

# 2018年山东省农村居民生活能源消费 及大气污染物排放研究

郭乾乾, 战超, 战琦梦

(鲁东大学 资源与环境工程学院, 山东 烟台 264039)

**摘要:** 改善农村家庭生活能源消费结构是治理大气污染和生态环境恶化的一个重要途径。本文以2018年山东省农村生活能源消费结构及使用量为研究对象,通过实地调查与问卷统计分析得出:2018年山东省农村人均生活能源消费量为550.76 kgce,电力燃气、煤炭、秸秆柴薪分别占总消费量的13.54%、35.28%、46.57%;人均大气污染物排放量分别为9.12 kg(SO<sub>2</sub>)、0.87 kg(NO<sub>x</sub>)、2.18 kg(TSP)、29.52 kg(CO),其中煤炭排放占53.37%,秸秆柴薪排放占43.21%。由于经济水平与资源禀赋等因素的影响,山东省农村居民生活能源消费商品率较高,形成以秸秆煤炭等传统高污染能源为主的消费结构。建议加快农村生活能源结构向清洁能源转型。

**关键词:** 农村生活能源消费结构; 能源消费差异; 大气污染物排放; 山东省

**中图分类号:** F323.214 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2021)02-0174-09

我国经过改革开放四十年年的发展,工业化水平进入了工业化后期,经济体的产业结构由重化工主导转向技术密集型主导,工业能源利用率普遍提高,工业能耗量比重下降,居民生活能源消费成为除工业用能之外能源需求的一个新增长点,其中,农村居民生活能源消费量更是呈现大幅增长的趋势<sup>[1]</sup>。21世纪以来农村居民生活人均用能大幅增加,能耗量从2000年的76 kgce(千克标准煤)增加到2011年258 kgce,11年增加了2倍多<sup>[2]</sup>。尽管农村生活能源消费量占中国能源消费总量相对较小,但对污染物排放的增加以及对健康和气候的不利影响却很突出,这是因为农村地区广泛使用的固体燃料排放因子非常高<sup>[3]</sup>。由于农村地区面积广大、分布分散以及经济水平相对落后,无法实现集中供能,导致农村生活能源消费在整个能源消费体系中相对独立,用能方式也较为分散,能源结构更为高碳化与高污染。在农村居民生活水平提高、能源消费量急剧增长的大背景下,农村生活能源消费带来的环境问题日趋严重,而关于农村居民的能源消耗和污染排放

数据却没有相对完备的调查记录,从而导致生活能源消费所带来的健康危害与生态环境问题长期无法得到妥善解决<sup>[4]</sup>。

农村生活能源问题早已备受关注。国外学者从不同视角作了大量研究,研究对象多集中在经济发展水平较低的发展中国家<sup>[5-7]</sup>。我国关于农村生活用能的研究非常丰富,研究内容从单一分析用能结构扩展到能源的生态环境影响等各个方面;研究对象集中在国家或区域层面,基于不同地域空间尺度和中小尺度的能源研究相对薄弱,多采用宏观数据,关于农户层面的定点调查、定量研究不够,使得研究结果的针对性不强<sup>[8-13]</sup>。

山东地区农村生活能源消费作为该地污染物排放的重要来源,其消费结构与其他地域相比有显著的区域性特征,化石能源与传统生物质能源并重,这与其区域资源禀赋、气候条件、经济条件、社会结构等因素息息相关。不同县市经济发展水平不同、平原与丘陵山地地区地形特征不同、不同地区农业种植发展条件不同带来区域间能源消费结构不同,对环境的影响也大小不一<sup>[14]</sup>。本文采

收稿日期: 2021-02-10; 修回日期: 2021-03-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(41901006,41471005); NSFC—山东联合基金项目(U1706220); 山东省基金(ZR2019BD005); 山东高校青创科技团队(2020KJH002)

第一作者简介: 郭乾乾(1995—),男,山西长治人,硕士研究生,研究方向为河口海岸环境研究。E-mail: guo2018xia@163.com

通信作者简介: 战超(1986—),女,山东莱州人,副教授,博士,研究方向为海岸地貌方面研究。E-mail: zhanchaolddx@126.com

用山东地区农村实地调研数据,结合国内外相关的研究成果,对2018年该地区的农村居民生活能源消费用能特征、能源消费结构区域差异及大气污染物的排放进行探讨。

## 1 研究区概况

山东省位于中国东部沿海、黄河下游,陆域位于东经 $114^{\circ}48'$ ~ $122^{\circ}42'$ 、北纬 $34^{\circ}23'$ ~ $38^{\circ}17'$ ,东西长721.03 km,南北长437.28 km。境域包括半岛和内陆两部分,中部山地突起,西南、西北低洼平坦,东部缓丘起伏,形成以山地丘陵为骨架、平原盆地交错环列其间的地形大势。境内地貌复杂,大体可分为平原、台地、丘陵、山地等基本地貌类型:平原主要分布在鲁西北地区 and 鲁西南局部地区,台地主要分布在东部地区,丘陵主要分布在东部、鲁西南局部地区,山地主要分布在鲁中地区和鲁西南局部地区<sup>[15]</sup>。

山东省气候属暖温带季风气候类型。降水集中,雨热同季,春秋短暂,冬夏较长。年平均气温 $11\sim 14^{\circ}\text{C}$ ,全省气温地区差异东西大于南北:年平均降水量一般在550~950 mm之间,由东南向西北递减。降水季节分布很不均衡,集中于夏季,易形成涝灾,冬、春及晚秋易发生旱象,对农业生

产影响最大。

## 2 数据与研究方法

### 2.1 数据来源

本次调查根据农村不同时序的能源消费特征分为取暖期与非取暖期进行,取暖期调查于2018年1—2月开展,非取暖期调查于2018年6—8月开展。问卷是在总结2012年全国农村居民生活能源结构和非生物质燃料用量的调查经验的基础上设计实施的,结合山东省能源特点、经济发展状况等,将调查内容分为五部分:农户家庭基本信息、能耗活动种类、主要使用能源、定量能耗数据和主要耗能工具,最终获得山东省农村居民能源结构及能源消耗量。

本次调查随机抽取山东省各地级市空间分布均匀的1~3个县级行政区,随后在每个县级行政区内抽取2~5个村(图1),并在所选村中随机抽取40~60户进行入户调查。最终收回问卷6000份,其中有效问卷为5933份,保证了样本容量和数据精度;同时通过对样本资料的分析,剔除个别有问题的问卷,选择最具代表性的样本数据,确保调查资料的代表性、可靠性。

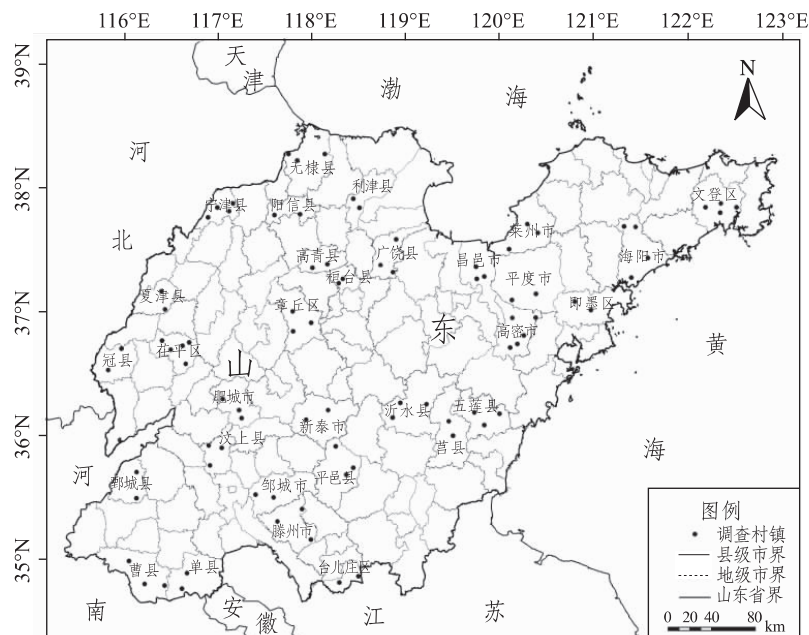


图1 调研点分布

Fig.1 Distribution of research sites

## 2.2 研究方法

山东省农村生活能源消费类型主要有电力、煤炭、燃气与秸秆柴薪等。为方便不同种类能源的比较,在处理统计数据过程中根据《综合能耗计算通则》(GB2589—2008)标准以及相关研究文献<sup>[16]</sup>,统一将各种能源的实物消耗量折算为标准煤消耗量(kgce),部分标准煤折算系数见表1。

表1 生活能源折算标准煤系数  
Tab.1 Conversion standard coal coefficient of residential energy

能源种类	平均低位发热量	折算系数
电能	3600 kJ · kW <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup>	0.12 kgce · kW <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup>
原煤	20 908 kJ · kg <sup>-1</sup>	0.71 kgce · kg <sup>-1</sup>
蜂窝煤	20 000 kJ · kg <sup>-1</sup>	0.68 kgce · kg <sup>-1</sup>
秸秆	14 635 kJ · kg <sup>-1</sup>	0.53 kgce · kg <sup>-1</sup>
薪柴	16 726 kJ · kg <sup>-1</sup>	0.57 kgce · kg <sup>-1</sup>
液化石油气	50 179 kJ · kg <sup>-1</sup>	1.71 kgce · kg <sup>-1</sup>
管道煤气/天然气	38 931 kJ · m <sup>-3</sup>	1.33 kgce · m <sup>-3</sup>
玉米芯	14 552 kJ · kg <sup>-1</sup>	0.50 kgce · kg <sup>-1</sup>
颗粒/压缩燃料	45 719 kJ · kg <sup>-1</sup>	1.56 kgce · kg <sup>-1</sup>

在对各项能耗量进行核算后,选择农村生活能源消费排放的NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、TSP、CO为主要研究对象<sup>[17-18]</sup>,利用排放因子法估算农村生活能源消费所排放的污染物的数量。污染物排放因子<sup>[19]</sup>是指单位燃料(如秸秆柴薪和煤炭)燃烧所产生的污染物排放量,其单位为g · kgce<sup>-1</sup>。综合《2006年IPCC国家温室气体指南》中列出的排放指标与有关排放因子的文献研究<sup>[20-24]</sup>,汇总各类农村生活能源燃烧污染物排放数据,总结山东地区的污染物排放因子。部分生活能源污染物排放因子如表2所示。

表2 生活能源污染物排放因子  
Tab.2 Pollutant emission factor of residential energy  
单位: g · kgce<sup>-1</sup>

能源类别	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	TSP	CO
秸秆	4.09	1.51	7.61	49.89
柴薪	3.62	1.23	6.51	65.43
煤炭	5.87	2.63	1.82	75.15
燃气	—	0.01	—	0.34

注:不同煤炭含硫量不同,此处煤炭SO<sub>2</sub>排放采用山东省不同煤种的平均含硫量数值进行计算。

农村生活能源消费排放的污染物估算公式为:

$$Q_j = \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} \times \beta_{ij}, \quad (1)$$

式中:  $Q_j$  为  $j$  地区农村生活用能产生的NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、TSP、CO排放总量;  $\alpha_{ij}$  为  $j$  地区对能源类型的实际消费量;  $\beta_{ij}$  为地区消费能源的NO<sub>x</sub>、SO<sub>2</sub>、TSP、CO排放因子;  $i$  为能源类型。

## 3 研究结果分析

### 3.1 调查区域农户家庭基本情况

山东省家庭人口规模大多为4人以下,多于4人的家庭仅占14.05%;从人口结构上来看,人口老龄化程度较高,65岁以上人数占16.36%,远超出本省14%的平均水平,威海、烟台、青岛、日照四市甚至达到20%以上;高中以上文化程度人口占比21.25%,受教育程度相对较高;多数家庭主要劳动力以务农与打工为收入来源,可占到60%以上,户均收入为4万元以上,收入水平高,但地区间收入水平差距较大(表3)。总体而言,山东省农村的经济社会发展水平处于我国前列,人口密集,教育水平较高,经济发展快,但老龄化严重且不同地区间发展水平差异明显。

### 3.2 农村家庭能源使用量与消费结构分析

2018年山东省样本调查地区的能源消费以煤炭、液化气、电力、秸秆柴薪为主。户均能源消费量为1793.17 kgce,人均能源消费量为550.76 kgce,远超出全国的人均消费量(415.6 kgce)。具体来看:潍坊、济南与青岛三市人均能源消费量较高,滨州、枣庄、聊城三市较低,其中潍坊消费量最高(761.56 kgce),聊城市消费量最低(355.63 kgce)(图2)。

调查区内生活能源消费电力燃气、煤炭、秸秆、柴薪与其他能源分别占总消费量的13.54%、35.28%、23.36%、23.21%和4.61%,其中商品能源所占比例超出一半以上,达到53.43%,但秸秆、薪柴等传统生物质能源仍然是能源消费的主要组成部分,达到46.57%,呈现商品能源与传统生物能源并重的状况。在清洁能源消费方面,调查区除普遍使用液化气之外,还使用管道天然气等能源。由于山东省煤改气工程刚开始推进,管道天然气的普及率较低,仅有5.62%。调研过程中消费量最高的三市中,济南与潍坊柴薪秸秆占47%以上,煤炭占40%左右,而青岛除煤炭、柴薪以外电力消费相对较高,占到17.35%;消费量最

低的三市中, 滨州与枣庄能源消费占据主导的是 柴薪、电力燃气三者相对持平的能源消费形态  
 秸秆柴薪, 在 60% 左右, 聊城则呈现出煤炭、秸秆 (图 3)。

表 3 调查区农户家庭基本情况  
 Tab.3 Basic information of rural residential in the survey areas

地区	户人口数≤4 占比/%	年龄≥65 人口 占比/%	高中以上学历 人口占比/%	人口务农率 /%	外出打工率 /%	家庭平均 年收入/元
滨州	90.71	12.47	30.63	42.18	23.08	49 476.89
德州	82.17	17.54	12.52	32.03	35.46	10 434.59
东营	86.96	12.18	23.73	40.92	17.56	38 360.15
菏泽	84.18	15.10	18.46	46.59	18.19	24 135.71
济南	82.00	13.73	27.48	47.83	26.09	46 550.00
济宁	73.13	13.41	26.28	38.64	27.95	46 178.78
聊城	96.60	12.43	31.52	37.00	26.61	41 146.49
临沂	88.96	14.69	20.81	49.57	36.98	37 126.77
青岛	88.35	22.90	17.86	46.61	11.47	52 136.99
日照	90.12	21.00	28.00	46.55	20.73	30 605.00
泰安	94.37	11.29	18.24	43.64	21.75	27 278.79
威海	94.52	23.45	12.57	53.59	19.29	54 630.14
潍坊	88.57	16.79	18.72	48.98	22.68	38 508.94
烟台	94.74	22.35	23.32	55.55	19.27	84 241.35
枣庄	81.68	12.62	13.35	48.31	15.51	30 547.16
淄博	70.51	19.77	27.65	40.22	26.18	36 764.48
山东省	86.72	16.36	21.25	44.33	24.17	40 507.64

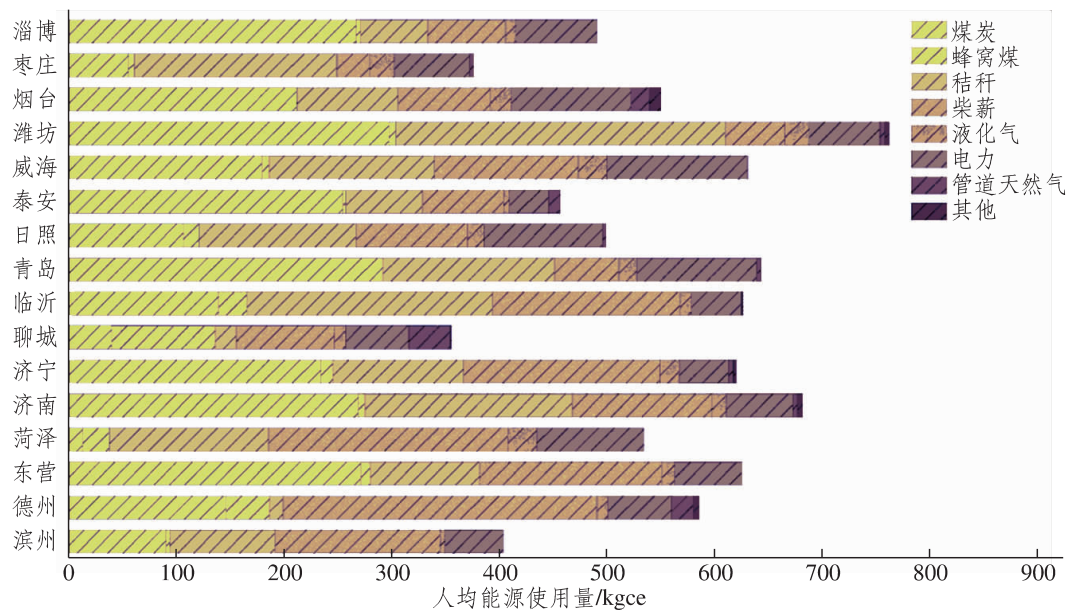


图 2 2018 年山东省农村生活能源人均消费量  
 Fig.2 Per capita consumption of rural residential energy in Shandong Province in 2018

根据各市农村不同能源消费使用情况,山东省农村家庭生活能源消费结构大致分为四种类型。以菏泽、滨州、临沂、枣庄和德州为代表的传统生物质能源型消费结构,秸秆柴薪消费占主导地位,消费量占50%以上,煤炭与电力作为次要能源消费;以淄博、泰安为代表的煤炭型消费结构,煤炭消费量占50%以上,秸秆柴薪与电力作

为次要能源消费;以济南、东营、济宁和潍坊为代表的煤薪并重型消费结构,煤炭与柴薪消费量居高不下,其户均能源消费量也为调查区之最;以青岛、烟台、威海、日照和聊城为代表的能源平衡型消费结构,煤炭与柴薪消费量相对较低,电力与燃气消费量上升,占据较大比重。

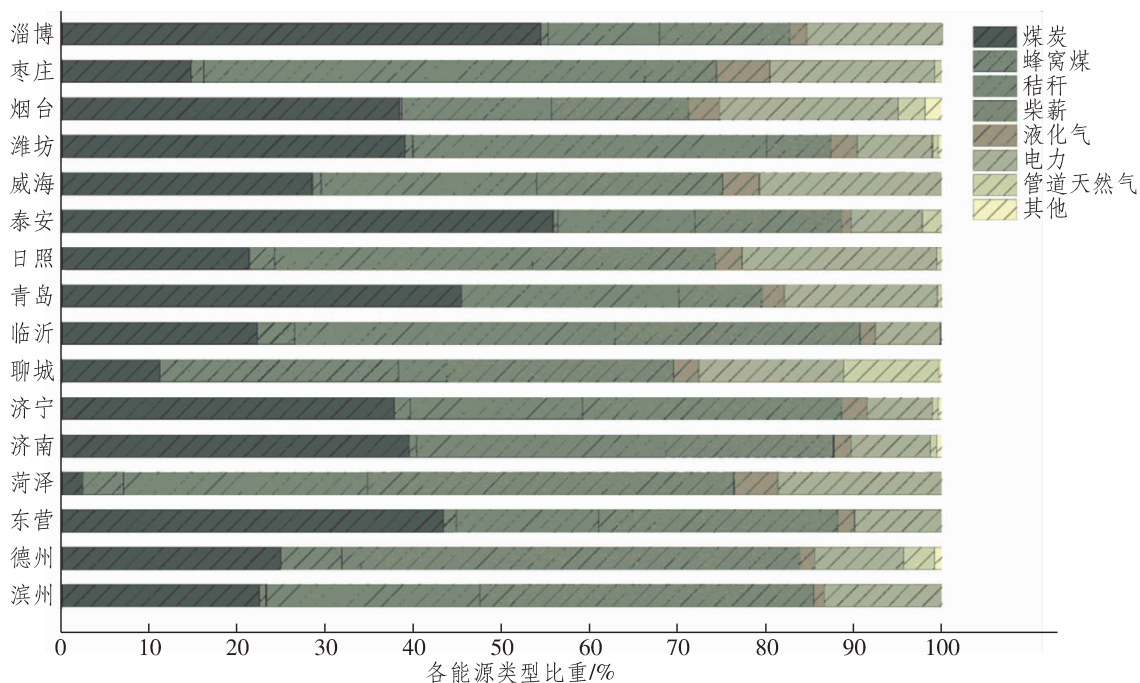


图3 2018年山东省农村生活能源消费比例

Fig.3 Proportion of rural residential energy consumption in Shandong Province in 2018

由于经济水平的提高,山东省农村能源消费总量有很大提高,能源商品率上升,煤炭与电力取代秸秆柴薪成为主要消费能源,但秸秆柴薪仍占有重要地位,出现煤电与柴薪并重的局面,且清洁能源使用率低下,这样的消费结构带来严重的环境污染问题。此外,受资源禀赋与经济发展水平不同的影响,不同地市能源消费结构表现出明显的差异性,胶东丘陵地区经济发展水平较高,电力、燃气消费相对较高;鲁中山地丘陵区地区煤炭资源较丰富,工业发达,且取暖需求较为迫切,煤炭消费量居于首位;其余平原地区多为重要的农业区,经济发展水平相对一般,但秸秆柴薪资源丰富,生物质能源消费居高不下。

### 3.3 生活能源消费动态分析

从能源用途方面来看,调查样本区农户的生

活用能主要分为取暖制冷、炊饮以及其他日常家用三类,其中炊饮与取暖制冷为主要能源消费用途。炊饮能源消费以柴薪秸秆等传统生物质能源为主,取暖以煤炭为主。总体而言,山东省调查区内取暖制冷用能与炊饮用能消费量相对持平,取暖制冷能源消费占总消费量的43.77%,炊饮能源消费量占46.16%,其余能源消费占10.07%(表4)。根据调查结果,取暖能源主要以煤炭(蜂窝煤)为主,秸秆柴薪、电力为辅;制冷能源基本全部来源于电力;炊饮能源消费类型则更为多样,做主食时柴薪秸秆的消费量最大,电力为辅,做副食以及烧水等方面,液化气、电力使用率更高;其他用能包括照明、休闲娱乐、牲畜饲养等方面,照明、休闲娱乐能耗主要以电力为主,曾占家庭生活能源消费量一定比例的牲畜饲养用能方式在此次调查中已基本消失。

表4 山东省农村不同用途生活能耗率

Tab.4 Rural residential energy consumption rate of different uses in Shandong Province

用能类型	单位: %		
	炊饮	取暖制冷	其他用能
柴薪	53.54	22.45	15.94
煤炭	4.56	55.93	8.27
电力	11.83	19.56	63.43
燃气	29.01	2.10	—
其他	1.06	—	12.36
总用能	46.16	43.77	10.07

与2012年的一项相关研究中山东省农村生活能耗中炊事照明与取暖制冷7:2的比例相比<sup>[16]</sup>,随着生活能源总消费量的提升,2018年山东省农村炊饮用能的比重已经下降,取暖制冷用能与其他日常用能比重迅速上升。一方面是由于家庭住宅面积增大,取暖面积也随之增大,土暖气、空调、电热器等取暖设备的普及,推动能源消费尤其是煤炭消费上升;另一方面人们对休闲娱乐的需求上升,照明、其他日常电器的能耗量也随之上升。

从季节变化方面来看,山东省作为暖温带季风气候区,季节差异较为明显,由此农村生活能源消费也随季节动态变化。在能源使用量上,冬季作为取暖高峰期,户均能源消费为774.53 kgce, 占总能源消费的43.75%;夏季作为制冷高峰期,户均能源消费423.07 kgce, 占总能源消费的23.90%(表5)。在能源使用类型上,液化气、秸秆柴薪的用量四季相对稳定,变化不大;煤炭在冬

季进入使用高峰期,主要用于取暖用途;电力在夏季使用较多,多用于空调与风扇等制冷设备。

### 3.4 农村能源消费大气污染排放情况

在山东省调研区内,由于生活能源大多以煤炭与秸秆柴薪为主,加之使用方式原始粗放,以直接燃烧为主,燃料效率低且消耗量大,不仅造成能源的极大浪费,而且不完全燃烧还排放大量污染物,污染大气,引发居民呼吸系统疾病,导致农村居民过早死亡率提升。根据获取的生活能源消费数据,采用排放因子法折算得到2018年山东省各地区人均大气污染物排放量(表6)。可以看到,山东省农村生活能源消费人均大气污染物排放量分别为9.12 kg(SO<sub>2</sub>), 0.87 kg(NO<sub>x</sub>), 2.18 kg(TSP), 29.52 kg(CO), 其中最大污染来自煤炭与柴薪秸秆,煤炭排放量占53.37%,秸秆柴薪排放量占43.21%,说明山东农村地区家庭污染源依旧以传统生物质能源与化石能源为主,污染严重。

表5 山东省农村生活能源消费季节变化

Tab.5 Seasonal change of rural energy consumption in Shandong Province

季节	能源使用量/kgce	使用比例/%
春季	320.00	18.08
夏季	423.00	23.90
秋季	252.85	14.28
冬季	774.53	43.75

表6 山东省农村生活能耗人均大气污染物排放量

Tab.6 Per capita air pollutant emissions of rural residential energy consumption in Shandong Province

地区	单位: kg							
	SO <sub>2</sub>		NO <sub>x</sub>		TSP		CO	
	2018	2016	2018	2016	2018	2016	2018	2016
潍坊	14.74	12.91	1.33	1.46	3.24	3.44	41.72	42.03
济南	13.29	13.41	1.17	1.46	2.81	3.34	38.76	31.70
东营	13.17	10.96	1.10	0.89	2.38	2.31	37.17	31.31
济宁	11.68	12.67	1.05	1.21	2.55	2.99	36.41	36.78
青岛	13.86	12.04	1.08	0.86	2.13	2.51	33.77	33.85
临沂	7.99	11.14	0.99	1.05	3.17	3.69	35.19	31.34
德州	7.97	9.96	0.87	0.80	2.33	2.15	33.69	27.71
淄博	12.44	11.28	0.90	0.77	1.44	1.29	28.21	32.06
威海	9.16	7.93	0.88	0.98	2.38	1.75	30.37	36.55
泰安	11.92	14.85	0.88	1.24	1.50	1.81	27.81	31.00
烟台	10.11	14.10	0.81	0.78	1.65	1.21	26.23	23.50
日照	5.84	6.88	0.67	0.65	2.00	2.68	23.13	30.38
菏泽	2.21	1.96	0.59	0.45	2.64	1.84	24.75	28.74
滨州	5.02	4.92	0.58	0.47	1.91	1.54	21.94	23.37
聊城	3.04	3.96	0.50	0.55	0.99	1.38	17.20	19.13
枣庄	3.40	3.63	0.48	0.58	1.74	2.41	15.97	17.43
山东省	9.12	9.54	0.87	0.89	2.18	2.27	29.52	29.80

根据2017年山东省各市统计年鉴,计算出2016年山东农村人均污染排放量(表6)。与2016年相比,2018年人均大气排污变化幅度较小,但总体呈下降趋势。具体到各市,聊城、泰安、枣庄各类型污染物排放量均处于下降趋势,泰安下降幅度最大,东营各类型污染物排放量均为上升趋势。在不同类型污染物排放量方面,CO排放量上升幅度最大的地区为济南,SO<sub>2</sub>排放量上升最快的地区为东营,菏泽的NO<sub>x</sub>与TSP排放量上升幅度均为最快。

## 4 结论

2018年山东省农村户均能源消费量为1 793.17 kgce,人均能源消费量为550.76 kgce。能源消费类型主要包括煤炭、秸秆柴薪、电力燃气四种,其中秸秆柴薪占人均总消费量的46.57%,煤炭占35.28%,电力、燃气占13.54%,表明生活用能仍以秸秆煤炭等传统高污染能源为主。另一方面,山东省农村商品能源使用率明显提高,达到50%以上,从侧面说明农村经济水平的提升。

2018年山东省农村能源消费存在明显的地区差异,形成传统生物质能源型、煤炭型、煤薪并重型与平衡型四种不同的消费结构。能源消费明显受到了经济水平与资源禀赋等因素的影响,农业种植区秸秆消费高,重工业、煤炭资源多的地区侧重于使用煤炭,而经济发展水平较高的地区商品能源使用率相对较高。能源消费主要用于炊饮与取暖制冷两方面:炊饮能源类型较为多样,以柴薪秸秆、电力与液化气为主;取暖能源主要依赖煤炭,制冷靠电力,由此出现季节性的能源消费变动。与此同时,照明、休闲娱乐等能源消费量显著增加。

大气污染物排放量与能源消费结构有着密切关系。2018年山东省农村生活能源消费人均大气污染物排放量分别为9.12 kg(SO<sub>2</sub>),0.87 kg(NO<sub>x</sub>),2.18 kg(TSP),29.52 kg(CO),煤炭与秸秆柴薪为主要排放源。山东省农村生活能源消费总量上升,但由于电力、燃气等相对清洁的能源消费比重加大,导致大气污染物排放量相对减少。

## 5 讨论与建议

总体来说,山东农村生活能源消费结构处于

向商品化、清洁化过渡转型时期,但柴薪秸秆消费仍占据较大比重,能源利用率相对较低,污染排放量高。随着农户家庭经济水平的提高,农村生活能源消费总量还会继续提高,使用的能源类型将更加多样化。结合国家正在推行的煤改气、煤改电工程的实施,以及对农村燃气使用的补助力度进一步加大,农村地区将更多使用燃气和电力能源,传统化石与生物质能源使用比重急剧下降,未来几年山东省农村生活能源消费结构转变速度将进一步加快。

由于资源禀赋、经济发展水平的不同,各地区用能结构存在较大差异。在发展水平相对落后的地区,政府要加大能源转型的扶持力度:一是要加快新型生物质燃料、风能、光伏等的开发利用;二是对仍需要燃煤燃薪的农村地区,推广新型节能灶具,提升能源利用率,减少污染物排放。

生活能源消费结构主要受经济水平的影响,发展水平高的地区,居民会更倾向于采用清洁能源。因此优化能源结构,必须结合乡村振兴战略,改善农民生活条件,同时加强清洁能源与环保知识的普及教育,以推动清洁能源在农村快速发展。

## 参考文献:

- [1] 邓慧慧,虞义华.中国农村能源系统绿色转型研究:基于中国农村家庭能源调查数据[J].浙江社会科学,2018(1):57-65.
- [2] 国家统计局能源统计司.中国能源统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2012.
- [3] TAO S, RU M Y, DU W, et al. Quantifying the rural residential energy transition in China from 1992 to 2012 through a representative national survey [J]. Nature Energy, 2018, 3(7): 567-573.
- [4] SHEN G, RU M, DU W, et al. Impacts of air pollutants from rural Chinese households under the rapid residential energy transition [J]. Nature Communications, 2019, 10(1): 3405.
- [5] ADKINS E, OPPELSTRUP K, MODI V. Rural household energy consumption in the millennium villages in Sub-Saharan Africa [J]. Energy for Sustainable Development, 2012, 16(3): 249-259.
- [6] SAN V, SRIV T, SPOANN V, et al. Economic and environmental costs of rural household energy consumption structures in Sameakki Meanchey district, Kampong Chhnang Province, Cambodia [J]. Energy, 2012, 48(1): 484-491.
- [7] DAVIS M. Rural household energy consumption: the

- effects of access to electricity – evidence from South Africa [J]. *Energy Policy*, 1998, 26( 3) : 207–217.
- [8] 王效华,冯祯民.中国农村家庭能源消费的回顾与展望[J].*农业机械学报*,2002( 3) : 125–128.
- [9] CAI J, JIANG Z. Changing of energy consumption patterns from rural households to urban households in China: an example from Shaanxi Province, China [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, 12( 6) : 1667–1680.
- [10] PING X, JIANG Z, LI C. Status and future perspectives of energy consumption and its ecological impacts in the Qinghai-Tibet region [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, 15( 1) : 514–523.
- [11] 孙永龙,牛叔文,胡媛媛,等.高寒藏区农牧村家庭能源消费特征及影响因素:以甘南高原为例[J].*自然资源学报*,2015,30( 4) : 569–579.
- [12] 张彩庆,郑金成,臧鹏飞,等.京津冀农村生活能源消费结构及影响因素研究[J].*中国农学通报*, 2015,31( 19) : 258–262.
- [13] 张彩庆,龚运.农村最优能源消费结构及测算方法研究:以京津冀地区为例[J].*江苏农业科学*,2018, 46( 16) : 359–362.
- [14] 李光全,聂华林,杨艳丽.中国农村生活能源消费的区域差异及影响因素[J].*山西财经大学学报*, 2010,32( 2) : 68–73.
- [15] 山东省地方志编纂委员会.山东省志:自然地理志[M].济南:山东人民出版社,1996.
- [16] 阚士亮,张培栋,徐艳,等.2012年山东省农村生活能源消费结构及环境影响分析[J].*中国沼气*, 2014,32( 6) : 83–89.
- [17] 王艳,郝炜伟,程轲,等.秸秆露天焚烧典型大气污染物排放因子[J].*中国环境科学*,2018,38( 6) : 2055–2061.
- [18] 刘伟龙.农户清洁能源消费影响因素研究[D].南昌:江西农业大学,2018.
- [19] 闫珍奇,叶维超,陈剑,等.浙江省农村能源结构及主要污染物排放量估算[J].*农业工程*,2017,7( 4) : 60–64.
- [20] 徐银鸿.北方典型地区农村清洁采暖污染物排放及综合效益评估[D].北京:北京化工大学,2020.
- [21] 鞠园华,杨夏捷,靳全锋,等.不同燃烧状态下农作物秸秆 PM 2.5 排放因子及主要成分分析[J].*环境科学学报*,2018,38( 1) : 92–100.
- [22] 杨夏捷,马远帆,鞠园华,等.华南农产品主产区 2005—2014 年秸秆露天燃烧污染物排放估算及时空分布[J].*农业环境科学学报*,2018,37( 2) : 358–368.
- [23] 刘君侠,刘琼玉,程晋俊,等.民用煤燃烧污染物排放因子研究[J].*江汉大学学报(自然科学版)*, 2019,47( 6) : 514–520.
- [24] 李静姝.农村固定源燃烧产生的多环芳烃、含氧及硝基多环芳烃的排放因子的研究[D].济南:山东大学,2020.

## Energy Consumption and Air Pollutant Emissions of Rural Residents in Shandong Province in 2018

GUO Qianqian, ZHAN Chao, ZHAN Qimeng

( School of Resources and Environmental Engineering, Ludong University, Yantai 264039, China)

**Abstract:** At present, it is the efficiently important way to control air pollution and ecological environment deterioration by improving rural residential energy structure. Based on field investigations and questionnaire statistical analysis, with taking the structure and consumption of residential energy structure in Shandong Province in 2018 as the research object, it was concluded that the per capita energy consumption of Shandong Province in 2018 was 550.76 kgce, and electricity and gas, coal, straw firewood accounted for 13.54%, 35.28%, and 46.57% of the total consumption, respectively. At the same time, the per capita emissions of air pollutants in rural areas of Shandong were 9.12 kg( $\text{SO}_2$ ), 0.87 kg( $\text{NO}_x$ ), 2.18 kg(TSP), and 29.52 kg(CO), in which, coal emissions accounted for 53.37%, and straw and firewood emissions accounted for 43.21%. Due to these factors such as economic level and resource storage, the rural residents in Shandong have a relatively high con-



sumption rate of energy commodities, obviously, forming a consumption structure dominated by traditional high-polluting energy such as straw and coal. In this regard, it is necessary to accelerate the transformation of the rural energy structure to clean energy.

**Keywords:** residential energy structure; energy amount difference; emission of air pollutants; Shandong Province

(责任编辑 顾建忠)

(上接第161页)

**Abstract ID:** 1673-8020(2021)02-0157-EA

## Optimized Extraction Conditions of Protein from Scallop *Chlamys farreri*

LI Li<sup>1</sup>, CAO Yanan<sup>2</sup>, JIANG Wen<sup>1</sup>, PEI Jiwei<sup>1</sup>, FAN Xiaotong<sup>1</sup>, LI Shengjie<sup>1</sup>, LIU Haimei<sup>1</sup>

(1. School of Food Engineering, Ludong University, Yantai 264025, China; 2. Yantai Institute of Marine Economy, Yantai 264003, China)

**Abstract:** To study alkali extraction technology of *Chlamys farreri* protein and optimize the extraction conditions, the protein extraction rate was taken as the index, and the protein extraction conditions including pH, temperature, solid-liquid ratio and reaction time were optimized by the single factor and orthogonal experiment. The dry protein of *Chlamys farreri* was obtained by redissolving, ammonium sulfate precipitation, dialysis and freeze-drying. The results showed that the optimal alkali extraction process parameters of *Chlamys farreri* protein were pH 12, temperature 40°C, ratio of solid to liquid 1:30 (W/W), and extraction time 6 h. Under the optimal alkali extraction conditions, the protein extraction rate was as high as 74.33%. When 50% to 60% saturation range of ammonium sulfate solution was used for alkali-soluble protein recovery, the protein precipitation rate reached 90.19%, and the overall recovery rate of protein in *Chlamys farreri* reached 67.04%. In conclusion, this study provides a reference for the extraction and separation of *Chlamys farreri* protein, and provides a theoretical basis for the subsequent development and utilization of *Chlamys farreri* protein.

**Keywords:** *Chlamys farreri*; alkali dissolving method; ammonium sulfate precipitation method; extraction yield; protein

(责任编辑 李维卫)