拜³, 刘富强¹, 温宝琴^{1, 2*}, 李景彬^{1, 2}, 坎杂^{1, 2} (1.石河子大学机械电气工程学院, 新疆石河子 832000; 2.农业部西北农业装备重点实验室, 新疆石河子 832000; 3.新疆维吾尔自治区农牧业机械管理局信息中心, 新疆乌鲁木齐 830001)

摘要 秸秆饲用化设备利用农作物秸秆资源, 对丰富养殖业的饲料来源, 促进畜牧业的健康持续发展具有重要意义。笔者通过对秸秆粉碎机设备、全混合日粮设备、制粒设备等农作物秸秆饲用化加工技术装备的研究现状进行了深入的分析, 并提出目前研究存在的问题, 为农作物秸秆饲用化技术与装备的后续研究与发展提供参考。

关键词 秸秆饲用化; 畜牧养殖; 发展现状; 对策

中图分类号 S 226 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)01-0224-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.01.066



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research of Crop Straw Feeding Processing Technology Equipment

Aiken Yellubye³, LIU Fu-qiang¹, WEN Bao-qin^{1, 2*} et al (1.School of Mechanical and Electrical Xinjiang Engineering, Shihezi University, Shihezi 832000; 2.Northwest Key Lab of Agriculture Equipment, Ministry of Agriculture, Shihezi, Xinjiang 832000; 3.Xinjiang Uygur autonomous Region Agriculture and Animal Husbandry Machinery Administration Information Center, Urumqi, Xinjiang 830001)

Abstract Crop straw feeding is of great significance to enrich feed sources and promote the healthy and sustainable development of animal husbandry. Present situation of crop straw feeding processing technology equipment including straw crusher, total mixed ration equipment and granulation equipment were deeply analyzed, problems of current research were put forward. The research can provide reference for studying and developing of crop straw feeding processing technology equipment.

Key words Crop straw feeding; Livestock; Development status; Countermeasure

畜牧业是我国国民经济和社会发展的重点产业之一。畜牧业产值超过 2.9 万亿元, 约占农业总值的 30%, 是决定现代农业发展的核心要素。畜牧业经过多年连续发展, 已成为重要的民生产业, 畜牧产品已经成为居民消费的必需品^[1]。《全国牛羊肉生产发展规划》(2013—2020 年) 中提出要重点引导肉羊产业发展。

饲草是养殖业的基础。随着规模化养殖业的发展, 饲草矛盾逐渐制约着养殖业的发展, 急需新的饲料来源。《“十三五”时期兵团科学技术发展规划》的“草食家畜科技创新工程”中重点提出“饲草料高效利用技术, 形成农副产品、秸秆废弃物资源化高效利用技术标准”。用于肉羊养殖的粗饲料资源主要是以麦秸秆、玉米秸秆、苜蓿茎秆、甘草茎秆为主^[2]。但是, 秸秆、茎秆中粗纤维含量高, 直接饲喂适口性差、采食率低、消化吸收率低, 浪费严重。饲用化技术是秸秆利用的重要途径, 能充分合理的利用秸秆资源, 提高适口性以及增加营养, 饲用化技术对我国畜牧业的长远发展具有重要意义。

1 秸秆饲用化设备类型

目前秸秆养畜的利用方式主要有直接饲喂、长草短喂、全混合日粮(TMR)饲喂、颗粒饲喂等^[3]。

1.1 秸秆加工设备 主要有铡切机、揉切机、粉碎机、揉搓机等。铡切机主要是用来切断茎秆类饲料, 如谷草、麦秆等; 揉切机、揉搓机能够使秸秆质地细碎、柔软, 适口性好。

1.2 全混合日粮(TMR, total mixed rations)饲喂机 根据反刍动物(牛、羊等)饲料配方将各原材料均匀混合而成的一

种营养浓度均衡的饲喂模式。在生产制备过程中各种物料进行剪切、揉搓和搅拌, 使精粗饲料和各种添加剂按不同比例混合, 营养均衡, 可提高饲料适口性、提高动物采食量、减少饲料浪费、提高饲料转化效率、降低投资成本、提高生产率和经济效益, 以达到科学饲养的目的^[4]。

1.3 颗粒饲料机 秸秆通过粉碎、制粒设备加工成颗粒饲料, 制粒过程中的高温、高压环境还能够减少饲料中的抗营养因子和杀死饲料中的有害微生物, 更加有利于动物的健康。高温的制粒环境使物料中的有机成分发生反应, 能显著提高饲料的适口性和营养价值。通过加工成颗粒饲料, 能使秸秆成为饲料商品, 便于长途运输及储存, 实现秸秆饲料产品的商品化生产和异地消化利用, 增加农民的收益。

2 饲草粉碎设备研究现状

2.1 饲草切碎、粉碎机械的研究 国外意大利塞科公司生产的小型粗饲料粉碎机的粉碎刀片采用螺旋线排布方式, 其优点是振动小, 粉碎均匀。丹麦皮里士登有限公司生产的皮里士登-100 型锤片式饲草粉碎机, 生产率 4~5 t/h^[5]。M.T 和 M.FFinner 开发了饲草切割试验装置, 测定不同切割速度切割含水率不同的首稽草时, 刀片对切割力的响应, 建立了刀片在旋转运动情况下对切割力响应的数学模型^[6]。Akritidis 试制了玉米秸秆切碎试验台, 进行玉米秸秆的切割试验, 考察在线性切割条件下刀片切割玉米秸秆时刀片对切割力的响应, 得到了一个类似的二阶微分方程^[7]。T.gIe 和 M.FFIm-Ie 对于在不同速度下、不同含水率的紫花苜蓿的切割力进行了试验研究, 发现在切割速度较低时, 茎秆会沿着切刀刃线方向滑动, 而在高速时这种滑动则可以省略^[8]。

国内许多学者对秸秆切碎装置进行了研究, 邱进等^[9]对水稻秸秆切碎还田装置结构进行设计并进行试验分析, 得出

基金项目 国家自然科学基金项目(51775358); 新疆生产建设兵团科技特派员创业引导计划项目(2016CA002)。

作者简介 阿依肯·叶留拜(1973—), 男, 新疆托里人, 高级工程师, 从事畜牧业机械化研究。* 通信作者, 副教授, 硕士, 硕士生导师, 从事农业机械准备设计与研究。

收稿日期 2018-08-27

喂入转速、动定刀间隙、动刀转轴转速对秸秆的切碎长度合格率、功耗影响显著。张晋国等^[10]在秸秆切碎试验台上对麦秸秆剪切特性进行了试验研究,得出粉碎刀片在不同切割速度下,对短秆、长秆、秸秆不同切割部位、秸秆不同含水率、不同刀刃厚度、有定刀和无定刀等情况下的切断率曲线。姚燕等^[11]自行设计的秸秆粉碎试验台,以壳体包角、刀辊转速、动定刀间隙为三个试验因素,以粉碎质量、粉碎功耗为试验指标,对小麦秸秆进行了粉碎试验,建立了粉碎质量和粉碎功耗的数学模型,分析了粉碎装置结构、运动参数对粉碎质量、粉碎功耗的影响规律。耿令新^[12]以定刀类型、动刀类型、动定刀间隙、壳体包角、粉碎转子转速为试验因素,在室内试验台上进行了秸秆粉碎装置性能试验。顾笑笑等^[13]对谷物类物料物性的分析,提出谷物类物料的有效粉碎方式应为剪切式切割粉碎。赵辅群^[14]对联合收割机切碎装置进行设计,以碎草合格率和功耗为综合评价指标,试验因素影响主次顺序是作业速度、刀轴转速、刀具类型、刀具排列。赵浩等^[15]分析了农产品物料的剪切粉碎机理、剪切过程中物料受到的应力及切割速度对粉碎效果的影响,并对其核心部分的关键结构参数对粉碎效果的影响进行了探讨。孙雪峰等^[16]对卧式切碎装置切碎效果的试验进行研究,以割刀位置、喂入速度、割刀转速和摘穗辊转速为试验因素,以茎秆切碎合格率为评价指标,对其影响因素进行分析和试验,从而得到最佳的参数组合。

2.2 秸秆揉碎机械研究 揉碎机是在粉碎机基础上发展而来的。国外发达国家用于饲喂牲畜的玉米秸秆几乎全部为青饲料,而作为粮食作物的玉米秸秆大多直接还田,所以在揉碎机研究方面研究较少。

国内在秸秆揉碎机性能试验与改进方面的研究工作总体偏少,较为典型的工作有:袁洪方等^[17]利用自行设计的秸秆铡切揉搓试验台,以刀刃形状、喂入速度、锤片数量和主轴转速为变量,对含水率约为75%的玉米秸秆进行四因素三水平正交试验,得出铡切揉搓装置的最优组合参数。苏宏煜^[18]从运动学、空气动力学出发,对玉米秸秆的揉搓机理进行了分析,得出了揉搓质量和度电产量等参数受揉搓室内有无齿条、锤片数目、转子转速、玉米秸秆物料与内壁的摩擦系数和气流作用等几个因素的影响。翟之平等^[19]建立了适合不同种叶片倾角的叶片式抛送装置功耗模型,且引入了虚气流影响,并利用虚拟样机进行优化。王娟等^[20]针对揉碎机的空气动力学噪声和机械噪声,结合理论分析、数值模拟和试验研究对其噪声产生机理和特性进行了分析研究。刘德军等^[21]对9JST-20型秸秆丝化调质机性能指标进行了正交试验研究,确定了影响生产率和度电产量的因素主次顺序分别为锤片数目、锤片厚度和锤齿间隙。Du等^[22]通过建立SFSP11230型锤片式粉碎机转子的虚拟样机模型,对不同锤片磨损情况下粉碎机转子的振动进行了仿真。

3 TMR 搅拌机研究现状

国外如美国、英国、澳大利亚、新西兰等发达国家十分注重建立人工草场和改良天然草场,其肉羊养殖以其自然资源

和资源优势,采用草场围栏规划区轮牧^[23]。我国在TMR搅拌机饲草加工的研究处于起步阶段,于克强^[24]借助高速摄像对转轮式TMR混合搅拌机的混合机理进行分析,分析得出在混合过程中伴随着剪切混合、对流混合和扩散混合的过程,并以混合均匀度和单位功耗为评价指标,分析影响混合效果的因素,但对影响切碎效果的因素没有进行分析。吴艳泽^[25]对奶牛TMR混合机进行试验研究,以主轴转速、转子间隙、混合时间、充满系数为试验因素,以混合均匀度、细粉率、卸载残留率等多个参数为评价指标,试验的转轴为叶板式。王德福^[26]对影响双轴卧式全混合日粮混合机加工质量的主要结构和运动参数、物料特性及装料顺序等因素进行了试验研究,以日粮混合均匀度及粒度为试验评价指标,得出搅拌机混合设备结构与运动参数、物料特性及装料顺序都对全混合日粮的加工质量影响很大。郭庆贺等^[27]以卧式饲料混合搅拌机混料系统为研究对象,通过搭建混料系统试验台,并采用二次回归正交旋转组合方法设计试验方案,以搅龙转速、加工时间、充满系数和梅花刀片个数为试验因素,以混合均匀度、适口长度粗饲料占有比例和细粉率为评价指标进行试验研究。刘希锋等^[28]在TMR搅拌机的性能分析与评价中指出,立式搅拌机的搅龙直径大,可以获得较高的切割速度,能够迅速打开并切碎大型圆、方草捆,切碎效果比卧式好。

4 饲草制粒设备研究现状

自1910年英国Sizer公司研制出第一台挤压式颗粒机后,国外学者在制粒机的加工制造和成型理论方面进行了大量的研究,相关理论都得到了飞速的发展。目前最常用的制粒机有环模制粒机和平模制粒机^[29]。对制粒机的制粒机理、效率、能耗、生产质量等问题,国内外学者开展了一系列研究。

Jens K.Holm^[30]等针对生物质粉体物料在制粒成型过程中,通过模孔时的受力情况进行了试验研究与理论分析,建立了各向异性物料模孔挤压力学模型;A.Mehrdad等^[31]针对以锯屑为主要原料的制粒成型过程进行了试验研究,通过研究发现:对生产工艺优化可以在获得高质量的颗粒的同时较低能耗;Tabil等^[32]针对制粒的工艺、条件与制粒质量之间的关系进行了研究,通过试验研究和理论分析建立了能耗与颗粒耐久性之间的关系模型;Blank等^[33]针对制粒过程的控制部分进行了研究,优化了制粒工艺,在保证加工质量的前提下提高了加工效率。

Jonathan Broadshow等^[34]针对制粒过程中能耗过大的问题进行了研究,详细阐述了功率因数校准、电能、蒸汽流量等多方面降低能耗的方法,提出了关于水能、蒸汽能、电能等多个方面的能源成本降低理论。CollisonR等^[35]针对不同饲料的调质温度参考值对淀粉糊化的影响进行了试验研究。对调制器的机械结构和调制工艺进行入手,改变调制时间、调制器类型、调质温度等方面。研究了调质工艺对淀粉糊化的影响,根据调制器的机械结构特点,提出新的改进调质的方法。Rdnerl^[36]针对影响颗粒饲料质量的因素进行试验研究,研究饲料配方、环模规格、调质时间、冷却干燥、粉碎粒度等与颗粒饲料质量之间的关系。

沈维军等^[37]针对如何改善饲料制粒性能进行了研究,提出通过改变饲料配方,用糙米替代一部分玉米,从而提高饲料制粒性能。王红英等^[38]针对制粒过程中影响配合饲料质量的因素进行了研究,分析了饲料生产过程中蒸汽调质、饲料原料、环模设备、调质器进料流量等影响因素对配合饲料质量的影响,并提出了改进工艺参数的方法。周文德^[39]针对制粒过程中模孔堵塞的原因进行了试验研究,分析了模孔长径比、压模的材料、模孔的形式、压辊等机构对制粒机工作过程的影响,并提出了一些相应的改进办法。李在峰等^[40]针对颗粒饲料成型过程中的能耗问题进行了试验研究。研究表明,在玉米秸秆成型过程中粉碎工艺与制粒工艺是耗能最多的两个工艺,且颗粒密度与电耗有着紧密的联系;何晓峰等^[41]针对影响颗粒成型率和能耗的因素进行了研究。探究了原料粒度、环模孔长径比、含水率等因素与颗粒成型率及电耗之间的关系,找出了生物质燃料颗粒成型的最优条件。

5 结论

(1) 饲草切碎机械主要的结构型式为轮刀式和滚刀式,目前的研究主要集中在切割速度、壳体包角、喂入速度、动定刀间隙、转子半径、齿杆角度等结构参数、工作参数等对秸秆的切碎效果方面。

(2) 揉碎机的主要结构型式是锤片式,目前开展的研究主要集中在锤片材料、结构型式、布置形式、喂入速度、主轴转速等结构参数、工作参数对生产率、揉搓质量及工作噪声的影响等方面。揉碎机是秸秆饲用化的关键机具,适用于小规模舍饲养殖,对规模化养殖模式来说存在生产效率低,费工费力等问题。

(3) TMR 搅拌机目前研究主要集中在以主轴转速、刀片布置方式、加工时间等因素对混合均匀度的影响方面的研究。全混合日粮的加工工艺为“粗饲料粉碎+混合”,工艺繁琐,费时费力。能否通过优化与改进 TMR 搅拌机的关键结构,一次性实现对秸秆的切碎、揉碎并与精料混合,将传统的单一功能、分段加工改变为一体化加工,从而提高全混合日粮的加工效率和质量,值得探索。

(4) 制粒机主要分为平模和环模两种结构形式,目前制粒装备研究多面向于大型饲料生产企业,设备昂贵,运行成本大,工艺复杂。小型制粒机在市场已有销售,但针对户用型的秸秆制粒装备基础研究偏少,同时在制粒效率和制粒质量等方面还需进一步的提高。

参考文献

- [1] 李新一.畜牧业供给侧结构性改革分析[J].中国畜牧杂志,2016(14):39-44.
- [2] 韩玉龙.新疆肉羊产业发展现状及路径探析[J].农村经济与科技,2016,27(19):87-88.
- [3] 沙洪林,佟时,张维友.我国农作物秸秆产生及综合利用现状分析[J].吉林农业科学,2010,35(4):51-55.
- [4] 现代肉羊产业技术体系营养与饲料功能研究室.肉羊饲养新技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2013.
- [5] 农林系统技术交流编辑委员会.北京外国农业机械展览会农林系统技术交流汇编[M].北京:中国农业出版社,2006:26-154.
- [6] LGE M T, FINNER M F. Forage harvester knife response to cutting force [J]. Transactions of the ASAE, 1976, 19: 451-454.
- [7] AKRITIDIS C B. The mechanical characteristics of maize stalks in relation

- to the characteristics of cutting blade [J]. Agriculture engineering research, 1974, 19: 1-12.
- [8] O' DOGHERTY M J, HUBER J A, DYSON J, et al. A study of the physical and mechanical properties of wheat straw [J]. Agriculture engineering research, 1995, 62(2): 133-142.
- [9] 邱进,吴明亮,宫春云.动定刀同轴水稻秸秆切碎还田装置结构设计及试验[J].农业工程学报,2015(10):11-19.
- [10] 张晋国,高焕文,杨光.不同条件下麦秸切碎效果的试验研究[J].农业工程学报,2000,16(3):70-72.
- [11] 姚燕,师清翔,刘师多.小麦秸秆粉碎装置的粉碎性能试验分析[J].河南科技大学学报(自然科学版),2005(4):74-76,109.
- [12] 耿令新.玉米联合收获机秸秆粉碎装置特性研究[C]//中国农业机械学会第六届青年学术年会论文集.北京:中国农业机械学会,2011:24-29.
- [13] 顾笑笑,张茂龙,高青令.谷物类物料湿法超细粉碎机理与实验研究[J].粮食与饲料工业,2013(10):20-24.
- [14] 赵辅群.横轴流全喂入联合收割机茎秆切碎装置研究与设计[D].北京:中国农业科学院,2015.
- [15] 赵浩,张玲玲,张裕中.农产品高速切割粉碎机理及设备结构参数分析[J].贵州农业科学,2008,36(4):181-183.
- [16] 孙雪峰,李其响,任延昭.卧式切碎装置切碎效果的试验研究[J].农机化研究,2014(9):169-172,176.
- [17] 袁洪方,王德成,王光辉.秸秆铡切揉搓装置优化设计与试验[J].农业机械学报,2012,43(S1):153-157.
- [18] 苏宏煜.玉米秸秆挤丝揉搓机的分析与设计[D].兰州:甘肃农业大学,2013.
- [19] 翟之平,王春光.叶片式抛送装置气流场数值模拟与优化[J].农业机械学报,2008,39(6):84-87.
- [20] 王娟,王春光,王芳.基于 Fluent 的 9R-40 型揉碎机三维流场数值模拟[J].农业工程学报,2010,26(2):165-169.
- [21] 刘德军,王强,汪红建.秸秆丝化机锤片参数的优化设计[J].农业工程学报,2005,21(5):73-76.
- [22] DU X Q, ZONG L, JIAO Q X. Vibration generated by the abrasion of the hammer slice in feed-grinder based on virtual prototype technology [J]. Transactions of the Chinese society of agricultural engineering, 2005, 21(10):100-104.
- [23] 刁其玉.肉羊饲养使用技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2015.
- [24] 于克强.转轮式全混合日粮混合机机理分析及试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2015.
- [25] 吴艳泽.奶牛全混合日粮混合机的试验研究[D].哈尔滨:东北农业大学,2011.
- [26] 王德福.双轴卧式日粮混合机加工质量影响因素试验[J].农业机械学报,2007,38(9):208-210,204.
- [27] 郭庆贺,李景彬,坎杂.肉羊饲料混合搅拌机混料系统的试验研究[J].石河子大学学报(自然科学版),2016,34(3):385-390.
- [28] 刘希锋,宋秋梅,闫景凤.全混合日粮搅拌机的性能分析与评价[J].农机化研究,2009(11):80-82.
- [29] 孙旭清.环模制粒机的主体结构优化研究[D].无锡:江南大学,2009.
- [30] 康宏彬.小型制粒试验平台研制及颗粒强度分布规律研究[D].北京:中国农业大学,2015.
- [31] ARSHADI M, GREF R, GELADI P, et al. The influence of raw material characteristics on the industrial pelletizing process and pellet quality [J]. Fuel processing technology, 2008, 89(12):1442-1447.
- [32] TABIL L G, SOKHANSANJ S. Process conditions affecting the physical quality of alfalfa pellets [J]. Applied engineering in agriculture, 1996, 12(3):345-350.
- [33] DE BLANK H, HENDRIX E, LITJENS M, et al. On-line control and optimisation of the pelleting process of animal feed [J]. Journal of the science of food and agriculture, 1997, 74(1):13-19.
- [34] BROADSHOW J. Feed operation controlling energy costs [J]. World grain, 2007(2):66-69.
- [35] COLLISON R, CHILTON J A. Gelatinization of starch in extruded products [J]. Cereal Chem, 1977, 9:309-315.
- [36] BEHNKE K C. Factors affecting pellet quality [C]//Proceedings-Maryland nutrition conference for feed manufacturers. Maryland: University of Maryland, 1994.
- [37] 沈维军,张石蕊,范志勇.饲粮中糙米替代玉米的比例对饲料制粒性能的影响[J].湖南农业大学学报(自然科学版),2006,32(2):161-163.
- [38] 王红英,张树阁,樊增绪.影响制粒机生产率的因素[J].饲料工业,2002,23(4):5-7.
- [39] 周文德.颗粒饲料制粒机及其模孔堵塞原因分析和防止办法[J].渔业机械仪器,1995(3):15-18.
- [40] 李在峰,雷廷宙,何晓峰.玉米秸秆颗粒燃料致密成型电耗测试[J].农业工程学报,2006,22(S1):117-119.
- [41] 何晓峰,雷廷宙,李在峰.生物质颗粒燃料冷成型技术试验研究[J].太阳能学报,2006,27(9):937-941.