

苏世伟,朱 文,聂 影. 农作物秸秆资源生态转化方式分析[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):452-455.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.141

农作物秸秆资源生态转化方式分析

苏世伟^{1,2}, 朱 文¹, 聂 影^{2,3}

(1. 南京林业大学经济管理学院, 江苏南京 210037; 2. 国家林业局林产品经济贸易研究中心, 江苏南京 210037;
3. 金陵科技学院, 江苏南京 211169)

摘要:分析了我国农作物秸秆的资源禀赋,比较了秸秆资源生态转化技术,探讨了国内外秸秆资源生态转化的发展进程与制约因素。结果表明,2012 年我国主要农作物秸秆资源总量约 7.50 亿 t,折合标准煤 3.88 亿 t;我国秸秆资源空间分布差异显著,在经济富裕地区、地广人稀的产粮地区和能源产区秸秆资源丰富,生态转化潜力较大;秸秆资源的原料化和能源化利用是我国生态转化的 2 种可行方式;农作物秸秆密度较低的资源属性、企业管理与技术创新水平较低、现有政策制度设计和监督实施的缺陷,是秸秆规模化利用的主要制约因素。

关键词:农作物;秸秆;生态转化;原料化;能源化

中图分类号: F062.2;F303.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0452-03

中国作为农业生产大国,是农作物秸秆资源最丰富的国家之一,稻谷、小麦、玉米、棉花秸秆是最主要的农作物秸秆^[1]。全球化石燃料日益枯竭,生物质能源是唯一具有固碳作用的再生能源,在世界范围内发展生物质能源已成为调整能源结构、减少温室气体排放、实现低碳农业经济可持续发展的重要措施^[2]。农作物秸秆作为重要的生物质能源,须要从国家战略高度实施综合开发利用。实现农作物秸秆的生态转化不仅降低能源成本,还有利于工业、农业和农村经济的合理发展,同时能减轻秸秆焚烧造成的环境污染。本研究分析了我国农作物秸秆的资源禀赋,比较了秸秆资源生态转化技术,探讨了国内外秸秆资源生态转化的发展进程与制约因素,以期为实现秸秆资源的规模化利用提供参考。

1 我国农作物秸秆的资源禀赋

1.1 农作物秸秆资源总量估算

我国农作物主要包括粮食作物和经济作物,粮食作物秸秆有稻谷、小麦、玉米、高粱的秸秆;经济作物秸秆有棉花、油料、豆类、薯类、芦苇、芝麻、葵花、麻等的秸秆,其中稻谷、小麦、玉米的秸秆是 3 大主要作物秸秆,约占秸秆资源总量的 89%^[3]。由于秸秆资源分布相对分散,国内学者对农作物秸秆资源量的估算多数建立在统计资料的基础上,分别使用质量形态、能量形态、谷物当量 3 种方式测算我国秸秆资源量^[3-10](表 1)。

农作物秸秆有多种生态转化方式,作为肥料、基料、工业原料一般以质量形态反映其利用价值;而能源化和饲料化利

用秸秆所储存的能量价值,可以通过谷物当量或能量形态反映其实际价值。因此,本研究综合了质量形态、谷物当量、能量形态 3 种方式分析了中国当前秸秆资源量。根据《2012 年中国统计年鉴》^[11],选取王亚静等研究中的谷草比^[4]和蔡亚庆等研究中的折合标准煤系数^[5],估算 2012 年我国稻谷、小麦、玉米、油料、棉花、豆类、薯类、甘蔗等 8 类主要农作物秸秆资源总量共 7.50 亿 t,折合标准煤 3.88 亿 t。可以看出,我国秸秆资源量非常丰富,具有很大的开发潜力。

1.2 农作物秸秆资源的空间分布

我国地域宽广,不同地区农业气候、种植制度、社会经济条件存在很大差异,各地区的农作物秸秆种类和分布不同。本研究结合王晓玉等^[12-13]对中国田间秸秆资源分布的相关研究,同时考虑秸秆资源分布区域的社会经济特征和资源利用状况,将我国秸秆资源按空间分为 6 大地区(表 2)。

在经济发达地区、地广人稀的产粮地区和能源产区,秸秆资源丰富,秸秆作为生活能源进行燃烧的方式逐渐被商品能源取代,秸秆资源利用成本过高,农民容易获得廉价的商品能源,在这些地区产生了大量的秸秆剩余,秸秆资源生态转化潜力较大。在经济欠发达地区、经济落后地区、政治经济中心,由于经济相对落后或受到严格的法律法规约束,秸秆资源利用状况良好。整体而言,中国各地秸秆资源量和秸秆资源利用表现出明显的空间分异格局,秸秆资源量主要呈现出南北和东西差异,东部和北部地区的秸秆资源量高于西部和南部地区。

2 秸秆资源生态转化的技术比较

我国农作物秸秆作为食用菌栽培基料需求量较少;由于每年须要轮种多次和病虫害等原因,秸秆作为肥料还田的比例较低;而秸秆的饲料化应用主要集中于部分地区和少数秸秆品种。因此,秸秆资源的原料化以及生物质能源化是秸秆生态转化的重要途径。

2.1 农作物秸秆原料化利用的可行性

我国实施天然林保护工程后,木材原料供应更加缺乏,第

收稿日期:2014-11-27

基金项目:教育部人文社会科学研究规划基金青年项目(编号:14YJCZH113);江苏省教育科学“十二五”规划课题(编号:C-c/2013/01/039)。

作者简介:苏世伟(1974—),男,江苏南京人,博士,副教授,研究方向为农林技术经济及管理。E-mail:ssw5096@126.com。

通信作者:聂 影,教授,研究方向为林产品贸易与市场。

表 1 不同形态的秸秆资源量计算公式

形态	公式	公式说明
质量形态	$Q_i = P_i \times C = O_i \times B_i \times C = X_i \times A_i \times B_i \times C$	Q_i, P_i, O_i 分别为作物 i 秸秆的理论资源量、可收集量、利用潜力; A_i, B_i, C 分别为作物 i 秸秆的草谷比系数、可收集系数和利用率; X_i 为作物 i 的年产量。
谷物当量	$M = \frac{\sum_{i=1}^{n'} R'_i}{E_{\text{谷}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n'} X'_i \times A'_i \times B'_i \times C'_i \times D'_i}{E_{\text{谷}}}$ $N = \frac{M}{F_{\text{畜}}}$	M 为秸秆饲料化利用价值; $E_{\text{谷}}$ 为谷物的能量转化率; N 为秸秆养畜利用能力; $F_{\text{畜}}$ 为畜产品的谷物当量系数。
能量形态	$R = \sum_{i=1}^n R_i = \sum_{i=1}^n Q_i \times D_i = \sum_{i=1}^n X_i \times A_i \times B_i \times C_i \times D_i$	R 为作物秸秆能量利用价值总量; R_i 为作物 i 秸秆能量利用价值量; D 为作物 i 秸秆的能量转化率。

表 2 我国秸秆资源分布和利用特征

社会经济特征	典型地区	资源特征	资源利用情况
经济发达地区	山东省、江苏省、浙江省、福建省	秸秆资源丰富/较丰富	资源利用率低
地广人稀地区	黑龙江省、吉林省	秸秆资源丰富	资源利用率低
能源产区	辽宁省、山西省、河南省、陕西省	秸秆资源丰富	资源利用率低
经济欠发达地区	江西省、安徽省、湖北省、湖南省、河北省	秸秆资源丰富/较丰富	资源利用率高
经济落后地区	宁夏、甘肃省、新疆	秸秆资源较少	资源利用率较高
经济和政治中心	北京市、天津市、上海市	秸秆资源较少	资源利用率高

七次全国森林资源普查结果表明,我国现有森林资源的年合理供给量仅占需求量的 40%^[14]。人造板行业特别是非木质原料人造板行业实现了快速发展,农作物秸秆成为主要的替代原料。将农作物秸秆作为人造板原料,既可以解决废物利用问题,又可以解决秸秆焚烧带来的环境污染问题。

在技术上,我国已成功开发出麦秸刨花板、中密度稻草板、麦秸纤维板、草/木复合中密度纤维板、软质秸秆板、秸秆/塑料复合材料等多种秸秆人造板产品^[15]。另外,农作物秸秆还可以应用在墙体材料领域,将农作物秸秆与水泥基材料混合加工成建筑板,使得建筑墙体导热系数和密度有较大程度下降。但目前国内秸秆人造板尚未形成规模化生产,主要原因是秸秆人造板技术还不成熟,加工的板材性能不稳定,同时加工成本过高,与木质人造板相比竞争优势不足。

2.2 农作物秸秆能源化利用的可行性

农作物秸秆的主要成分是 CO 和碳氢化合物,2 t 秸秆约相当于 1 t 标准煤的热值,而含硫量仅为煤炭的 1/3。张海清等采用热分析系统,对农作物秸秆、石油、煤炭进行了比较,结果表明农作物秸秆具有挥发分含量大、灰分低、含碳量少、含硫量低的特点,特别是玉米秸秆中硫的含量为零,因而秸秆生物质有良好的燃烧特性,农作物秸秆作为生物质能源对环境造成的污染远小于化石燃料^[16]。农作物秸秆的能源化利用在秸秆生态转化方面具有优势,秸秆能源化利用主要包括秸秆气化、秸秆固化、秸秆发电 3 种形式。

2.2.1 秸秆气化 秸秆气化分为 2 种,一是通过秸秆缺氧燃烧,产出以 CO 为主要成分的可燃气体;二是通过秸秆搭配人畜粪在厌氧条件下发酵,产生甲烷为主要成分的可燃气体^[17]。我国推广沼气发酵技术已有 40 多年历史,目前沼气发酵技术已经相当完善,秸秆沼气集中供气技术具有热值高、效益高、无污染的特点,具有广阔的应用前景^[18]。沼气燃烧的热效率比城市煤气高出 40%,且能源转化效率高,因此从环境效益看,秸秆沼气能源化利用在生产、输送、使用中,能显

著减少温室气体和其他有害气体的排放。

2.2.2 秸秆固化 秸秆固化是用专门的压块机通过特殊工艺,将秸秆压制成块状、棒状或粒状固体燃料,其体积缩小,这不仅为秸秆能源化利用开辟了商业化、产业化途径,也可以将固化秸秆用于发电^[19]。秸秆固体成型燃料技术生产工艺和设备简单,易于操作且成本较低,加工生产的固体成型燃料热效率高、燃烧性能好、便于贮运、易于实现产业化生产和大规模使用,可满足农村居民炊事、取暖用能需求,可为城镇社区区域供热提供清洁燃料,还可用于温室大棚和园林花卉暖房保温取暖。

2.2.3 秸秆发电 秸秆发电分为秸秆气化发电和秸秆燃烧发电,秸秆气化发电工程复杂,难以大规模产业化利用,秸秆直接燃烧发电是实现规模化应用的途径。中国的生物质资源丰富且储量巨大,发展秸秆发电是一种实现环境优化与资源约束的双赢选择。推广秸秆发电是鼓励农民种粮、增加农民收入的一项重要举措。建立秸秆发电项目有助于增加地方政府财政收入,提高劳动就业率,带来很好的经济效益,同时利用秸秆燃烧发电供热可以减少二氧化硫排放,具有较好的生态效益。

3 国内外秸秆资源生态转化的发展进程与制约因素

3.1 国内外秸秆工业化、能源化利用的发展进程

国外进行农作物秸秆资源的生态转化已有较长历史,技术较为成熟,很多国家已达到机械设备配套齐备的现代化水平。表 3 从农作物秸秆资源的原料化和能源化利用 2 个方面,将我国和发达国家的秸秆资源生态转化发展进程进行对比,发现我国在秸秆生态转化技术水平和产业规模程度方面,离大规模的商业化利用还有很大差距。

3.2 农作物秸秆资源生态转化的制约因素

要实现秸秆规模化利用必须考虑秸秆资源密度,农作物秸秆密度较低的资源属性是其大规模能源化利用的主要制约

表 3 国内外秸秆生态转化方式的发展进程

利用方式		发展进程	
		国内	国外
原料化利用	秸秆人造板	20 世纪 70 年代开始研究秸秆人造板技术,20 世纪 90 年代开始水稻秸秆人造板的工业化生产。2003 年上海市建成首个以小麦秸秆、玉米秸秆为原料的人造板生产线。目前我国已建有 6 条 1.5 万 m ³ /年的秸秆板生产线,4 条 5 万 m ³ /年的秸秆板生产线,10 余条秸秆建筑材料生产线,初步形成了农作物秸秆材料产业。	瑞典 Daproma 公司、美国 Prime Board 公司、加拿大 Isobord 公司建成较大规模麦秆刨花板生产线。20 世纪 90 年代后期,国外以异氰酸酯(MDI)作为胶粘剂生产秸秆板取得成功。1998 年加拿大建成 18 万 m ³ /年秸秆板生产线。
能源化利用	秸秆气化	我国已有 1 300 万户用沼气池,建成多个大型沼气发酵工程。集中供气 and 户用气化炉产品已进入实用化试验及示范阶段,可用于生产、生活用能、发电、干燥、供暖等领域。	美国 Battle 生物质气化发电示范项目达到世界先进水平,可大规模发电。奥地利拥有装机容量为 1~2 MW 的区域供热站 90 座。德国已建成近 7 000 家沼气电厂,技术世界领先。
	秸秆固化	20 世纪 90 年代后期,国内开始借鉴发达国家农作物秸秆固化成型的先进技术和设备,研制适合中国国情的秸秆固化加工装备。	20 世纪 70 年代,法国、德国、意大利等国相继建成一批生物质颗粒成型燃料生产厂。丹麦成功建立第 1 座生物质固化成型燃料发电厂。2010 年德国与瑞典合作建成年产量 75 万 t 的世界上最大生物质颗粒燃料工厂。农作物秸秆固化成型燃料的用途从生活燃料转向了工业化应用,在供暖、干燥、发电等领域广泛应用。
	秸秆发电	2005 年河北省晋州市建成首个秸秆生物燃料发电厂。生物质发电厂被列入国家级示范项目,但核心技术领域缺少自主知识产权,产业化和商业化转化程度低,发电运营成本高。	1989 年丹麦建成世界上第 1 座全部燃用秸秆的 Haslev 热电厂,丹麦约有 60 个供暖厂用秸秆作原料,能源使用率达到 85%~90%。西班牙的圣硅沙秸秆电厂于 2002 年 6 月并网发电。欧洲秸秆发电技术和装置已达商业化应用程度,实现规模化产业经营。

因素^[5]。作为秸秆人造板工业原料,我国能够实现规模经济效益的地区包括河北省、山东省、河南省、江苏省、安徽省等,这些省份秸秆可收集量大于 150 万 t,且秸秆资源密度较高,是实现秸秆资源工业化利用的主要区域。东北地区、华南地区、长江中下游地区是秸秆能源化利用的可行区域,适宜建立年产量 5 万 t 以上的秸秆固化企业和较大规模的秸秆发电企业,而西藏和黄土高原等地区的秸秆资源密度较低,不宜秸秆资源的规模利用。

企业管理与技术创新也是制约秸秆资源生态转化的重要因素。在秸秆禁烧、秸秆收集-存贮-运输困难的约束下,企业须要解决秸秆贮运成本过高、技术水平较低、产品竞争力低下的问题。同时,企业要利用好政府的优惠政策,提高企业核心技术水平,综合考虑秸秆资源生态转化的经济效益、社会效益、生态效益,实现秸秆资源的工业化、能源化利用。

最后,农作物秸秆生态转化的现有政策制度设计和监督实施缺陷须要改进。近几年国务院制订了《关于加快推进农作物秸秆综合利用的意见》《关于“十二五”农作物秸秆综合利用实施方案》《关于加强农作物秸秆综合利用和禁烧工作的通知》等政策法规,然而现有政策在实践中并未得到有效实施。应针对政策制订者、执行者和接受者的策略行为进行分析,探讨政策失效的内部、外部原因,理顺政府生态公益性诉求、企业利润最大化诉求与农户短期利益诉求三者的关系,结合我国现行的制度安排和政策设计的“属地”特征缺陷,为政策制订的预期效果和社会效应提供预警与监管的科学指导。

4 结论与展望

农作物秸秆资源作为一种可再生的清洁能源,是生物质能源的重要组成部分,众多学者对秸秆资源量估算方法和具体测算进行了研究。本研究估算出 2012 年我国主要农作物秸秆资源总量共 7.50 亿 t,折合标准煤 3.88 亿 t。中国各地秸秆资源量和秸秆资源利用表现出明显的空间分异格局,东

部和北部地区的秸秆资源量高于西部和南部地区,该地区生态转化潜力较大。

秸秆资源的环境友好性是受到关注的重要原因,减少资源浪费和降低雾霾污染是重大国策,秸秆资源的生态转化已经受到世界各国的高度重视。农作物秸秆资源原料化利用能够减少森林资源消耗,缓解木材供需矛盾;农作物秸秆能源化利用可以补充化石燃料的不足,具有很大的社会效益和经济效益。因此,秸秆资源的原料化利用和能源化利用尚须考虑以下 2 个问题:首先,我国各地秸秆资源在空间上呈现出显著的区域属性,主要集聚在东北、华北、长江中游平原,各区域社会经济发展存在差异,应选择适合区域经济发展特征的生态转化方式;其次,秸秆资源生态转化方式选择上要结合我国国情,北美、北欧等地区农业规模化经营程度较高,森林资源丰富,而我国林业资源匮乏且原料收集成本过高,因此须要进一步研究我国农作物秸秆生态转化的困境,实现从秸秆资源-空间分散到工业化集中利用的生态转化目标。

参考文献:

[1]李太平,徐超.江苏省农作物秸秆资源能源化潜力与区域分布研究[J].江苏社会科学,2011(5):234-237.
[2]Parikka M. Global biomass fuel resources[J]. Biomass and Bioenergy,2004,27(6):613-620.
[3]崔明,赵立欣,田宜水,等.中国主要农作物秸秆资源能源化利用分析评价[J].农业工程学报,2008,24(12):291-296.
[4]王亚静,毕于运,高春雨.中国秸秆资源可收集利用量及其适宜性评价[J].中国农业科学,2010,43(9):1852-1859.
[5]蔡亚庆,仇焕广,徐志刚.中国各区域秸秆资源可能能源化利用的潜力分析[J].自然资源学报,2011,26(10):1637-1646.
[6]钟华平,岳燕珍,樊江文.中国作物秸秆资源及其利用[J].资源科学,2003(4):62-67.
[7]丁文斌,王雅彭,徐勇.生物质能源材料——主要农作物产量潜力分析[J].中国人口·资源与环境,2007(5):84-89.

李珊珊,秦 涛,孙新迪,等. 改性芦苇纤维对模拟工业废水 Cu^{2+} 的吸附特性[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):455-457.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.142

改性芦苇纤维对模拟工业废水 Cu^{2+} 的吸附特性

李珊珊,秦 涛,孙新迪,王志刚

(齐齐哈尔大学,黑龙江齐齐哈尔 161006)

摘要:以芦苇纤维为原料,采用静态平衡吸附法用芦苇柠檬酸纤维素吸附废水中 Cu^{2+} ,通过改性前后红外光谱图分析,改性后的芦苇颗粒在 $1\,734.32\text{ cm}^{-1}$ 以及 $1\,604.93\text{ cm}^{-1}$ 处 2 个 $\text{C}=\text{O}$ 吸收峰比未改性的有明显加强,并进一步研究改性后的芦苇颗粒在不同粒径、温度、pH 值、反应时间对 Cu^{2+} 的吸附效果。结果表明:60 目芦苇颗粒具有很好的吸附效果;在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、pH 值为 5.54、反应时间 120 min 时,吸附容量最高,达 82.902 mg/g 。

关键词:芦苇;纤维;柠檬酸改性纤维素;重金属;工业废水处理;静态平衡;吸附

中图分类号: X703 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0455-03

水是人类的生命之源,但是由于现代工业的飞速发展,在给人们带来巨大利益的同时,也严重威胁着水环境^[1],尤其是造纸、化工、印染、制革以及冶炼等行业,产生的工业废水往往是多种重金属的混合污染物,给处理带来很大的困难^[2-4],如果处理不当,将严重威胁水体质量,甚至会引起人类的疾病。目前国内外研究的对重金属废水处理的方法主要有物理方法、物理化学方法、普通化学方法、电化学方法以及目前研究最多的纤维素材料处理方法^[5-10]。纤维素材料相对于传统的物理化学方法具有高效、廉价、无二次污染等优势^[11]。纤维素改性材料主要是指在纤维素基团上连接上别的基团,使其对 1 类或者几类重金属具有优越的吸附特性^[12-16]。本研究通过芦苇纤维在次磷酸钠催化下和柠檬酸酯化交联合成新型吸附剂^[17],通过红外光谱分析改性结果,然后研究芦苇颗粒粒径、反应时间、pH 值以及温度对其模拟工业废水 Cu^{2+} 吸

附容量的影响^[18-22],希望通过试验分析数据,为实现该吸附剂的工业化提供一些数据支持,为水环境的保护作出一份贡献。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验材料是采集于齐齐哈尔龙沙公园劳动湖边的野生芦苇秸秆。

1.2 试验方法

1.2.1 材料处理 洗净芦苇秸秆,然后烘干箱 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干 12 h,将芦苇秸秆切至 $20\sim 30\text{ cm}$,粉碎机磨碎。过 60 目、40 目、20 目筛子制得不同粒径的芦苇颗粒,取少量做红外光谱用,剩余的备用。

1.2.2 纤维素的改性 用 20% 异丙醇浸泡芦苇颗粒,室温条件下搅拌 24 h,滤干。然后清水清洗至无色,滤干后将样品置 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干箱 24 h。取出后用 0.1 mol/L 的 NaOH 浸泡,室温条件下搅拌 1~2 h,滤干,用去离子水洗至 pH 值 = 7,再抽滤,将样品放在 $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干箱 24 h。称量原料,然后用 1 mol/L 柠檬酸浸泡,加适量次磷酸钠(一般 6%)作催化剂,室温搅拌 2 h,抽滤,然后用去离子水洗至 pH 值 = 7, $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘干箱 24 h,得到成品,并对改性前后芦苇颗粒进行红外光谱分析。

1.2.3 标准曲线的绘制 精确配置出 3、4、5、6、7 mg/L 的铜离子标准溶液,用原子吸收分光光度计测量,作标准曲线。

收稿日期:2014-10-29

基金项目:黑龙江省高校科技创新团队建设计划(编号:2013TD003);黑龙江省齐齐哈尔市科学技术计划(编号:NYGG-201206-4)。

作者简介:李珊珊(1983—),女,黑龙江泰来人,博士研究生,讲师,主要研究方向为植物学。E-mail:lishanshan83@163.com。

通信作者:王志刚,博士,副教授,主要研究方向为微生物学。E-mail:wzg1980830@sina.com。

[8]刘 刚,沈 镭. 中国生物质能源的定量评价及其地理分布[J]. 自然资源学报,2007(1):9-20.

[9]毕于运,高春雨,王亚静,等. 中国秸秆资源数量估算[J]. 农业工程学报,2009(2):211-217.

[10]李太平,徐 超. 江苏省农作物秸秆资源能源化潜力与区域分布研究[J]. 江苏社会科学,2011(5):234-237

[11]国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2013.

[12]王晓玉,薛 帅,谢光辉. 大田作物秸秆量评估中秸秆系数取值研究[J]. 中国农业大学学报,2012,17(1):1-8.

[13]曹国良,张小曳,王 丹,等. 秸秆露天焚烧排放的 TSP 等污染物清单[J]. 农业环境科学学报,2005,24(4):800-804.

[14]陈 怡. 国内秸秆人造板发展探析[J]. 林产工业,2013,40

(4):9-11,16.

[15]周定国. 农作物秸秆人造板的研究[J]. 中国工程科学,2009,11(10):115-121.

[16]张海清,尚琳琳,程世庆,等. 秸秆以及秸秆混煤燃烧特性研究[J]. 水利电力机械,2006,28(12):104-108.

[17]赵永清,唐步龙. 农户农作物秸秆处置利用的方式选择及影响因素研究——基于苏、皖两省实证[J]. 生态经济:学术版,2007(2):244-246,264.

[18]刘金鹏,鞠美庭,刘英华,等. 中国农业秸秆资源化技术及产业发展分析[J]. 生态经济,2011,238(5):136-141.

[19]阮建雯,蔡宗寿,余继文,等. 国内外农作物秸秆固化成型技术研究[J]. 世界农业,2014,420(4):40-43.