农业资源与环境学报 中文核心期刊 中国科技核心期刊
JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT
欢迎投稿 http://www.aed.org.cn

我国农村固体废弃物资源化研究进展

闵超， 安达， 王月， 徐海红， 王刘华， 康明， 王劢博

引用本文:
闵超, 安达, 王月, 等. 我国农村固体废弃物资源化研究进展[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(2): 151–160.

在线阅读 View online: https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0397

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

城乡有机废弃物资源化利用现状及展望
李龙涛, 李万明, 孙继民, 褚飞, 饶中秀, 黄凤球
农业资源与环境学报. 2019, 36(3): 264–271 https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0150

山西省种养废弃物构成及资源化利用潜力研究
杜艳玲, 周怀平, 程曼, 解文艳, 杨振兴, 郭晋, 吕倩倩, 王志伟
农业资源与环境学报. 2019, 36(3): 329–336 https://doi.org/10.13254/j.jare.2018.0161

生物刺激素及其在功能水溶性肥料中应用前景分析
张强, 常瑞雪, 胡兆平, 陈清
农业资源与环境学报. 2018, 35(2): 111–118 https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0233

基于微生物电解池利用有机废弃物产氢研究进展
余银生, 刘春波, 胥腾飞, 宋子琛, 张文玺, 王永忠
农业资源与环境学报. 2015(4): 327–331 https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0021

生物质及其衍生糖类制备乳酸的研究进展
李陆杨, 朱林峰, 漆新华
农业资源与环境学报. 2017, 34(4): 309–318 https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0078

关注微信公众号，获得更多资讯信息

闵 超, 安 达, 王 月, 等. 我国农村固体废弃物资源化研究进展[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(2): 151-160.
MIN Chao, AN Da, WANG Yue, et al. Progress of rural solid waste resource utilization in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(2): 151-160.

我国农村固体废弃物资源化研究进展

闵 超[1,2], 安 达[1], 王 月[1*], 徐海红[3], 王刘华[2], 康 明[2], 王劢博[1]

(1.中国环境科学研究院, 北京 100012; 2.长安大学地球科学与资源学院, 西安 710054; 3.生态环境部环境工程评估中心, 北京 100012)

摘 要:农村固体废弃物污染问题严重制约着我国美丽乡村的建设与农业的可持续发展,资源化是农村固体废弃物处理处置的必然趋势。本文在明确农村固体废弃物含义及资源化意义的基础上,系统梳理了我国农村固体废弃物的种类、特点和现状,对还田改土、厌氧消化、好氧堆肥、焚烧发电的优势及应用现状进行了总结,分析了目前农村固体废弃物资源化面临的技术难题、政策问题及挑战,并提出了农村固体废弃物资源化工作开展的相关建议。

关键词:农村固体废弃物;塑料地膜;秸秆;畜禽粪便;资源化利用;展望
中图分类号:X712 **文献标志码**:A **文章编号**:2095-6819(2020)02-0151-10 **doi**: 10.13254/j.jare.2019.0397

Progress of rural solid waste resource utilization in China

MIN Chao[1,2], AN Da[1], WANG Yue[1*], XU Hai-hong[3], WANG Liu-hua[2], KANG Ming[2], WANG Mai-bo[1]

(1.Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2.College of Geosciences and Resources, Chang′an University, Xi′an 710054, China; 3.Environmental Engineering Evaluation Center of Ministry of Ecology and Environment, Beijing 100012, China)

Abstract: The pollution from rural solid wastes seriously restricts the construction of beautiful countrysides and the sustainable development of agriculture in China. Waste resource utilization is the inevitable trend of solid waste treatment and disposal in rural areas. On the basis of defining rural solid waste and discussing the significance of reusing it, this paper systematically sorted out the types, characteristics, and present situation of rural solid waste in China, and summarized the advantages and application status of returning straw to soil, anaerobic digestion, aerobic composting, and refuse incinerating power generation, while also analyzing the technical problems and policy issues as well as the current challenges faced by the utilization of rural solid waste resources. Relevant suggestions on the development of rural solid waste recycling were proposed at the end of this article.

Keywords: rural solid waste; plastic film; straw; livestock and poultry manure; resource utilization; prospect

目前,我国农业面源污染问题突出[1],早在2010年,第一次全国污染源普查公报就显示,我国农业生产排放的COD(化学需氧量)、N、P等主要污染物量已远超工业源与生活源,成为污染源之首。然而至今,农业面源污染治理问题仍未受到足够重视。农村固体废弃物(下文简称“农村固废”)是农业面源污染的主要来源,包括农业生产中施用的化肥、农药和农膜以及畜禽粪便、尾菜、秸秆、生活垃圾等。农业生产废弃物与农村生活垃圾作为其主要的组成部分,具有分散性、复杂性、多样性等特点,收集、处理和资源化利用难度大,严重威胁着我国农村地区生态环境质量。2018年中共中央办公厅、国务院办公厅印发的《中共中央国务院关于实施乡村振兴战略的意见》明确指出:“加强农业面源污染防治,开展农业绿色发展行

收稿日期:2019-08-02 **录用日期**:2019-11-08
作者简介:闵 超(1994—),男,陕西泾阳人,硕士研究生,从事农业面源污染研究。E-mail:maxchao3@163.com
***通信作者**:王 月 E-mail:yuewanggg@126.com
基金项目:国家重点研发计划课题(2018YFC1903700)
Project supported: The National Key Research and Development Program of China(2018YFC1903700)

动，实现废弃物资源化，推进有机肥替代化肥、畜禽粪污处理、农作物秸秆综合利用、废弃农膜回收”。同年印发的《农村人居环境整治三年行动方案》明确将农村生活垃圾和厕所粪污资源化利用列为重点任务之一。2019年，国务院印发《“无废城市”建设试点工作方案》，提出以大宗工业固体废弃物、主要农业废弃物、生活垃圾、建筑垃圾、危险废弃物为重点展开。由此可见，开展农村固废资源化利用是大势所趋，也是改善农村人居环境、实现农业可持续发展的根本保证。

1 农村固废资源化含义和意义

1.1 农村固废的含义

近些年来，由于农村工厂兴建、工业污染“上山下乡”，农村固废的定义发生变化。传统定义认为农村固废是农业生产和农村生活所产生的固体废弃物总和[2]，高明侠[3]在此基础上将农村工厂和乡镇企业排放的固体废弃物纳进了农村固废的范畴，刘颖杰[4]认为农村固废是相对于城市固废而言的，是对固体废弃物所存在地域上的划分。笔者从农业发展和农村环境的角度思考，认为无论是传统农村固废还是排放在农村地域内的工厂固废都以农村为消纳场地、都对农村环境和农业发展具有潜在威胁，因此都应属农村固废。

我国农村固废种类繁杂，现阶段，可根据其来源分为三类：农业生产固废、农村生活固废、其他固废。各大类固废所包含废弃物类型如表1所示。

1.2 农村固废资源化的意义

1.2.1 降低环境危害

秸秆及生活垃圾露天焚烧在农村较为常见，释放的有毒气体及粉尘颗粒物，易引发中毒及雾霾天气；其余部分大多就地填埋或堆置，产生的渗滤液随地表径流扩散，严重污染周围水体、土壤、作物等[5]。农业生产中化肥农药施用、农膜残留会直接降低土壤渗透性和有机质含量，使土壤贫瘠，导致作物减产，同时污染地下水，加大水土流失风险[6-8]。开展资源化处理能实现农村固废由“污染源”向“资源”转变，减缓不当处理方式对环境带来的危害。

表1 我国农村固废的主要种类

Table 1 Main types of rural solid waste of China

农村固废种类 Classes of rural solid waste	具体类别 Specific categories
农业生产固废	畜禽粪便、秸秆等农产品副产物，农膜、农药化肥包装，尾菜、果袋、农产品加工副产物等
农村生活固废	厨余类、灰土类、粪便类、橡塑类、金属类、纸类、玻璃类、陶瓷类、竹木类、纺织类等
其他固废	农村工业固废、向农村转运的城市固废

1.2.2 农村固废蕴含巨大的资源潜力

我国农村每年固废产量高达40多亿t[9]，一半以上未被合理利用，其所含资源潜力巨大。2015年全国露天焚烧秸秆量8000多万t[10]，其养分与800万t复合肥相当，可产沼气约300亿m^3，可发电约400亿kWh。全国每年畜禽粪便可生产有机肥理论量2.79亿t[11]，未被利用的部分经估算相当于1亿t的有机肥[12]。虽然我国《农膜回收行动方案》指出到2020年全国农膜回收利用率达到80%以上，但目前全国每年仍有上百万吨农膜未被回收利用[13]，100万t的地膜可再生20万t的塑料颗粒原料，经济效益巨大。农村每年产生上亿吨生活垃圾，其中1/3是餐厨垃圾[14-15]，具有极高的堆肥与清洁能源生产潜力。

2 我国农村固废产量及资源化现状

农村固废有别于城市固废，受地域特点、经济发展、当地人们生活方式及政策措施等因素影响差异显著，具有产量巨大、面积广、治理难、环境风险大等特点。

2.1 我国农村固废产量现状

目前我国还未出台农业农村固废资源收集政策规范，根据最新的相关文献，对全国主要的农村固废年产量进行统计，结果见表2。此外，全国每年产生的农膜、农药化肥包装、农村居民粪便等废弃物数量也同样巨大。2015年我国农膜（棚膜、地膜）年使用量达到280万t，预计2020年约为400万t[20]，每年产生的农药包装废弃物总量约为15万t，化肥包装废弃物总量约12万t，以人均每日排泄粪便0.5 kg计算，全国农村每年产生的居民粪便总量高达1×10^8 t。随着人口的不断增长，人民生活水平的不断提升，我国农村固废产量将会继续保持增长趋势。

表2 我国农村主要固废年产量

Table 2 Annual output of main rural solid waste in China

种类 Types	产量 Quantity/10^8 t	年份 Year
畜禽粪便（湿质量）	31[16]	2015
秸秆	7.2[17]	2015
农产品加工副产物	5.8[18]	2017
生活垃圾	1.48[19]	2014

2.2 我国农村固废资源化现状

2.2.1 资源化处于起步阶段

我国农村固废资源化正处于起步阶段。目前全国畜禽粪便综合利用（肥料化、饲料化、能源化）率仅为60%[21]，而丹麦、荷兰、加拿大等国家通过实施严格的种养平衡政策，基本实现了畜禽粪便的全量还田[22-24]。农药包装废弃物是农村环境管理中的“盲区”，据统计，我国每年约有30亿件农药包装废弃物被随意丢弃[25]，而早在2011年巴西、法国、加拿大、波兰等国家的农药包装回收率已分别达到了94%、77%、73%、70%[26]。目前我国70%的农村未设有垃圾收集点，40%左右的农村缺少垃圾收集处理设施[27-28]，大部分的生活废弃物都未进行正规化处理，仅采用堆放、就地掩埋、露天焚烧等处理方式，与资源化处理水平相差甚远。

2.2.2 资源化难度大

直接还田是秸秆综合利用中最经济、最直接的手段，但小农户家庭经营导致秸秆资源分散，难以统一管理，加大了丢弃与露天焚烧的风险，同时也增加了资源化成本。“养殖不种地，种地不养殖”的种养分离模式客观阻断了我国畜禽粪便还田渠道，同时全国养殖业分布严重不均，部分地区畜禽粪污量超过了土地承载力，将其运至其他地区消纳，运输成本高昂。在农膜使用方面，我国目前使用的地膜厚度小于0.008 mm，极易破碎，机械难以回收完全，人工捡拾费时费力，严重阻碍农膜回收及资源化利用。与秸秆、畜禽粪便和农膜相比，农村生活垃圾组分复杂、分散性强，目前在收集与运输方面研究较多，缺乏适用的资源化利用实践模式。

2.2.3 环境风险大

近些年，虽然政府加大了对秸秆露天焚烧监督与处罚力度，但每年全国秸秆露天焚烧事件时有发生。Mehmood等[29]的研究表明，2002—2016年我国秸秆露天焚烧排放的炭黑、有机碳、$PM_{2.5}$、PM_{10}、CH_4、CO、CO_2、NH_3、NO_X、SO_2和NMVOC（非甲烷挥发性有机物）增幅从173%至225%不等，秋冬季雾霾天气与大范围的秋收秸秆集中燃烧有密切关系[30]。我国农村养殖户缺乏环保意识，同时农村养殖业缺乏有效的废弃物无害化处理手段，所产生的畜禽粪便、病死畜禽尸体、兽医医疗垃圾等养殖业废弃物对整个农村生态环境造成了严重的威胁[31]，据统计，农业面源污染中有95.78%的COD、37.89%的总氮和56.34%的总磷来源于畜禽养殖中流失的畜禽粪尿[32]，畜禽粪便污染已居农业源污染之首[33]。对塑料薄膜主要使用地区的调查表明，我国地膜残留量一般为60~90 kg·hm^{-2}，最高可达165 kg·hm^{-2}[34]，造成严重的环境污染。

3　我国农村固废资源化方法

秸秆与畜禽粪便资源化是我国农村固废处理工作的重点，目前，秸秆资源化方式包括肥料化、饲料化、燃料化、基料化、原料化等，粪便的资源化方式包括肥料化、饲料化等。还田改土、厌氧发酵、好氧堆肥是我国目前秸秆与畜禽粪便资源化应用较为普遍与成熟的方法。针对尾菜尚没有成熟的规模化处理技术，针对农膜尚未发现成熟有效的收集方法和替代产品；农村生活垃圾的处理方式与城市生活垃圾处理方式基本相同，包括焚烧发电、卫生填埋和堆肥等。

3.1 还田改土

还田是秸秆“三化”的重要方式，具有环境与经济双重效益，从环境角度来讲，耕地具有巨大的秸秆消纳能力，充分还田可大大降低秸秆焚烧可能性，同时可增加土壤对C、N、P素固持能力，减缓农业面源污染及温室效应[35-36]；从经济角度来讲，已有大量的研究发现，秸秆还田可提高10%~60%的作物产量[37-38]，在众多农村固废资源化方式中所需的资金、人力、物力都相对较小，大大降低了资源化成本的投入。世界农业发达国家十分重视土地的用养结合，秸秆还田和农家肥用量高达施肥总量的2/3[39]，而在我国，化肥仍是耕地养分的主要来源。

秸秆还田方式众多，包括直接还田、过腹还田、堆沤还田、炭化还田等，直接还田又分为机械粉碎翻压还田、覆盖还田和留高茬还田，我国秸秆直接还田量约占秸秆总量的15%~20%[40]。目前，全国秸秆还田以机械粉碎翻压还田、过腹还田为主。机械化秸秆还田技术具有抢农时、抢积温、保墒情、生产效率高等优点，但存在加大病虫害风险及因秸秆不能及时腐熟而减产现象，适合我国华北水热条件好、土地平坦、机械化程度高的地区。过腹还田需要投入一定的机械、劳力，但社会效益显著，一方面节约了饲料用粮，缓解了“人畜争粮”矛盾，另一方面，秸秆经家畜肠胃发酵、分解，肥效明显增强，更利于作物的吸收。

我国人多地少，耕地压力大、休耕时间短，影响了还田秸秆的腐熟程度，限制了秸秆的全量还田。目前，我国正在积极探索多种新型秸秆资源化方式。经调研发现，在内蒙古河套地区有企业将芦苇秆做成板材，在黑龙江省有企业将玉米秆做成吸管等餐具，但

目前这些资源化方式生产出的产品没有明显的市场竞争力，均未实现规模化生产。

3.2 厌氧消化

在农村地区，通常以户用型沼气池将秸秆与畜禽粪便通过厌氧发酵生产沼气。沼气是一种可再生的非化石燃料气体，在生产过程中具有绿色、环保的优势。沼气的使用改变了农村以秸秆、树木、煤炭为燃料的传统能源结构，大大减缓了温室气体的排放[41]，预计到2020年我国农村沼气生产量将高达385亿m^3，温室气体减排将达4679万t的CO_2当量[42]。沼气工程在农村的推广，不仅极大地控制了人畜禽粪污的随意排放，缓解了病原体与营养物质对水体的污染风险，同时也有效降低了农村人口因使用化石燃料而患呼吸道疾病的可能性[43]，而且沼渣作为高效有机肥，可显著提升土壤有机质含量，促进农业的可持续发展[44]。

提高厌氧消化产气率与产气量、实现低温发酵及沼气工程自动化是该领域一直以来的研究热点，近些年成果颇丰。对秸秆与畜禽粪便进行预处理能大大提升厌氧发酵产气率与产气量，方法包括物理法、化学法、生物法等，主要的作用原理是通过破坏秸秆与粪便中的纤维素与木质素结构，加大与厌氧菌的接触面积，从而提升有机组分利用率[45-46]。利用太阳能、沼气催化剂等，可在一定程度上解决严寒地区冬季因温度低不能正常产气等问题。随着沼气自动化设备的发明与技术的成熟，沼气工程自动化在我国部分农村已经推广应用，大大节省了人力的投入[47]。

目前，我国农村沼气工程效果不够理想，实地调查结果表明，农村沼气池正常运行比例偏低，约为60%，主要原因包括：家庭劳务输出、商品能源代替、进料量不足、沼渣处理难等，村民对沼气池的使用意愿不高[48-51]。集中式的沼气供气系统可较好地解决上述问题，该系统由村民集体出资，并有专门的技术人员负责系统运行，不仅能够提升固废有机组分的产气效率，同时能减少人力投入，因此，集中式供气系统在农村沼气工程建设中有良好的发展前景。

3.3 好氧堆肥

好氧堆肥是在有氧的条件下，利用好氧微生物对秸秆与畜禽粪便中的有机物进行吸收、氧化和分解，使其转化为腐殖质的一种方法[52]。好氧堆肥通过高温杀灭堆料中的病原菌、虫卵和草籽[53]，工艺简单，投资少，运行成本低，满足无害化和减量化的要求，能最大限度地保持废弃物中的营养成分，实现资源化利用[54]。堆肥工艺在我国的应用历史悠久，目前关于堆肥的研究成果众多，但大都集中在机理、工艺优化、特种固废堆肥等，而堆肥在农村的应用现状却少有相关文献报道。

好氧微生物的活性是堆肥成功的关键，影响其活性的因素包括：C/N、C/P、水分、温度、氧含量、pH值等。C/N是堆肥首要考虑的因素，有机固体废弃物堆肥化处理的最适宜C/N为25~30[55]，普通作物秸秆C/N为60~100、畜禽粪便为10~15。好氧堆肥技术主要分为四类，分别为条垛式、静态堆垛式、槽式、反应器式。条垛式与静态堆垛式操作简单、投资少，适合在农村运用，但缺点是发酵周期长、臭气不易控制，可通过添加堆肥微生物接种剂进行缓解。随着堆肥设备的迭代更新，目前小型化、移动化和专用化是堆肥设备的发展趋势[56]，市场已有多种家用型的堆肥设备，家庭堆肥费用低，而且能从源头对有机固废进行减量化[57]，在我国农村具有良好的应用前景。

3.4 焚烧发电

我国垃圾焚烧发电技术发展迅速，1985年全国仅有两台日处理能力为150 t·台$^{-1}$的焚烧炉，到2018年我国已是世界第一垃圾发电量大国，年可处理垃圾量约1×10^8 t[58]。垃圾焚烧发电的优点在于其处理的彻底性，农村生活有机废弃物经过焚烧后减量率可达95%左右[54]，与垃圾填埋和堆肥相比，垃圾焚烧发电具有占地面积小、垃圾种类受限程度小的优势。

我国农村生活垃圾尚未实现分类，种类混杂，含水率高，平均热值低[59]，垃圾发电厂的建成需要投入大量资金，正常运行也需要源源不断的废弃物资源，全国大部分农村垃圾产量相对较少且分散难以收集，运输成本高，尤其是西北地区农村，因此，生活垃圾焚烧发电技术更适合于城市及城市周边农村地区，不宜作为全国农村生活垃圾资源化处理的首要考虑方式。

3.5 农村固废资源化方式对比

对农村固废资源化方法中的还田改土、厌氧消化、好氧堆肥、焚烧发电技术的优点及不足进行对比，结果见表3。

影响农村固废资源化效率的因素众多，包括固废资源量、经济条件、气候、交通、环境承载力等。还田改土、厌氧消化、好氧堆肥等技术都有各自的优缺点及适应条件，面对我国农村固废数量巨大、种类复杂的现状，资源化应多种方式并存，同时保证因地制宜、扬长避短，充分发挥本地特色及资源化方式的优点，在此基础上，积极探索新型的资源化方式，如江西瑞金通过饲养蚯蚓实现了农村有机废弃物的规模化处

表3 四种资源化方式对比

Table 3 Comparison of the four types of waste disposal and recycle method

资源化方式 Waste disposal and recycle methods	处理对象 Types	优点 Advantages	缺点 Disadvantages
还田改土	秸秆	投入成本低,有利于增加作物产量及土壤肥力	应用范围有限,不适合水热条件差的西北地区
厌氧消化	秸秆、畜禽粪便	解决农村能源问题、改善卫生状况、促进有机农业发展	需投入人力,存在安全隐患及环境风险
好氧堆肥	秸秆、畜禽粪便	投资较低,技术简单,促进有机农业发展	占地面积较大,易产生臭气
焚烧发电	生活垃圾、秸秆	处理彻底、快捷,减量率高,并能产生能源	建设费用高,原料集中收集、运输成本高,易产生有害气体

理,通过出售与蚯蚓相关的系列产品带动当地老百姓脱贫致富,不仅为传统资源化方式分流,同时也提升了固废资源化的利用率。

4　我国固废资源化存在问题

4.1 应用技术不成熟

近些年农村固废资源化已成为热点,各种新的发现与发明不断涌现,但是目前农村固废资源化发展缓慢,其中主要的原因是应用技术不成熟、资源化收益低,不能形成可持续的发展模式,其次我国农村背景条件差异大、固废种类复杂多样,对应用技术提出了更高的要求。

农村目前使用的农膜回收机主要是搂扒式捡拾机,其回收率低,大致为50%~60%[60],农膜再造机大都依赖进口,国产机技术含量低且运行不够稳定[61]。秸秆还田机存在秸秆粉碎质量差、耕翻过浅、混土不匀等问题[62],殷文等[63]的研究表明秸秆还田不均会导致部分秸秆堆积,阻碍作物出苗率。其次我国沼气工程也面临着一些长期未解决的问题,例如北方农村沼气季节性产量过剩与不足、沼气发酵过程人力投入过大、沼气设备存在安全隐患等,虽然有相关解决方案,但都未能推广应用。好养堆肥设备耗能高、利用率低,堆肥技术也存在腐殖化进程缓慢、产物质量不稳定、衍生臭气等问题。垃圾焚烧炉逐渐趋于国产化,但大型千吨级焚烧炉仍需依赖进口,企业投资大,运营负担重[64],此外,与欧盟国家垃圾发电厂的能效水平相比,我国生活垃圾焚烧发电厂项目能源利用水平比较低,平均约为21%[65]。

4.2 存在环境安全隐患

厌氧发酵产沼气与好养堆肥是我国农村畜禽粪便资源化的主要方式,有学者认为厌氧发酵会增加体系的抗生素抗性基因(ARGs)丰度[66-68],也有学者的实验表明高温堆肥过程不能有效去除所有ARGs,而且对于某些ARGs,堆肥可能还是良好的生物反应器,从而导致其增殖[69],如果将这些最终产品直接施用于农田,势必会造成ARGs的二次扩散,此外堆肥还存在着温室气体排放、氮素损失等问题,对大气环境造成威胁[70]。目前我国部分地区已开展环境可降解农膜的应用示范研究,但其分解后是否会对环境及作物产生危害尚不明确;其次自动化农膜回收机及机械秸秆还田虽然推进了农村固废资源化的进程,但是其对土壤存在扰动,对土壤结构有一定的破坏,进而引发氮磷元素的挥发和流失,加大了农业面源污染的风险。垃圾焚烧发电产生的有毒废气、废液、废渣无害化处理成本高[71],无疑加大了其向环境排放的可能性。

4.3 未形成盈利模式

近年来,国家大力提倡发展循环经济,但是整体而言,我国循环经济活力不强,尤其是农村地区。农村固废资源化利益是内驱力,实现固废资源化的企业盈利是我国农村生态健康发展所要坚持不懈追求的目标。

我国农村地广人稀,固废混杂、分散,不易收集,各种分类、运输等基础设备不足。唐旭等[72]的研究表明我国农村地区生活垃圾收运的实际费用大约为23.21元·月$^{-1}$·人$^{-1}$,农村居民对生活垃圾收运费的支付意愿约为6.50元·月$^{-1}$·户$^{-1}$,村民垃圾分类与回收意识不强,加大了资源化的成本,技术支持力度不足,目前只能依靠政府的投入,成本高、回报低,农民与企业的积极性不高,总体来讲农村固废资源化盈利形势严峻,要实现农村固废的资源化利用必将是一场持久的攻坚战。

4.4 政策法规不完善

我国已经颁布了多部有关秸秆、畜禽粪便、农膜管理与处理的法规政策(表4),但只阐述了宏观的方法与总体目标,具体的行为要求、操作规范、资源化产品标准等未进行详细说明,这使得资源化水平参差不齐,资源化产品也存在安全风险。例如,秸秆资源化利用与农膜回收补贴政策只在我国部分农村开展实施,

覆盖面不全。秸秆补贴政策包括秸秆农机补贴、秸秆“三贮一化”利用补贴、秸秆综合利用能源化补贴、秸秆粉碎还田补贴等，各地方政府未能科学引导村民合理选择秸秆资源化方式，补贴价格成为村民选择秸秆资源化方式的主导因素，导致政府资金浪费，秸秆也不能充分合理资源化。农膜回收价格偏低（不足1000元·t^{-1}），人力、物力不相匹配，难以调动积极性。

5 建议与展望

5.1 建议

5.1.1 做好顶层设计，明确农村固废资源化的法律责任

推进农村固废资源化立法，从法律层面明确资源化的责任主体。摸清底数、统筹协调，编制污染防治规划，将农村固废资源化工作作为我国固体废弃物污染防治工作的重中之重。组织开展污染排查整治工作，形成我国农村固废资源化技术优化集成与验证的系列技术规范与指导性文件。制定风险排查等级，并根据等级分区、分批组织开展农村固废污染的系统整治；城乡统筹、区域协同，推进农村固废资源化利用；将农村环境保护工作的思路由末端治理转为源头控制，最大程度降低农村固废对地表水、地下水和环境空气的影响。

5.1.2 政府引导，多种方式提升公民参与意识

我国许多城市在固体废弃物污染防治方面累积了宝贵经验，2019年，上海市施行《上海市生活垃圾管理条例》，被称为“史上最严垃圾分类措施”，强制执行生活垃圾分类工作；浙江省台州市成立全国首个垃圾分类教育学院，采用柔性手段让居民对垃圾分类从了解到熟悉、从熟悉到参与；北京市作为全国垃圾分类试点城市，采用积分换礼品、光荣榜表扬等方式激励居民开展垃圾分类。政府应当积极扶持环保企业，对固体废物再利用企业进行补贴，同时加大对公民的环保教育，采用政府引导、公民参与，强制、教育、奖励和监督手段并行的管理方式，改进传统的贴标语、拉横幅、喊口号的宣传教育，从转变观念、纠正行为的角度在源头解决农村固废的不当处置问题，为最终实现资源化利用做好前端准备。2019年我国已开展“无废城市”建设试点工作，政府要吸取“重城市，轻农村”而使面源污染加剧的教训，因此固体废弃物污染治理要做到全民参与、城乡统筹，“无废城市”也应带着“无废农村”两条腿一起走。

5.1.3 制定农村固废资源化管控标准和方法

我国农村固废产量巨大、种类众多，不可能采用完全相同的方式进行资源化处理。应在摸清底数、查明状况的基础上，对农村固废污染源进行类型划分（图1），对于不同类型的固体污染源制定相应的资源化利用标准规范，为全国农村固废的排查整治、资源化利用工作提供指导性文件。

5.1.4 加强新技术的研发及应用示范

固废资源化技术在农村发展应用缓慢主要由于技术本身不接地气，要求投入的资金、人力、物力、技术难度等超过了市场可接受能力，利益空间小，或者资源化周期过长、资源化产品满足不了村民的需求。亟需提升我国农村固废资源化技术水平，加强国际交流合作，促进资源化技术的革新换代；同时对已有的成熟资源化技术，政府要加大扶持力度，推进应用示范。

5.1.5 探索可持续的资源化经济模式

许多发达国家通过政府与企业的合作实现了农

表4 我国农村固废资源化相关政策

Table 4 Relevant policies on solid waste resource utilization in rural areas of China

类型 Types	政策 Policies	年份 Year	主要内容 Policy content
面源污染	中央一号文件	2019	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，实现畜牧养殖大县粪污资源化利用整县治理全覆盖，下大力气治理“白色污染”。
秸秆	《关于开展秸秆气化清洁能源利用工程建设的指导意见》	2018	到2020年，建成若干秸秆气化清洁能源利用实施县，实施区域内秸秆综合利用率达到85%以上，能有效替代农村散煤。
	农业部“东北地区秸秆处理行动现场交流暨成果展示”	2018	到2020年，东北地区秸秆综合利用率达到80%以上，50%的重点县市秸秆综合利用率稳定90%以上，露天焚烧现象明显减少，力争到2030年实现秸秆的全量利用。
畜禽粪污	《畜禽粪污资源化利用行动方案（2017—2020）》	2017	坚持政府支持、企业主体、市场化运作的方针，坚持源头减量、过程控制、末端利用的治理路径，以沼气和生物天然气为主要处理方向，以农用有机肥和农村能源为主要利用方向，全面推进畜禽养殖废弃物资源化利用，到2020年，全国粪污综合利用率达到75%以上。
农用地膜	《农膜回收行动方案》	2017	到2020年，全国农膜回收网络不断完善，资源化水平不断提高，农膜回收率达到80%以上，“白色污染”得到有效控制。

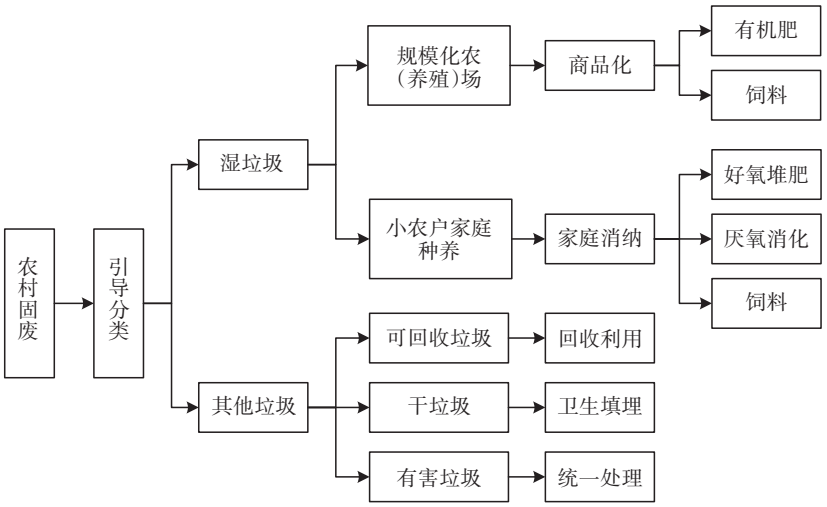

图1 我国农村固废资源化流程

Figure 1 Technological process of solid waste recycling in rural areas of China

村固废资源化,对我国而言,农村固废资源化管理的责任主体是政府,政府负责农村固废的污染防治工作。目前农村有限的固废资源化方式依旧处于投入高、回报低的瓶颈期,大众对资源化效果认可度低。探索可持续的资源化经济模式能够吸引企业加入,为农村固废资源化注入新活力。我国诸多现代农业示范区,例如江西省宜春市万载县国家现代农业示范区,通过发展有机农业不仅有效控制了污染、实现了农民增收,同时也吸引了大批优秀企业落户。因此政府应充分发挥政策引导、资源整合作用,将政府与企业联合、技术与资金整合,通过技术优化集成、品牌经营、订单销售等方式,打造可持续的经济发展模式,为我国农村固废资源化开拓出环境治理和经济利益双赢的局面。

5.2 展望

(1)我国农村种养分离、村民环保意识薄弱,以家庭为单位的固废资源化面临着技术、资金不足及效果不理想等问题,使得目前农村固废处于"能弃弃之"的现状。以乡镇、县为单位集中管理固体废弃物不仅能实现资源的统一管理,还可提升资源化效率,减轻环境危害,笔者认为,集中式管理代替家庭分散处置将是我国农村固废资源化处理的发展趋势。

(2)我国人多地少、农村固废产量巨大,耕地作为目前主要的资源化产物受体,不堪负重,因此必须推广其他资源化方式为耕地分担负荷,例如利用固废饲养食腐动物、制作建材、生产气化燃料等。

(3)我国农村虽然整体固废资源化水平不高,但有部分地区却实现了高水平发展,这表明农村固废有望实现从"废弃物"到"资源"、从"污染源"到"绿色产品"的转变。全国各个地区要加强交流,"高水平"充分带动"低水平"发展,最终实现我国农村固废资源化整体水平的提升。

参考文献:

[1] 吕军书, 杨毅斌. 我国农村面源污染防治制度创新研究[J]. 农业经济, 2018(3):20-22.
LÜ Jun-shu, YANG Yi-bin. Research on innovation of rural non-point source pollution prevention and control system in China[J]. *Agricultural Economy*, 2018(3):20-22.

[2] 周　珂, 武亦文. 循环经济在我国农村固体废物污染治理中的实施[J]. 环境保护, 2007(20):12-14.
ZHOU Ke, WU Yi-wen. Implementation of circular economy in pollution control of rural solid waste in China[J]. *Environmental Protection*, 2007(20):12-14.

[3] 高明侠. 我国农村固体废物污染防治的法律思考[J]. 法治与社会, 2007(6):41.
GAO Ming-xia. Legal consideration on pollution prevention and control of solid waste in rural areas of China[J]. *Legal System and Society*, 2007(6):41.

[4] 刘颖杰. 我国农村固体废物污染环境防治的法律问题研究[D]. 北京:北京交通大学, 2011.
LIU Ying-jie. Study on Chinese legal system of preventing the pollution of solid wastes in rural areas[D]. Beijing:Beijing Jiaotong University, 2011.

[5] 管益东. 废弃农村固废简易填埋场污染现状调查及其渗滤液处理技术(多介质层系统)研究[D]. 杭州:浙江大学, 2011.
GUAN Yi-dong. Pollution investigation on abandoned rural unsanitary landfills and leachate treatment using multi-media layering (MML) system[D]. Hangzhou:Zhejiang University, 2011.

[6] 黄国勤, 王兴祥, 钱海燕, 等. 施用化肥对农业生态环境的负面影响及对策[J]. 生态环境学报, 2004, 13(4):656-660.
HUANG Guo-qin, WANG Xing-xiang, QIAN Hai-yan, et al. Negative

effects of inorganic fertilizer application on agricultural environment and its countermeasures[J]. *Ecology and Environment*, 2004, 13(4): 656-660.

[7] 华小梅, 江希流. 我国农药环境污染与危害的特点及控制对策[J]. 环境科学研究, 2000, 13(3): 40-43.
HUA Xiao-mei, JIANG Xi-liu. Characteristics and control countermeasures of pesticide pollution and it's damage on environment in China[J]. *Research of Environmental Sciences*, 2000, 13(3): 40-43.

[8] 王志超, 李仙岳, 史海滨, 等. 农膜残留对土壤水动力参数及土壤结构的影响[J]. 农业机械学报, 2015, 46(5): 101-106.
WANG Zhi-chao, LI Xian-yue, SHI Hai-bin, et al. Effects of residual plastic film on soil hydrodynamic parameters and soil structure[J]. *Transaction of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2015, 46(5): 101-106.

[9] 史　可, 薛建良, 胡术刚. 农业固体废弃物的处理与利用[J]. 世界环境, 2018, 174(5): 21-24.
SHI Ke, XUE Jian-liang, HU Shu-gang. Agricultural solid waste treatment and utilization[J]. *World Environment*, 2018, 174(5): 21-24.

[10] 石祖梁, 贾　涛, 王亚静, 等. 我国农作物秸秆综合利用现状及焚烧碳排放估算[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(9): 32-37.
SHI Zu-liang, JIA Tao, WANG Ya-jing, et al. Comprehensive utilization status of crop straw and estimation of carbon from burning in China[J]. *Chinese Journal of Agriculture Resources and Reginal Planning*, 2017, 38(9): 32-37.

[11] 姜　茜, 王瑞波, 孙炜琳. 我国畜禽粪便资源化利用潜力分析及对策研究——基于商品有机肥利用角度[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2018(4): 30-37.
JIANG Xi, WANG Rui-bo, SUI Wei-lin. Potential evaluation and countermeasures on livestock manure resource utilization: Based on perspective of commercial organic fertilizer utilization[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*(*Social Science Edition*), 2018(4): 30-37.

[12] 石慧超. 吉林市畜禽养殖污染现状分析及防治模式研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
SHU Hui-chao. Analysis of status and prevention model on pollution of livestock and poultry breeding in Jilin City[D]. Changchun: Jilin University, 2018.

[13] 王　银. 农村垃圾污染现状调查与对策研究[D]. 西安: 长安大学, 2018.
WANG Yin. Investigation current situation and countermeasure research of garbage pollution in rural areas[D]. Xi'an: Chang'an University, 2018.

[14] 尚晓博, 张朝升, 荣宏伟, 等. 中国农村生活垃圾问题与解决对策[J]. 现代化农业, 2011(11): 34-36.
SHANG Xiao-bo, ZHANG Chao-sheng, RONG Hong-wei, et al. Problems and solutions of rural domestic waste in China[J]. *Modernizing Agriculture*, 2011(11): 34-36.

[15] Wu X, Yue B, Huang Q, et al. Investigation of the physical and chemical characteristics of rural solid waste in China and its spatiotemporal distributions[J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2018(8): 1-13.

[16] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 等. 中国畜禽粪尿中养分资源数量及利用潜力[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(5): 1131-1148.
SONG Da-li, HOU Sheng-peng, WANG Xiu-bin, et al. Nutrient resource quantity of animal manure and its utilization potential in China [J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(5): 1131-1148.

[17] 宋大利, 侯胜鹏, 王秀斌, 等. 中国秸秆养分资源数量及替代化肥潜力[J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24(1): 1-21.
SONG Da-li, HOU Sheng-peng, WANG Xiu-bin, et al. Nutrient resource quantity of crop straw and its potential of substituting[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizers*, 2018, 24(1): 1-21.

[18] 中国水稻网. 我国每年秸秆产量有9亿吨利用不到四成[J]. 福建稻麦科技, 2017, 35(2): 39.
China's rice network. China's annual output of straw is more than 900 million tons, less than 40% of which is utilized[J]. *Fujian Science and Technology of Rice and Wheat*, 2017, 35(2): 39.

[19] 韩智勇, 费勇强, 刘　丹, 等. 中国农村生活垃圾的产生量与物理特性分析及处理建议[J]. 农业工程学报, 2017, 33(15): 1-14.
HAN Zhi-yong, FEI Yong-qiang, Liu Dan, et al. Yield and physical characteristics analysis of domestic waste in rural areas of China and its disposal proposal[J]. *Transaction of the Chinese Society of Agriculture Engineering*, 2017,33(15): 1-14.

[20] 周大纲. 我国农膜行业的现状及其发展对策(2015年)[J]. 塑料助剂, 2015(6): 13-15, 41.
ZHOU Da-gang. Status quo of agro-film industry(2015) of China and countermeasure for its development[J]. *Plastic Additives*, 2015(6): 13-15, 41.

[21] 张　晶. 规模化猪场粪污处理与资源化利用浅谈[J]. 饲料与畜牧, 2017(10): 1.
ZHANG Jing. Brief talk about the treatment and resource utilization of feces in large-scale piggery[J]. *Feed & Animal Husbandry*, 2017(10): 1.

[22] 刘　炜. 加拿大畜牧业清洁养殖特点及启示[J]. 中国牧业通讯, 2008(10): 18-19.
LIU Wei. Characteristics and enlightenment of clean livestock breeding in Canada[J]. *China Livestock Communication*, 2008(10): 18-19.

[23] 隋　斌, 孟海波, 沈玉君, 等. 丹麦畜禽粪肥利用对中国种养结合循环农业发展的启示[J]. 农业工程学报, 2018, 34(12): 1-7.
SUI Bin, MENG Hai-bo, SHEN Yu-jun, et al. Utilization of livestock manure in Denmark and its inspiration for planting-breeding combined circular agricultural development in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2018, 34(12): 1-7.

[24] De Buisonjé F E, Melse R W, Hoeksma P, 等. 荷兰禽畜粪便处理之战[J]. 世界环境, 2016(2): 41-45.
De Buisonjé F E, Melse R W, Hoeksma P, et al. Handling animal manure, the struggle of the Netherlands[J]. *World Environment*, 2016(2): 41-45.

[25] 唐红侠, 王卓玥, 贺　蓉. 《固废法》应增加农村农业固体废物监管有关规定[J]. 环境与可持续发展, 2018, 43(6): 123-128.
TANG Hong-xia, WANG Zhuo-yue, HE Rong. The "Solid Waste Law" should include the relevant provisions of rural solid waste in rural areas in China[J]. *Environment and Sustainable Development*, 2018, 43(6): 123-128.

[26] 金书秦. 农药包装回收是农业面源污染治理的重要突破口[J]. 农药科学与管理, 2016(9): 1-3.
JIN Shu-qin. Pesticide packaging recovery is an important breakthrough for agricultural non-point source pollution control[J]. *Pesticide Science and Administration*, 2016(9): 1-3.

[27] 李　丹, 陈冠益, 马文超, 等. 中国村镇生活垃圾特性及处理现状[J]. 中国环境科学, 2018, 38(11): 4187-4197.

LI Dan, CHEN Guan-yi, MA Wen-chao, et al. Characteristics and treatment status of rural solid waste in China[J]. *China Environmental Science*, 2018, 38(11):4187-4197.

[28] 罗臣乾. 农村有机生活垃圾厌氧发酵工艺的研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2018.
LUO Chen-qian. Research of rural organic waste anaerobic digestion [D]. Beijing:Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2018.

[29] Mehmood K, Chang S, Yu S, et al. Spatial and temporal distributions of air pollutant emissions from open crop straw and biomass burnings in China from 2002 to 2016[J]. *Environmental Chemistry Letters*, 2018, 16(1):301-309.

[30] Zhuang Y, Chen D L, Li R Y, et al. Understanding the influence of crop residue burning on $PM_{2.5}$ and PM_{10} concentrations in China from 2013 to 2017 using MODIS Data[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(7):1504.

[31] 张雪梅, 刘永功, 王　莉. 西部农村养殖业非点源污染实证研究[J]. 生态经济, 2009(7):98-100, 173.
ZHANG Xue-mei, LIU Yong-gong, WANG Li. An empirical study on non-point pollution of livestock and poultry raising in western rural area[J]. *Ecological Economy*, 2009(7):98-100, 173.

[32] 耿言虎. 农村规模化养殖业污染及其治理困境——基于巢湖流域贝镇生猪养殖的田野调查[J]. 中国矿业大学学报(社会科学版), 2017, 19(1):50-59.
GENG Yan-hu. Pollution of rural large-scale breeding industry and its governance dilemma: A field investigation of pig farming in Beizhen Town of Chaohu River basin[J]. *Journal of China University of Mining & Technology(Social Science)*, 2017, 19(1):50-59.

[33] 宣　梦, 许振成, 吴根义, 等. 我国规模化畜禽养殖粪污资源化利用分析[J]. 农业资源与环境学报, 2018, 35(2):126-132.
XUAN Meng, XU Zhen-cheng, WU Gen-Yi, et al. Analysis of utilization of fecal resources in large-scale livestock and poultry breeding in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2018, 35(2):126-132.

[34] 肖　军, 赵景波. 农田塑料地膜污染及防治[J]. 四川环境, 2005(1):102-105.
XIAO Jun, ZHAO Jing-bo. Farmland plastic film pollution and its countermeasures[J]. *Sichuan Environment*, 2005(1):102-105.

[35] Fei L U, Wang X, Han B, et al. Soil carbon sequestrations by nitrogen fertilizer application, straw return and no-tillage in China's cropland [J]. *Global Change Biology*, 2009, 15(2):281-305.

[36] 王永洁, 史健峰, 沈艳晶, 等. 畜禽粪便-化肥配施对土壤理化性质影响的研究进展[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2018(17):54-58.
WANG Yong-jie, SHI Jian-feng, SHEN Yan-jing, et al. Research progress on the effects of livestock and poultry feces and chemical fertilizers on soil physicochemical properties[J]. *Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine*, 2018(17):54-58.

[37] 吕美蓉, 李增嘉, 张　涛, 等. 少免耕与秸秆还田对极端土壤水分及冬小麦产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1):41-46.
LÜ Mei-rong, LI Zeng-jia, ZHANG Tao, et al. Effects of minimum or no-tillage system and straw returning on extreme soil moisture and yield of winter wheat[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(1):41-46.

[38] 刘晓霞. 发展有机农业是农民增收的有效途径[J]. 内蒙古农业科技, 2006(1):22-24, 27.
LIU Xiao-xia. Developing organic agriculture is an effective way to increase income of farmers[J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2006(1):22-24, 27.

[39] 李万良, 刘武仁. 玉米秸秆还田技术研究现状及发展趋势[J]. 吉林农业科学, 2007(3):32-34.
LI Wan-liang, LIU Wu-ren, Research status and development trend of maize straw returning technology[J]. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2007(3):32-34.

[40] 耿　迪. 吉林省秸秆还田推广应用情况的调查分析[D]. 长春:吉林农业大学, 2016:17-18.
GENG Di. Investigation and analysis of the promotion and application of straw returning in Jinlin Province[D]. Changchun:Jilin Agricultural University, 2016:17-18.

[41] Yuan D H, Wang J Y, Huang X J, et al. Emission reduction effects of biogas micro-digesters: A case study of rural households in Kaixian, China[J]. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2015, 24(4):1530-1536.

[42] Yu L, Kuang Y Q, Huang N S, et al. Popularizing household-scale biogas digesters for rural sustainable energy development and greenhouse gas mitigation[J]. *Renewable Energy*, 2008, 33(9):2027-2035.

[43] Rowse L E . Design of small scale anaerobic digesters for application in rural developing countries[D]. Tampa Bay:University of South Florida, 2011.

[44] Wang X H, Li J F. Influence of using household biogas digesters on household energy consumption in rural areas: A case study in Lianshui County in China[J]. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2005, 9(2):229-236.

[45] 李淑兰, 梅自力, 张国治, 等. 秸秆厌氧消化预处理技术综述[J]. 中国沼气, 2011(5):29-33.
LI Shu-lan, MEI Zi-li, ZHANG Guo-zhi, et al. Summary of straw anaerobic digestion pretreatment technology[J]. *China Biogas*, 2011(5):29-33.

[46] 付嘉琦, 桂双林, 林　敏, 等. 猪粪厌氧消化预处理技术研究进展[J]. 能源研究与管理, 2015(4):37-39, 43.
FU Jia-qi, GUI Shuang-lin, LIN Min, et al. Research progress on the pretreatment of pig manure for anaerobic digestion[J]. *Energy Research & Administration*, 2015(4):37-39, 43.

[47] 田　苗, 王海阔. 沼气工程的自动化应用——昌平区东新城村沼气集中供气工程PLC模式[J]. 中国环保产业, 2008(9):28-29.
TIAN Miao, WANG Hai-kuo. Automation application of biogas engineering: PLC model of biogas centralized supply project in Dongxincheng village, Changping District[J]. *China Environmental Protection Industry*, 2008(9):28-29.

[48] 王　珏. 村域经济之农村户用沼气调研报告[J]. 农业工程技术(新能源产业), 2011(4):4-6.
WANG Jue. Investigation report on rural household biogas in village economy[J]. *Agricultural Engineering Technology(New Energy Industry)*, 2011(4):4-6.

[49] 胡建平, 沈吉娜, 王光耀, 等. 贵州黔东南州农村户用沼气池的使用现状及建议[J]. 中国沼气, 2012, 30(6):56-58.
HU Jian-ping, SHEN Ji-na, WANG Guang-yao, et al. Present situation and suggestions of rural household biogas digesters in southeast Guizhou[J]. *China Biogas*, 2012, 30(6):56-58.

[50] 侯京卫, 曲　波, 李学雷, 等. 农村沼气使用现状及其对生活污水治理的意义——以河北省、山东省农村为例[J]. 中国沼气, 2012, 30(1):47-51.
HOU Jing-wei, QU Bo, LI Xue-lei, et al. Current situation of rural

biogas utilization and its significance to domestic sewage treatment: A case study of rural areas in Hebei Province and Shandong Province[J]. *China Biogas*, 2012, 30(1): 47-51.

[51] 周　阳, 冯秋英. 崇左市农村户用沼气使用现状及存在问题[J]. 南方农业, 2015, 9(21): 145, 147.
ZHOU Yang, FENG Qiu-ying. Current situation and existing problems of rural household biogas in Chongzuo City[J]. *South China Agriculture*, 2015, 9(21): 145, 147.

[52] 任南琪, 李建政. 环境污染防治中的生物技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
REN Nan-qi, LI Jian-zheng. Biotechnology in environmental pollution control[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.

[53] 黄国锋, 吴启堂, 黄焕忠. 有机固体废弃物好氧高温堆肥化处理技术[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(1): 159-161.
HUANG Guo-feng, WU Qi-tang, HUANG Huan-zhong. Aerobic and thermophilic composting technology of solid organic waste[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(1): 159-161.

[54] 周　群, 李林超, 张　超, 等. 堆肥技术处理农村生活有机废弃物的前景分析[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2017, 48(5): 770-774.
ZHOU Qun, LI Lin-chao, ZHANG Chao, et al. Analysis of the prospect of composting technology in the treatment of organic wastes in rural areas[J]. *Journal of Shandong Agricultural University* (*Natural Science Edition*), 2017, 48(5): 770-774.

[55] 黄国锋, 吴启堂, 孟庆强, 等. 猪粪堆肥化处理的物质变化及腐熟度评价[J]. 华南农业大学学报, 2002(3): 1-4.
HUANG Guo-feng, WU Qi-tang, MENG Qing-qiang, et al. Substance changes and maturity evaluation during pig manure composting [J]. *Journal of South China Agricultural University*, 2002(3): 1-4.

[56] 魏源送, 李承强, 樊耀波, 等. 浅谈堆肥设备[J]. 城市环境与城市生态, 2000(5): 17-20.
WEI Yuan-song, LI Cheng-qiang, FAN Yao-bo, et al. A review of composting equipment[J]. *Urban Environment & Urban Ecology*, 2000 (5): 17-20.

[57] Vossen P , Rilla E . Home composters make a difference to diversion [J]. *Biocycle*, 1997, 38(1): 34-36.

[58] 舟　丹. 2018年我国垃圾焚烧发电项目将达到240个[J]. 中外能源, 2018, 23(7): 59.
ZHOU Dan. In 2018, 240 garbage incineration power generation projects will be built in China[J]. *Sino-Global Energy*, 2018, 23(7): 59.

[59] 张海霞, 李爱民, 杨继文. 垃圾焚烧发电技术在我国的应用前景及存在问题初探[J]. 化工进展, 2010, 29(S1): 91-95.
ZHANG Hai-xia, LI Ai-min, YANG Ji-wen. Application prospects and existing problems of waste incineration power generation technology in China are discussed[J]. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 2010, 29(S1): 91-95.

[60] 张明辉. 酒泉市农田残膜机械化捡拾回收情况的思考[J]. 农业机械, 2019(4): 57-58.
ZHANG Ming-hui. Consideration on mechanized collection and recovery of farmland residue film in Jiuquan City[J]. *Farm Machinary*, 2019(4): 57-58.

[61] 马　莉. 废旧农膜干法造粒工艺研究及应用性分析[D]. 上海: 同济大学, 2006.
MA Li. Study of waste agricultural film dry process granulitization and utility analysis[D]. Shanghai: Tongji University, 2006.

[62] 徐　荣. 农作物秸秆机械化还田存在的问题及应对措施[J]. 江苏农机化, 2017(4): 44-46.
XU Rong. Problems and countermeasures of mechanized returning of crop straw to field[J]. *Jiangsu Agricultural Mechanization*, 2017(4): 44-46.

[63] 殷　文, 陈桂平, 柴　强, 等. 河西灌区不同耕作与秸秆还田方式对春小麦出苗及产量的影响[J]. 中国生态农业学报, 2017, 25(2): 180-187.
YIN Wen, CHEN Gui-ping, CHAI Qiang, et al. Effect of tillage and straw retention mode on seedling emergence and yield of spring wheat in the Hexi irrigation area[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2017, 25(2): 180-187.

[64] 方源圆, 周守航, 阎丽娟. 中国城市垃圾焚烧发电技术与应用[J]. 节能技术, 2010, 28(1): 76-80.
FANG Yuan-yuan, ZHOU Shou-hang, YAN Li-juan. Power generation technology and application of municipal solid waste incineration in China[J]. *Energy-saving Technology*, 2010, 28(1): 76-80.

[65] 吴　剑, 蹇瑞欢, 刘　涛. 我国生活垃圾焚烧发电厂的能效水平研究[J]. 环境卫生工程, 2018, 26(3): 39-42.
WU Jian, JIAN Rui-huan, LIU Tao. Research on energy efficiency of municipal solid waste incineration plant in China[J]. *Environmental Sanitation Engineering*, 2018, 26(3): 39-42.

[66] Sui Q, Zhang J, Chen M, et al. Distribution of antibiotic resistance genes (ARGs) in anaerobic digestion and land application of swine wastewater[J]. *Environmental Pollution*, 2016, 213: 751-759.

[67] Sun W, Qian X, Gu J, et al. Mechanisms and effects of arsanilic acid on antibiotic resistance genes and microbial communities during pig manure digestion[J]. *Bioresource Technology*, 2017, 234: 217-223.

[68] 孙　薇. 畜禽粪便厌氧发酵过程中抗生素抗性基因变化机理研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2017.
SUN Wei. Variation mechanism of antibiotic resistance genes during anaerobic digestion with livestock manure[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2017.

[69] 郑宁国, 黄　南, 王卫卫, 等. 高温堆肥过程对猪粪来源抗生素抗性基因的影响[J]. 环境科学, 2016, 37(5): 1986-1992.
ZHENG Ning-guo, HUANG Nan, WANG Wei-wei, et al. Effects of thermophilic composting on antibiotic resistance genes (ARGs) of swine manure source[J]. *Environmental Science*, 2016, 37(5): 1986-1992.

[70] Barrington S, Choinière D, Trigui M, et al. Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses[J]. *Bioresource Technology*, 2002, 83(3): 189-194.

[71] 张宝峰. 垃圾发电的优势及存在问题[J]. 陕西电力, 2005, 33(3): 42-43.
ZHANG Bao-feng. Advantages and problems of garbage power generation[J]. *Shaanxi Electric Power*, 2005, 33(3): 42-43.

[72] 唐　旭, 张　越, 方向明. 农村居民生活垃圾收运费用与支付意愿研究——基于全国五省的调查[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(8): 204-211.
TANG Xu, ZHANG Yue, FANG Xiang-ming. Cost and willingness to pay for the rural household waste collection: Based on a survey of five provinces[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(8): 204-211.