

粮食集中产区玉米秸秆能源化利用的 潜力评价、现实困境、优化路径

聂英^{1,2}, 胡水清清³, 韩鲜籽⁴, 张成甦¹, 史明玉³

(1. 三亚学院, 三亚 572022; 2. 吉林财经大学, 长春 130117; 3. 吉林省农业科学院, 长春 130033; 4. 南京农业大学, 南京 210095)

摘要: 玉米秸秆能源化利用是秸秆综合利用的有效途径之一, 对农村经济转型和农村绿色发展起到促进作用。本文测算吉林省 2011–2020 年玉米秸秆资源量和可能能源化潜力, 探究玉米秸秆资源的时空分布特征并对其能源化利用潜力进行评价。分析吉林省玉米秸秆能源化利用的现状与困境, 提出因地制宜进行秸秆能源化利用产业布局、健全完善收储运体系、加强秸秆能源化利用技术的研发与应用和强化宣传培训的优化路径。

关键词: 玉米; 秸秆; 能源化利用; 吉林省

中图分类号: S513

文献标识码: A

Evaluation of the Potential Utilization of Corn Stalk Biomass in Jilin Province: Realistic Challenges and Path to Optimization

NIE Ying^{1,2}, HU Shui-qing-qing³, HAN Xian-zi⁴, ZHANG Cheng-su¹, SHI Ming-yu³

(1. *University of Sanya, Sanya 572022; 2. Jilin University of Finance and Economics, Changchun 130117;*

3. Jilin Academy of Agricultural Sciences, Changchun 130033;

4. Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: The energy utilization of corn straw is an effective approach to its comprehensive utilization, which plays a crucial role in promoting rural economic transformation and rural green development. This study estimated quantity and energy utilization potential of corn straw in Jilin province from 2011 to 2020, and the temporal and spatial distribution characteristics of corn straw resources were explored, and the energy utilization potential of corn straw resources was evaluated. Furthermore, the present situation and predicament of energy utilization of corn straw in Jilin province were analyzed, and the optimization path of industrial layout of energy utilization of corn straw, perfecting the system of acquisition, storage, and transportation, strengthening the research and development and application of energy utilization technology of corn straw, and strengthening publicity and training were put forward.

Key words: Corn; Straw; Energy utilization; Jilin province

随着“碳达峰”和“碳中和”纳入国家重大发展战略, 发展低碳经济已成为新时代经济发展的主旋律。在石化能源稀缺和环境污染带来的双重压力下, 开发和利用生物质能源显得尤为迫切。吉林省是全国农业大省, 是世界三大“黄金玉米带”之一, 玉米秸秆资源十分丰富, 具有产量大、分布广的特点。传统玉米秸秆低效利用将其作为农业废弃物进行就

地焚烧或烧炕取暖, 不仅不利于区域经济发展, 还增加了碳排放量, 带来了巨大环境污染。玉米秸秆能源化利用不仅能够有效缓解能源稀缺与环境恶化等多重压力, 同时也符合我国农业绿色低碳转型升级与实现双碳目标的现实需要^[1]。因此, 开发吉林省玉米秸秆资源, 以生物质能源替代传统能源具有巨大的经济效益和生态效益。本文对吉林省玉米秸秆资源量、能源化利用潜力进行测算与评价, 探究玉米秸秆资源的时空分布特征及能源化利用潜力的地域差异, 分析吉林省玉米秸秆能源化利用的主要途径和现实困境, 以求探寻更符合吉林省实际的玉米秸秆能源化利用布局和优化路径, 充分挖掘吉林省玉米秸秆能源化利用潜力。

录用日期: 2022–10–23

作者简介: 聂英(1963–), 吉林龙井人, 教授, 研究方向为农业资源利用。E-mail: nieying6662@163.com

张成甦为本文通信作者。

E-mail: cheng-su-love@163.com

1 吉林省玉米秸秆资源

吉林省是产粮大省,也是我国玉米优势种植区,玉米产量大,玉米秸秆资源丰富^[2]。2020年玉米播种面积428.84万hm²,占粮食总播种面积的75.45%,玉米产量2 973.44万t,占粮食总产量的78.18%,玉米秸秆理论资源量5 530.60万t,可收集资源量5 254.07万t,玉米资源可开发利用优势突出。

1.1 吉林省玉米秸秆资源量测算

要实现对吉林省玉米秸秆资源量合理测算,首先要确定吉林省玉米产量,再结合玉米草谷比和可收集系数,最终计算出吉林省玉米秸秆理论资源量和可收集资源量。

玉米秸秆理论资源量,即玉米秸秆产量,由玉米产量与草谷比系数计算得出,公式如下:

$$P_i = G_i \times \lambda \quad (1)$$

式中, P_i 为某一区域内的秸秆理论资源量, G_i 为某一区域内的玉米产量, λ 为玉米作物草谷比,受耕种条件、收获方式、秸秆含水量和杂质率等因素的影响^[3],本文主要参考国家发改委《关于开展农作物秸秆综合利用规划终期评估的通知(发改办环资〔2015〕3264号)》提供的《不同农区主要农作物草谷比》中的数据,取1.86计算。

玉米秸秆可收集资源量是指扣除玉米秸秆在收集、运输等过程中产生的损耗,最终获得的秸秆可利用量。计算公式为

$$P_{ci} = G_i \times \lambda \times \eta \quad (2)$$

式中, P_{ci} 为某一区域内的秸秆可收集资源量, G_i 为某一区域内的玉米产量, λ 为玉米作物草谷比, η 为玉米秸秆可收集系数,玉米秸秆收集系数参考农

业农村部科技教育司公布的《不同区域秸秆可收集系数推荐值》,并综合考虑采用崔明^[4]、王亚静、蔡亚庆等^[5]研究结果,取0.95计算。

1.2 吉林省玉米秸秆的时间分布特征

本文根据《2011–2021年吉林统计年鉴》^[6]中的玉米产量,再结合式(1)和式(2)可得出吉林省近10年的玉米秸秆资源量情况,如表1所示。

2011–2020年间吉林省玉米产量变化呈先上升后下降的趋势,玉米秸秆理论资源量和可收集资源量也随玉米产量的变化呈现相同变化趋势。2011–2016年玉米秸秆资源量持续稳定上升,玉米秸秆理论资源量从4 450.53万t增加到6 112.48万t,增加1 661.95万t;玉米秸秆可收集资源量从4 228.00万t增加到5 806.85万t,增加了37.34%。这是因为该时期玉米需求量急剧增加,农业产业和地方政府积极参与玉米“种植–收储–购销”各个环节,农民玉米种植的积极性大幅提升,玉米产量大幅增加,玉米秸秆资源量随之增加。2017–2020年吉林省玉米秸秆资源量呈现波动下降趋势,虽然在2019年玉米秸秆资源量有所回升,但上升幅度较小,且只持续了1年,总体仍呈下降态势,截至2020年底玉米秸秆资源量较2016年峰值相比减少了581.88万t,玉米秸秆可收集资源量与2016年峰值相比将少了9.52%。主要是由于近几年我国临储政策逐步取消,玉米补贴较上一时期有所下降,耕种成本和土地租金不断上涨,使农户玉米种植积极性降低^[7],另外由于近几年城镇化进程的加快,越来越多的农民迁移城镇,存在部分撂荒土地也影响了玉米产量,进而导致近几年玉米秸秆资源量有所下降。

表1 2011–2020年吉林省玉米秸秆资源量

Table 1 Cron straw resources in Jilin province, 2011–2020

10⁴ t

年 份 Year	玉米产量 Corn yield	草谷比 Grass to grain ratio	秸秆理论资源量 Crop residue	可收集利用系数 Collectible utilization factor	秸秆可收集资源量 Available crop residue
2011	2 392.76	1.86	4 450.53	0.95	4 228.00
2012	2 714.99	1.86	5 049.88	0.95	4 797.39
2013	2 980.93	1.86	5 544.53	0.95	5 267.30
2014	3 004.17	1.86	5 587.76	0.95	5 308.37
2015	3 138.77	1.86	5 838.11	0.95	5 546.20
2016	3 286.28	1.86	6 112.48	0.95	5 806.85
2017	3 250.78	1.86	6 046.45	0.95	5 744.13
2018	2 799.88	1.86	5 207.78	0.95	4 847.39
2019	3 045.30	1.86	5 664.26	0.95	5 381.05
2020	2 973.44	1.86	5 530.60	0.95	5 254.07

1.3 吉林省玉米秸秆的空间分布特征

利用《2021年吉林统计年鉴》^[6]中各市区的玉米

产量数据,结合式(1)和式(2)测算出2020年吉林省各市的玉米秸秆资源量分布情况(表2)。

表2 2020年吉林省各市玉米秸秆资源量分布

Table 2 Distribution of corn straw resources in Jilin province in 2020

地 区 Area	玉米播种面积 ($\times 10^4 \text{ hm}^2$) Corn sown area	玉米产量 ($\times 10^4 \text{ t}$) Corn yield	秸秆理论资源量 ($\times 10^4 \text{ t}$) Crop residue	秸秆可收集资源量 ($\times 10^4 \text{ t}$) Available crop residue	单位面积秸秆资源量 (t/hm^2) Crop residue per unit area
长春市	133.48	990.23	1 841.83	1 749.74	13.80
吉林市	48.61	313.86	583.78	554.59	11.39
四平市	51.27	398.15	740.56	703.53	14.44
辽源市	19.91	133.90	249.05	236.60	12.51
通化市	21.03	135.76	252.51	239.88	12.01
白山市	3.82	23.24	43.23	41.07	11.32
松原市	79.09	566.48	1 053.65	1 000.97	13.32
白城市	51.62	287.90	535.49	508.72	10.37
延边州	20.01	123.92	230.49	218.97	11.52
吉林省	428.84	2 973.44	5 530.60	5 254.07	13.11

从玉米秸秆资源总量分布来看,吉林省玉米总播种面积428.84万 hm^2 ,秸秆理论资源量5 530.6万t,主要分布在吉林省的中部和西部地区,东部地区秸秆资源量产生较少。其中长春和松原的玉米秸秆资源量最多,超过1 000万t,分别占吉林省玉米秸秆资源总量的33.30%和19.05%;四平、吉林和白城三市玉米秸秆资源量较多,均处于500~1 000万t,分别占吉林省玉米秸秆资源总量的13.40%、10.56%和9.68%;通化、辽源和延边和白山的玉米秸秆资源量

较少,其中白山市的玉米秸秆理论资源量最少,仅有43.23万t(图1)。这是因为中部地区以平原为主,是黑土地保护核心区和粮食主产区,属于雨养农业区域,是玉米秸秆的最主要产区;西部地区位于科尔沁草原的东部、松嫩草原的中心、松嫩平原的西端,是典型的半农半牧区,玉米秸秆资源产生量较大;东部地区以山区半山区为主,以山区丘陵地貌为主,农作物秸秆产生量较少。

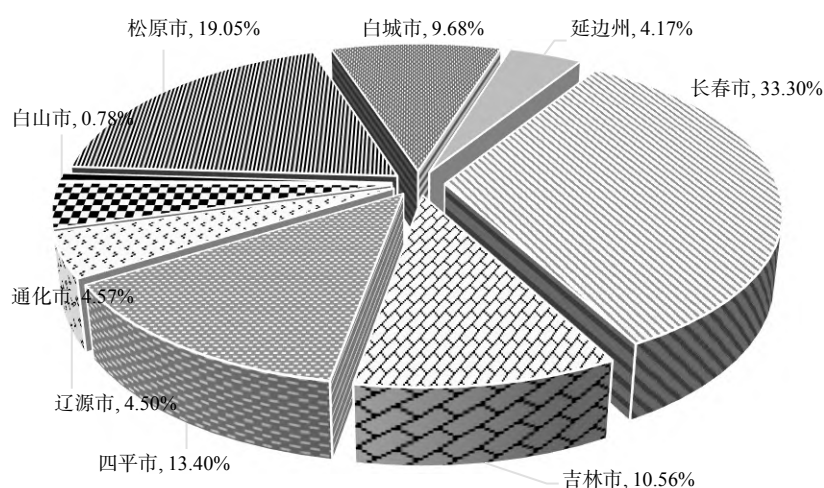


图1 吉林省玉米秸秆资源总量分布情况及其比例

Fig.1 The distribution and proportion of corn straw in Jilin province

通过测算各地级市单位面积玉米秸秆资源量,可以更直观反映各市的秸秆生产能力与可收集利用强度,更准确识别玉米秸秆空间分布特征。从单位

面积秸秆资源量分布来看,2020年吉林省单位面积玉米秸秆资源量为13.11 t/hm^2 ,长春、四平、松原三市单位面积玉米秸秆资源量高于平均值,属于高生

产能力的地区,具有较高的秸秆生产能力与可收集利用强度;其余各市的单位面积玉米秸秆资源量均低于全省的平均值,其中白山市的单位面积玉米秸秆资源量最低,低于平均值2.74个百分点,秸秆生产能力与可收集利用强度较弱。

2 吉林省玉米秸秆能源化利用潜力

2.1 吉林省玉米秸秆能源化利用潜力测算

玉米秸秆能源化利用量是指扣除农村基本生活能源需求、秸秆直接还田、饲料化利用、工业原料以及食用菌基料等其他用途外,可用于能源化利用的数量^[8]。具体公式为:

$$Q_i = G_i \times \lambda \times \eta \times r \quad (3)$$

式中, Q_i 为某一区域内的秸秆能源化利用量, G_i 为某一区域内的玉米产量, λ 为玉米作物草谷比, η 为玉米秸秆可收集系数, r 为可能源化利用率。参考

《吉林省秸秆综合利用3年行动方案(2019–2021年)》中所确定的能源化利用和生活燃用的3年平均值,即0.43。

玉米秸秆可能源化潜力量即将玉米秸秆可能源化利用量通过热值计算与标准煤进行换算,具体公式为:

$$W_i = G_i \times \lambda \times \eta \times r \times s \quad (4)$$

式中, W_i 玉米秸秆能源化潜力量, G_i 为某一区域内的玉米产量, λ 为玉米作物草谷比, η 为玉米秸秆可收集系数, r 为可能源化利用率, s 为折标煤系数,根据《2021年中国能源统计年鉴》^[9],折标煤系数取0.529计算。

2.2 吉林省玉米秸秆能源化利用潜力评价

将表2中各地级市玉米秸秆可收集资源量带入式(3)和式(4)得到吉林省及各地区的玉米秸秆能源化利用潜力结果(表3)。

表3 2020年吉林省各市玉米秸秆能源化利用潜力分布

Table 3 Potential distribution of energy utilization of corn straw in Jilin province in 2020

$\times 10^4$ t

地 区 Area	玉米秸秆能源化 利用量 Energy utilization of corn straw	玉米秸秆可能源化 潜力量 Energy potential of corn straw	地 区 Area	玉米秸秆能源化 利用量 Energy utilization of corn straw	玉米秸秆可能源化 潜力量 Energy potential of corn straw
长春市	752.39	398.01	白山市	17.66	9.34
吉林市	238.47	126.15	松原市	430.42	227.69
四平市	302.52	160.03	白城市	218.75	115.72
辽源市	101.74	53.82	延边州	94.16	49.81
通化市	103.15	54.57	吉林省	2 259.25	1 195.14

吉林省玉米秸秆能源化利用潜力巨大,2020年全省玉米可能源化潜力量达1 195.14万t。根据表3各地区玉米秸秆能源化利用潜力量,结合吉林省玉米秸秆资源总量和单位产量玉米秸秆资源量的分布情况,可将吉林省玉米秸秆能源化利用潜力情况分为3大区域,即丰富区、可利用区和贫乏区。长春市、四平市和松原市为丰富区,玉米秸秆资源总量丰沛,具有较强的玉米秸秆生产能力,单位玉米秸秆资源量高于全省平均值,可能源化利用潜力稳居全省前3,具有较大的可能源化利用潜力。吉林、辽源、白城和通化属于可利用区,吉林和白城的玉米秸秆可收集量较多,且玉米秸秆能源化潜力较多,均大于100万t,具有较多的玉米秸秆能源化开发利用量;辽源和通化两市虽玉米秸秆资源量与能源化潜力不如吉林和白城,但其玉米秸秆生产能力较强,具有一定的玉米秸秆开发利用后备潜力;延边和白山属于贫乏区,玉米秸秆资源量匮乏,秸秆生产能力与能源

化开发利用潜力都较弱,不利于玉米秸秆能源化发展。

3 吉林省玉米秸秆能源化利用的现实困境

吉林省秸秆能源化利用发生了质的变化,从农民低效燃烧发展到秸秆直燃发电、秸秆固化、秸秆热解气化、秸秆沼气等高效利用途径。秸秆直燃发电是指将秸秆直接放入锅炉中燃烧后产出高压水蒸汽进行发电;秸秆固化是在一定技术设备处理下,将玉米秸秆压缩成块状等固体燃料^[10];秸秆气化是在缺氧环境中,利用热解和还原反应让秸秆转化为可燃气体^[11];秸秆沼气是通过微生物厌氧发酵进而产生能够燃烧的气体^[12]。2021年吉林省秸秆能源化利用率为27.50%,吉林省玉米秸秆能源化利用潜力优势较大、利用途径多样,但吉林省玉米秸秆能源化利用仍存在现实困境。

3.1 秸秆能源化利用区域差异大,规模化产业较少

由于受地域经济条件、文化生活、认识水平限制,吉林省秸秆能源化利用表现出利用不充分、结构不合理、产业发展受限等问题。中部黑土地保护利用集中区和西部松嫩平原地区,玉米秸秆资源丰沛,资金政策相对集中,技术设备相对先进发达,玉米秸秆能源化利用潜力巨大,利用方式也较为多元。东部偏远山区玉米秸秆资源匮乏,政策资金配套不足,技术设备相对落后,利用方式较单一,玉米秸秆资源化开发利用潜力较低。吉林省对玉米秸秆能源化的开发利用大多仍停留在小规模、低层次生产水平上,大部分县市大型的秸秆发电厂、秸秆气化站等配备不足,仍处于初级阶段,加之玉米秸秆能源化发展缺乏龙头企业带动,企业化和市场化存在短板,进而造成秸秆能源化利用面临产业布局不合理、规模化企业稀缺、高值化利用水平较低等问题。

3.2 秸秆收、储、运体系尚不完善

吉林省农业生产规模化与小农经营并存,且散户较多,玉米秸秆资源分布比较分散,秸秆集中收购利用难度大。由于玉米秸秆资源自身质地疏松、密度低、体积大、易腐蚀等特点,加上收储季节约束性强、劳动强度大等因素影响,致使玉米秸秆收集、运输、储存难度增加,收储运及防腐防蛀成本急剧升高,从而制约秸秆收储运企业的工作积极性和运行效益。另外,地方政策性扶持力度不够,因土地租金高等因素,建设的收储点和收集储运服务组织数量少,未形成区域性的收储网络,满足不了实际需求,制约秸秆综合利用产业化发展。政府、企业、农村合作舍、农户之间未形成有效稳定的多方合作机制,不利于吉林省玉米秸秆能源化利用的长远发展,不利于乡村可持续发展。因此,吉林省秸秆收、储、运体系不完善是导致玉米秸秆资源转化效率低和商品化程度低的主要原因,是制约玉米秸秆能源化利用的关键因素^[13]。

3.3 秸秆能源化利用技术设备研发应用滞后

由于投入的资金和技术不足,秸秆能源化利用相关配套技术创新能力不强,缺乏先进秸秆收集处理机械设备,新型燃料利用成本高,秸秆能源化利用率和利用层次难以提升。第一,在秸秆直燃发电方面,秸秆发电锅炉综合效率低、易腐蚀和易结焦等问题凸显;第二,在秸秆固化方面,秸秆固化生产设备实用性差、配套低、能耗高、使用寿命短、设备系统配合协调能力差;第三,在秸秆气化方面,在秸秆气化过程中产生焦油含量过高的问题难以攻克;第四,在秸秆沼气方面,秸秆纤维素酶的酶活性以及酶解效

率难以把控。目前,吉林省的秸秆能源化利用配套技术和设备尚不能解决以上问题,因此玉米秸秆能源化利用的技术水平和设备研发还有待进一步提升。

3.4 农民认识不足,参与积极性有待加强

秸秆能源化利用既满足农业农村绿色发展的时代要求,又符合增强民生福祉的共同富裕目标。受传统生活方式和传统耕作经验的影响,大多数农民更愿意将秸秆焚烧还田和烧火取暖,对秸秆能源化利用的意义认识不足,对玉米秸秆能源化利用新技术、新机具和新模式的接受度不高。另外,由于农民缺乏秸秆能源意识、经济意识和绿色意识,对于秸秆能源化利用的经济效益、社会效益和生态效益的认识不到位,农民将秸秆提供给电厂等能源企业的积极性不高,致使吉林省秸秆能源化进展缓慢,玉米秸秆能源化潜力难以被挖掘。

4 吉林省玉米秸秆能源化利用的优化路径

4.1 因地制宜进行秸秆能源化利用产业布局

在玉米秸秆资源总量、单位秸秆资源量和可能源化利用潜力量都具有绝对优势的长春市、四平市和松原市等重点开发区进行大规模集中开发利用,重点发展大型发电厂和秸秆直燃锅炉研发、生物质能源、使用固化成型燃料等综合利用企业。吉林、辽源、白城和通化属于适度开发区,考虑到秸秆生产能力的差异,在秸秆资源量和生产能力均衡的吉林和白城进行适度规模的集中开发利用。在秸秆资源量较少但生产能力较强的辽源和通化不适宜集中开发利用,可适度推广沼气工程、秸秆热解气化工程秸秆和固体成型燃料工程,推广循环利用模式,提高当地秸秆利用率和清洁能源使用率可适度推广。在秸秆资源匮乏和成产能力不足的延边和白山等限制开发区,适当推广高效炉灶等低成本的能源利用方式,如小型生物质气化炉等,在不破坏当地种植结构和经济布局的同时满足农民对能源的需求,有效保护产业生态。另外,在农安、东辽、镇赉、双阳、磐石、伊通、扶余、乾安、大安等拥有大型发电厂的县域,主要发展秸秆固化成型烧料、生物质能源、热电联产等技术模式,稳步推进秸秆能源化利用水平。

4.2 健全完善收、储、运体系

以“政府推动、企业牵头、农民参与、市场运作”为导向,积极培育秸秆收、储、运、销经营主体,搭建政府、企业、合作社与农户间高效科学的收、储、运、销合作平台,让玉米秸秆收储运同秸秆能源化有机

结合,促进玉米秸秆能源化利用产业链的发展。以“就近、就便”利用为原则,各地要按照合理运输半径,建设县有龙头企业、乡镇有规范化收储组织、村有固定秸秆收储网点的收、储、运体系,形成一条完整、顺畅、全面的“收、储、运、销”产业链条,进而促进吉林省能源化优势技术的发展,开发玉米秸秆能源化利用潜力。加强秸秆收储运政策扶持,对购买秸秆捡拾、打捆、运输、处理、加工等专业设备主体给予相应的农机补贴,提高收、储、运主体积极性。提高秸秆收、储、运服务水平,积极探索“农事服务超市”、“村企合作”、“秸秆收集专合社+其他专合社”等秸秆收、储、运服务模式,推进秸秆收、储、运体系多元化、专业化、市场化、社会化。

4.3 加强秸秆能源化利用技术的研发与应用

加快推进秸秆固化及配套设备关键、生物质气化工工艺、大中型秸秆沼气工程等关键技术设备联合攻关和科技研发,升级改造生产设备、研发新技术新设备,提升秸秆加工处理能力。同时,加快推进科技成果转化,加强现有技术集成,鼓励国内外先进成熟设备引进利用,依据各地生产条件因地制宜加快科技成果的转化落地,鼓励先进技术推广及应用。加强对秸秆能源化利用技术的政策与资金投入。

4.4 强化宣传培训,提高农民认知

秸秆能源化利用仍处于初步发展阶段,农民对生物质能源转化新技术和秸秆能源的生态效益和经济效益缺乏必要的了解和认识。因此,一方面可多角度、全方位进行宣传推广,提高农户对秸秆能源化利用的认识和接受程度。另一方面村集体组织可定期组织开展秸秆能源化利用的经验交流和现场观摩,推广生物质灶具替代传统燃具,鼓励农村居民使用生物质固体燃料。需通过培训宣传等多种途径,加强农民对秸秆能源化利用的认知,引导农民树立正确的环保观念和利用模式,提高不同社会主体参与秸秆能源化利用的积极性、自觉性和主动性。

参考文献:

- [1] 贾倩,郑怀国,赵静娟,等.基于专利视角的国内外秸秆能源化利用技术发展差异研究[J].世界科技研究与发展,2022,30(5): 1-11.
JIA Q, ZHENG H G, ZHAO J J, et al. Research on development difference of straw energy utilization technology at home and abroad based on patent perspective[J]. World Science and Technology Research and Development, 2022, 30(5): 1-11. (in Chinese)
- [2] 聂英,韩鲜籽,王子茗惠,等.东北地区玉米秸秆饲料化利用优势度分析[J].玉米科学,2022,30(5):185-190.
NIE Y, HAN X Z, WANG Z M H, et al. Analysis on the dominance degree of corn straw feed utilization in Northeast China[J]. Journal of Maize Sciences, 2022, 30(5): 185-190. (in Chinese)
- [3] 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.
LIANG W, NIE Y. Research on the dilemma and countermeasures of comprehensive utilization of corn straw in large grain-producing provinces[J]. Journal of Maize Sciences, 2017, 25(4): 105-110. (in Chinese)
- [4] 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.
CUI M, ZHAO L X, TIAN Y S, et al. Analysis and evaluation of energy utilization of China's main crop straw resources[J]. Chinese Journal of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 291-296. (in Chinese)
- [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.
CAI Y Q, QIU H G, XU Z G. Potential analysis of possible source utilization of straw resources in various regions of China[J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(10): 1637-1646. (in Chinese)
- [6] 吉林省统计局.吉林统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2011-2021.
- [7] 鹿傲飞,王玉斌.黑龙江省玉米秸秆资源时空分布特征与资源化利用模式构建[J].资源开发与市场,2023,39(1):1-10.
LU A F, WANG Y B. Spatial and temporal distribution characteristics of corn straw resources and construction of resource utilization model in Heilongjiang province [J]. Resource Development and Marketing, 2023, 39(1): 1-10. (in Chinese)
- [8] 张崇尚,刘乐,陆岐楠,等.中国秸秆能源化利用潜力与秸秆能源企业区域布局研究[J].资源科学,2017,39(3):473-481.
ZHANG C S, LIU L, LU Q N, et al. Potential and regional distribution for the energy utilization of crop residues in China[J]. Resources Science, 2017, 39(3): 473-481. (in Chinese)
- [9] 国家统计局能源司.中国能源统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
- [10] 王庆和,孙勇.我国生物质燃料固化成型设备研究现状[J].农机化研究,2011,33(3):211-214.
WANG Q H, SUN Y. Research status of curing molding equipment for biomass fuel in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2011, 33(3): 211-214. (in Chinese)
- [11] 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.
CUI M, ZHAO L X, TIAN Y S, et al. Analysis and evaluation of energy utilization of main crop straw resources in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(12): 291-296. (in Chinese)
- [12] 邱凌,刘芳,毕于运,等.户用秸秆沼气技术现状与关键技术优化[J].中国沼气,2012,30(6):52-55,58.
QIU L, LIU F, BI Y Y, et al. Domestic straw biogas technology status and optimization of key technologies[J]. China Biogas, 2012, 30(6): 52-55, 58. (in Chinese)
- [13] 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.
SHI Z L, WANG F, LI X, et al. Discussion on the concept and definition of base dressing in the "five-dressing" of straw[J]. Soil and Fertilizer in China, 2016(6): 152-155. (in Chinese)

- and Technology, 2020, 22(8): 1-4. (in Chinese)
- [24] 汪海, 赖锦盛, 王海洋, 等. 作物智能设计育种-自然变异的智能组合和人工变异的智能创制[J]. 中国农业科技导报, 2022, 24(6): 1-8.
- WANG H, LAI J S, WANG H Y, et al. Bipartite intelligent design of crops-intelligent combination of natural variation and intelligent creation of artificial variation[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2022, 24(6): 1-8. (in Chinese)
- [25] 郑怀国, 赵静娟, 秦晓婧, 等. 全球作物种业发展概况及对我国种业发展的战略思考[J]. 中国工程科学, 2021, 23(4): 45-55.
- ZHENG H G, ZHAO J J, QIN X J, et al. General situation of global crop seed industry development and strategic thinking on China's seed industry development[J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(4): 45-55. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)

(上接第 172 页)

- [14] 崔宁波, 姜兴睿, 巴雪真. 东北地区玉米秸秆综合利用发展困境与对策研究[J]. 农业经济, 2021(5): 90-92.
- CUI N B, JIANG X R, BA X Z. Development difficulties and countermeasures of comprehensive utilization of corn straw in Northeast China[J]. Journal of Agricultural Economics, 2021(5): 90-92. (in Chinese)

(责任编辑: 栾天宇)