

我国农作物秸秆资源利用特征、技术模式及发展建议

石祖梁^{1,2}, 王飞^{1,2}, 王久臣^{1,2}, 李想¹, 孙仁华¹, 宋成军¹

(1. 农业农村部农业生态与资源保护总站, 北京100125; 2. 农业农村部农业生态与资源保护总站, 农业农村部资源循环利用技术与模式重点实验室, 北京100124)

摘要:为促进我国秸秆禁烧和综合利用工作, 综述了各区域农作物秸秆资源产生、利用现状及现有技术模式。2016年全国秸秆理论资源量达到 9.84×10^8 t, 可收集量达到 8.24×10^8 t, 玉米、水稻和小麦三类农作物秸秆占总量的83.51%。秸秆已利用量为 6.73×10^8 t, 综合利用率达到81.68%, 其中肥料化、饲料化、基料化、燃料化、原料化利用率分别为47.20%、17.99%、11.79%、2.23%、2.47%, 形成农用为主的综合利用格局。不同区域之间秸秆利用水平差异显著, 华北区、西北区、华东区、中南区、西南区、东北区秸秆综合利用率依次为94.73%、89.21%、88.89%、83.01%、74.27%、63.43%。全国秸秆利用技术模式可分为秸秆还田利用型和循环利用型两大类, 其中秸秆还田模式主要有玉米秸秆深翻养地还田模式、棉花秸秆深翻还田技术模式、麦秸覆盖玉米秸秆旋耕还田技术模式、少免耕秸秆覆盖还田技术模式、稻麦(油)秸秆粉碎旋耕还田技术模式、秸秆快速腐熟还田技术模式; 秸秆循环利用模式主要有秸-饲-肥种养结合技术模式、秸-沼-肥能源生态技术模式、秸-菌-肥基质利用技术模式、秸-炭-肥还田改土技术模式。为进一步促进秸秆综合利用产业化发展, 提出了构建整体推进的工作体系、全量利用的技术体系、完善配套的政策体系相互结合的对策建议。

我国是农业大国, 农作物秸秆种类繁多、数量巨大、分布广泛。随着我国粮食生产取得“十四连丰”的巨大成就, 其副产品秸秆的产生量也日益增长。但是伴随着农业生产和农民生活方式的转变、农村劳动力转移、能源消费结构改善和各类替代原料的应用, 秸秆利用方式和利用途径出现极大变化[1, 2], 区域性、季节性、结构性过剩现象不断凸显, 露天焚烧屡禁不止, 秸秆处理利用面临着严峻挑战。亟需在现有秸秆综合利用基础上加快构建可持续运行的技术模式和配套政策, 才能推动秸秆综合利用工作健康发展。本文全面解析了目前我国秸秆产生和综合利用现状, 综述了秸秆利用主要技术模式, 并提出相关政策建议, 旨在为推动全国秸秆禁烧和综合利用工作有序开展提供理论支持。

1 秸秆产生与利用现状

据农业农村部统计, 2016年全国主要农作物

秸秆产生总量达到 9.84×10^8

t, 玉米、水稻、小麦、棉花、油菜、花生、豆类、薯类、其他作物秸秆产生量分别占秸秆总量的41.92%、23.23%、18.36%、2.44%、3.10%、2.04%、2.84%、3.74%、2.33%[3]。玉米、水稻、小麦三大作物占比达到83.51%, 是秸秆的主要来源[4]。全国秸秆可收集量约为 8.24×10^8

t, 秸秆肥料化、饲料化、

燃料化、基料化、原料化(简称“五料化”)利用总

量达到 6.73×10^8

t, 秸秆综合利用率达到81.68%[3], 其中秸秆肥料化、饲料化、燃料化、基料化、原料化利用率分别为47.20%、17.99%、11.79%、2.23%、2.47%, 已经形成了农用为主的综合利用格局[5]。

秸秆产生和利用与地形地貌、自然条件、农业活动、经济特点有密切关系[6], 因而具有广泛的区域差异性。据农业农村部统计, 秸秆产生量由大到小依次为华东区、中南区、东北区、华北区、西北区、西南区, 分别占全国秸秆总量的24.31%、22.82%、21.63%、12.29%、10.25%、8.69%[3], 主要集中在华东、中南和东北地区[7]。表1显示, 不同区域之间, 华北区秸秆综合利用率最高, 达到94.73%; 其余依次为西北区89.21%、华东区88.89%、中南区83.01%、西南区74.27%; 东北区利用率最低, 仅为63.43%, 表明东北地区是我国秸秆综合利用的重点和难点区域[5]。华北区主要以肥料化利用为主, 饲料化利用为辅, 利用量分别占该区秸秆可收集量的54.21%、25.80%; 西北区则是饲料化和肥料化同步推进, 利用量占比均达到38%; 华东区和中南区重点以肥料化利用为主, 利用比例分别为60.92%、53.02%; 东北区和西南区利用结构相似, 均以秸秆肥料化、饲料化、燃料化为重点途径, 其中东北区三者利用比例分别为29.19%、14.88%、16.41%, 西南区为37.38%、18.08%、13.96%[3]。表明不同地区根据区域实际情况, 推动秸秆利用途径向多元化方向发展。

表 1 2016 年中国主要农区秸秆综合利用量(万 t)
Table 1 Straw comprehensive utilization amount of major agricultural areas in China in 2016 (10⁴ t).

区域 Region	总量 Total amount	可收集量 Collectable amount	综合利用量 Comprehensive utilization amount					合计 Total	综合利用率 Comprehensive utilization rate
			肥料 Fertilizer	饲料 Feed	燃料 Fuel	基料 Matrix	原料 Raw material		
华北区 Northern region	12 090.30	10 496.45	5 689.67	2 708.04	1 356.72	103.97	84.95	9 943.35	94.73%
东北区 Northeast region	21 288.46	18 035.32	5 265.93	2 684.04	2 960.19	198.70	330.71	11 439.57	63.43%
华东区 Eastern region	23 923.54	21 048.61	12 823.01	2 540.01	1 994.97	704.50	647.93	18 710.42	88.89%
中南区 Central-south region	22 458.33	17 773.84	9 423.09	2 451.87	1 899.23	411.82	567.55	14 753.56	83.01%
西南区 Southwest region	8 552.89	6 437.83	2 406.39	1 164.26	898.92	176.00	135.80	4 781.37	74.27%
西北区 Northwest region	10 086.83	8 565.38	3 260.95	3 267.74	601.95	242.89	267.43	7 640.97	89.21%
全国 National	98 400.33	82 357.43	38 869.04	14 815.97	9 711.98	1 837.87	2 034.38	67 269.24	81.68%

注：秸秆综合利用率 = 秸秆已利用量 / 秸秆可收集量 × 100%。

Note: Comprehensive utilization rate of straw = Used amount of straw / collectable amount of straw × 100%.

2 农作物秸秆综合利用主要模式

秸秆综合利用的好坏关键在于构建的模式是否能够可持续运行。长期以来，各地结合地域环境及资源配置特点，集成肥料化、饲料化、能源化、基料化和原料化等成熟实用技术，形成了各具特色的综合利用技术模式。总体来看，主要可分为秸秆还田利用和秸秆循环利用两大类。

2.1 秸秆还田利用技术模式

秸秆还田是目前秸秆综合利用最重要、最普遍的技术途径。通过农业机械将收获后秸秆粉碎并抛撒在田间后耕翻掩埋[8]，或将整株秸秆[9]、高留茬秸秆[10]直接覆盖于土壤表层，能够实现蓄水保墒、增加地表积温及土壤肥力的目的[11, 12]，具有快捷方便、高效低耗等优点。按种植制度划分，秸秆还田模式可分为玉米秸秆深翻养地技术模式、棉花秸秆深翻还田技术模式、麦秸覆盖玉米秸旋耕还田技术模式、少免耕秸秆覆盖还田技术模式、稻麦秸秆粉碎旋耕还田技术模式、秸秆快速腐熟还田技术模式等。

玉米秸秆深翻养地还田模式作业环节主要包括：玉米秸秆粉碎抛洒 秸秆二次粉碎 机械深翻 耙压和旋耕平地(起垄) 机械播种。该技术体系的要点在于玉米秸秆粉碎长度应 < 10cm，采用液压翻转犁进行土壤深翻作业，深度应达到30cm，田间提水层与渗水层间隔排列，纵向松紧兼备[13]。翻耕后耙平整地达到良好的播种条件。玉米秸秆全量深翻还田既能达到耕作土壤、处理秸秆的目的，也能增加土壤有机质，降低土壤团聚体破坏率和土壤水稳性团聚体的不稳定系数，利于培肥耕层土壤[11]。

棉花秸秆深翻还田技术模式主要包括：棉花采收 秸秆机械粉碎 破茬 深翻 耙压 冬灌。该技术体系要求棉花收获完后立即开展秸秆还田，此时棉秆呈绿色且水分较多，易于粉碎。粉碎后棉秆长度 < 5cm。粉碎之后尽快进行秋翻整地，要求耕深在25cm以上，并及时浇水，以加快秸秆分解的速度[14]。棉秆深翻还田能够整体上提高长期连作棉田0~60cm土层的机械稳定性、各级团聚体有机碳含量和土壤有机碳矿化量[15]，同时能够显著增加株高，降低脱落率，提高籽棉和皮棉产量[16, 17]。

麦秸覆盖玉米秸秆旋耕还田技术模式主要包含：机械收获小麦 秸秆粉碎抛撒还田 喷洒秸秆腐熟剂 免耕播种玉米 机械收获玉米 秸秆粉碎还田 机械旋耕 播种小麦。该技术要求小麦、玉米秸秆粉碎后长度应在5~10cm，留茬高度 < 15cm，使用大马力旋耕机旋耕，旋耕深度达到15cm左右。同时以3年为周期对土地进行1次翻耕或深松，深度达到30cm左右[18]。小麦-玉米轮作系统通过秸秆还田能够降低土壤紧实度，促进作物根系生长，小麦、玉米产量能够分别提高7.2%、6.2%[19]。

少免耕秸秆覆盖还田技术模式主要包含：作物收获 秸秆高留茬覆盖 土壤深松 休闲期除草 播前浅旋耙地

施肥播种。该技术要求收获时作物留茬高度控制在20cm左右，被粉碎的秸秆长度应 < 10cm且均匀覆盖在地表，以减少播种时机械堵塞现象。对于土壤较粘重(容重在1.3g/cm³以上)或刚开始实施秸秆覆盖还田少免耕耕作的地区，应进行深松作业。播前浅松作业在播前10~15d进行，作业深度控制在10cm以内。使用免耕播种机进行播种，播种深度一般为3cm左右。少免耕秸秆覆盖还田作为保护性耕作在黄土高原等地区已有较大规模应用[20]，能够有效抑制土壤表层温度波动，保水效果显著[21, 22]。

稻麦(油)秸秆粉碎旋耕还田技术模式主要包含：小麦(油菜)收割机收割 秸秆粉碎+均匀抛洒 放水浸泡24h 底施氮磷肥料 旋耕耕整 水稻种植 水稻收割机收割 秸秆粉碎+均匀抛洒 施氮磷基肥 反转灭茬旋埋秸秆 小麦机条播 机械镇压 机械开沟[23~25]。该技术体系要求麦草切碎长度 < 10cm且均匀分散于田面；旋耕深度 > 12cm，耕整后田面允许露出的碎草在90根/m²以下；秸秆腐解的土壤水分含量应掌握在田间持水量的60%为宜。一般每公顷还田7500kg秸秆时，需补施67.5kg纯氮和22.5kg纯磷，促进秸秆腐烂分解。采取均匀摆播或带状条播机进行小麦播种，播后及时镇压使耕层土壤变得较为紧实，保证播种质量，镇压的土壤最适合含水量为18%~22%[26]。

秸秆快速腐熟还田技术模式主要包含：作物收获 秸秆粉碎均匀抛洒 撒施腐熟剂和底肥 机械旋耕或翻耕 作物种植。该技术体系要求将秸秆切碎成约10cm，留茬高度也控制在10cm以下。秸秆粉碎后，将生物化学腐熟剂(约占秸秆量的3%)均匀撒在田中，7~10d后采取旋耕或翻耕的形式进行一遍机械作业，作业深度15~20cm。对于秸秆全量还田，在原来施肥量基础上每公顷应额外增加45~75kg氮肥，钾肥可减少10%~20%，播种量较常规栽培法增加约10%。研究表明，秸秆腐熟还田可有效促进秸秆有机物质转化，增加水稻产量7.5%~11.1%，温室气体排放强度减少1.7%~5.1%[27~29]。

在实际运用中，以上秸秆还田技术模式还需要着重解决好秸秆还田季节选择、空间布局与高质量还田等技术问题，同时要注重节能节本、农机农艺融合与环境友好等先进技术的运用[30]，以确保秸秆有效还田、作物高产稳产与生态环境良好等目标的协调统一，促进耕地质量提升和农业的可持续发展。

2.2 秸秆循环利用技术模式

2.2.1 秸-饲-肥种养结合技术模式 该模式是将种植业系统收获后的秸秆通过青贮(黄贮)、微贮、压块、造粒、膨化等加工处理，转化为牲畜饲料，经牲畜消化后转化成畜禽粪便，畜禽粪便经过高温有氧堆肥、发酵等处理方式生产出有机肥，最终回归农田，从而实现种植业和养殖业的有机结合(图1)。该模式既能拓展饲料来源，有效缓解粮饲供需矛盾，又能有效培肥地力，减少化肥施用，降低农业面源污染，是充分将物质和能量在动植物之间进行转换并实现良好循环的有效方式[31]。

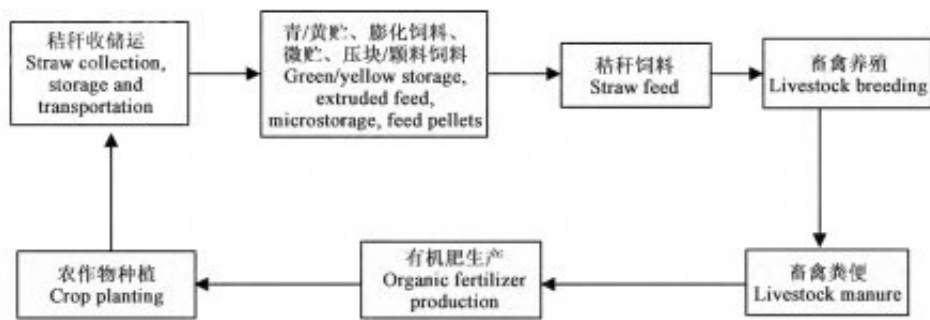


图1 秸-饲-肥种养结合模式流程

Fig.1 Straw-feed-fertilizer mode combined planting and breeding.

2.2.2 秸-沼-肥能源生态技术模式 该模式是利用秸秆制取沼气(图2)，通过管道或压缩装罐供应农村居民生活用能，或提纯后制取“生物天然气”供车用或工业使用，沼渣、沼液经深加工制成水溶肥、叶面肥或育苗基质等，应用于蔬菜、果树及粮食生产，可显著提高农产品品质和产量，减少化肥使用量。该模式一方面有利于提供高品质的清洁能源，提高农村居民生活质量，改善居住环境[32]；另一方面，可有效缓解能源短缺压力[33]。

2.2.3 秸-菌-肥基质利用技术模式 该模式是以秸秆为主要原料，通过与其他物料混合经高温发酵配制成食用菌栽培基质，食用菌栽培采收结束后，菌糠再经高温堆肥处理后归还农田的一种循环利用技术[34]。食用菌栽培按其基质处理方法不同，可分为生料、熟料和发酵料栽培。无论哪种栽培方式，均包含基料制备、食用菌栽培与菌糠堆肥3个重要技术环节(图3)。研究表明，我国食用菌产量世界第一，占全球食用菌产量的3/4e.以上[35]，食用菌栽培秸秆潜在需求

达1.5亿t[36]，而目前基料化利用的秸秆量仅有1837万t，发展潜力巨大。

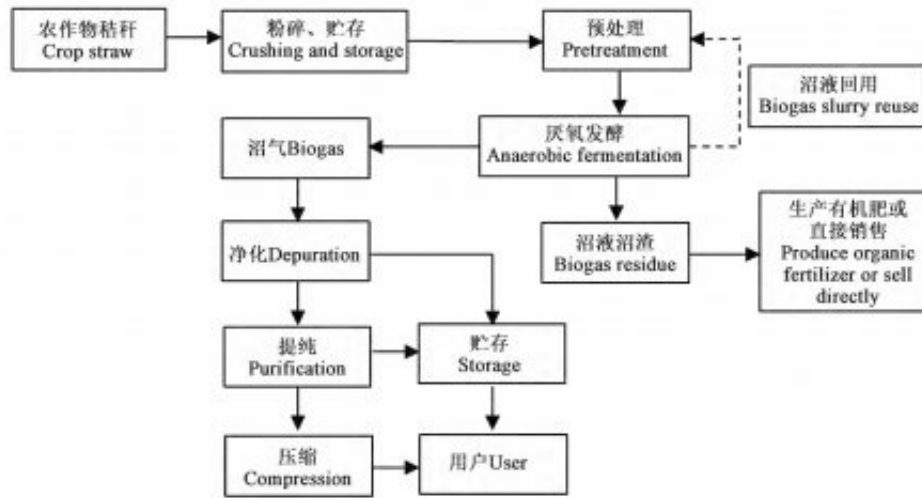


图2 秸-沼-肥能源生态模式流程

Fig.2 Straw-marsh-fertilizer mode used as energy and fertilizer.

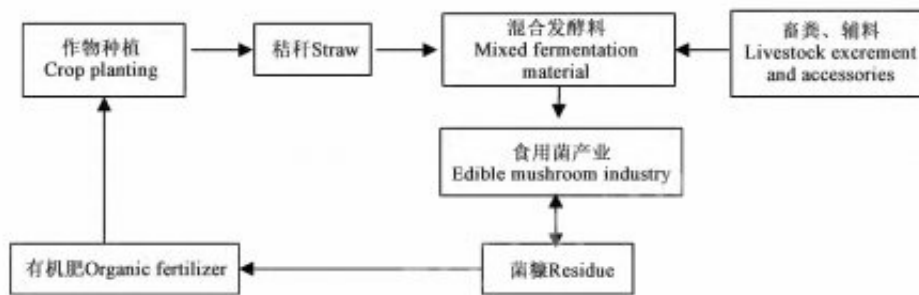


图3 秸-菌-肥基质利用模式流程

Fig.3 Straw-bacteria-fertilizer mode used as cultivation substrate.

2.2.4 秸-炭-肥还田改土技术模式 该模式是将秸秆通过低温热裂解工艺转化为富含稳定有机质的炭质混合物，然后以炭质混合物为介质生产炭基肥颗粒并应用于农田，以改善土壤结构及其理化性状(图4)。近年来生物炭作为一种农业增汇减排技术不断得到开发和应用，主要作为土壤改良剂、肥料缓释载体及碳封存剂等[37, 38]。秸秆的热裂解及气化不但可产生生物炭，同时可获得生物油、秸秆醋液及可燃气。生物油可升级加工为生物柴油或化学品，有助于减轻对化石能源的依赖；可燃气主要成分为 CO_2 、 CO 、 CH_4 、 C_2H_4 和 H_2 等[39]，可用于供暖或为农村居民提供生活用能[40]。秸秆醋液是农用化学品的理想替代物，具有防虫、防病、促进作物生长之功效，可用于蔬菜、水果等病虫害防治[41, 42]，生产无公害产品。

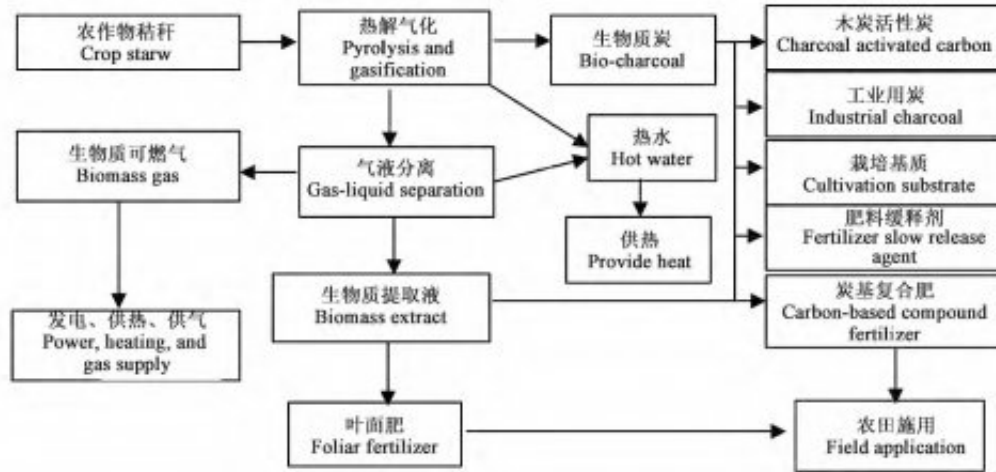


图4 秸-炭-肥还田改土模式流程

Fig.4 Straw-carbon-fertilizer mode cultivated soil fertility.

3.1 构建整体推进的工作体系

我国秸秆综合利用率已经达到81.68%，仍有近1.5亿t的秸秆需加大资源化利用力度。目前已经形成的秸秆利用模式主要从技术上构建了循环发展链条，但在政策、管理等方面还缺乏配套的机制。为进一步促进我国秸秆综合利用产业化发展，现提出以构建工作、技术、政策三个体系配套的秸秆综合利用策略建议。

3.1.1 构建整体推进的工作体系

农业是一个非常复杂的系统，农业生产中各要素相互联系、相互影响，解决农业生产中的问题必须用统筹兼顾、整体推进的思路[43, 44]。在推进秸秆综合利用工作中，需要进一步将秸秆综合利用和禁烧上升为政府行为，建立统筹协调机制；探索建立秸秆综合利用绩效奖补策略，以秸秆利用量和综合利用率年度增幅为指标，充分调动各方的工作积极性；进一步加强顶层设计，以县域为单元，组织编制前瞻性、指导性、适用性强的区域秸秆全量利用发展规划[45]；推动建立以政府为引导、企业为主体、农民积极参与的有效运行的工作体系，不断强化政府、企业、农户三者利益的有机联结，实现秸秆利用的整县推进。同时，做好试点示范引领，通过坚持秸秆综合利用与农业生产相结合，在满足种植业和畜牧业需求的基础上，抓好“五料化”利用领域新技术、新装备、新工艺的示范推广，以市场为导向，充分发挥市场在资源配置中的决定性作用，推动秸秆向多元循环的方向发展。另一方面，县域还要加强新型经营主体的培育工作，培育一批与当地秸秆资源量和需求量相匹配的秸秆综合利用队伍，提高装备水平和技术能力，不断优化秸秆利用的产业发展环境。

3.1.2 构建全量利用的技术体系

从根本上解决秸秆相对过剩和露天焚烧问题，关键是要实现区域秸秆的全量化处理和利用[44]。通过估算出区域不同种类秸秆的产生量和可收集量、明确区域范围内现有秸秆综合利用现状、优先保证维持耕地地力的秸秆还田量、设计好秸秆离田“五料化”利用的比例关系、合理布局秸秆产业利用和收储场地等一系列步骤环节，开展秸秆全量化利用的研究设计并具体实施[46]。同时根据区域特征，大力推进秸秆还田模式、秸秆循环模式等技术模式的组装集成，因地制宜地推进分散型和集中型收储运模式[47]，不断构建起覆盖区域范围的结构完备、运行稳定综合利用技术体系。充分发挥好科技创新的引领和支撑作用，进一步健全秸秆还田、收集利用及相关产品的行业标准，规范生产和应用，通过强化秸秆利用实用技术的研发、推广，推动农机、农艺、“五料化”利用、服务体系建设的有机结合，促进秸秆综合利用水平的不断提高。

3.1.3 构建完善配套的政策体系

国内外实践表明，合理的激励政策选择和设计是环境协议成功的关键[48]，我国秸秆综合利用途径众多，产业链条多样，现行秸秆综合利用政策多是针对某一环节设立的，缺乏对全产业链的系统性支持；各类财政资金大多限制在试点示范引导层面，补贴的作物种类有限、补贴金额有限、补贴区域有限、补贴对象重点不明确[49]，远不能满足秸秆全产业化利用的资金需求；同时已出台的一些用地、用电、财税性鼓励政策，在各地难以落实，极大影响了社会资本投资秸秆开发利用的积极性。因此，亟需进一步强化经济激励型政策工具的优化集成和创设配套。一方面需要完善并广泛推行现有的扶持政策，将与现行政策相符合的秸秆利用企业和产品纳入《资源综合利用企业所得税优惠目录》，

推动税收减免；认真落实生物质发电项目标杆上网电价政策；发挥好农机购置补贴政策引导作用，对农民购买秸秆还田离田机具实行敞开补贴；继续加大中央财政农业生产发展、农业资源及生态保护资金渠道对秸秆综合利用的支持力度，实施好农作物秸秆综合利用试点、耕地质量提升、东北地区秸秆处理行动等项目。另一方面需要进行关键政策清单的梳理，加大配套政策工具的创设力度，研究对秸秆还田实行普惠性的补贴制度；对符合条件的秸秆初加工、甚至深加工企业执行农业生产用电类别价格；对符合运输要求的农作物秸秆运输车辆，免收车辆通行费；对秸秆收贮临时堆放场地，按照设施农用地进行管理；对秸秆综合利用项目建设用地，能够优先给予支持；推动金融机构对秸秆综合利用项目加大信贷支持；以激励政策来推动秸秆还田、收储运、加工利用等产业链条的全面发展。

4结语

我国秸秆年产生量约10亿t，玉米、水稻和小麦三类农作物是秸秆的主要来源。2016年秸秆综合利用率已经达到81.68%，肥料化、饲料化、基料化等农用为主的格局已经形成。但不同区域秸秆利用水平差异显著，特别是东北地区成为我国秸秆综合利用的重点和难点地区。目前，从利用技术上已经形成了秸秆还田和离田利用的“农用十大技术模式”，但尚需配套完善长效运行管理和政策机制，在区域范围内构建技术、工作、政策三位一体的整体推进模式，才能促进我国秸秆综合利用产业可持续发展。

参考文献

- [1]王亚静,王飞,石祖梁,等.基于农业供给侧结构性改革背景的秸秆资源与利用研究[J].中国农业资源与区划,2017,38(6):13-20.
- [2]方放,李想,石祖梁,等.黄淮海地区农作物秸秆资源分布及利用结构分析[J].农业工程学报,2015,31(2):228-234.
- [3]农业部科技教育司,农业部农业生态与资源保护总站.全国农村可再生能源统计汇总表2016[Z].北京:中国农业出版社,2016.
- [4]谢光辉,王晓玉,任兰天.中国作物秸秆资源评估研究现状[J].生物工程学报,2010,26(7):855-863.
- [5]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.
- [6]朱建春,李荣华,杨香云,等.近30年来中国农作物秸秆资源量的时空分布[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2012,40(4):139-145.
- [7]毕于运,王亚静,高春雨.中国主要秸秆资源数量及其区域分布[J].农机化研究,2010(3):1-7.
- [8]石祖梁,顾东祥,顾克军,等.秸秆还田下施氮量对稻茬晚播小麦土壤氮素盈亏的影响[J].应用生态学报,2014,25(11):3185-3190.
- [9]徐文强,杨祁峰,牛芬菊,等.秸秆还田与覆膜对土壤理化特性及玉米生长发育的影响[J].玉米科学,2013,21(3):87-93,99.
- [10]任万军,黄云,吴锦秀,等.免耕与秸秆高留茬还田对抛秧稻田土壤酶活性的影响[J].应用生态学报,2011,22(11):2913-2918.
- [11]于博,于晓芳,高聚林,等.玉米秸秆全量深翻还田对高产田土壤结构的影响[J].中国生态农业学报,2018,26(4):584-592.
- [12]薛斌,黄丽,鲁剑巍,等.连续秸秆还田和免耕对土壤团聚体及有机碳的影响[J].水土保持学报,2018,32(1):154,182-189.
- [13]王立春,任军,蔡红光,等.东北地区玉米秸秆深翻还田耕种技术体系研究[A].见:第十五届全国玉米栽培学术研讨会[C].哈尔滨,2017.

- [14]徐家忠,周靖.棉花秸秆还田技术[J].农技服务,2010,27(1):152-153.
- [15]黄金花.秸秆还田对长期连作棉田土壤团聚体结构及有机碳稳定性的影响[D].新疆石河子:石河子大学,硕士学位论文,2015.
- [16]刘艳慧.连续全量棉花秸秆还田对棉田土壤理化性质及产量品质的影响[D].山东泰安:山东农业大学,硕士学位论文,2016.
- [17]秦都林.滨海盐碱地棉花秸秆还田和深松对土壤理化性质及棉花产量品质的影响[D].山东泰安:山东农业大学,硕士学位论文,2017.
- [18]谭德水,刘兆辉,江丽华.黄淮海玉米秸秆还田麦区土壤环境与管理技术[J].中国农学通报,2014,30(8):156-161.
- [19]穆心愿,赵亚丽,李潮海.耕作方式和秸秆还田对黄淮海区小麦玉米根系生长和作物产量的影响[A].见:全国青年作物栽培与生理学术研讨会[C].江苏扬州,2014.
- [20]孔维萍,成自勇,张芮,等.保护性耕作在黄土高原的应用和发展[J].干旱区研究,2015,32(2):240-250.
- [21]丁新宇.秸秆覆盖及免耕对黄土高原旱作农田土壤呼吸的影响[D].兰州:兰州大学,硕士学位论文,2017.
- [22]马浩,李娟,牛岩,等.免耕覆盖对玉米田土壤物理性状的影响[J].安徽农业科学,2017,45(27):142-145.
- [23]常志州,陈新华,杨四军,等.稻麦秸秆直接还田技术发展现状及展望[J].江苏农业学报,2014,30(4):909-914.
- [24]石祖梁,顾东祥,许博,等.半喂入收割机秸秆匀铺搅龙的优化筛选[J].农业科技与装备,2013(6):39-40,43.
- [25]杨四军,顾克军,张恒敢,等.影响稻茬麦出苗的关键因子与应对措施[J].江苏农业科学,2011,39(5):89-91.
- [26]顾克军,张斯梅,顾东祥,等.稻秸还田与播后镇压对稻茬小麦产量与品质的影响[J].核农学报,2015,29(11):2192-2197.
- [27]张舒予,金梦灿,马超,等.秸秆还田配施腐熟剂对水稻产量及钾肥利用率的影响[J].中国土壤与肥料,2018(1):49-55.
- [28]马煜春,周伟,刘翠英,等.秸秆腐熟剂对秸秆还田稻田CH₄和N₂O排放的影响[J].生态与农村环境学报,2017,33(2):159-165.
- [29]农传江,王宇蕴,徐智和,等.有机物料腐熟剂对玉米和水稻秸秆还田效应的影响[J].西北农业学报,2016,25(1):34-41.
- [30]常志州,王德建,杨四军,等.对稻麦秸秆还田问题的思考[J].江苏农业学报,2014,30(2):304-309.
- [31]钱明,黄国桢.种养结合家庭农场的基本模式及发展意义[J].现代农业科技,2012(19):294-295,297.
- [32]吴楠,孔垂雪,刘景涛,等.农作物秸秆产沼气技术研究进展[J].中国沼气,2012(4):14-20.
- [33]郑戈,张全国.沼气提纯生物天然气技术研究进展[J].农业工程学报,2013,29(17):1-8.
- [34]李毓茜,王梦雨.秸秆栽培食用菌的资源化利用研究进展[J].安徽农业科学,2016,44(8):88-89,198.
- [35]王雪丽,刘华.河北省现代食用菌产业可持续发展问题研究[J].中国农业资源与区划,2016,37(9):28-33.
- [36]石祖梁,王飞,李想,等.秸秆“五料化”中基料化的概念和定义探讨[J].中国土壤与肥料,2016(6):152-155.

- [37]武玉, 徐刚, 吕迎春, 等.生物炭对土壤理化性质影响的研究进展[J].地球科学进展, 2014, 29(1): 68-79.
- [38]王欣, 尹带霞, 张凤, 等.生物炭对土壤肥力与环境质量的影响机制与风险解析[J].农业工程学报, 2015, 31(4): 248-257.
- [39]于雪斐, 伊松林, 冯小江, 等.热解条件对农作物秸秆热解产物得率的影响[J].北京林业大学学报, 2009, 31(S1): 174-177.
- [40]霍丽丽, 赵立欣, 姚宗路, 等.秸秆热解炭化多联产技术应用模式及效益分析[J].农业工程学报, 2017, 33(3): 227-232.
- [41]闫钰, 陆鑫达, 李恋卿, 等.秸秆热裂解木醋液成分及其对辣椒生长及品质的影响[J].南京农业大学学报, 2011, 34(5): 58-62.
- [42]周建斌, 张合玲, 叶汉玲, 等.几种秸秆醋液组分中活性物质的分析[J].生物质化学工程, 2009, 43(2): 34-36.
- [43]肖敏, 常志州, 石祖梁, 等.秸秆过剩原因解析及对秸秆利用途径的思考[J].中国农业科技导报, 2017, 19(5): 106-114.
- [44]常志州, 石祖梁, 张斯梅, 等.“区域统筹、整体推进、终端扶持”是破解秸秆禁烧与全量利用的根本出路[J].农业资源与环境学报, 2015, 32(4): 321-326.
- [45]方放, 王飞, 石祖梁, 等.京津冀秸秆养分资源及秸秆焚烧气体污染物排放定量估算[J].农业工程学报, 2017, 33(3): 1-6.
- [46]王飞, 石祖梁, 李想, 等.区域秸秆全量处理利用的概念、思路与模式探讨[J].中国农业资源与区划, 2016, 37(5): 8-12.
- [47]石祖梁, 刘璐璐, 王飞, 等.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.
- [48]董战峰, 王金南, 葛察忠, 等.环境自愿协议机制建设中的激励政策创新[J].中国人口·资源与环境, 2010, 20(6): 118-124.
- [49]郑军, 史建民.我国农作物秸秆资源化利用的特征和困境及出路——以山东为例[J].农业现代化研究, 2012, 33(3): 354-358.

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/tech/168762.html>