

## 农业废弃物资源化利用模式及主导途径研究

平英华<sup>1</sup>, 张飞<sup>2</sup>, 刘先才<sup>1</sup>, 翟正<sup>1</sup>, 杨子<sup>1</sup>

(1. 农业农村部南京农业机械化研究所, 江苏南京 210014; 2. 江苏省农业农村厅, 江苏南京 210036)

**摘要** 基于资源和环境双重压力, 无害化利用农业废弃物已经成为世界各国的共识。目前我国农业废弃物资源化利用率仍然较低, 不仅造成了资源浪费, 而且造成了严重的环境污染。在分析总结我国农业废弃物循环利用途径和主要模式的基础上, 理清了支撑农业废弃物循环利用的技术装备体系, 明确了技术装备支撑体系中的“短板”, 从而进一步明确农业废弃物资源化利用的研发重点, 以期支撑农业废弃物资源化利用的可持续发展。

**关键词** 农业废弃物; 资源化利用; 技术装备; 模式; 技术评价

中图分类号 X71 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2019)17-0216-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2019.17.062

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



### Study on the Utilization Model and Leading Ways of Agricultural Waste Resources

PING Ying-hua<sup>1</sup>, ZHANG Fei<sup>2</sup>, LIU Xian-cai<sup>1</sup> et al (1. Nanjing Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing, Jiangsu 210014; 2. Jiangsu Department of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing, Jiangsu 210036)

**Abstract** Based on the dual pressures of resources and the environment, the harmless utilization of agricultural waste has become the consensus of all countries in the world. At present, the utilization rate of agricultural waste resources in China is still low, which not only causes the waste of resources, but also causes serious environmental pollution. On the basis of analyzing and summarizing the recycling ways and models of agricultural wastes in China, this paper clarified the technical equipment system that supported the recycling of agricultural wastes, and pointed out the “short board” in the technical equipment support system, so as to further confirm the research and development utilization focus of agricultural waste resources and support the sustainable development of the utilization of agricultural waste resources.

**Key words** Agricultural waste; Resource utilization; Technical equipment; Model; Technology evaluation

我国是一个农业大国, 亦是世界农业废弃物产出量最大的国家。因此, 提高农业废弃物资源化利用水平, 对于保护我国生态环境、促进农业可持续发展具有重大意义。我国政府高度重视农业废弃物资源化利用, 自 20 世纪 90 年代以来出台了一系列政策法规, 引导和推进农业废弃物资源化利用。特别是 2008 年国家颁布了《循环经济促进法》, 从法律层面提出了“循环经济”“减量化”“再利用”和“资源化”要求, 鼓励和支持对农业废弃物进行综合利用。2019 年中央一号文件又再次指出“发展生态循环农业, 推进畜禽粪污、秸秆、农膜等农业废弃物资源化利用”。目前我国农业废弃物资源化利用仍存在诸多问题, 先进适用的技术装备仍然缺乏, 利用模式存在不可持续性。因此, 为推进农业废弃物资源化利用, 构建可持续的利用技术模式, 需要进一步分析制约我国农业废弃物资源化利用的因素, 特别是技术装备方面的“短腿”, 而科学、准确地把握农业废弃物资源化利用需要开发制约其利用的关键技术装备, 需要提升尚不成熟的技术装备, 从而稳步提升农业废弃物循环利用技术的装备创新能力、提升技术装备的适用性, 是实现国家有关农业废弃物资源化利用发展目标的基本保障, 是促进“生态循环农业”战略实施的重要基础性保障之一。

## 1 国内外农业废弃物资源化利用途径和模式

### 1.1 秸秆资源化利用

以欧美发达国家为代表的发达国家秸秆利用技术比较成熟。欧美发达国家的秸秆实际有效利

用结构较为简单, 从多国的利用途径可看出, 其基本的利用框架结构为“三化”利用, 即秸秆还田肥料化利用、秸秆饲料化利用和秸秆能源化利用, 其中秸秆直接还田约占 65%, 秸秆饲料化约占 20%, 能源化等其他应用约占 20%<sup>[1]</sup>。秸秆还田率较高的国家是英国, 其还田量占秸秆总产量的 73%, 美国为 68%。秸秆饲料化率较高的国家是韩国, 其稻麦秸秆饲料化率高达 80%<sup>[1]</sup>。国外在生活领域大量使用生物质固体燃料, 如欧洲各国几乎 100% 采用颗粒燃料供热<sup>[2]</sup>, 在秸秆发电方面以丹麦为代表, 其秸秆发电等可再生能源已占丹麦能源消费量的 24% 以上<sup>[3]</sup>。

2017 年我国秸秆资源化利用率达到 83.68%, 其中肥料化 56.53%、饲料化 23.24%、燃料化 15.19%、基料化 2.32%、原料化 2.72%<sup>[4]</sup>, 而肥料化利用亦以秸秆还田为主要途径。上海还田率较高, 达 82%; 河北省秸秆肥料化利用率达到 69.8%<sup>[5]</sup>。

### 1.2 粪便资源化利用

国内外畜禽粪便资源化利用最主要的途径就是肥料化利用, 但在养殖模式上国内外有一定差异。

发达国家畜禽养殖的一个基本原则是以土地消纳能力来确定养殖规模, 故提出了“农牧结合”和“承载限量”养殖模式。畜禽粪便利用的框架结构为“两化”利用, 即肥料化和能源化利用, 其中以肥料化利用为主, 能源化利用为辅。

在畜禽粪便肥料化利用方面, 以美国较为突出。2017 年在北京举办的第一期全国畜禽养殖废弃物资源化利用培训班上, 美国有关专家介绍了美国畜禽粪污的资源化利用, 美国几乎所有的养殖场都实现了零排放, 集约化养殖场几乎全部选择粪肥直接还田; 在肥料化利用方面, 美国东南部常用

**基金项目** 2017 年中国农业科学院所级统筹基本科研业务费项目 (S201732)。

**作者简介** 平英华 (1961—), 男, 河北高邑人, 研究员, 从事农业机械化研究。

**收稿日期** 2019-03-19

的猪粪处理技术,主要是通过氧化塘处理后还田。最常用的堆肥方式是条垛式堆肥,占 53%;其次为强通风静态堆肥,占 25%;混合式堆肥占 14%、反应器堆肥占 5%<sup>[6]</sup>。畜禽粪便能源化利用方面,以德国最为突出。德国的畜禽废弃物处理利用以通过沼气发酵农田利用为主,畜禽粪便在不能还田的时间内全部贮存在贮存设施内 6 个月<sup>[7]</sup>。德国采用“沼气发电、余热生温、中高温发酵、气囊储气、自动控制、沼渣沼液施肥”的模式对粪便进行生物发酵处理,是目前欧洲乃至全世界沼气工程技术最发达的国家,其沼气发电量约占可再生能源总发电量的 8%左右,其中沼气总发电量的 92%被污水处理厂消耗,其余 8%输入至公共电网<sup>[8]</sup>。

从统计年鉴可以看出,2017 年我国大牲畜、猪、羊年底存栏量在 11 亿头以上<sup>[9]</sup>,年产生畜禽粪污量为 38 亿 t,综合利用率不足 60%<sup>[6]</sup>。

**1.3 利用模式** 农业废弃物资源化利用的模式主要是肥料化、能源化和饲料化(主要是秸秆类),而其他利用模式所占比重较小。国内外农业废弃物资源化利用模式均具有以下特点:一,肥料化利用是基本保障。肥料化利用是农业废弃物资源化利用的最主要方式,其中又以秸秆机械化还田和畜禽粪便制作有机肥为重要途径,是确保农业废弃物资源化利用的基本保障。二,能源化或饲料化利用是辅助保障。粪便的能源化或秸秆的饲料化利用是农业废弃物资源化利用的第二大途径,是除肥料化利用之外的最主要利用方式,是农业废弃物全量化利用的辅助保障。三,原料化等其他利用方式是补充保障。农业废弃物原料化、基料化等利用量有限,从总体来看,不可能成为秸秆利用的主要途径,只能起到拾遗补缺的作用。肥料化是农业废弃物资源化利用的“媒介”。无论采用哪种农业废弃物资源化利用模式,均是直接或间接地通过肥料化这一“媒介”,使农业废弃物重新回归到农业生产循环系统中。由此可见,肥料化是农业废弃物循环利用的根本归宿,直接或间接肥料化的农业废弃物约占农业废弃物总量的 90%左右,因此抓住了肥料化利用就抓住了农业废弃物资源化利用的“牛鼻子”。基于此,可以总结出以下 4 种利用模式:①以肥料化为纽带的利用模式。此种利用模式主要是通过种植业产生秸秆和畜禽养殖业产生的粪便,直接转化为肥料连接上下生产环节。农业生产产生废弃物通过直接还田或制作有机肥还田,实现农业废弃物的循环利用。②以能源化为纽带的利用模式。此种利用模式主要是通过农业生产产生的废弃物的厌氧发酵生产沼气,沼气用于生活能源或发电,产生的沼渣和沼液用作农业生产的肥料,重新回归农业生产系统,实现农业废弃物的循环利用。③以饲料化为纽带的利用模式。此种利用模式主要是通过种植业产生秸秆的饲料化,进行畜禽养殖,养殖产生的粪便用于农业生产肥料,实现农业废弃物的循环利用。④以基料化等为纽带的利用模式。此种利用模式主要是通过农业生产产生废弃物的基料化,进行蔬菜、花卉、食用菌等的种植或种苗的繁育,使其直接或间接(培养基肥料化)回归于农业生产系统,实现农业废弃物的循环利用。农业废弃物资源化利用模式见

图 1。

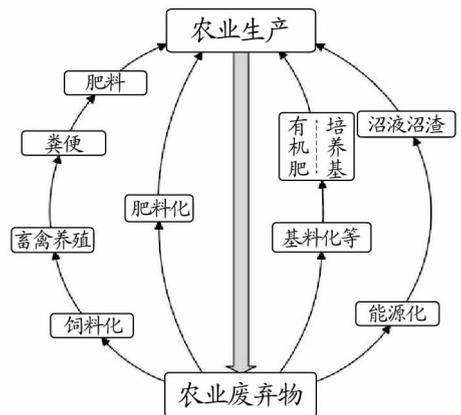


图 1 农业废弃物资源化利用模式

Fig.1 The utilization model of agricultural waste resources

**1.4 主要障碍因素** 农业废弃物利用虽然形式多样,空间巨大,但由于农业废弃物本身固有的特性,对资源化利用形成一定制约。主要障碍因素包括 3 个方面。①产出的周期性。农业有机废弃物具有一定的生产周期,特别是农作物秸秆,生产具有季节性,一年就产出 1~2 季,这就对资源化利用提出了巨大的挑战,如何做到常年有序地提供秸秆原料成为农作物秸秆综合利用首要需要破解的难题。②储存的困难性。正是由于农业废弃物具有产出周期性,储存是实现秸秆产业化综合利用的基础。产业化利用需要生产有一定的周期,这就需要在这个周期内能够均衡地供应秸秆原料,就需要储存。但秸秆具有质地蓬松、密度低等特点,给储存造成极大的困难。对于畜禽粪污,由于养殖规模较大,产生的粪污量大,肥料化利用又具有一定的季节性,这就必然要求配备一定规模的粪污贮存设施,不仅占地面积大,而且要达到环保要求,投入较高。③利用的经济性。农业废弃物,特别是秸秆,仅仅从单一利用环节考察,经济性均较差,很难做到可持续发展。农业废弃物资源化利用的经济性是制约其应用的一个关键因素。

## 2 装备支撑体系

根据农业废弃物资源化利用技术,可以把农业废弃物资源化利用装备划分为以下几类:①收储类装备,主要包括秸秆捡拾(打捆)收储装备、畜禽粪污收储运装备等;②粉碎类装备,主要包括秸秆粉碎机、秸秆揉搓机等;③成型类装备,主要包括秸秆成型机、有机肥成型机等;④发酵类装备,主要包括厌氧发酵装备、高温好氧发酵装备等;⑤应用类装备,主要包括有机肥撒施装备、成型燃料利用装备、蔬菜(花卉等)基料种植装备等。

### 2.1 收储装备支撑体系

**2.1.1 秸秆收储类装备。**秸秆收储类设备是以秸秆捡拾打捆机为代表。目前我国拥有近 60 家企业生产秸秆打捆机,型号 140 余个,能够满足国内秸秆收集生产需要,但大多数机型属于仿制<sup>[10]</sup>。目前我国申请有关秸秆打捆机及打结装置方面的专利数量逐年增多,但自主开发的秸秆打捆机仍存在能耗大、作业质量不稳定等缺点,且核心部件依赖国外进

口<sup>[10]</sup>。总的来说,我国秸秆打捆机基本满足了生产需要,但核心部件受制于人。此外,散草捡拾机械正在引起有关各方的关注,一些科研单位和厂家已经开发了散草捡拾机械,但散草捡拾机械在南方地区适应性较差,效率体现不出来。

**2.1.2 粪污收集设备。**畜禽养殖场一般采用铲车、刮粪机等收集粪便,粪尿等污水通常通过管道收集。刮粪机等产品技术含量并不高,国内已经有多家生产厂家进行生产销售,需要进一步提高清洁率,减少粪污残留量。

**2.1.3 运输设备。**无论秸秆还是粪污,目前国内尚无专用的运输设备,秸秆运输机械一般是农用运输车、粪污用污泥或污水运输车。特别是畜禽粪污,由于一些规模较小的养殖场缺乏粪污储存和处理设施设备,需要将粪污运送到第三方进行处理,因此生产实际需要开发专用的畜禽粪污运输机械,以提高运输效率。

## 2.2 秸秆粉碎类装备

**2.2.1 秸秆粉碎机。**秸秆粉碎机主要分为铡切式和锤片式2类。目前我国铡切式粉碎机相对较成熟,且机型也比较多,基本能满足生产实际需要。锤片式粉碎机主要存在能耗高、效率低等问题,并需要进一步控制粉碎质量。秸秆还田通常是在联合收割机上配置粉碎装置,在收获粮食的同时进行秸秆粉碎还田。

**2.2.2 秸秆揉搓机。**国内对秸秆揉搓机进行了大量研究,产品基本能满足生产需要,存在的问题主要是生产率和能耗问题以及受秸秆含水率和物理特性的影响较大,效率较低,能耗较高,且不适于高湿或韧性大的物料。

## 2.3 成型类装备

**2.3.1 秸秆成型机。**常见的秸秆成型机结构主要为模辊碾压成型机,分为平模和环模2种,其中环模又分为立式和卧式2种。生产实际中存在核心部件磨损严重、耗能高且自动化程度低等问题。关键是成型机适应性差,只对某一种秸秆原料成型效果好,对原料的种类、颗粒度、含水率要求苛刻,当原料无法达到要求时,则成型效果差甚至无法成型<sup>[11]</sup>。

**2.3.2 有机肥制粒机。**有机肥制粒机设备的造粒有搅拌造粒、挤压造粒和喷雾干燥造粒等方式,分为环模制粒机、磨圆制粒机、平模制粒机、圆盘制粒机和转鼓制粒机等。该类设备技术较成熟,需要进一步提升的是制粒成型率以及产品的抗碎性。

## 2.4 发酵类装备

**2.4.1 厌氧发酵沼气设备。**厌氧发酵装置一般包括厌氧反应器罐体、搅拌装置等。厌氧发酵装置的研究已经得到了深入研究,并在生产实际中得到了广泛应用。存在的主要问题是环境温度较低时的产气问题以及产出物的有效利用问题。

**2.4.2 好氧发酵设备。**好氧发酵是将空气不断通入发酵物中,供给微生物所需的氧。通风的方式主要有气升式、机械搅拌式、自吸式和射流搅拌式等。其中,机械搅拌式是利用机械对发酵物料进行搅拌,从而达到空气和发酵物充分混合的目的。该设备比较成熟,在生产中已得到广泛应用。①技

术体系基本成型。2016年农业农村部(原农业部)科技教育司下发了《关于推介发布秸秆“五料化”利用技术的通知》,提出了秸秆“五化”利用推介技术。总体来看,农作物秸秆资源化利用技术初步构成了一个相对来说较为全面的体系。但从生产实际来看,除了秸秆肥料化利用外,其他4项利用技术在生产实际中未得到普遍应用,如秸秆发电技术、秸秆成型技术等均遇到了发展瓶颈。从技术层面来看,这些技术是具有可行性的。但从产业化角度来看,则存在诸多问题制约着这些技术的应用。②装备体系初步构成。无论从农业废弃物肥料化利用还是工业原料化利用所需的设备,国内企业基本能够提供,初步构成了农业废弃物资源化利用装备体系。但产品工作的可靠性、经济性、适应性等方面仍需极大提升。一些适用性强的先进装备仍然短缺。③重“产”轻“出”。在技术和装备层面上,目前亟待破解的是“用”,即农业废弃物生产出的产品的市场问题。重“产”更要重“出”是进一步提升我国农业废弃物资源化利用必须要树立的观念,农业废弃物资源化产品的应用领域的设施、设备亟待开发。④重“点”轻“链”。与重“产”轻“出”相对应,农业废弃物有“五化”利用模式,但涉及到具体某“一化”利用时,割裂了“点”和“链”的关系。虽然科技研发“攻破”了许多“点”(关键技术与装备),但这些技术成果如何融入到某“一化”的产业体系中,使这个“一化”体系形成较完整的产业链,缺乏深入研究。因此,需要在理念上进行转变,由“点”转为“链”,必须将生物质产品生产的“点”与应用的产业链条的“线”有机连接起来,才能促进生物质产品产业的可持续发展。

## 3 技术装备成熟度分析

**3.1 技术装备成熟度分析** 通过咨询10位长期从事农业废弃物资源化利用研究的专家学者,对目前应用的农业废弃物资源化利用的技术装备的功能评价指标,按照技术装备的有效性(即能不能用的问题)、可靠性(即工作是否可靠、稳定、安全)、适应性(即对生产原料等生产条件的适应能力)、独立性(即对相关配套技术的依赖程度)、阶段性(即装备自身制造阶段)等进行评价。

通过对专家评价的汇总分析,可初步得出以下结论:一是技术装备基本成熟。从专家评价来看,所选的技术装备基本成熟。这主要是因为所选的技术装备均为政府力推的技术装备。由于评分专家在专业知识、主要研究方向等方面的差异,所以对评价对象的了解存在一定的差异;另外,对技术装备成熟度评价表的把握程度,可能会导致一些评分结果未能反映出技术装备的真实性,如对于同一评价对象,有的专家给分较高,而有的专家给分则较低。二是技术装备的可靠性有待提高。从单一功能来看,技术装备均能完成其具备的功能,但工作的可靠性却需要进一步提高。比如大多数畜禽粪便沼气厌氧发酵技术装备在环境温度较高时,产气良好,但在环境温度较低时,特别是寒冬季节,产气效率受到了极大的影响;秸秆压块(颗粒)饲料加工技术装备存在可靠性低、稳定性差、能耗高、磨损快等问题。这些设备尚需要进一步提高工作的可靠性。三是技术装备的国产化尚有待提高。

虽然有些技术装备成熟度较高,但尚未完全国产化,其中突出的例子就是秸秆打捆技术装备。国产打捆机工作的可靠性远不如进口机具,特别是自动打捆器核心部件还主要依赖进口。这类机具的关键部件尚需加大研发力度,攻克制约产品国产化的核心装置和部件“瓶颈”。四是技术装备的作业经济性尚有待提高。虽然上述技术装备基本成熟,但这仅仅是从其功能方面进行的评价,如果对其作业的经济性进行评价,大多数技术装备的经济性较差。一些技术装备投入和运营成本均较高,这就需要对这些技术装备进行进一步优化与设计,降低建造或制造成本,降低生产成本,提高技术装备使用的经济性。

**3.2 技术装备开发状况分析** 通过对我国进行农业废弃物资源化利用的各类研发机构的研发情况分析,可以得出以下结论:①研发领域各有特色。目前我国初步形成了“高等院校+科研院所+企业”的农业废弃物资源化利用的技术装备研发体系,且各研发单位重点突出,比如农业农村部沼气科学研究所的沼气厌氧发酵技术、南京林业大学的秸秆板制造技术、中国农业工程研究设计院的秸秆固体成型技术均为各领域突出者。②偏重能源利用研究。各研发单位多偏重农业废弃物资源化利用研究,搭建了较多的研究平台,比如中国农业工程研究设计院设有农业废弃物资源化利用重点实验室、中国农业大学设有可再生能源清洁化利用技术重点实验室、农业农村部沼气科学研究所设有农村可再生能源开发利用重点实验室等。③部分研发成果得到转化。在农业废弃物资源化利用领域有一定地位的研发单位或研发人员,经过多年的积累,一些研发成果得到了有效转化。其中突出代表是南京农业大学沈其荣教授,其研发成果被众多有机肥企业应用。④承担工程项目建设。各研发单位非常注重成果的生产推广应用,在自己擅长的领域承担相关的工程项目建设。突出的代表是农业农村部沼气科学研究所工程中心主任梅自力研究员,每年总包或主设沼气工程 40 余项。农业农村部设计规划研究院副院长赵立欣研究员也在自己的研究领域内承担了相关生物质能源工程建设。⑤肥料化和基料化未得到足够重视。从全国知名的研发机构的重点研究内容来看,仅有个别的研发单位进行肥料化研究外,大多数研发单位在农业废弃物肥料化和基料化研究方面投入力量极少。

## 4 结语与建议

### 4.1 关于利用模式

**4.1.1 理念。**从世界范围来看,农业废弃物利用的指导思想是合理有效地利用农业废弃物。因此,农业废弃物应以“回归农业生产体系”为利用方向。

**4.1.2 农作物秸秆资源化利用模式。**主要有肥料化、能源化和饲料化利用 3 个方面,其中肥料化利用是基本保障,占秸秆利用总量的 65%左右;能源化和饲料化利用是辅助保障,占秸秆利用总量的 30%;基料化和原料化利用是补充保

障,占秸秆利用总量的 5%左右。

**4.1.3 畜禽养殖废弃物资源化利用模式。**主要有肥料化和能源化 2 个方面。根据国外“种养结合”的畜禽养殖理念,肥料化利用是最主要的利用模式,养殖畜禽总量产生的粪污量不能超过限定值。

**4.2 关于技术装备** 农业废弃物资源化利用的技术装备体系基本系列化,包括肥料化利用、饲料化利用、能源化利用、原料化利用和基料化利用技术装备。从单一技术环节来看,大多数技术装备比较成熟,但由于农业废弃物自身的特性,所构建的产业链技术经济性较差,制约了技术装备的推广应用。①肥料化技术装备研发。重点研发适宜田间地头秸秆快速堆沤技术装备(设施)、粪污快速厌氧发酵和反应器堆肥相结合的沼气有机肥联产技术装备以及适用性较强的有机肥撒施机械、液体肥运输施肥机械(设施)等,确保秸秆直接肥料化利用率(秸秆直接还田+堆沤还田)稳定在 65%左右、粪污 100%实现能源化和肥料化利用。②饲料化技术装备研发。研发以玉米秸秆、水稻秸秆等为主的集粉碎揉搓、调质与成型于一体的高的工作可靠性、原料适应性和能源低耗性、高生产性成套饲料化技术装备,力争饲料化利用率稳定在 15%左右。③燃料化利用技术装备研发。研发高效、低成本、高可靠性的集秸秆粉碎、成型于一体的成套技术装备以及适宜农村使用的成型燃料炉具,力争燃料化利用率稳定在 15%左右。④基料化利用技术装备研发。重点研发食用菌(蔬菜、花卉)基质种植技术装备、蔬菜(花卉)基质育苗技术装备等,力争基料化等利用率稳定在 5%左右。总而言之,直接或间接肥料化利用秸秆量应占秸秆总量的 85%左右;对畜禽粪便而言,肥料化利用应是其主要出路,几乎 100%肥料化利用。

## 参考文献

- [1] 王红彦,王飞,孙仁华,等. 国外农作物秸秆利用政策法规综述及其经验启示[J]. 农业工程学报,2016,32(16):216-222.
- [2] WANG C B, CHANG Y, ZHANG L X, et al. A life-cycle comparison of the energy, environmental and economic impacts of coal versus wood pellets for generating heat in China[J]. Energy, 2017, 120:374-384.
- [3] 孙宁,王飞,孙仁华,等. 国外农作物秸秆主要利用方式与经验借鉴[J]. 中国人口·资源与环境,2016,26(S1):469-474.
- [4] 黑龙江省农业农村厅. 农业农村部在海伦召开东北地区秸秆处理行动现场交流暨成果展示会[EB/OL]. (2018-10-25)[2019-01-20]. tj. hl-jagri. gov. cn/nyyq/.
- [5] 河北农业编辑部. 河北省秸秆综合利用率达 96.8%[J]. 河北农业,2018(2):2.
- [6] 全国畜牧总站畜禽养殖废弃物资源化利用办公室,国家畜禽养殖废弃物资源化利用科技创新联盟. 共商打通粪污资源化利用“最后一公里”技术路径[J]. 中国畜牧业,2017(16):10-12.
- [7] 陈章全,陈世雄,尹昌斌,等. 德国这样处理畜禽粪便[J]. 农村工作通讯,2017(14):59-61.
- [8] 徐慧,韩智勇,吴进,等. 中德沼气工程发展过程比较分析[J]. 中国沼气,2018,36(4):101-108.
- [9] 国家统计局. 中国统计年鉴-2018[M]. 北京:中国统计出版社,2018.
- [10] 相姝楠. 秸秆打捆机生产现状分析[J]. 中国奶牛,2018(10):48-50.
- [11] 相姝楠. 秸秆固化成型技术及相关设备概述[J]. 中国奶牛,2018(6):32-34.