

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2022.03.040

双碳背景下黑龙江省农村生活用能研究

申瑞霞 姚宗路 赵立欣 霍丽丽 罗娟

(中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所,北京 100081)

摘要: 针对黑龙江省农村生活用能高、结构不合理及秸秆能源需求大等问题,开展了黑龙江省农村生活用能研究,并对2030年、2060年黑龙江省的农村能源进行了资源量、消费量、能源结构以及温室气体减排贡献等相关预测分析。结果表明:目前黑龙江省农村生活用能总量稳定在0.220亿t标煤,农村生活用能结构以秸秆、煤炭为主,特别是秸秆使用占比显著高于全国水平;从减排角度测算,秸秆散烧、生物质成型燃料的使用对温室气体减排贡献分别为0.014亿t CO₂e、0.013亿t CO₂e。经预测,2030年、2060年黑龙江省农村居民生活能源消费总量分别为0.059亿t标煤、0.022亿t标煤;可收集秸秆的资源量分别为0.928亿t、1.256亿t。在减排背景下,满足秸秆还田需求和秸秆饲料化需求的基础上,预测2030年、2060年黑龙江省可用于秸秆能源化的最大潜能分别为0.235亿t、0.317亿t,折合标煤分别为0.045亿t标煤、0.061亿t标煤,分别占2030年、2060年黑龙江省农村居民生活能源消费总量的5.183%、18.529%。此外,2030年、2060年秸秆能源化的温室气体减排量贡献分别为0.247亿t CO₂e、0.333亿t CO₂e。

关键词: 黑龙江;农村能源;秸秆;能源结构;预测;碳达峰碳中和

中图分类号: S2

文献标识码: A

文章编号: 1000-1298(2022)03-0377-07

OSID:



Rural Living Energy in Heilongjiang Province under Background of Carbon Peak and Neutrality

SHEN Ruixia YAO Zonglu ZHAO Lixin HUO Lili LUO Juan

(Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Heilongjiang Province is located in the northeast of China, with cold winter and long heating period. Aiming to cope with the problems of high rural living energy consumption, unreasonable energy structure and large straw energy demand in Heilongjiang Province, the resource quantity, consumption, energy structure and greenhouse gas emission reduction contribution of rural energy in Heilongjiang Province in 2030 and 2060 were predicated. The results showed that the total amount of rural energy consumption in Heilongjiang Province was about 22.0 million tons of standard coal currently, and the main rural energy used was straw and coal. From the perspective of greenhouse gas emission reduction, the contribution of straw burning and biomass briquette to greenhouse gas emission reduction was 1.40 million tons and 1.30 million tons CO₂e, respectively. In 2030 and 2060, the total energy consumption of rural residents in Heilongjiang Province would be 5.9 million tons and 2.2 million tons of standard coal, respectively. Meanwhile, the amount of straw that can be collected was 92.8 million tons and 125.6 million tons, respectively. Under the background of greenhouse gas emission reduction and on the basis of meeting the demand of straw returning to the field and straw feeding, it was predicted that the maximum potential of straw for energy conversion in Heilongjiang Province in 2030 and 2060 would be 23.5 million tons and 31.7 million tons, respectively, equivalent to 4.5 million tons and 6.1 million tons of standard coal, accounting for 5.183% and 18.529% of the total energy consumption of rural residents in Heilongjiang Province in 2030 and 2060, respectively. In addition, the greenhouse gas emission reduction contribution of straw energy in 2030 and 2060 would be 24.7 million tons and 33.3 million tons CO₂e, respectively. The research result had important guiding significance for greenhouse gas emission reduction and realizing the goal of carbon peak and neutrality.

Key words: Heilongjiang; rural energy; straw; energy structure; prediction; carbon peak and neutrality

收稿日期: 2021-12-27 修回日期: 2022-01-18

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程项目和财政部和农业农村部:国家现代农业产业技术体系项目(CARS-02)

作者简介: 申瑞霞(1987—),女,助理研究员,主要从事农业废弃物资源化利用研究,E-mail: shenruixia20101229@163.com

通信作者: 姚宗路(1980—),男,研究员,博士生导师,主要从事农业废弃物资源化利用及装备研究,E-mail: yaozonglu@caas.cn

0 引言

绿色低碳循环发展已成为全球共识,“双碳”目标是我国提出的两个阶段的碳减排奋斗目标^[1]。为实现这一目标,需弄清农业农村领域现状、选准目标,为碳达峰、碳中和做出应有的贡献^[2-3]。农村用能是我国农业农村领域能源体系的重要组成部分,实现碳中和的潜力巨大^[4]。黑龙江省作为我国的最北方,冬季气候寒冷、供暖期一般为5~6个月;常住总人口为3 771.9万,其中乡村人口1 505万,占比39.9%,大量的乡村人口使得农村地区生活用能需求量大,达到2 209.63万t,且以煤炭为主,造成污染大、排放高等问题亟待解决。

黑龙江省作为我国农业大省具有丰富的农作物资源,特别是秸秆资源量大,主要由玉米秸秆、水稻秸秆、大豆秸秆等组成。据农业农村部统计资料显示,2020年黑龙江省秸秆资源量为9 098.03万t,占全国秸秆资源总量的10.6%,且其综合利用率达到91.48%^[5]。且在秸秆的五料化利用中,能源化利用也逐步成为还田利用外的第二大利用途径^[6-7]。

在双碳背景下,为解决农村用能存在的用能高、结构不合理及秸秆能源需求大等问题,本文在黑龙江省开展农村生活用能的实地调研,了解农村地区用能总量、用能结构、能源消费等基本情况,分析预测2030年和2060年农村用能消耗量、农村用能结构情况以及秸秆能源化利用的温室气体减排量贡献等。

1 方法

采取文献检索、典型地区实地调研与问卷调查3种方法相结合的方式,点面结合,全面地了解评价黑龙江省农村能源概况及秸秆综合利用现状。

1.1 文献检索法

基础数据以文献和资料的收集、分析和整理为主。重点收集、查阅农业农村部、黑龙江省农业厅及相关市的中国农村统计年鉴、规划报告、政策建议、支持项目、政策文件等关于农村能源及秸秆综合利用的相关资料,并进行甄别、统计分析。

1.2 典型地区实地调研

为全面了解黑龙江省农村用能现状,在秸秆利用方面考虑秸秆品种资源丰富程度、交通状况、村庄经济条件、覆盖市县范围以及典型秸秆综合利用试点县等因素,在生活用能方面考虑生活用能需求量较大、居住分散、能耗水平低以及室内空气污染问题等因素^[8]。基于秸秆利用与生活用能两方面的因素,实地调研选择了10个市22个县(不含农垦总

局),具体为黑河(嫩江县)、齐齐哈尔(富裕县、克山县、讷河市、泰来县)、大庆(林甸县、杜蒙县、肇源县)、哈尔滨(巴彦县、双城区、五常市、尚志市)、绥化(海伦市、庆安县、兰西县)、佳木斯(桦南县、桦川县)、双鸭山(集贤县)、七台河(勃利县)、牡丹江(宁安市、穆棱市)、鸡西(鸡东县)。

1.3 问卷调查

调查问卷包括政府主管部门问卷、村级问卷、入户调查问卷3种形式。每个市县根据实际情况选择2个传统能源的典型村和2个新型清洁能源替代的典型村。采用座谈和入户调查相结合的形式,实地入户调研农户用能与秸秆利用现状,每村不少于10户,共收集有效问卷858份。通过对典型农村地区的能源消费量、用能方式等进行调研^[9],摸清黑龙江省农村用能现状。

2 结果与分析

2.1 黑龙江省农村用能现状

2.1.1 农村生活用能总量

农村总人口数与农村生活用能总量成正相关关系^[10],黑龙江省农村人口数占全省人口总数的39.9%,农村生活用能总量占全省能源消费的50.00%^[11],且农村生活用能占农村用能总量的比例基本保持在70.00%^[12]。农村生活用能主要包括商品能源和非商品能源,其中商品能源包括煤炭、电力、成品油、天然气、煤气、液化石油气,非商品能源包括秸秆、薪柴、沼气、太阳能。黑龙江省农村用能中商品能源以煤炭为主,其次是电力和成品油,非商品能源以秸秆为主,其次是薪柴。由国家统计局的数据可知(图1),2000—2012年黑龙江省农村生活用能总量逐年增长,到2013年为2 846.79万t标煤,其中商品能源和非商品能源分别为1 016.10万t标煤、1 830.69万t标煤,2014年之后农村生活用能总量呈逐年下降趋势,近几年稳定在2 200万t标煤。生活用能中商品能源用量呈现逐年增长趋势,近3年趋于稳定,究其原因主要是由于,随着农村生活条件的改善,农民趋于使用方便、清洁的商品能源为主^[13]。而非商品能源呈现先增长后下降的变化规律,特别是2016年出现显著下降的情况,这一情况很大程度上归因于国家、各地方对于秸秆焚烧的严格管控。

2.1.2 农村生活用能结构

整体上,黑龙江省农村居民能源结构主要以非商品能源为主,商品能源为辅。非商品能源中发生显著变化的是秸秆的使用,主要集中在齐齐哈尔、大庆、绥化等耕地资源丰富的地区^[14],

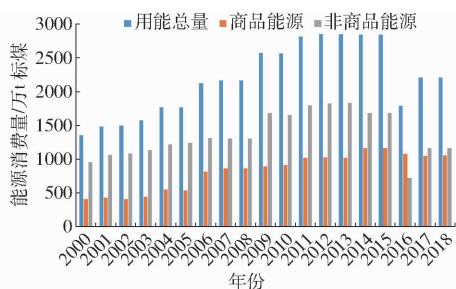


图1 黑龙江省农村能源消费情况

Fig.1 Consumption situation of rural energy in Heilongjiang Province

2013年达到1 489.92万t标煤,同时薪柴的使用达到312.46万t标煤(图2a)。2016年秸秆的使用显著下降到390.70万t标煤,而近3年又有所回升,尽管秸秆能源的使用下降明显,但仍是农民的主要生活能源。另外,由于黑龙江省冬季气温低、太阳光不足等气候因素原因,在农村地区太阳能的使用量非常小^[15],主要集中在哈尔滨、大庆、齐齐哈尔等地^[16],户用沼气使用率约为10%^[11]。多年来黑龙江省农村生活商品能源中以煤炭为主导,占比高于全国水平^[17]。2014年煤炭的用量达到928.78万t标煤,随后缓慢下降,近几年基本维持稳定;煤炭的使用主要集中在鸡西、鹤岗、双鸭山、七台河等煤炭资源丰富的地区^[14]。2011—2018年间电力、液化石油气的使用分别维持在100万t标煤、39万t标煤(图2b)。成品油、天然气的使用主要集中在哈尔滨、大庆等石油天然气开发地区^[14],但由于天然气运输成本高和存在安全隐患等问题,并没有在农村地区广泛使用。另外,第三次全国农业普查的结果显示,东北地区通天然气的村仅占4.70%^[18],因此诸多因素限制了天然气在黑龙江省农村地区的使用。

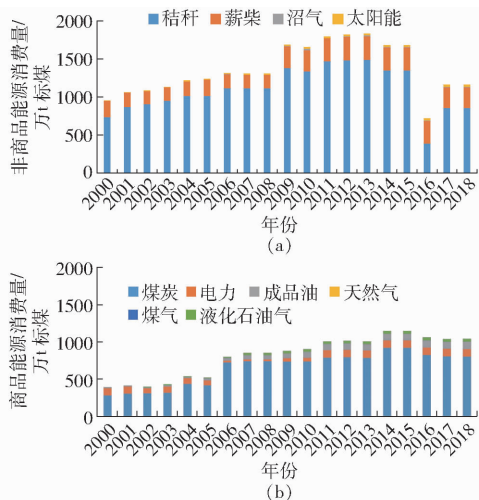


图2 黑龙江省农村能源消费结构

Fig.2 Consumption structure of rural energy in Heilongjiang Province

根据对黑龙江省典型地区的实地调研结果显示,2020年农村生活用能结构中煤炭、秸秆、薪柴3种主要能源用于取暖和炊事,分别占29.8%、45.5%、2.8%;生物质成型燃料等清洁供暖方式仅占生活用能总量的5.7%;汽油用于交通出行,占8.7%;电力用于照明、电器及炊事,占6.6%;液化石油气用于炊事,占1.0%(图3a、表1)。按能源用途类别测算,炊事和取暖的能源消费占农村生活用能总量的89.30%,是农村生活用能的重中之重。另外,黑龙江省人均生活用能1.25t标煤,是全国的2.88倍。其中人均采暖用能0.91t标煤,占生活用能总量的72.90%(图3b);人均炊事用能0.20t标煤,占生活用能总量的16.40%,主要包括秸秆、薪柴、电力、液化石油气及少量煤炭;照明、电器等人均电力用量0.21t标煤;交通人均用汽油0.29t标煤。由此可见,黑龙江省农村用能结构以秸秆、煤炭为主,特别是秸秆,比全国高32.54%,但煤炭的使用占比与全国相比差异不明显。另外,从减排角度测算,秸秆散烧、生物质成型燃料的使用对温室气体减排贡献分别为0.014亿t CO₂e、0.013亿t CO₂e。

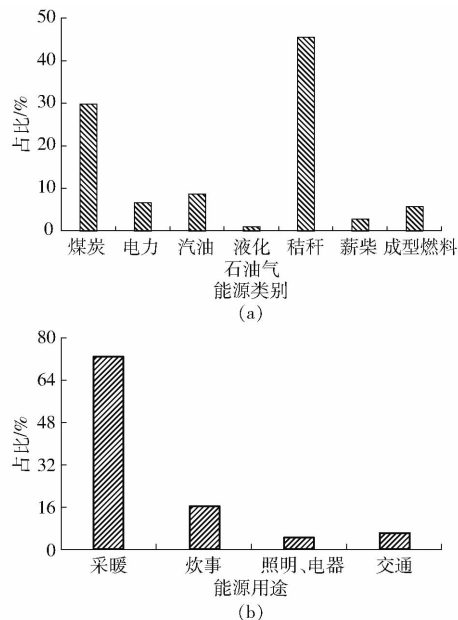


图3 黑龙江省农村生活能源结构与用途

Fig.3 Rural energy structure and use in Heilongjiang Province

2.1.3 农村能源消费情况

黑龙江省人均生活能源消费1 298元/年,是10年前人均能源消费支出的2.35倍^[8]。其中,商品能源中煤炭消费最高,占36.90%;其次为汽油和电力,分别占30.30%和26.40%;成型燃料和液化石油气分别占4.70%和1.70%,其中液化石油气消费量低的主要原因在于其价格(6 000元/t),另外也受到农村能源服务体系的影响^[17]。秸秆和薪柴为非

表1 黑龙江省农村能源利用结构

Tab.1 Utilization structure of rural energy in Heilongjiang Province

县 (区市)	煤炭	电力	液化 石油气	秸秆	薪柴	汽油	成型 燃料	%
嫩江县	18.2	2.7	0	77.1	0	2.0	0	
讷河市	13.7	3.9	0	78.6	0	3.8	0	
克山县	10.8	2.1	0	85.2	0	1.9	0	
富裕县	26.7	4.4	0.8	49.0	5.2	11.2	2.8	
林甸县	25.1	7.3	0.6	49.5	5.6	11.9	0	
杜蒙县	25.6	7.3	3.5	30.8	13.3	19.5	0	
泰来县	32.6	7.5	1.0	35.5	11.6	11.9	0	
肇源县	21.8	6.9	0.7	44.7	0	18.8	7.1	
双城区	17.8	5.8	1.9	36.6	0	9.1	28.8	
五常市	9.8	6.3	1.4	52.7	0	8.3	21.5	
尚志市	21.9	12.2	1.1	43.8	0	6.6	14.4	
巴彦县	29.1	9.1	0.6	46.6	1.0	13.6	0	
兰西县	34.0	6.2	0.1	59.7	0	0.0	0	
海伦市	26.4	8.3	0.8	33.0	0	22.8	8.7	
庆安县	28.1	6.2	0	52.6	1.1	12.0	0	
桦川县	26.8	1.4	0.4	13.4	0	17.9	40.0	
桦南县	57.9	9.1	0.2	30.5	1.2	1.0	0	
集贤县	52.9	4.7	1.9	36.0	0	3.4	1.1	
勃利县	63.1	14.8	1.7	13.9	1.7	4.8	0	
宁安市	21.6	5.3	2.0	65.2	0	5.9	0	
穆棱市	37.0	6.9	2.1	44.7	7.5	1.9	0	
鸡东县	55.2	6.7	0.3	20.9	14.0	3.0	0	
平均值	29.8	6.6	1.0	45.5	2.8	8.7	5.7	

商品能源,未计入能源消费结构,尽管两者的能源利用效率均较低,但由于其资源量较为丰富,且无需花钱购买,因此受到大多数农户的青睐。在不计秸秆、薪柴等非商品能源费用的情况下,人均取暖费达到540.70元/年,占用能总费用的41.70%,其中生物质成型燃料清洁能源消费占比11.40%;根据实地调研情况,黑龙江省农村地区取暖设施主要包括炕连灶和采暖炉两种,如图4所示。生物质清洁炉具采暖近年来得到黑龙江省的大力推广,现已建成秸秆压块站1000余个,年生产能力达80余万吨,安装生物质清洁炉具约5.5万台。另外,受大气污染防治与燃煤锅炉改造等环境压力,供热模式也开始逐渐改变,打捆直燃供暖方式迅速发展(图4),黑龙江现已建成秸秆打捆直燃供热项目近50处,供热面积达270余万平方米,供热户数4万余户。

另外,人均照明、电器用能消费307.90元/年,占用能总费用的23.70%;人均交通出行用能消费393.70元/年,占用能总费用的30.30%;人均炊事用能消费55.80元/年,占用能总费用的4.30%。农民人均纯收入或可支配收入与商品能源消费之间存在着正相关关系,而非商品能源秸秆、薪柴的资

源量并无明显关系^[19],随着农民人均收入的不断提高,农民更倾向于使用便捷、清洁的商品能源而不是非商品能源。



图4 黑龙江省农村取暖设施

Fig.4 Rural heating facilities in Heilongjiang Province

2.2 黑龙江农村能源预测

基于黑龙江省地域特征、目前农村生活用能调研现状以及过去20年的农村生活用能变化规律的分析,本研究对2030年、2060年黑龙江省的秸秆资源量、农村能源消费量以及农村能源结构进行相关预测,为了便于预测计算,本研究中未考虑新农村建设、土地集约化经营及住房保暖等因素,根据粮食增长率、人口城镇化率、农村居民收入水平等变化,聚焦测算了生物质能(特别是秸秆)在2030年、2060年对碳中和的预期贡献。

2.2.1 秸秆资源量预测

黑龙江省耕地总面积稳定在0.159亿 hm^2 ,粮食播种面积为0.143亿 hm^2 ,是我国重要的粮仓,主要以玉米、水稻、大豆、小麦、马铃薯5种粮食作物为主。2020年黑龙江省粮食种植面积占总耕地面积的89.96%,粮食产量0.750亿t,秸秆理论资源量为0.910亿t。根据黑龙江省农业农村厅发布的《黑龙江省人民政府办公厅关于切实加强高标准农田建设提升粮食安全保障能力的实施意见》中指出:到2025年稳定保障0.80亿t以上粮食产能。基于粮食增长率预测,到2030年和2060年黑龙江省的粮食产能将分别达到0.805亿t和1.150亿t,秸秆理论资源量将分别达到1.031亿t、1.395亿t。按照秸秆可收集系数0.9,可推算到2030年、2060年可收集秸秆资源量分别为0.928亿t、1.256亿t(表2)。根据黑龙江省2019年和2020年的秸秆综合利用率为91.30%、90.01%,可认为该省秸秆综合利用率为

已进入平稳增长阶段。

表2 2030年和2060年秸秆资源量相关指标预测

Tab.2 Prediction of straw resource in 2030 and 2060

指标	2030年	2060年
粮食产能/亿t	0.850	1.150
秸秆理论资源量/亿t	1.031	1.395
可收集秸秆资源量/亿t	0.928	1.256
秸秆可收集系数	0.9	0.9
秸秆综合利用率/%	98	100
秸秆还田率/%	70	70
秸秆还田量/亿t	0.650	0.879
饲料化利用量/亿t	0.043	0.060

在保障黑土地质量和畜牧饲草需求的基础上,加强秸秆燃料化、基料化和原料化等多元化利用,预计秸秆综合利用率将保持稳定增加,直至达到资源化全部利用。按照全国秸秆综合利用率的变化,可推测到2033年黑龙江省的秸秆综合利用率将达到100%,即秸秆全部被利用。在土壤有机质含量为1%、年矿化率为2%、腐殖化系数为20%的情况下,为保证粮食稳产增产,保障耕地土壤肥力,适宜的秸秆还田率为50%~70%,而黑龙江省2020年秸秆还田率已高达74.4%,因此还田需求已基本满足,由此认为到2030年和2060年的秸秆还田量维持在70%即可,即分别为0.650亿t、0.879亿t。另外,2020年黑龙江省的饲料化利用量为0.039亿t,基于中国农业产业模型(CASM)预测黑龙江省秸秆饲料化利用量变化趋势,按照牛肉、羊肉总产量增长率均为1.1%预测,预计到2030年和2060年可分别达到0.043亿t、0.060亿t。

2.2.2 农村能源消费量预测

根据最新统计数据显示,目前我国总人口数为14.0亿,预计2030年我国人口数将达到14.5亿左右(《国家人口发展规划(2016—2030年)》),但存在人口老龄化程度严重的问题,在未来,人口死亡率必将高于出生率,据估计,到2060年,我国人口预计会减少到10亿左右。另外,2020年年末,我国常住人口城镇化率已超过60%(中华人民共和国2020年国民经济和社会发展统计公报),预计2030年我国常住人口城镇化率约为70%,2050年约为80%(《城市蓝皮书:中国城市发展报告No.12》),据此可推测出2060年我国常住人口城镇化率约为85%。由此计算出2030年、2060年农村常住人口约为4.35亿和1.50亿。另外,近15年来,黑龙江省农村人口在全国农村人口中平均占比为2.59%(数据来源于国家统计局)(图5),因此可推算出2030年、2060年黑龙江省农村常住人口约为

0.113亿和0.039亿。另外,基于我国农村人均生活能耗数据进行预测,2030年、2060年农村人均生活能耗分别为0.519t标煤和0.568t标煤(仍低于欧盟28国人均生活能源,2018年约为0.777t标煤,数据源于国际能源署IEA),因此2030年、2060年黑龙江省农村居民生活能源消费总量分别为0.059亿t标煤和0.022亿t标煤。

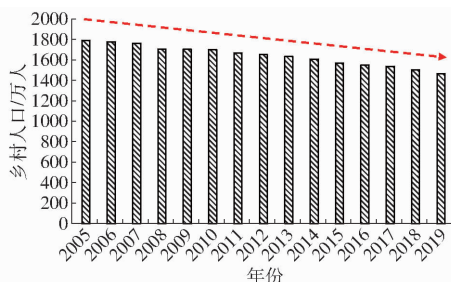


图5 黑龙江省农村人口变化情况

Fig.5 Change of rural population in Heilongjiang Province

2.2.3 农村能源结构预测

农村能源消费结构主要与能源的经济成本、可用性、易用性和清洁度以及居住地的乡村类型、居住时间、家庭特征、政府投资补贴政策、农村居民的受教育程度和传统习惯等有关^[18],另外,也受农村能源消费量、农村常住人口数、农村常住居民人均可支配收入、农村居民消费价格指数等因素的影响^[17]。随着农村居民受教育程度和农村居民收入水平的普遍提升,预计使用传统能源的占比逐渐下降,如煤炭、石油,而使用清洁能源的占比逐渐上升,如电力、太阳能^[10]。另外结合近10年的黑龙江省农村用能结构变化情况,按照不同能源类型的平均增长速率(表3),可预测2030年商品能源中煤炭、电力、成品油、液化石油气分别占比为42.917%、9.211%、12.360%、5.386%,非商品能源中秸秆、薪柴、太阳能分别占比为8.987%、16.921%、3.697%;2060年

表3 2030年和2060年黑龙江省农村能源结构预测

Tab.3 Prediction of rural energy structure in Heilongjiang Province in 2030 and 2060

农村能源 类型	平均增长 率/%	占比/%		
		2030年	2060年	
商品能源	煤炭	-3.551	42.917	13.034
	电力	0.858	9.211	10.695
	成品油	3.830	12.360	34.297
	天然气	7.011	0.234	1.602
	煤气	-1.501	0.025	0.014
非商品能源	液化石油气	4.344	5.386	17.313
	秸秆	-15.761	8.987	0.047
	薪柴	-2.181	16.921	7.849
	沼气	-0.473	0.262	0.204
	太阳能	5.145	3.697	14.945

商品能源中煤炭、电力、成品油、液化石油气分别占比为 13.034%、10.695%、34.297%、17.313%，非商品能源中秸秆、薪柴、太阳能分别占比为 0.047%、7.849%、14.945%。总体上，商品能源比重逐渐增加，非商品能源比重逐渐减少，这与京津冀地区农村居民生活能源消费变化类似^[20]。

尽管考虑到成本、基础设施、使用便捷程度、农村能源服务体系等问题，目前在东北地区冬季供暖更多使用的是煤炭^[14]，但在双碳背景下，能够替代化石能源实现碳减排目标的能源和技术的推广也将成为必然趋势，如秸秆能源化利用^[21-23]。2020年黑龙江省秸秆肥料化、燃料化、饲料化、基料化、原料化利用率分别占秸秆可收集量的 74.41%、9.97%、4.97%、0.08%、0.58%。其中秸秆基料化和原料化利用总体规模较小，仅占秸秆可收集量的 0.66%，未来将保持缓慢增加。另外，在满足秸秆还田和秸秆饲料化需求基础上，优化农村能源结构，将秸秆能源化（燃料化）比例最大程度的提升，替代化石能源为节能减排、改善农村空气质量做贡献^[13]。根据 2.2.1 节中 2030 年、2060 年可收集秸秆资源量分别为 0.928 亿 t、1.256 亿 t，秸秆还田量分别为 0.650 亿 t、0.879 亿 t，秸秆饲料化利用量分别为 0.043 亿 t、0.060 亿 t，由此可推算出 2030 年、2060 年可用于秸秆能源化的最大潜能分别为 0.235 亿 t、0.317 亿 t，折合标煤分别为 0.045 亿 t 标煤、0.061 亿 t 标煤，分别占 2030 年、2060 年黑龙江省农村居民生活能源消费总量的 5.183%、18.529%（表 4）。在减排背景下，按照主要的秸秆能源化技术的温室气体平

均减排量 1 050.4 g CO₂e/kg 计算^[24]，可推测 2030 年、2060 年秸秆能源化的温室气体减排量贡献分别为 0.247 亿 t CO₂e、0.333 亿 t CO₂e。

表 4 2030 年和 2060 年秸秆替代化石能源减排贡献预测
Tab.4 Prediction of emission reduction contribution of straw on fossil energy substitution in 2030 and 2060

指标	2030 年	2060 年
秸秆能源化最大潜能/亿 t	0.235	0.317
折合标煤/亿 t 标煤	0.045	0.061
农村生活能源消费总量占比/%	5.183	18.529
温室气体减排量贡献/亿 t CO ₂ e	0.247	0.333

3 结论

(1) 黑龙江省农村生活用能稳定在 0.220 亿 t 标煤，农村生活用能结构以秸秆、煤炭为主，特别是秸秆使用的占比显著高于全国秸秆使用的 32.54%；秸秆散烧、生物质成型燃料的使用对温室气体减排贡献分别为 0.014 亿 t CO₂e、0.013 亿 t CO₂e。经预测，2030 年、2060 年黑龙江省农村居民生活能源消费总量分别为 0.059 亿 t 标煤、0.022 亿 t 标煤。

(2) 黑龙江省 2030 年、2060 年可收集秸秆的资源量分别为 0.928 亿 t、1.256 亿 t。其中，在减排背景下可用于秸秆能源化的最大潜能分别为 0.235 亿 t、0.317 亿 t，分别折合为 0.045 亿 t 标煤、0.061 亿 t 标煤，分别占农村居民生活能源消费总量的 5.183%、18.529%。温室气体减排量贡献分别为 0.247 亿 t CO₂e、0.333 亿 t CO₂e。

参 考 文 献

- [1] CIAIS P, WANG Y, ANDREW R, et al. Biofuel burning and human respiration bias on satellite estimates of fossil fuel CO₂ emissions[J]. Environmental Research Letters, 2020, 15(7):74036.
- [2] 曾鸣, 王永利, 宋福浩. 碳中和赋予农村能源转型新内涵[N]. 中国能源报, 2021(6):1.
ZENG Ming, WANG Yongli, SONG Fuhao. Carbon neutrality endows ruralenergy transformation with new connotation[N]. China Energy News, 2021(6):1. (in Chinese)
- [3] 唐伟, 李俊峰. 农村能源消费现状与“碳中和”能力分析[J]. 研究与探讨, 2021(5):60-65.
TANG Wei, LI Junfeng. Analysis on current situation of rural energy consumption and carbon neutralization capability[J]. Reseach and Approach, 2021(5):60-65. (in Chinese)
- [4] YAO Zonglu, KANG Kang, CONG Hongbin, et al. Demonstration and multi-perspective analysis of industrial-scale co-pyrolysis of biomass, waste agricultural film, and bituminous coal[J]. Journal of Cleaner Production, 2021, 290:125819.
- [5] 王粟, 于秋月, 裴占江, 等. 黑龙江省农作物秸秆能源化利用模式及发展路径研究[J]. 黑龙江农业科学, 2021(5):85-88.
WANG Su, YU Qiuyue, PEI Zhanjiang, et al. Research on energy utilization model and development path of crop straw in Heilongjiang Province[J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2021(5):85-88. (in Chinese)
- [6] LANG Qianqian, ZHANG Bo, LIU Zhengang, et al. Co-hydrothermal carbonization of corn stalk and swine manure: combustion behavior of hydrochar by thermogravimetric analysis[J]. Bioresource Technology, 2019, 271(30):75-83.
- [7] CAI Junmeng, XU Di, DONG Zhujun, et al. Processing thermogravimetric analysis data for isoconversional kinetic analysis of lignocellulosic biomass pyrolysis: case study of corn stalk[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018, 82:2705-2715.
- [8] 卢明名, 赵艳, 韩丽萍. 黑龙江省绥化市农村家庭能源消费分析[J]. 宁夏农林科技, 2012, 53(2):46-47.
LU Mingming, ZHAO Yan, HAN Liping. Energy consumption analysis of rural households in Suihua City, Heilongjiang

- Province[J]. *Ningxia Journal of Agricultural and Forestry Science & Technology*, 2012, 53(2):46-47. (in Chinese)
- [9] 姚宗路, 赵立欣, 田宜水, 等. 黑龙江省农作物秸秆资源利用现状及中长期展望[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(11):288-292.
YAO Zonglu, ZHAO Lixin, TIAN Yishui, et al. Utilization status and medium and long-term forecast of crop straw in Heilongjiang Province[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(11):288-292. (in Chinese)
- [10] 徐长勇, 尚杰. 黑龙江省农村能源利用及生物质能发展实证研究[J]. *林业经济*, 2009(5):58-60.
XU Changyong, SHANG Jie. On the rural energy utilization and bio-energy development in Heilongjiang Province[J]. *Forestry Economics*, 2009(5):58-60. (in Chinese)
- [11] 王粟, 刘杰, 史凤梅, 等. 黑龙江省农村可再生能源发展现状和问题及对策研究[J]. *黑龙江农业科学*, 2019(10):106-110.
WANG Su, LIU Jie, SHI Fengmei, et al. Analysis on the development path of soybean industry revitalization in Heilongjiang Province[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2019(10):106-110. (in Chinese)
- [12] 韩永明, 韩少卿. 中国农村家庭能源消费与节能分析[J]. *问题探讨*, 2020(5):165-169.
HAN Yongming, HAN Shaoqing. Energy consumption and energy-saving analysis in rural households of China[J]. *Problem Discussion*, 2020(5):165-169. (in Chinese)
- [13] 郝瑞, 吴相利. 黑龙江省农村炊用能源结构分析[J]. *统计与咨询*, 2020(4):6-9.
XI Rui, WU Xiangli. Analysis of rural cooking energy structure in Heilongjiang Province[J]. *Statistics and Consulting*, 2020(4):6-9. (in Chinese)
- [14] 李春桃. 黑龙江省农村居民主要生活能源构成时空变化分析[J]. *绥化学院学报*, 2019, 39(9):33-36.
LI Chuntao. Spatial-temporal variation analysis of main living energy composition of rural residents in Heilongjiang Province[J]. *Journal of Suihua University*, 2019, 39(9):33-36. (in Chinese)
- [15] 丁玲, 张原野. 黑龙江省农村清洁能源的有效利用[J]. *中外企业家*, 2015(10):17-19.
DING Ling, ZHANG Yuanye. Effective utilization of rural clean energy in Heilongjiang Province[J]. *Chinese and Foreign Entrepreneurs*, 2015(10):17-19. (in Chinese)
- [16] 王春玉. 黑龙江省能源资源禀赋、农村能源政策及农民收入水平对农村能源消费影响机理研究[J]. *佳木斯大学社会科学学报*, 2021, 39(3):74-77.
WANG Chunyu. The influence mechanism of energy resource endowment, rural energy policy and farmer income level on rural energy consumption in Heilongjiang Province[J]. *Journal of Social Sciences, Jiamusi University*, 2021, 39(3):74-77. (in Chinese)
- [17] 王春玉. 东北三省农村能源消费结构及影响因素研究[J]. *牡丹江师范学院学报(自然科学版)*, 2021(2):6-10.
WANG Chunyu. Research on rural energy consumption structure and influencing factors in three provinces of Northeast China[J]. *Journal of Mudanjiang Normal University (Natural Science Edition)*, 2021(2):6-10. (in Chinese)
- [18] 田宜水. 中国农村能源政策、现状评估和发展方向研究[J]. *农村能源*, 2020, 42(5):25-30.
TIAN Yishui. Current situation evaluation and development direction of China's rural energy policy[J]. *Rural Energy*, 2020, 42(5):25-30. (in Chinese)
- [19] 李秀峰, 徐晓刚, 刘利亚. 我国农村秸秆能源消费及其预测[J]. *生态经济*, 2009(1):78-81.
LI Xiufeng, XU Xiaogang, LIU Liya. Consumption of crop straw and its prediction in China's rural areas[J]. *Green Economy*, 2009(1):78-81. (in Chinese)
- [20] 罗国亮, 徐玄, 张嘉昕. 京津冀农村生活能源消费变化及影响因素分析[J]. *华北电力大学学报(社会科学版)*, 2021, 2(2):20-30.
LUO Guoliang, XU Xuan, ZHANG Jiaxin. An empirical analysis on the changes and influencing factors of rural energy consumption in Beijing, Tianjin and Hebei[J]. *Journal of North China Electric Power University (Social Sciences)*, 2021, 2(2):20-30. (in Chinese)
- [21] 吕红雨, 李冠男, 徐莉. 黑龙江省发展农村能源技术探析[J]. *大庆师范学院学报*, 2010, 30(3):105-107.
LÜ Hongyu, LI Guannan, XU Li. Analysis on developing rural energy technology in Heilongjiang Province[J]. *Journal of Daqing Normal University*, 2010, 30(3):105-107. (in Chinese)
- [22] SHEN Ruixia, CHEN Runlu, YAO Zonglu, et al. Engineering and microbial characteristics of innovative lab and pilot continuous dry anaerobic co-digestion system fed with cow dung and corn straw[J]. *Bioresource Technology*, 2021, 342:126073.
- [23] 王伟伟, 蔡丹艳, 谢进杰, 等. 玉米秸秆粉料致密成型离散元模型参数标定[J]. *农业机械学报*, 2021, 52(3):127-134.
WANG Weiwei, CAI Danyan, XIE Jinjie, et al. Parameters calibration of discrete element model for corn stalk powder compression simulation[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2021, 52(3):127-134. (in Chinese)
- [24] 霍丽丽, 姚宗路, 赵立欣, 等. 秸秆综合利用减排固碳贡献与潜力研究[J]. *农业机械学报*, 2022, 53(1):349-359.
HUO Lili, YAO Zonglu, ZHAO Lixin, et al. Contribution and potential of comprehensive utilization of straw in GHG emission reduction and carbon sequestration[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2022, 53(1):349-359. (in Chinese)