

移动作业式秸秆造粒机研究进展

葛艳艳, 苏子超 (南京农业大学工学院, 江苏南京 210095)

摘要 在资源消耗与环境污染的背景下, 数量庞大的秸秆类生物质资源的有效利用受到关注。移动作业式秸秆造粒机是一种集秸秆的收集、粉碎和制粒于一体的设备, 可以在田间地头完成对秸秆等生物质的收获造粒, 其移动方便, 有效减少储存和运输的成本, 对提高劳动生产率很有意义。为此, 综述了国内外现有的移动作业式秸秆造粒机的工作特点以及结构特性, 从而提出了我国发展移动作业式秸秆造粒机的制约因素, 对未来我国移动作业式秸秆造粒机的发展做出展望。

关键词 生物质; 移动作业式; 秸秆造粒机

中图分类号 S226 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)17-0020-03

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.17.005



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Research Progress of Mobile Pellet Harvester

GE Yan-yan, SU Zi-chao (College of Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing, Jiangsu 210095)

Abstract In the context of resource consumption and environmental pollution, the effective utilization of a large number of straw biomass resources has attracted attention. The mobile pellet harvester is a kind of equipment that integrates the collection, crushing and granulation of straw, which can complete the granulation of straw in the field. It is easy to move and effectively reduces the cost of storage and transportation. It is meaningful to increase labor productivity. Therefore, this paper summarizes the working characteristics and structural characteristics of the existing mobile pellet harvester at home and abroad, and puts forward the restrictive factors for the development of mobile pellet harvester in China. The future development of mobile pellet harvester in China is prospected.

Key words Biomass; Mobile; Straw pelletizer

随着世界各方面的不断发展, 人类对能源的消耗与日俱增, 现如今, 能源危机问题日益严重, 化石能源作为不可再生能源, 面临着消耗殆尽的结果。根据相关部门的研究, 煤炭大约还能够继续开采 150 年。而全球的天然气与石油, 根据它们的储存量和人类的消耗量预计, 也只能维持到 2050 年左右。除此之外, 其燃烧所带来的污染十分严峻。所以, 从能源需求与环境保护角度, 寻找一些新的高效、安全、清洁、可再生的能源是一种必然的趋势。生物质能源是近几年来受到人们广泛关注的一种清洁的可再生能源, 具有很好的利用前景, 是组成能源系统的一部分, 是继石油、煤炭和天然气之后最具有发展潜力的可再生能源。近年来所研究的生物质固体燃料成型技术, 可通过此技术, 生产高效的生物质能源颗粒。生物质颗粒燃料具有抗变形性、高流动性、高燃烧效率等优良的特性, 并且可以节约化石能源与减少各种有害气体的排放。生物质秸秆作为一种生物质, 其能量的来源主要为植物的光合作用转换并存储下来的太阳能, 不会产生类似二氧化硫等有害气体^[1-3]。

作为一个农业大国, 我国每年会产生的生物质秸秆高达 6 亿~7 亿 t, 这些秸秆的处理方式五花八门, 但是主要分为以下几种: ①秸秆直接还田。现如今, 依然有大量的农民选择将秸秆粉碎之后直接还田, 这会带来一些问题, 大量的秸秆致使土地并不能完全将其分解, 带来土质疏松; 除此之外, 秸秆中的害虫虫卵会残害下一季的农作物。②沼气循环利用。将秸秆投入到沼气池中, 生成的沼气可以用来取暖和煮饭。但是, 将秸秆转化为沼气, 需要面临大量的储存与运输问题,

这其中所带来的成本十分巨大。③畜牧业饲料。有一些畜牧业企业会购买秸秆作为动物饲料, 这一方面会带来高额的储存和运输成本, 另一方面, 企业所需的秸秆量并不是太多。④秸秆直接燃烧。就地燃烧之后, 可以作为下一季的肥料, 但这会产生大量的有毒气体, 带来环境污染, 并且, 还会引起土地板结的发生, 经常会引起火灾, 危害人身与财产安全。秸秆除了以上的主要处理方法, 还有秸秆乙醇、秸秆建筑等用途, 这些都不能从根本上解决秸秆的问题^[4-5]。

1 移动作业式秸秆造粒机优势及工作主要方式

由此看来, 对于秸秆的收集利用一直是一个较为棘手的问题, 从我国国情来看, 农作物有着季节性、与产地分散的特点^[6]。目前, 我国绝大部分的秸秆造粒机还是固定式的, 主要在厂房内完成制粒过程, 一般还配有切碎、输送、除尘、降温、包装等工作系统。固定作业式的秸秆造粒设备, 必须购买大量的大型秸秆加工设备, 从而必须有厂房来放置和运行这些设备; 另外, 大部分的田地较为分散, 将这些生物质原料收集再运输到加工厂房, 产生大量的成本, 可以获得的利润较低。生物质原料的分散性特点就决定了其运输成本要远高于原料本身的价格。所以, 为了能够减少运输成本和增加利润收益, 做到在原料产生地成型, 就需要研发功能完善的移动式造粒机械。

移动作业式秸秆造粒机是对固定作业式的创新, 基本上是以柴油发动机作为动力来源。行走方式分为自走式与牵引式两种。自走式动力来源于本身安装的发动机, 牵引式由拖拉机牵引, 动力来源为拖拉机后动力输出。目前, 国内的部分厂家在进行牵引式秸秆造粒机的研发与试验, 对各个系统的整机匹配进行研究与探索。相比牵引式, 自走式秸秆造粒机方面的研究进展刚刚起步, 还有很长的路要走。

1.1 优势 相比于固定作业式秸秆造粒机, 移动式秸秆造

基金项目 江苏省农业科技自主创新项目(CX(19)3071)。

作者简介 葛艳艳(1979—), 女, 山东潍坊人, 副教授, 博士, 从事农机具的设计加工以及农业领域微纳生物质传感器的开发和应用研究。

收稿日期 2021-01-02

粒机的主要优势体现在两方面^[7]。①运输成本上的优势。总体上看,固定式的厂房生产加工时,每天基本上要 9~10 t 的原料才能维持设备的正常运转。在农村地区,相邻的村落之间一般有 3 km 左右的距离,若要满足原料的需求,根据数据测算,需要收集半径在 50 km 区域以内的秸秆,这带来的运输成本很高。移动作业式的设备,可以根据原料灵活移动,即使是有设备的吊装与运输成本,对比大量的运输原料,花费也要大大降低。②投资上的优势。固定式的设备价格十分昂贵,且必须配备相应的设施。例如需要占据厂房,专门的变压器等等。如果是移动作业式的加工机器,可在田间地头加工,无须众多配套设施。而且相对于固定设备,成本较低,投入资金回报快,设备维护使用也更加便捷。

1.2 工作主要方式 移动式秸秆造粒机的作业流程,主要可以划分为 5 个步骤:切割、捡拾、粉碎、烘干和制粒。作业时,可以在田间收割农作物残余物的同时完成切割、控温、碾磨、除尘、压缩成型全过程,直接生产可供多种用途的生物质颗粒。

1.2.1 切割捡拾的发展现状。切割捡拾结构是将秸秆从田地收割、捡拾、打碎的部件,作为移动作业式秸秆造粒机的重要结构之一,切割捡拾机构影响着后续步骤的进行。关于收割捡拾机构的设计研发,国外已经相当成熟^[8],美国的约翰·迪尔公司新研制的弹齿式捡拾机构对收割机构下的秸秆直接捡拾,可通过调节弹齿间距离来提高捡拾的效率。而德国的 Klass 公司所开发的带有弹性齿尖钩设计的捡拾机构则显著提高了拈选的效率。国内的中联重机公司最近研制了一种关于分禾装置的捡拾器,可以根据秸秆的长度进行分类,有效预防收割捡拾机构两端与喂入机构间的堵塞,给移动作业式秸秆造粒机提供了创新的技术支持。

1.2.2 粉碎烘干机构的发展现状。秸秆粉碎的效果对后续的制粒环节影响显著^[9]。初步粉碎的秸秆在秸秆粉碎机的高速旋转下实现粉碎的过程,调节旋转速度和刀片的分布密度可以改变粉碎的精度。因为秸秆太高的含水量,要进行必要的烘干处理。市面上的粉碎设施,美国 CPM 公司研发的一款 HM 系列的水滴型卧式粉碎机,有着优良的性能,可以从两个方向进行物料输入,筛网的有效利用面积大大增加,同时锤片的使用寿命也得到了延长。而且水滴型的筛网可有效地阻止粉碎室内部产生物料环流层,提高了粉碎的效率。

1.2.3 制粒的发展现状。制粒是影响移动作业式秸秆造粒机性能最主要的部分,秸秆的制粒过程可总结如下:秸秆通过进料区、变形压紧区和挤出成形区在制粒室形成颗粒。对于制粒的过程,除了原料的成分会影响颗粒的成形,还有物料的含水量、喂入速度等等都至关重要。一般来讲,生物质颗粒的成型作业不需要去除杂质,可以直接对农作物料进行干燥、粉碎、压缩的处理,工艺较为简单。国外的 Stelte 等^[10]研究表明,在一定的压力范围内,颗粒形成的密度会随着压力的增加而增加,但是一旦压力增加到一定大小时,颗粒的密度就不再有明显的变化。

生物质颗粒压缩成型的工艺可以根据多种方式进行分类,比如可以依照原料在压缩成型工艺时是否添加黏合剂分为不加黏合剂与加黏合剂的成型工艺。按照压缩力的大小又可以分为高压压缩(>100 MPa);采用加热的中等压力压缩(5~100 MPa);添加黏结剂的低压压缩(<5 MPa)。在广义上通常将生物质的压缩成型工艺分为 3 种主要的成型方式:炭化成型、热压成型与湿压成型^[11]。意大利就发明了叫 EcoTre System 的技术(ETS 技术)^[12],这种技术十分创新,对于大部分的物料,可以不必进行干燥处理,即可直接制粒。除此之外,在制粒之后,传统的工艺需要对颗粒进行冷却处理,采用这种技术,无须冷却。这大大降低了整个工序的消耗,节省了成本。在秸秆颗粒成本降到接近于煤炭时,增加了其代替煤炭的可能性。

现在,秸秆的制粒机器主要有螺旋挤压式的成型机、活塞冲压式成型机和压辊式成型机 3 种。在这当中,螺旋挤压式成型机和活塞冲压式采取的是热压成型工艺,而压辊式成型机采取的为冷压成型工艺,压辊式成型机可分为平模成型机与环模成型机 2 种。农业农村部规划设计院在北京大兴研究了一款适宜于农作物秸秆的 HM-485 型环模式成型机,同时还建成并投产运行了年产 2 万 t 的生物质固体燃料生产线,此型号成型机生产率高达 1.5 t/h,主要结构的寿命超过 400 h。

2 国内外移动作业式秸秆造粒机发展状况

2.1 国外的发展状况 对农作物秸秆的处理技术能够追溯到 20 世纪 30 年代,美国与德国就开始对秸秆造粒进行研究^[12-13]。美国当时开发的活塞-模头造粒机便能够用活塞压力通过成型模具制造秸秆颗粒。日本在 20 世纪 50 年代研制出了一款螺旋制粒机,通过螺旋挤压将木屑加工为棒状的颗粒。在此期间,德国与瑞典将进行改进研制出了以液压为动力的活塞冲压式造粒机。到了 20 世纪 70 年代,全球能源危机出现以及人们的环保意识逐渐加强,世界各国都逐渐重视对农作物秸秆的开发利用。同一时期,法国、意大利、芬兰、德国等国家研发了许多的农作物秸秆造粒设备。在 20 世纪末,凝结成型设备与颗粒燃料在日本、西欧和北美一些发达国家实现了商业化。对于移动作业式秸秆造粒机,美国、德国、意大利、日本、奥地利等国家的技术处于世界的领先地位。像德国 Bauer Power 公司和奥地利 Co-Pax GmbH 公司的移动作业式农作物秸秆造粒机的一体化设备,将农作物秸秆的收集、粉碎和压缩成型集于一体,将整个秸秆造粒的生产线整合为一个集装箱大小,可以运送到生产场地,类似一个小型的工厂。而德国的 Krone(科罗尼)公司生产研发的 Premos 5000 型的移动作业式秸秆造粒机^[14],则更加灵活,其由拖拉机牵引行走,后车工作部分包括秸秆捡拾机构、秸秆粉碎装置和核心的造粒装置。该设备能生产直径为 16 mm 的球形颗粒,不需要预先进行粉碎,该设备通过宽度为 2.35 m 的拾禾器将地面上的农作物秸秆运到下一个工序,随后作物秸秆被平铺在传送带上,运送到直径为 800 mm 的两个压辊之间,通过压辊上的齿与排孔,将作物秸秆送入

2×10^5 kPa 的压力下, 秸秆就被压制成为颗粒。

2.2 国内的发展状况 国内的生物质造粒机的研究工作起步较晚^[15], 随着国家关于生物质能源发展政策的不断调整, 秸秆颗粒机也在逐步发展。秸秆造粒机在我国的发展道路曲折, 在最近 10 年产品技术才慢慢成熟起来, 而移动作业式造粒机的研制也不过最近几年才开始, 随着先进的加工工艺和技术引进行业, 国内的一些企业与机构也在研发移动作业式秸秆造粒机。辽宁省能源研究所研制的可移动生物质颗粒燃料设备系统, 创新性地采用了风力来运送秸秆颗粒, 整体设备体积质量大大缩小, 达到了移动作业的能力。泰州市泰兴市金鳌机械制造有限公司设计的多功能生物质颗粒机, 底部装有滑轮, 可以移动, 该设计解决了原有颗粒机吸尘效果不佳的问题。北京航空航天大学提出了一种内燃机驱动移动式秸秆生物质颗粒加工系统方案, 其特征在于: 该系统包括秸秆粉碎机系统、烘干子系统、颗粒加工子系统、旋耕子系统 and 驱动行走子系统, 为移动式, 以内燃机为动力, 通过系统平台的移动实现秸秆采集和制粒同步进行, 省去了运输秸秆的环节, 制成的颗粒物一部分存储, 一部分送去燃烧室燃烧给烘干机提供热量, 系统处理对象为各种类型秸秆。由于行业大发展需求和移动作业式秸秆造粒机的优势, 国内相关研究也越来越多, 在行业内也越来越受到重视^[16]。

3 移动作业式秸秆造粒机的制约因素

我国的移动作业式秸秆造粒机技术经过近些年的努力研发已经有了初步的成效^[17], 但是与国外相比, 依旧差距显著。有以下几个原因。

3.1 气候较湿润 相对于欧洲较为干燥的气候环境, 我国的种植环境更湿润一些, 所以农作物秸秆内的含水量比欧洲的要高一点, 所以对烘干过程降低秸秆的含水量的要求更高。目前市面上有热风烘干、真空烘干、蒸汽烘干等可以降低秸秆原料的含水量, 其中一般不采用效果较差的蒸汽烘干。虽然热风烘干和气流烘干两种方法效率要高, 但它们的设备占地面积过大, 工作能耗也较大, 对于移动作业式秸秆造粒机有一定的载荷上限与供能上限, 因此带来了较大的研发难度。

3.2 种植国情限制 欧洲的作物属于聚集类的大片种植方法, 作业设备在农田中可以较好地连续作业, 无须频繁更换工作区域, 我国大部分的地区种植可以总结为“大分散, 小聚集”, 是小块区域种植, 一片农田可能分属于多个农户, 种植了不同的农作物, 导致收获的时间与品种的不同, 阻碍了移动作业式秸秆造粒机应用。

3.3 应用推广 在西方的一些发达国家, 使用秸秆颗粒燃料早已相当常见, 相关的配套设施也已经十分完善。我国目前的颗粒燃料远远没有普及, 只是在热风炉、锅炉和生物质气化炉上有一定的普及, 在一些主要的用能单位并没推广普及。另外, 一些地方政府的环保与监管力度欠缺, 直接将大型的锅炉改为天然气型, 使得生物质颗粒得不到普及应用, 从而影响移动作业式秸秆造粒机的推广。

3.4 缺乏试验 移动作业式造粒机的研发还比较落后, 相

关设备的试验还十分欠缺, 相关的研发性人才缺乏, 导致设备的研发创新相当缓慢。

3.5 适用范围 一方面, 各类的秸秆都能够压制成为颗粒; 另一方面, 造粒机在不调换环模(压缩比相同)的情况下, 能加工的物料就较为单一。除此之外, 目前主流的机器对物料的含水量要求很苛刻, 在不烘干的前提下无法制粒。就算是同一种物料水分不同, 依然要调换环模。

3.6 残膜压缩 目前, 农田中会使用大量的地膜, 在田间随处可见残膜等非生物质物料, 若处理不当, 不仅会影响生态环境, 还会影响造粒。关于农田残膜的压缩技术的研究刚刚起步, 一些难题还在攻克中^[18]。

4 移动作业式造粒机的发展趋势

在当前的世界发展环境下, 对于环境的保护是一个重点的问题, 秸秆颗粒作为生物质能源中十分突出的一种能源, 对于它的处理和利用技术还十分不成熟, 因此, 相比目前的一些秸秆处理设备, 移动作业式秸秆造粒机的效率要更高一些, 成本也要低, 在未来的秸秆处理市场上, 一定会占据十分重要的位置。根据目前国内移动作业式秸秆造粒机的研究, 结合国外相关领域的先进技术, 未来我国的移动作业式秸秆造粒机技术领域将会逐渐构建完整的技术体系, 包括造粒工艺和智能化控制等。在欧洲, 一些发达的技术体系已相对健全, 从制粒工艺、装备设计与制造、智能控制技术、专家诊断与服务技术等多个方面进行了较为系统的研究, 国内可以不断学习国际上的先进技术与工艺^[19], 逐步搭建出适合我国国情的移动作业式秸秆造粒机的体系。与此同时, 对于环模、压辊等核心的零部件技术的不断优化, 促进核心零部件的适应性并且延长寿命, 提高造粒机的性能与工作效率。除此之外, 制粒的过程主要依靠的是挤压力与摩擦力, 因此需要对磨损进行深入的研究, 不断发展新的耐磨材料与耐磨工艺, 从而优化移动作业式造粒机的性能。国内还可以引进 ETS 制粒新技术, 可使大部分的原料无须干燥, 即可制粒, 这样可去掉干燥与冷却两道工序, 降低能耗, 节省成本。

高端化与智能化也是未来移动作业式秸秆造粒机的发展趋势^[20], 通过不断的引入智能化控制技术, 不断提高设备的智能化监控和操作水平, 从而提升造粒机的整体技术水平。移动作业式造粒机有牵引式和自走式两种, 欧美一些先进的设备都是自走式, 而国内一些生产农机设备的中小企业更多的为牵引式, 这主要和现有的种植现状有关, 从未来长远来看, 自走式的优势较大, 所以后期自走式秸秆造粒机会成为主流的产品。

参考文献

- [1] 简相坤, 刘石彩. 生物质固体成型燃料研究现状及发展前景[J]. 生物质化学工程, 2013, 47(2): 54-58.
- [2] 张霞, 蔡宗寿, 陈颖, 等. 世界生物质颗粒燃料产业发展现状与趋势分析[J]. 农机化研究, 2015, 37(2): 1-5.
- [3] 郝玲, 祖宇, 董良杰. 模辊式生物质燃料成型技术及设备的研究进展[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(1): 367-369, 372.
- [4] 刘义. 秸秆颗粒压制机现状及发展[J]. 新农业, 2011(5): 61.
- [5] MARK O. Krone Premos pellets straw in the field[J]. Farmers weekly, 2016, 165(21): 75.

准,因此青蒿在畜牧兽医中的科学合理应用仍需要进一步研究,以使中草药青蒿在畜牧业中发挥更大作用。

青蒿为常用传统中药,来源广泛,多生于海拔 400 m 以下丘陵、平地,一般在路边、村旁、旷野、山坡及沟边较为常见^[37]。中草药青蒿可以通过配伍,达到同病异治的效果。青蒿具有低毒、绿色、疗效好的特点,长期使用几乎无不良反应、无耐药性和药物残留等问题。青蒿对畜禽的肉类产品也没有影响。国内外一些试验结果表明,青蒿对促进畜禽生长、提高饲料转化率、提高畜禽免疫水平及预防疾病发生等都有一定的效果,可作为无抗养殖的首选药,因此,使用青蒿在生态畜牧业上有较好的发展前景。

参考文献

- [1] 袁亚男,姜廷良,周兴,等. 青蒿素的发现和发展[J]. 科学通报,2017,62(18):1914-1927.
- [2] 李蕴玉,贾青辉,李佩国,等. 单味中草药对球虫卵囊体外抑制的试验研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2015(9):200-202.
- [3] 周丽华,张云芬. 不同剂量青蒿花枝干粉对家兔球虫病防治效果实验[J]. 云南畜牧兽医,2015(1):1-3.
- [4] 莫平华,马庆涛,纪小霞,等. 青蒿素对鸡柔嫩艾美耳球虫第二代裂殖子微线基因 mRNA 转录及鸡盲肠组织结构的影响[J]. 畜牧兽医学报,2014,45(5):833-838.
- [5] 宋霖,梁晚枫,张守发,等. 青蒿素和黄芩苷对猪附红细胞体病动物模型的疗效观察[J]. 畜牧与兽医,2013,45(12):89-91.
- [6] 陈永亮,刘丹丹. 青蒿素与二甲氧苄啶联合抗鸡球虫的试验研究[J]. 养鸡与禽病防治,2020(4):6-10.
- [7] 马庆涛. 青蒿素与 DVD 联合用药对鸡柔嫩艾美耳球虫感染的疗效研究[D]. 扬州:扬州大学,2015.
- [8] 王宽德. 青蒿治疗牛梨形虫病效果好[J]. 江西畜牧兽医杂志,1994(4):46.
- [9] 张义明,冯志华,龚建刚,等. 常山、青蒿及其提取物对感染球虫雏鸡血液指标的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2009(9):106-107.
- [10] 郭全海,刘诗柱,王留,等. 青蒿组方对球虫感染雏鸡血液中 CD4+和 CD8+T 淋巴细胞的影响试验[J]. 贵州畜牧兽医,2020,44(1):1-4.
- [11] 李秀生. 一例猪弓形体病的防控[J]. 北方牧业,2015(16):30.
- [12] 陆亚冬,刘贤侠. 绵羊附红细胞体病的诊断与治疗[J]. 畜牧与饲料科学,2017,38(2):91-96.
- [13] 洗琼珍,王丙云,丘顺寿,等. 10 种中药体外抗猪繁殖与呼吸综合征病毒的作用研究[J]. 黑龙江畜牧兽医,2014(1):133-136.
- [14] 刘樱,丁度伟,高求炜,等. 3 种中药及其提取物体外抗猪繁殖与呼吸综合征病毒作用的研究[J]. 中国畜牧兽医,2016,43(10):2730-2735.
- [15] 郭昌伟,刘宁,张飞可,等. 青蒿对后期猕猴血液生化指标和免疫功能的影响[C]//中国畜牧兽医学会养兔学分会第二届学术交流大会论文集. 济南:中国畜牧兽医学会养兔学分会,2018:39.
- [16] 康红军. 青蒿活性成分对断奶仔猪和生长猪生产性能和免疫性能的影响[D]. 重庆:西南大学,2009.

- [17] 周全民. 青蒿复合中药制剂对寿光鸡生长和免疫性能的影响[J]. 中国动物保健,2015,17(6):76-78.
- [18] 张滔滔,陈胜昌,张华琦,等. 青蒿中草药添加剂对散养肉鸡抗病及免疫性能的影响[J]. 中国饲料,2019(15):49-54.
- [19] WANG J P, LIN L, LI B, et al. Dietary *Artemisia vulgaris* meal improved growth performance, gut microbes, and immunity of growing Rex rabbits [J]. Czech journal of animal science, 2019, 64(4):174-179.
- [20] DING K, WANG J P, LIU N, et al. Effect of *Artemisia apiacea* Hance on growth performance, cecal opportunistic bacteria, and microbicidal peptides in rabbits [J]. Revista brasileira de zootecnia, 2019, 48:1-8.
- [21] 范顺,石冲,尚懿纯. 初探温病中“先入后出”之法[J]. 中医学报,2020,35(9):1846-1848.
- [22] 吴义付,徐雪平,熊道国,等. 青蒿治疗家畜温热病之体会[J]. 江西畜牧兽医杂志,2018(6):53.
- [23] 李玉苍. 青蒿外洗治疗家畜结膜炎[J]. 中医医药杂志,2011,30(4):73.
- [24] 芜湖天成普阳中药科技有限公司. 一种青蒿猪用饲料添加剂及其制备工艺:CN201510774072. 6[P]. 2016-01-20.
- [25] 林韵,刘公言,吴振宇,等. 饲料中不同剂量青蒿粉对生长肉兔生产性能、屠宰性能、肌肉品质、肠道及免疫器官发育的影响[C]//中国畜牧兽医学会养兔学分会第二届学术交流大会论文集. 济南:中国畜牧兽医学会养兔学分会,2018:1.
- [26] 郭昌伟,刘宁,张飞可,等. 青蒿对后期猕猴增重和养分消化率的影响[C]//中国畜牧兽医学会养兔学分会学术交流大会论文集. 济南:中国畜牧兽医学会养兔学分会,2018:40.
- [27] 宋志华,程康,万晓莉,等. 青蒿叶对肉鸡生产性能和血清生化指标及消化酶活性的影响[J]. 中国畜牧杂志,2016,52(21):45-49.
- [28] 宋志华,程康,万晓莉,等. 饲料中添加酶解青蒿对肉鸡生产性能、消化功能、肠道形态和抗氧化功能的影响[C]//侯永清. 中国畜牧兽医学会动物营养学分会第十二次动物营养学术研讨会论文集. 北京:中国农业出版社,2016:418.
- [29] 万晓莉. 酶解青蒿的抗氧化功能及缓解肉鸡热应激的作用机制研究[D]. 南京:南京农业大学,2017.
- [30] 鲍娟,陈永芳. 酵素在肉鸡养殖中的应用研究[J]. 现代畜牧科技,2020(4):1-2.
- [31] 侯昆,童津津,楚康康,等. 竹叶黄酮与青蒿提取物对患隐性乳房炎奶牛产奶性能、乳中体细胞数及血清免疫和抗氧化相关指标的影响[J]. 动物营养学报,2019,31(9):4286-4295.
- [32] 孙红梅,郝力壮,冯宇哲,等. 青蒿提取物对牦牛瘤胃发酵及甲烷产量的影响[J]. 家畜生态学报,2015,36(8):34-40.
- [33] 拜彬强,郝力壮,刘书杰,等. 青蒿提取物对藏羊瘤胃体外产气发酵特性及甲烷产量的影响[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):227-231.
- [34] 苏汉书,熊北海,方洛云,等. 青蒿提取物对奶牛瘤胃体外发酵及甲烷生成的影响[J]. 北京农学院学报,2020,35(1):60-66.
- [35] 王洪荣,秦韬,王超. 青蒿素对山羊瘤胃发酵和微生物氮素微循环的影响[J]. 中国农业科学,2014,47(24):4904-4914.
- [36] 北京助剂生物科学研究院(有限合伙). 一种利用青蒿提取液提高高丹草青贮品质的方法:CN201610363615. X[P]. 2016-10-26.
- [37] 康振国. 青蒿精油研究进展[J]. 黑龙江医药,2016,29(1):36-40.

(上接第 22 页)

- [6] TUMULURU J S. Effect of process variables on the density and durability of the pellets made from high moisture corn stover [J]. Biosystems engineering, 2014, 119:44-57.
- [7] 左保. 生物质颗粒燃料前景光明[J]. 湖南农业,2013(3):17.
- [8] MANI S, TABIL L G, SOKHANSANJ S, et al. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses [J]. Biomass and bioenergy, 2006, 30(7):648-654.
- [9] 张景,田力,纪超,等. 农业物料压缩成型技术研究现状[J]. 中国农机化学报,2019,40(4):93-102.
- [10] STELTE W, HOLM J K, SANADI A R, et al. Fuel pellets from biomass: The importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions [J]. Fuel, 2011, 90(11):3285-3290.
- [11] 王朋友,宋卫东,吴今姬,等. 生物质燃料固化成型技术研究进展[J]. 安徽农业科学,2014,42(26):9099-9100.
- [12] KALIYAN N, VANCE MOREY R. Factors affect in affecting strength and durability of densified biomass products [J]. Biomass and bioenergy,

- 2009, 33(3):337-359.
- [13] GIL M V, OUEGO P, CASAL M D, et al. Mechanical durability and combustion characteristics of pellets from biomass blends [J]. Bioresource technology, 2010, 101(22):8859-8867.
- [14] 第八站:领袖德国科罗尼 Krone 的独特设计理念 [J]. 农业机械, 2015(22):26-27.
- [15] 胡建军. 秸秆颗粒燃料冷态压缩成型实验研究及数值模拟 [D]. 大连:大连理工大学, 2008:2-7.
- [16] 闫昌国,李世密,张晓健,等. 可移动生物质颗粒燃料设备系统的研制及其经济技术性能分析 [J]. 可再生能源, 2007(6):29-33.
- [17] 秦军卫. 从推广鉴定角度看生物质颗粒机前景 [J]. 农机质量与监督, 2019(1):17-18.
- [18] 王保国,邱筱玲. 生物质造粒机技术研究和未来发展趋势分析 [J]. 农业机械, 2018(9):96-99.
- [19] 吴钧. 巨无霸青贮收获机,大块头有大智慧 [J]. 农业机械, 2017(7):39-41.
- [20] 韩绪明,张姬,耿爱军,等. 玉米秸秆机械化利用综述 [J]. 中国农机化学报, 2018, 39(4):114-118.