

农作物秸秆资源循环利用：技术、模式及存在的主要问题

柳建平¹, 刘璐²

¹西北师范大学商学院, 甘肃 兰州

²甘肃省精准扶贫与区域发展研究中心, 甘肃 兰州

收稿日期: 2023年2月24日; 录用日期: 2023年3月24日; 发布日期: 2023年3月31日

摘要

秸秆作为农村重要的固废资源, 其资源化、高值化利用是实现农业循环经济发展、促进农业绿色发展的重要途径。文章以循环经济绿色发展思想为指导, 在阐述秸秆资源循环利用对农业绿色发展意义的基础上, 就我国秸秆资源总量、结构、地域分布以及总体的利用状况进行了介绍, 对我国秸秆资源利用相关技术进展方向及农村秸秆综合利用模式进行了总结和概括, 并就影响我国秸秆资源循环利用中存在的主要问题进行了较为深入的分析, 最后基于现代循环农业发展视角对秸秆综合利用提出了相应的政策建议。

关键词

秸秆资源, 循环利用模式

Recycling Utilization of Crop Straw Resources: Technology, Mode and Main Problems

Jianping Liu¹, Lu Liu²

¹School of Business, Northwest Normal University, Lanzhou Gansu

²Gansu Province Precision Poverty Alleviation and Regional Research and Development Center, Lanzhou Gansu

Received: Feb. 24th, 2023; accepted: Mar. 24th, 2023; published: Mar. 31st, 2023

Abstract

Straw is a significant solid waste resource in rural areas. The important way to realize the devel-

opment of agricultural circular economy and promote the green development of agriculture lies in its resource utilization and high-value utilization. In this thesis, the green development thought of circular economy was taken as guidance. Based on the elaboration of the significance of straw resource cyclic utilization to agricultural green development, the total amount, structure, regional distribution and overall utilization of straw resources in China were introduced. The development direction of straw resource utilization-related technologies and the comprehensive utilization mode of rural straw in China were summarized. A relatively in-depth analysis on the main problems affecting the recycling of straw resources in China was also carried out. Finally, the corresponding policy recommendations for the comprehensive utilization of straw were proposed from the perspective of modern circular agriculture development.

Keywords

Straw Resources, Cyclic Utilization Mode

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

实现农作物秸秆资源更加科学、更加高效、更加高值化利用是农业农村高质量发展的重点环节之一。2021年农业农村部等六部联合印发的《“十四五”全国农业绿色发展规划》中提出：将秸秆综合利用率作为主要指标，推进秸秆综合利用，推动农业循环式生产，促进其资源化、产业化、高值化利用[1]。我国是农业大国，拥有相当丰富的秸秆资源。秸秆资源的开发和利用，不仅仅关系到农户的生产生活，更重要的还关系到整个农业生态系统的可持续发展。近年来，随着国家工业化、城镇化的快速发展，以及农村能源、农业种养业、肥料使用等结构的改善，使秸秆的传统作用有了较大转变，秸秆资源也因此呈现出结构性、季节性、地区性的过剩现象[2]。大量秸秆被当作废弃物随意丢弃或者就地焚烧，导致大量的秸秆资源被浪费，对生态环境、交通运输等构成巨大威胁，也对我国发展绿色低碳循环农业提出了挑战。“用则利”，“弃则害”。秸秆是发展农村循环经济的一个重要物质基础，实现秸秆资源化对于促进农民增收、推动农业产业的可持续发展及构建资源节约型和环境友好型社会具有重要意义。基于此，本文就我国在秸秆及其利用方面的现状、技术类型、利用模式及存在的主要问题进行分析，并提出相应的政策建议。

2. 秸秆循环利用对农业绿色发展的意义

2.1. 循环经济与绿色发展思想演变

循环经济的思想萌芽诞生于20世纪60年代的美国，肇始于Boulding的“宇宙飞船经济”[3]，其核心思想是基于地球资源的有限性对人类单向线性经济未来提出警告。另一方面，由于当时发达国家工业的急剧扩张，导致了严重的环境污染、以及其对生态系统和人类社会产生的巨大破坏，迫使人类必须正视其经济活动所造成的环境与生态后果，反思经济发展与环境保护之间的关系，如在上世纪七八十年代，就有人提出了“封闭的循环”（康芝纳）、“反馈循环圈”（比尔·麦克）等观点。而随着全球人口膨胀、资源消耗过渡、环境污染加剧、自然灾害频繁发等各种复杂性问题对人类社会造成的影响日益严重，促使人们必须以系统性思考以应对。进入上世纪九十年代之后，可持续发展思想得到国际社会的普遍认同，并

成为许多国家的发展战略, 经济发展最终应实现经济发展、资源节约、环境保护、人与自然和谐四者的相互协调和有机统一。正是在这一宏大背景下, 循环经济概念(Pearce 等[4])及理论应运而生。同时, 在循环经济理论指导下的各国实践也取得了较大进展。20 世纪末循环经济理念被系统地引入中国学术界, 至目前其理论研究与实践领域已逐步扩展到生产生活的各个方面。尽管学术界对循环经济的定义多种多样、尚未统一[5], 但就循环经济的本质及其内涵、基本原则等方面还是形成了诸多共识。从本质而言, 循环经济是符合“资源 - 产品 - 再生资源”的物质循环利用模式[6]。因此, 循环经济是以资源的高效利用和循环利用为核心的经济发展模式[7], 是一种新的经济增长方式、一种新的生产方式、一种新的消费方式、一种新的环境治理模式。从内涵上认识, 循环经济至少有以下几个特点: 从关注的焦点而言, 就是人类赖以生存和发展的资源和环境, 强调的不是经济循环, 而是经济活动赖以存在的资源循环, 追求资源的循环利用是循环经济的根本; 从目标而言, 循环经济要完成对资源的合理开发和环境的有效保护, 是实现可持续发展的必由之路, 因此, 对资源的节约、环境的保护是循环经济的主要特征; 从过程而言, 循环经济是一个经济活动过程, 要求将环境与资源问题内生于经济过程, 符合经济学的价值形成规律, 因此, 循环经济是有别于传统经济的经济模式, 其涉及的范围不仅仅包括经济活动的各个层面, 还涉及到政策指导、以及人们社会行为改变等; 从效果评价而言, 循环经济不以传统的经济学价值形态评价循环经济效率, 同时还需考量资源的节约水平和环境的改善水平。循环经济公认的三条发展原则为: 减量化(Reduce)、再利用(Reuse)、再循环(Recycle)。

如同循环经济一样, 绿色发展理念也起源于人们对工业文明的反思, 开始于上世纪 70 年代初期西方国家的绿色运动(或称之为生态运动、或环境保护运动), 其重要标志就是人们生态意识的觉醒而导致的发展理念的转型。绿色发展理念在早期也称为绿色经济(皮尔斯, 《绿色经济蓝皮书》), 2002 年, 联合国《人类发展报告》命名为“绿色发展, 必选之路”, 至此, 绿色发展这一概念正式确立。绿色发展的基本特征有三点: 一是强调经济、社会与自然三者在发展上的共生、目标上的多元; 二是以绿色经济增长模式为基础; 三是强调全球绿色治理[8]。因此, 绿色发展是构成可持续发展的主要内容, 绿色发展的本质仍是可持续发展。狭义的绿色发展, 被普遍认为是单纯的人与自然的和谐发展; 而广义的绿色发展, 则是坚持生态文明理念, 通过转变发展方式、改变生产方式、更新消费观念, 促进资源的更加有效的利用, 注重环境的保护, 实现经济、社会长久的可持续发展[9]。随着人们认识的不断深化, 绿色发展所关注的重点也经历了由较为单纯的环境保护, 到对传统经济发展模式的反思, 再到向各个领域的渗透, 至目前, 凡是与发展相关联的事都可冠之以“绿色化”, 绿色发展除了其核心内涵是环境绿色化和经济绿色化之外, 其外延已扩展到政治(如 2008 年, 联合国提出的“绿色新政”概念)、文化、社会等各个方面。可谓是一种持续涌动的思潮、一种社会进步的理念、一种不分肤色种族的共同文化、一种普遍的社会行为规范。因此, 绿色发展是一种以效率、和谐、可持续为目标的社会发展模式[10]。

综上所述, 循环经济和绿色发展思想有着相近的演变脉络, 都针对人类发展在现代化进程中所遭遇的普遍性难题: 资源短缺及浪费、环境污染及生态破坏, 而这两大难题之间又有着极大关联性。在关注的核心问题上, 循环经济强调资源的重复利用, 绿色发展强调保护生态环境; 在最终的目标指向上, 二者都归于可持续发展, 作为支撑可持续发展的重要内容; 在解决问题的方式上, 都将改变传统经济发展模式作为突破口, 在追求市场效率的同时, 更加重视资源利用效率和环境效率; 在政策措施上, 充分发挥政府职能, 利用政策引领、法律规制等手段, 恰当处理因资源环境等普遍“外部性”问题所导致的“市场失灵”。当然, 从循环经济和绿色发展二者的外延来看, 绿色发展已涵盖到社会经济的各个方面, 是一种统筹万物的社会发展模式, 而循环经济仅是一种新的经济模式。

当前, 无论循环经济、还是绿色发展, 已然成为全球发展的必然趋势, 虽然在中国起步稍晚, 但在其理论成熟发展时期正是我国改革开放的大发展时期, 因而对中国实践意义更是重大。至目前, 我国循

环经济发展已取得积极成效, 资源利用效率大幅提升, 再生资源利用能力显著增强。2021年, 国家出台了《“十四五”循环经济发展规划》, 提出: 到2025年, 资源循环型产业体系基本建立, 覆盖全社会的资源循环利用体系基本建成, 资源利用效率大幅提高, 再生资源对原生资源的替代比例进一步提高, 循环经济对资源安全的支撑保障作用进一步凸显; 在绿色发展方面, 2015年, 中共十八届五中全会上正式提出了“创新、协调、绿色、开放、共享”的五大发展理念, 表明绿色发展的国家理念已被确立。2017年, 中共十九大报告明确指出: 加快建立绿色生产和消费的法律制度和政策导向, 建立健全绿色低碳循环发展的经济体系。

2.2. 秸秆循环利用对农业绿色发展的意义

秸秆是指在农作物成熟收获籽实后的茎叶(穗)的一种统称。秸秆中含有丰富的钙、氮、钾、磷、镁和有机质, 用途广泛, 是一种可再生的植物资源。在传统农村, 部分秸秆被用作养殖饲料, 一些粗秸秆在干化后被用作燃料, 在一些地区也被用来沤肥、作为一种重要的有机肥, 甚至在一些地区通过燃烧形成草木灰作为肥料。实际上, 在当时较低生产力水平下, 中国传统农村在对待秸秆上一直将其作为“有用”的资源, 进行着一种简单的循环经济^[11]。而在现代, 随着农业投入品(如化肥、地膜、农药等)的大量使用、以及农业机械对劳动的替代, 农业产出率大幅提高, 也使得农业种植业伴随的秸秆量大幅增加。同时, 随着农业产业化程度的不断提高, 农业种植业在区域优势品种种植上集中度不断提高, 使得区域、及农户所拥有的秸秆总量及结构发生了很大变化。加之农村能源的电气化替代, 绝大多数农村地区的燃料不再利用秸秆。农业机械的广泛使用, 使得农村大多数农户已不再饲养用以畜力的大牲口(牛、马、驴等), 以市场化为目标的农村养殖业已由分散化趋向于集中化、专业化、精细化, 其对粗(未加工)秸秆的实际需求量较低, 更大程度上依赖于专业化公司提供的精细饲料。实际上, 秸秆要变成现代养殖业的饲料, 很大程度上取决于秸秆品种(如小麦秸秆一般不作为饲料), 即使能作为饲料或饲料加工原料(如玉米秸秆)的秸秆, 其收集、运输成本又往往较高, 成为其影响秸秆向饲料转化的重要因素。而大量秸秆焚烧, 又会形成严重的大气污染, 使得原本因有害工业气体、以及不断增加的机动车尾气排放所导致空气质量下降更是雪上加霜, 如多年前在一些小麦主产区发生了因大量焚烧秸秆、甚至导致了附近高速公路烟雾弥漫, 能见度急剧下降, 严重影响到交通安全, 等等。由此可见, 在现代农业发展进程中, 传统农村所形成的以农户为经济单位、对于秸秆的那种简单循环利用的需求条件已不复存在, 因此, 从农户层面而言, 此时的秸秆不再是必须的资源, 或就是种植业果实收获后产生的“垃圾”, 以至对这些“垃圾”的处理成为农户农业生产中一项棘手之事。也正因为如此, 秸秆资源的循环利用再次随现代经济社会发展成为农业绿色发展中必须解决的首要大事。

另一方面, 从整个社会层面而言, 数量巨大的秸秆是一笔价值可观的生物质资源。在近多年, 我国秸秆的总量基本稳定在8亿吨、可收集的总量约为6.6亿吨。仅从能量视角看, 若按等值热量换算, 1.5吨秸秆相当于1吨原煤产生的热量, 6.6亿吨秸秆就相当于4.4亿吨原煤, 相当于我国原煤总产量的10%以上(2020年我国原煤总产量为41.3亿吨); 以向电能的转化推算, 1吨秸秆可转化700~800度电能, 6.6亿吨秸秆可转化的电能约为4620~5280亿度, 约为全社会用电量(2019年数据为基数)的6.4%~7.3%。从已形成元素及有机质利用角度来看, 秸秆中含有丰富的钙、氮、钾、磷、镁和有机质, 这些都是动植物生长过程中必须的营养资源, 因此, 将其转化为饲料和肥料是秸秆资源化利用更为有效的途径。从国民经济协调发展的视角, 农业是国民经济的支柱产业, 传统的高消耗、高污染、低效率的农业生产方式已经不能满足现代农业的需求。如从化肥的使用来看, 尽管化肥使用为农业增产发挥着重要作用, 但至目前, 其边际效应已降至很低、甚至为负的状况, 同时因长期大量使用化肥、缺少有机肥导致了耕地土壤自然肥力严重下降、板结等一系列问题, 土壤有机改良已成为农业可持续发展中的一个

重大问题。治理这一问题的基本途径就是化肥的减量化和有机肥的增量化使用, 而有机肥料的主要来源也只能产生于农业种养业的附属物及其加工品, 秸秆就是数量最大、最有利用价值的资源。秸秆是加工有机肥的主要原料, 也可通过饲料化形成有机肥。因此, 秸秆资源的循环利用是发展农业循环经济的重要内容, 也是农业循环经济中最重要的一个环节, 其对节约使用农业资源、增加和维护耕地肥力、发展现代种养业、增强农产品安全保障、保护和修复农业生态环境、优化农村燃料结构和效率、改善农村人居环境, 在最终意义上促进农业农村绿色可持续发展具有重要意义。

3. 我国秸秆资源量、分布及利用状况

3.1. 秸秆资源总量

秸秆的产生通常与粮食作物种植密切相关, 粮食作物秸秆约占 70%, 生产一单位粮食通常伴随着 1~1.2 单位的秸秆。我国是人口大国, 历来都十分重视粮食安全问题。十八大报告指出: 要大力发展现代农业, 提高农业综合生产能力, 保障国家粮食安全及重点农产品的稳定供应。在党中央的高度重视下, 我国粮食产量除特殊年份外呈现出连续增长态势, 粮食总产量从 2013 年的 63,048 万吨增长至 2020 年的 66,949 万吨, 净增 3901 万吨。在粮食产量不断增加的同时, 秸秆的产量也呈现出了波动性地增长。图 1 为 2010~2020 年我国秸秆产量及增速图, 近 10 年来我国秸秆产量稳定在约 8 亿吨/年, 年均增速约为 0.46%, 2016 年秸秆产量达到近 10 年最高, 之后三年有所下降, 2020 年再次呈现迅速增长、秸秆产量接近 8 亿吨。

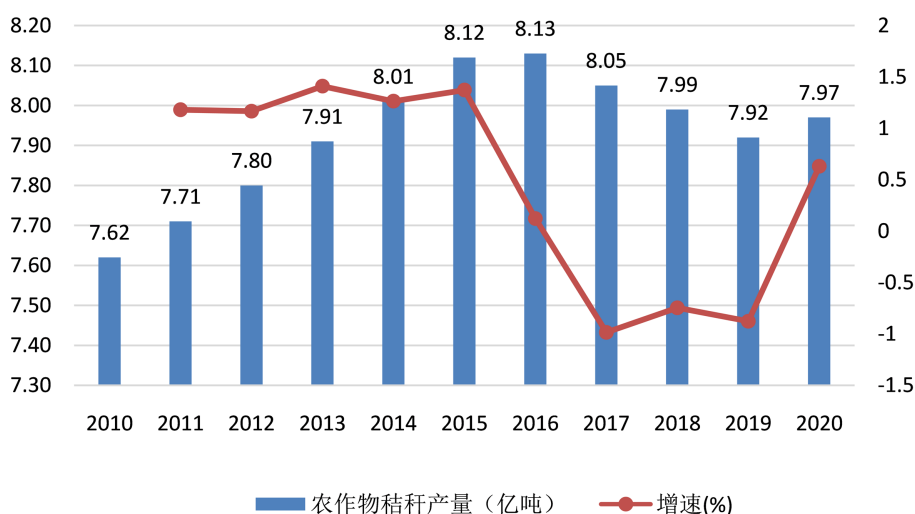


Figure 1. China's straw production and growth rate from 2010 to 2020

图 1. 2010~2020 年我国秸秆产量及增速

秸秆资源的可收集量约为每年秸秆产量的 84% 左右。图 2 为 2010~2020 年我国秸秆可收集资源量及增速图, 十年平均年可收集秸秆量为 6.64 亿吨, 2020 年, 全国秸秆总产 7.97 亿吨, 可收集资源量达 6.67 亿吨, 丰富的秸秆资源亟需找到有效的综合利用方式。

3.2. 秸秆资源结构及区域分布

从作物种类视角来看, 我国占比较大的秸秆资源依次为: 水稻秸秆、玉米秸秆和小麦秸秆, 三者之和约占秸秆资源总量的 75% 以上。其中, 水稻秸秆和玉米秸秆主要分布在中南和华东地区, 西南和华北地区的部分省份也分别有水稻秸秆和小麦秸秆的分布; 玉米秸秆主要分布在东北和华北地区, 中南及华

北地区的部分省份也有大量玉米秸秆的分布[12]。其次,按行政区域划分来看,秸秆产量占比最多的地区为华东地区,据统计 2018 年华东地区的秸秆产量约占全国总产量的 24%,然后依次为中南地区、东北地区、华北地区、西北地区、西南地区[12]。

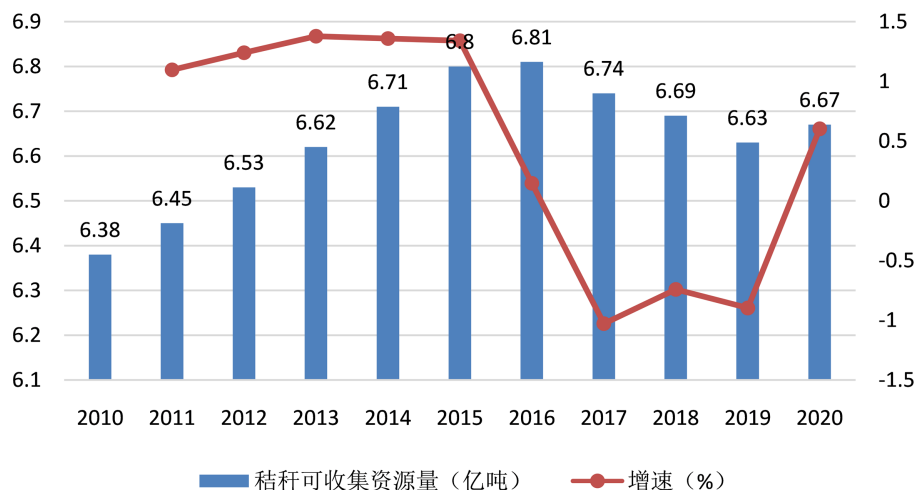


Figure 2. 2010~2020 China's straw collectable resources and growth rate map
图 2. 2010~2020 年我国秸秆可收集资源量及增速图

3.3. 秸秆资源利用整体状况

近年来,各地区和有关部门认真贯彻落实习近平生态文明思想,积极推动秸秆的综合利用,秸秆的五料化利用技术经过产业化示范日趋成熟,对促进秸秆资源的综合利用发挥了重要作用。2016年,国家发改委、农业农村部组织各省有关部门和专家对全国“十二五”秸秆综合利用情况进行了终期评估,如图 3 结果显示 2015 年全国主要农作物秸秆肥料化利用量为 3.9 亿吨,占可收集资源量的 43.2%;秸秆饲料化利用量 1.7 亿吨,占可收集资源量的 18.8%;秸秆基料化利用量 0.4 亿吨,占可收集资源量的 4.0%;秸秆燃料化利用量 1.0 亿吨,占可收集资源量的 11.4%;秸秆原料化利用量 0.2 亿吨,占可收集资源量的 2.7% [13]。被废弃或焚烧的秸秆资源占 19.9%。2021 年全国秸秆综合利用项目绩效考评会议数据显示:全国秸秆综合利用率由“十三五”初期的 80.1% 提高到了目前的 87.6%,全国秸秆露天焚烧火点数减少了 40% 以上。

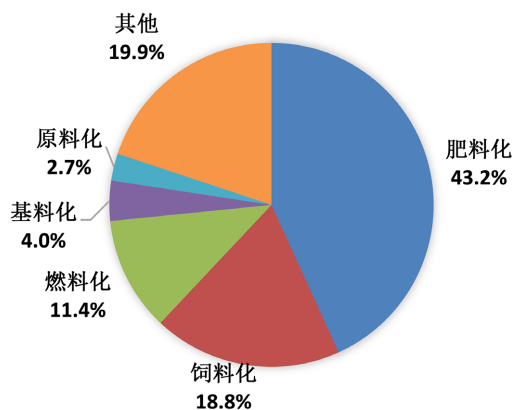


Figure 3. The proportion of straw utilization in China in 2020 (unit: %)
图 3. 2020 年我国秸秆利用方式占比(单位: %)

4. 秸秆利用相关技术发展方向及综合利用模式

4.1. 秸秆资源化利用的技术发展方向及局限性

根据国家农业农村部联合国家发展改革委编制的《秸秆综合利用技术目录(2021)》，将秸秆利用分别归于肥料化、秸秆饲、燃料化、基料化、原料化等五种类型的技术发展方向[14]。

4.1.1. 秸秆肥料化利用

秸秆中富含钙、氮、钾、磷、镁和有机质，所以秸秆还田是防止土壤侵蚀、提高土壤品质的有效措施。而且，秸秆还田较好实现，具有良好的经济效益。秸秆肥料化利用技术主要有：秸秆犁耕深翻还田技术、秸秆旋耕混埋还田技术、秸秆免耕覆盖还田技术、秸秆田间快速腐熟技术、秸秆生物反应堆技术、秸秆堆沤还田技术、秸秆炭基肥生产技术[14]。秸秆还田的方式有：翻压还田、覆盖还田、高茬还田。

存在的问题：秸秆直接还田存在成本较高的问题，且对农作物的病虫害问题很难进行有效控制，从而影响到粮食的产量。由于作用周期较长受到农时限制，不同技术对农作物的适用种类、土质及地形也有限制[15]。

4.1.2. 秸秆饲料化利用

秸秆作为饲草料，分为经过处理与未经处理。未经处理的秸秆饲料不助于草食家畜的消化，且适口性差、进食量低、营养价值低，不利于家畜的生产。而经处理后的饲料，其营养损失少，饲料转化率高，适口性好，采食率高，饲养简便，易于长期保存。秸秆饲料化利用技术主要有：秸秆青(黄)贮技术、秸秆碱化/氨化技术、秸秆压块饲料加工技术、秸秆揉搓丝化加工技术、秸秆挤压膨化技术和秸秆气爆技术[14]。

存在的问题：对取料后的贮藏条件要求较高，氮化后对部分家畜慎用，人工成本高。

4.1.3. 秸秆燃料化利用

传统农业中秸秆作为生活燃料减少了对森林植被的破坏，而如今随着技术进步，我国秸秆燃料化技术也在不断创新和完善，主要有以下几种：1) 秸秆打捆直燃供暖(热)技术；2) 秸秆固化成型技术；3) 秸秆炭化技术；4) 秸秆沼气技术；5) 秸秆纤维素乙醇生产技术；6) 秸秆热解气化等气化技术；7) 秸秆直燃(混燃)发电技术；8) 秸秆热电联产技术[14]。秸秆经处理后，具有点火容易，燃烧效率高，烟气污染易于控制，便于贮藏，排放低碳等特点，秸秆燃料技术取代煤炭等矿物燃料，大大降低了二氧化碳的排放量，环保效果显著，而且可以直接取代传统的工业酒精生产所需的粮食，为国家粮食安全起到了重要的推动作用[16]。

存在的问题：燃料化过程中燃烧排放需配置除尘设备和尾气净化装置，对供暖对象的分散度、秸秆含水率有要求。

4.1.4. 秸秆基料化利用

秸秆基料化利用技术主要包含：1) 秸秆食用菌栽培技术；2) 秸秆制备栽培基质与容器技术[14]。第一种技术主要是以秸秆为主要原料生产食用菌，这不但提高了经济效益，且秸秆对木料的替代有助于保护林木资源。第二种技术主要是将秸秆加工成各种植物栽培所需要的基质或容器，以秸秆为原料不但取材方便且有利于作物的培育和生长同时秸秆具有可降解性，避免了对环境的二次污染。

存在的问题：为避免菌棒和菌种发霉变质，在保存和接种菌棒时严格要求处于无菌环境下，且对秸秆存放环境有较高要求。

4.1.5. 基于秸秆原料化利用

秸秆的原料化利用技术主要有以下几种：1) 秸秆人造板材生产技术；2) 秸秆复合材料生产技术；3) 秸秆清洁制浆技术；4) 秸秆编织网技术；5) 秸秆聚乳酸生产技术；6) 秸秆墙体技术；7) 秸秆膜制

备技术[14]。以上技术分别用于生产轻质板材、人工合成材料、制浆、编制草毯、制成乳酸、建筑物墙体建造及制秸秆膜。秸秆的原材料化利用技术有效起到了保护林木资源的作用,且有助于提升全产业链的附加值。

存在的问题:对秸秆含水量有要求,且对原料标准较高,制浆过程中制浆废液的回收处理存在隐患。

4.2. 农村秸秆资源化综合利用模式

对前述秸秆利用技术的适当选择及整合,并通过实践检验,就形成了不同的秸秆利用综合模式。当前,我国正在全力推进乡村振兴,加快农业农村现代化进程,随着农业不断向绿色、低碳、循环转型,对秸秆的综合利用也提出了更加科学、更加高效、更加高值化的要求。因此,为了促进循环农业的发展,创新和完善秸秆资源化综合利用模式尤为重要。秸秆的资源化利用模式选择应当因地制宜,充分认识当地的资源禀赋,选择符合当地实际情况的综合利用模式。根据我国农村在秸秆循环利用方面所取得的实践经验,主要表现为秸秆还田利用模式和秸秆循环利用模式[17]。

4.2.1. 秸秆还田利用模式

秸秆还田利用模式不仅可以提升土壤质量、农田肥力、增加土壤有机质,而且秸秆肥料化可以减少对化肥的使用,有助于改善农村土地板结等情况,减少环境污染,对发展绿色低碳农业具有重要意义[18]。秸秆还田利用模式主要有:秸秆犁耕深翻还田技术模式、秸秆旋耕混埋还田技术模式、秸秆免耕覆盖还田技术模式、秸秆田间快速腐熟技术模式、秸秆生物反应堆技术模式、秸秆堆沤还田技术模式、秸秆炭基肥生产技术模式。

4.2.2. 秸秆循环利用模式

秸秆的循环利用模式主要是遵循了生态学视角中的能量与物质守恒原则,发展“低消耗、低排放、高效率”的农业循环经济,可以推动秸秆资源的循环、永续利用,实现秸秆资源的闭环式循环利用。秸秆的循环利用模式不仅可以维持生态系统的平衡,而且可以延长农业产业链,增加农业附加值。同时秸秆的循环利用可以与畜牧业等产业有机结合。此处主要参考农业部办公厅于2017年发布的《秸秆农用十大模式》[19]。

1) “秸-饲-肥”种养结合模式

“秸-饲-肥”种养一体化的农业生产模式,是利用农作物的秸秆经过物理、化学、生物处理(青贮、压块、膨化)、加入辅料或营养元素,制成营养丰富、适口性较好的家畜饲料(图4)。秸秆是畜禽产品的粗饲料,转化为肉、奶等产品,增加一定的附加值,提高了居民的饮食结构,保证了市场的稳定供应,同时,秸秆饲料经禽畜消化吸收后排出的粪便经过高温有氧堆肥、发酵等无害化处理方式作为有机肥还田,从而实现种植业和养殖业的有机结合。该模式可提高秸秆的转化率、扩大饲料来源、节省饲料消耗、解决粮食供求矛盾,同时还具有提高土地的有机质含量、培肥地力、减少化肥使用等方面的作用。

2) “秸-(饲)-沼-肥”能源生态模式

“秸-沼-肥”的能源生态系统,是利用玉米、小麦等农作物的秸秆,经过厌氧发酵等方式生产沼气,再由管道、压缩罐等输送到农村居民的日常生活中,也可以将其提炼成“生物天然气”,供汽车使用和工业生产。利用秸秆制沼气的沼渣和沼液可直接还田,或经过深加工,可制成含有腐殖酸的水溶肥、叶面肥或育苗基质,用于蔬菜、果树和粮食的生产。这种能源生态模式属于用发酵的方法制造沼气或直接制造有机肥料。

“秸-饲-沼-肥”能源生态模式和过腹还田的本质是一样的,秸秆经过处理,制成饲料,供畜牧业使用;将畜禽粪使用发酵的方法制造沼气或直接制造有机肥料;沼气用来发电或向居民提供清洁能源,而沼液和沼渣则可以直接还田;实现了秸秆养殖、生态种植和能源生产的有机结合。

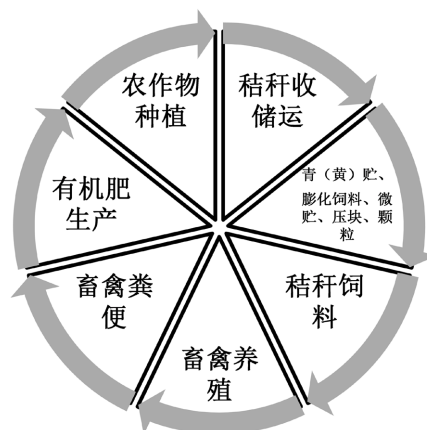


Figure 4. The flow chart of the combination mode of straw-feed-fertilizer
图 4. 秸 - 饲 - 肥种养结合模式流程图

将农业废弃物如农作物秸秆转化为沼肥和沼液，不仅可以降低化肥使用量，而且可以促进土壤肥力，提高耕地质量，促进农业循环经济的发展。发展“秸 - (饲) - 沼 - 肥”的生产模式，把农业中的生物物质转化为商品能源，可以有效地延长农业的产业链，实现以城带乡，以工促农的可持续发展，实现一二三产业的融合，同时也能有效地缓解能源紧张，替代石油等能源。其流程模式如图 5：

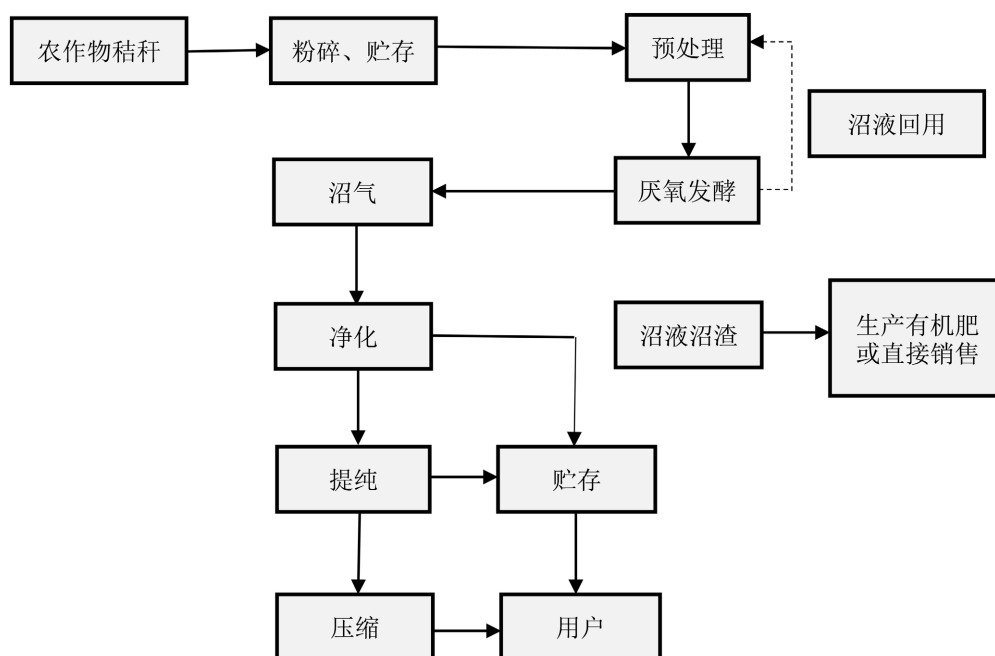


Figure 5. Flow chart of straw-(feed)-marsh-fertilizer energy ecological model
图 5. 秸 - (饲) - 沼 - 肥能源生态模式流程图

3) “秸 - 菌 - 肥” 基质利用模式

“秸 - 菌 - 肥” 的基质利用方式，是将农作物秸秆和其他材料混和，或者经过高温的发酵而制成的一种菌类栽培基质，食用菌收获后，经过高温堆肥处理的菌糠可返回田间，属于多级循环利用模式。“秸 - 菌 - 肥” 基质化利用模式具有明显的经济效益，不仅适合普通农户生产，而且适合工厂化、产业化规模生产。其流程图如图 6：

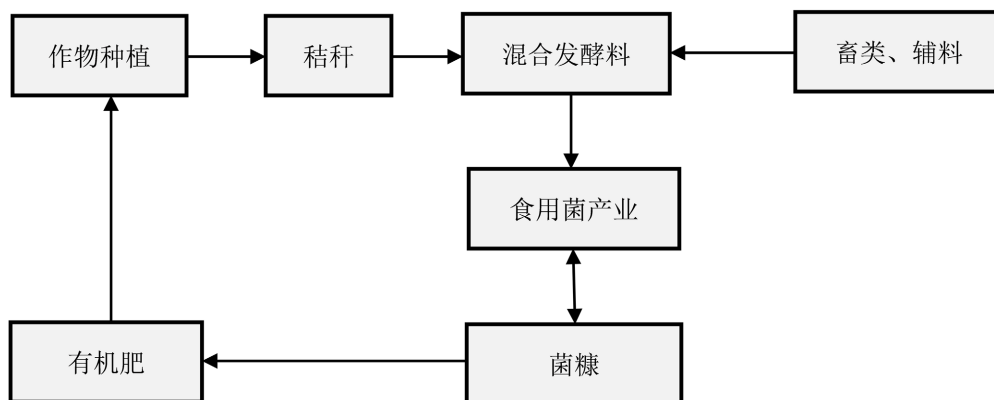


Figure 6. The flow chart of straw-bacteria-fertilizer substrate utilization mode
图 6. “秸 - 菌 - 肥” 基质利用模式流程图

4) “秸 - 炭 - 肥” 还田改土模式

“秸 - 炭 - 肥” 还田改土模式，是将农作物秸秆经低温热解技术转变成富含有机质的生物炭，再以此为媒介，制作成炭基肥，再送回田间，以改善土壤结构和其它物理性质及化学性质，提高土壤有机质含量，达到秸秆循环再利用的目的。炭基肥是一种新型的生物碳复合材料，其主要作用是改良土壤、增强土壤肥力、改善作物生长环境、提高作物产量和产品质量。同时还能得到可燃气体、秸秆醋液等副产物。秸秆干馏所产生的气体可用于农村地区的炊事、供暖等，或用于发电。秸秆醋液是一种具有防虫、防病、促进作物生长作用的自然农业生产资料(如图 7)。

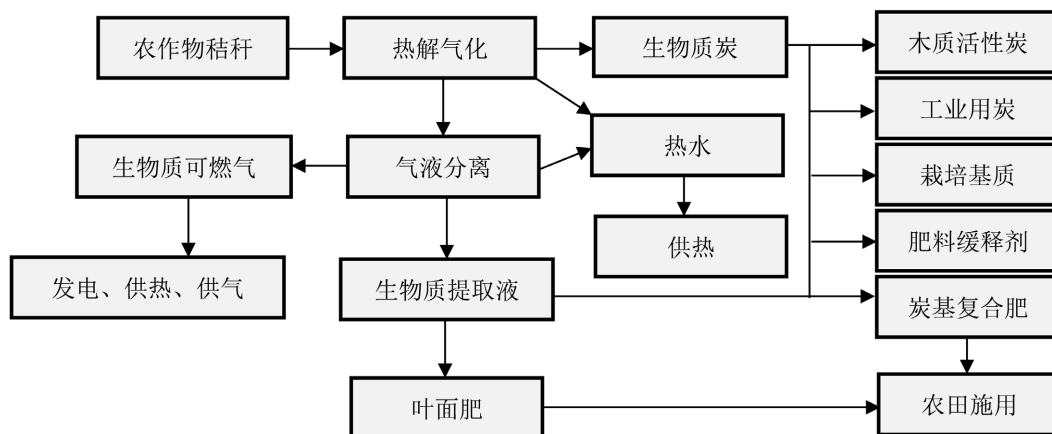


Figure 7. The flow chart of the straw-charcoal-fertilizer returning to the field to improve the soil
图 7. “秸 - 炭 - 肥” 还田改土模式流程图

4.3. 秸秆资源化循环利用中存在的主要问题

4.3.1. 市场主体缺乏

秸秆资源化循环利用的根本是形成循环经济，其核心在“经济”、而资源的循环只是内生于经济的表象，秸秆的资源化也是因为秸秆能作为一种经济资源、产生经济价值、获得经济效益。应深刻认识到，影响我国秸秆资源化循环利用的根本原因是我国农业仍处于现代农业发展的初期阶段，且小农经济仍占农业的相当份量，这样就形成了在对待秸秆问题上的“两张皮”现象，宏观上而言，秸秆确实是一种应该充分利用的混合资源、且存量十分巨大，对其进行综合循环利用是现代经济社会发展的

必然要求, 其具有巨大的社会效益、包括直接的环境效益和生态效益; 但从微观来看, 谁具有充分的动力和能力进行该项事业? 即涉及到秸秆循环利用的微观主体问题。如前所述, 在传统农业对秸秆的简单循环利用已被打破的状况下, 对大多数农户而言, 秸秆对自身家庭及其小农业的利用价值已降到微乎其微, 这就需要具有一定财力和技术的新的市场主体进入, 从事该领域的事项必须以有利可图的预期为支撑, 但实际上, 在工业化进程中农业的弱质性决定了相应涉农企业的利润前景有限, 即使在政府财政补贴下, 从事具有公益特征的涉农事项往往难以持续。总体来看, 在秸秆循环利用方面, 真正具有活力的市场主体还未形成。

也正因为这一根本性问题的存在, 致使秸秆资源化利用方面的资金投入不足, 一是单个农户在自身需求缺乏、外部需求不明、同时受技术、资金严重限制的情况下, 难能在秸秆资源化利用方面有所作为; 二是近多年发展起来的农村经济合作组织(如专业合作社)、农民创办的农业企业等, 如同农户一样, 受市场、技术、资金等限制, 投入积极性不高; 三是即使一些龙头企业, 可能也会从事一些秸秆资源化利用项目, 但往往是将其作为为主业配套的附带业务(如大型养殖企业), 其投资的重点当然在主业上, 秸秆资源化利用的技术水平有限; 四是虽然在一些地区出现了如与秸秆综合利用模式中“秸-菌-肥基质利用模式”和“秸-炭-肥还田改土模式”相近的专业化公司, 但数量少, 且从目前运营效益看, 经济效益一般, 或无政府补贴将难以为继。

4.3.2. 收运贮成本太高

收运贮是秸秆规模化综合利用的首个环节, 但这往往是“压倒骆驼的第一根稻草”。秸秆具有难以收集、体积大及易腐烂的特点, 许多农村地区在作物果实收获后秸秆的收集往往主要依靠体力劳动才能解决(如玉米秸秆), 仅从农户角度而言, 主要以劳动收集秸秆的成本往往会高于企业愿意付出的地头价格, 这也是农民更愿意将秸秆焚烧的基本原因。在政府严厉的禁焚令下, 一些农户甚至愿意以“零价格”处理秸秆, 但即使这样, 一些相关企业也难以承受秸秆的收运贮成本。尽管我国的农业机械化进展较快, 水平也有了很大提高, 但这主要体现在灌溉、机耕、机播、机收等农业主业方面, 一般不涉及秸秆的收集, 加之受农户分散种植、地块分割、田间机械道路缺乏等限制, 像国外发达农场那样进行大型农机联合作业的条件缺乏; 在运输环节, 由于秸秆相对较轻、体积大, 受收集时打包技术影响, 运输量与车辆载重难以匹配, 运输成本较高; 秸秆的收集具有季节性, 特别是对于多季种植, 一茬作物收割完马上需要种植下一茬作物, 秸秆收集时间非常紧促。对运营企业而言, 加工往往具有时限性, 当储备达到一定数量时才可开机, 而储备往往需要较大空间(一般为露天), 还要考虑防火、防雨、防潮、防腐等, 这些风险成本也很高。总之, 收运贮成本太高是秸秆资源化综合利用中最大的现实难题。

4.3.3. 技术经济性、集成性问题突出

总体来看, 我国秸秆资源化综合利用的技术水平较低, 技术集成尚不成熟, 高技术创新十分缺乏, 与经济条件的匹配性较差, 支撑产业化利用的技术条件还未形成。在这些问题中最为亟待解决的是技术的经济性和集成性。技术的经济性是决定其市场前景的重要问题, 由于秸秆利用的一般技术属农业技术领域, 从开发试验到推广通常由公共科研机构进行, 针对用户主要为农户及农村小规模企业, 以往主要是农村沼气池、还田, 以及近几年的储青饲料、菌棒和作为燃料的秸秆棒等, 虽然这些适用技术已充分考虑到用户学习的方便和投入经济性问题, 但随着社会经济发展, 在农村通电问题基本解决、实际生活于农村的人口大规模减少的情况下, 一些技术的实际经济性问题显现, 以农户为单位的对这些适用技术的需求已降至很低, 而既具有规模化利用秸秆、又具有实际经济性、能够高效利用秸秆资源的高水平技术甚是缺乏; 由于秸秆化学构成的复杂性, 秸秆资源的高效利用必须是综合利用, 这涉及到各种技术的合成、甚至是高技术的配套集成, 如针对秸秆收集, 需要机械技术; 针对还田, 需要生物技术; 其最终

产品往往是多样的, 需要分离技术, 等等。因此, 秸秆利用较高水平的技术, 再很难由单一的公共科研机构提供, 其最可能的技术创新在于相关企业在实际运营专门针对于问题的不断探索。

4.3.4. 政策引导支持中存在的问题

由于秸秆循环利用所具有的极强“外部性”, 政府政策引导和支持就显得尤为重要。一是补贴偏低。由于农民的生产规模较小, 因此秸秆的循环利用能为其带来的经济效益有限, 当政府给予的补贴不足以吸引农民主动回收秸秆时, 农民对秸秆的循环利用意愿就会减弱。当涉事企业因缺乏资金、技术, 或政府补贴太低, 难以盈利, 其长期可持续运营将难以为继, 也不会有更多的企业进入该领域, 自然会导致秸秆循环利用产业化难以实现、技术水平难以提高; 二是国家有关资源循环利用相关政策法规还不够健全。目前, 我国已出台了《清洁生产促进法》《环境保护法》《循环经济促进法》等相关法规, 但尚未出台专门的农业循环经济法规, 缺乏具体的实施细则; 三是较为权威的统计数据缺乏。由此导致无法对秸秆综合利用情况进行有效评价和分析, 使得政府政策制定缺乏可靠数据支持, 也使得行业进入、涉事企业生产经营决策、投融资等受到影响。

5. 秸秆综合利用的建议

第一, 加大宣传力度, 建立激励补偿机制。加强农户对秸秆综合利用的意识。秸秆资源的综合利用会影响到经济、生态、社会等多个层面, 并且涉及到政府、农民、企业、消费者等多个主体, 因此, 要加大对农业循环经济的宣传力度, 让社会各阶层都能接受秸秆的综合利用模式, 从而降低推广的难度。应积极向农户宣传秸秆综合利用的经济效益及环境效益, 制定并落实秸秆资源化使用的普惠性补贴, 带动其对秸秆资源化使用的积极性[20]。首先, 以各级政府、农民、消费者为抓手, 要求政府注重经济效益和生态效益的协同发展, 因地制宜地制定适宜本地区农业循环经济发展的方针政策。其次, 从农民和农业企业层面出发, 改变农民和农业企业的生产经营理念, 让他们认识到发展秸秆综合利用的重要性以及所能带来的经济效益, 强化农民在生产经营中的责任感。最后, 鼓励消费者形成绿色消费理念, 通过影响需求影响消费, 进而促进农业的绿色可持续发展。

第二, 加大财税补贴力度, 降低利用成本。目前国家对于秸秆综合利用的补贴投入主要集中在试点示范引领层面, 建议对秸秆综合利用实行普惠性补贴以降低农民农机使用等成本, 从而调动农民对秸秆资源化综合利用的积极性。各级政府应从收、贮、运及综合利用层面细化对秸秆循环利用的补贴项目。从而降低农民对秸秆资源化利用的成本, 提高农民积极性。

第三, 加强秸秆利用技术研发, 构建完善的农作物秸秆收贮运体系。建议加大对于秸秆利用技术的研发投入, 加快高新技术的引进, 健全完善秸秆的收贮运体系。秸秆的综合利用模式必须具备人才与技术的支撑, 因此要鼓励科研机构积极参加农业科研及推广活动, 加强沟通, 解决秸秆资源在综合利用过程中遇到的技术难题, 要将农民收入与秸秆资源的综合利用相结合, 充分发挥农民的主观能动性, 促进农业技术在现实中的运用[21]。针对秸秆收运贮成本太高的问题, 有必要由政府主导、联合企业, 建立农村秸秆收运贮体系, 对秸秆进行统一收集、统一运输、统一贮存, 从源头上解决农民因技术或成本等原因无法高效处理秸秆的问题, 并且从运收贮环节降低成本, 促进秸秆资源规模化利用能力。

第四, 建立多级循环资源化利用模式, 推动秸秆产业化利用。

我国目前秸秆资源存在的一个突出问题, 并不是秸秆离田后的收集能力不足, 而在于秸秆离田后利用能力低下, 特别是我国秸秆综合利用的产业化水平过低。因此, 要推动秸秆资源化利用方式向新能源等多元化方式转变, 首先要以地区为单位制定秸秆的资源化利用规划, 其次选择因地制宜的秸秆综合利用模式, 并且针对不同的利用模式调整产业结构, 延长秸秆综合利用产业链及附加值, 提升秸秆综合利用的产业化及市场化水平[22]。

第五, 发挥试点示范引领作用。充分发挥试点地区的引领带动作用, 逐步将成熟的技术及秸秆利用模式引入到资源禀赋相符的地区[23], 扩大试点范围, 因地制宜地探索适合当地发展的秸秆综合利用模式, 并采取相应的补偿措施, 以此带动非试点地区完善秸秆循环利用模式、推动多元化利用[24]。充分发挥市场在资源配置中的决定性作用, 构建以市场为导向的秸秆资源综合利用模式, 主抓技术、配备设备, 提高秸秆综合利用的产业化水平。

第六, 严格落实政策法规。相关部门应严格落实政策法规, 制定更多可操作性强且权责明晰的法规, 加大监管力度, 完善处罚与追责机制, 环保部门要严格执法, 不断加强秸秆禁烧的监督检查及焚烧期间大气环境监测并将大气环境质量变化和禁烧检查存在的问题及时向政府反馈[25]。政策上, 要根据区域的发展水平和特点, 科学规划、合理引导, 因地制宜的选择适合本地区发展的秸秆循环利用模式。首先, 要构建生态修复与环境保护的补偿机制, 政府要采取适当的补偿措施来调动农户和企业的积极性。其次, 要制定各种奖励政策, 鼓励那些规模大、经营效益好、技术水平高的农民、企业积极响应发展秸秆循环利用模式, 如采取政策优惠、奖励、税收减免、贴息贷款等措施。

第七, 加强对秸秆资源化利用相关数据的统计。秸秆作为重要的农业绿色循环利用资源, 有必要加强对其的数据统计、生态环境监测等数据的收集, 并将有关指标纳入官方统计(年鉴), 为农业绿色发展提供必要的技术支持。

基金项目

国家自然科学基金项目(项目编号: 72063029); 教育部人文社会科学研究规划基金项目(项目编号: 18XJA790009); 甘肃省高等学校产业支撑计划项目: “秸秆生物反应堆”有机循环农业技术研发及其在“菜果薯药”产业的推广利用(项目编号: 2021CYZC-44)。

参考文献

- [1] 中华人民共和国农业农村部. 农业农村部 国家发展改革委 科技部 自然资源部 生态环境部 国家林草局关于印发《“十四五”全国农业绿色发展规划》的通知[EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/FZJHS/202109/t20210907_6375844.htm, 2021-08-23.
- [2] 李一, 王秋兵. 我国秸秆资源养分还田利用潜力及技术分析[J]. 中国土壤与肥料, 2020(1): 119-126.
- [3] Jarrett, H. (1966) *Environmental Quality in a Growing Economy*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- [4] Pearce, D.W. and Turner, R.K. (1990) *Economics of Natural Resources and the Environment*. Harvester Wheatsheaf, London.
- [5] 李兆前, 齐建国. 循环经济理论与实践综述[J]. 数量经济技术经济研究, 2004, 21(9): 145-154.
- [6] 陆学, 陈兴鹏. 循环经济理论研究综述[J]. 中国人口·资源与环境, 2014(5): 204-208.
- [7] 韩振秋. 循环经济理论之渊源探究及思考[J]. 岭南学刊, 2015(1): 95-98.
- [8] 胡鞍钢, 周绍杰. 绿色发展: 功能界定、机制分析与发展战略[J]. 中国人口资源与环境, 2014(1): 49-53.
- [9] 贾海洋, 刘长春. 绿色发展与农业绿色发展理论研究综述[J]. 区域治理, 2020(1): 74-76.
- [10] 梁珍. 西北地区绿色发展的现实困境与应对策略[J]. 理论观察, 2021(4): 62-64.
- [11] 庞燕, 鄢小蓝. 循环经济下农业废弃物物流模式的构建与实施——以农作物秸秆资源回收利用为例[J]. 系统工程, 2010, 28(11): 82-85.
- [12] 石祖梁, 李想, 王久臣, 王飞, 孙仁华, 宋成军. 中国秸秆资源空间分布特征及利用模式[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(S1): 202-205.
- [13] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 我国主要农作物秸秆综合利用率超过 80% [EB/OL]. https://www.ndrc.gov.cn/fzggw/jgsj/hzs/sjdt/201605/t20160527_805004.html, 2016-05-27.
- [14] 中华人民共和国农业农村部. 农业农村部办公厅 国家发展改革委办公厅关于印发《秸秆综合利用技术目录(2021)》的通知[EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/nybgb/2021/202111/202112/t20211221_6385225.htm, 2021-12-21.

-
- [15] 石祖梁, 邵宇航, 王飞, 王久臣, 孙仁华, 宋成军, 李想. 我国秸秆综合利用面临形势与对策研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(10): 30-36.
- [16] 王丹丹. 农作物秸秆的综合利用与可持续发展[J]. 农机化研究, 2020, 42(11): 264-268.
- [17] 石祖梁, 王飞, 王久臣, 李想, 孙仁华, 宋成军. 我国农作物秸秆资源利用特征、技术模式及发展建议[J]. 中国农业科技导报, 2019, 21(5): 8-16.
- [18] 朱鸿杰, 闫晓明, 何成芳, 洪玲, 谭外球. 秸秆还田条件下农田系统碳循环研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(2): 344-351.
- [19] 中华人民共和国农业农村部. 农业部办公厅关于推介发布秸秆农用十大模式的通知[EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/nybg/2017/dwq/201712/t20171230_6133475.htm, 2017-05-20.
- [20] 梁武, 聂英. 产粮大省玉米秸秆综合利用的困局与对策研究[J]. 玉米科学, 2017, 25(4): 105-110.
- [21] 石祖梁, 刘璐璐, 王飞, 李想, 常志州. 我国农作物秸秆综合利用发展模式及政策建议[J]. 中国农业科技导报, 2016, 18(6): 16-22. <https://doi.org/10.13304/j.nykjdb.2016.308>
- [22] 冯伟, 张利群, 何龙娟, 庞中伟, 郭淑珍. 基于循环农业的农作物秸秆资源化利用模式研究[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(2): 921-923+973.
- [23] 孙宁, 王飞, 孙仁华, 王亚静, 王红彦, 王磊, 毕于运. 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.
- [24] 王颖, 赵言文, 丁美, 籍春蕾, 王春梅. 江苏省秸秆资源利用现状及多层次利用模式探讨[J]. 江苏农业科学, 2010(4): 393-396.
- [25] 任仲杰, 顾孟迪. 我国农作物秸秆综合利用与循环经济[J]. 安徽农业科学, 2005(11): 2105-2106.