

青藏高原东北部土族家庭能源消费特征

李宏庆^{1,2}, 邢冉^{1,2}, 姜璐^{3,4}, 陈兴鹏⁴, 薛冰^{1,5}

(1. 中国科学院沈阳应用生态研究所, 沈阳 110016; 2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 广东省科学院广州地理研究所, 广州 510070; 4. 兰州大学资源环境学院, 兰州 730000; 5. 青海师范大学高原科学与可持续发展研究院, 西宁 810016)

摘要: 家庭能源消费特征因受地理环境及文化等影响而存在显著的人文空间差异, 尤其是对于特色或边远少数民族地区, 迫切需要加强相关调查实证研究。基于青海省 100 户土族家庭的实地调研, 从收入水平分组视角考察其能源消费特征, 分析家庭能源消费活动的环境效应, 并构建物质流模型予以可视化分析。结果表明: 土族家庭年人均能源消费量为 3473 kgce, 以煤炭、薪柴和秸秆等为主; 随着收入水平提升, 能源消费结构逐渐向多元化转变且对能源重要性的认知逐渐从生物质能源转向商品能源。家庭能源消费导致的年人均 CO₂、N₂O、NO_x、SO₂ 和 TSP 的产生量分别为 1856.87 kg、117.10 g、254.46 g、451.87 g 和 520.74 g。未来应增强清洁能源利用水平, 统筹推进青藏高原地区生活能源消费的可持续转型。

关键词: 家庭能源消费; 青藏高原; 环境效应; 能源物质流; 土族

能源对人类文明进步至关重要^[1,2]。能源相关问题是联合国 2030 年可持续发展目标的 17 个主要议题之一, 同时也是《巴黎协定》的核心关联主题。当前, 家庭部门能源消费已经成为全球能源消费需求和碳排放增长的主要驱动力之一^[3], 其消费行为与区域或全球环境生态质量及群体健康有着密切的联系^[4,5], 同时, 家庭能源消费特征也因地理环境与文化等影响而存在着显著的空间与社会差异^[6,7]。因此, 进一步加强不同群体与区域家庭能源消费的现实调查及实证研究, 是系统推进全球及地方能源转型及实现可持续发展目标的关键基础。长期以来, 关于家庭能源消费的研究主要侧重于区域空间视角下的能源结构特征与清洁化转型、主要影响因素以及生态效应等方面。例如, Ma 等^[8]研究发现非农收入增加促进了农村能源转型; Zhang 等^[9]和 Tao 等^[10]研究认为中国农村家庭能源正在从传统生物质能源向现代商品能源和可再生能源转变; 吴燕红等^[11]则指出云南东北部农村地区 90% 的能源消费依然以薪柴为主; 刘刚^[12]和蔡国田等^[13]则指出西藏农牧民的生产及生活燃料用能主要为牛粪、薪柴和秸秆等; 吴彦潮等^[14]通过对贵州的案例研究发现总人口数虽然降低, 但人均碳排放量却在增加。对于我国而言, 由于各民族生产生活方式、居住区环境、社会文化习俗等方面的差异性, 使得各民族家庭生活能源消费亦呈现出特定的人文空间差异^[15], 少数民族地区的经济增长与能源消费之间存在着长期互动关系^[16], 地方社会文化和区域资源禀赋对生产生活燃料选择有着较大的影响^[17]。例如, 与东部地

收稿日期: 2020-03-13; 修订日期: 2020-07-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41971166); 中国科学院青年创新促进会 (2016181)

作者简介: 李宏庆 (1995-), 女, 山东枣庄人, 硕士, 研究方向为能源环境地理与可持续发展。

E-mail: lihongq@163.com

通讯作者: 薛冰 (1982-), 男, 江苏连云港人, 博士, 研究员, 博士生导师, 研究方向为人文经济地理与可持续发展。E-mail: xuebing@iac.ac.cn

区相比,在甘肃、云南等少数民族聚居地区,居民主要依赖薪柴等一次性生物质能源,煤炭、电力等商品能源对薪柴的替代效应尚不明显^[18]。本文则以青藏高原东北部地区土族家庭为研究对象,基于田野调查和半结构式访谈等方法,开展家庭能源消费活动特征研究,旨在为客观认识土族家庭能源消费特征提供数据支撑,并为青藏高原地区的可持续发展提供科学决策。

1 研究方法 with 数据来源

我国土族人口大约28.96万人,其中约21.4万人(占比73.9%)生活在青海省,且主要聚居于互助土族自治县、民和县和大通县等。其中,聚居在河湟地区的土族村落,主要从事农业耕种或畜牧生产,创造了以农耕文化和畜牧文化为主的“河湟文化”^[19,20]。在实地调研中,主要调研区域即为互助土族自治县、民和县、大通县等。首先,围绕研究主题并在文献综述基础上形成调研问卷草稿及访谈问题提纲;随后选取10户典型土族家庭进行综合调查,主要目的是对问卷及访谈问题进行修正完善,并通过结合在地专家及相关农户意见,形成正式的调查问卷及问题提纲。随后,基于分层抽样方法,选取110户家庭,从以下三个方面展开调研:(1)家庭信息,包括人口、家庭总收入和受教育程度等;(2)能源消费特征,包括能源的重要性认知、能源使用的数量和结构、能源可得性、能源用途等,固体能源对环境、健康的影响;(3)农牧业生产要素,包括秸秆和薪柴的产量、畜粪的处理方式等方面展开调研。剔除部分不完整的数据后,最终获得了100份有效问卷。需要说明的是,为了尽可能获取完整真实的调研数据,主要基于“对家庭熟悉程度”来选择访问对象,而不是依据其教育程度、年龄或者家庭地位等因素。在调研访问过程中,尽可能让对其家庭能源消费情况最熟悉的成员回答相关问题,并欢迎其他家庭成员予以补充完善。在调查过程中,也时刻注意与当地的村干部和能源相关从事人员进行交流确认,以保障调研对象及家庭具有良好的代表性。

根据青海省农村家庭人均可支配收入水平,并结合调研地区家庭收入情况,将调查家庭依据收入分为低、中低、中、中高和高收入五组以开展对比研究。样本统计发现(表1),调研家庭的平均收入为29058元,是青海省农村地区的0.76倍,是中国农村地区人均收入的0.54倍。不同收入分组家庭中,高收入家庭的年人均收入为低收入家庭的4.7倍。家庭规模中4~5人的家庭数量占总样本的90%以上,其中劳动力人口占家庭总人口的一半。

表1 不同收入水平家庭的基本信息

Table 1 The basic information for households with different incomes

收入分组/元	低收入 3000~6550	中低收入 6551~10000	中等收入 10001~16000	中高收入 16001~23000	高收入 23001~50000
问卷数量/份	16	23	21	21	19
家庭收入/元	12250	18609	21571	35333	57526
家庭规模/人	4.5	4.3	4.6	4.8	4.7
非劳动力人口/人	2.1	2.3	2.2	2.2	2.3
户主受教育年限/年	9.7	9.0	8.9	8.6	9.0
高于初中学历人数/人	2.6	2.0	2.5	2.3	2.1
户主年龄/岁	52	49	53	50	49

2 结果分析

2.1 能源重要性认知差异

为了解当地居民对不同能源类型对于家庭生产生活的重要性认知，由访问对象基于相关能源对家庭生活贡献性的大小，从问卷中详列的8种能源类型中勾选出3种相对重要的能源类型，然后开展能源重要性认知分析。结果显示（图1），整体来看，能源重要性依次为煤炭、薪柴、秸秆、畜粪、电力、汽油/柴油、液化气和太阳能，意味着煤炭、电力以及传统生物质能源依然在家庭能源消费中扮演着重要角色。从收入分组对比来看，煤炭的重要性指数皆排在首位且超过60%，显示其重要性程度并不受到家庭收入因素的影响；属于传统生物质能源范畴的秸秆、薪柴及畜粪对不同收入家庭而言均处于同等重要位置，其重要性指数在40%~60%之间，其中对于高收入及中高收入群体而言，其重要性指数超过了电力；太阳能的重要性基本最低，并随着收入的“低—中—高”变化体现出“U”形特征。

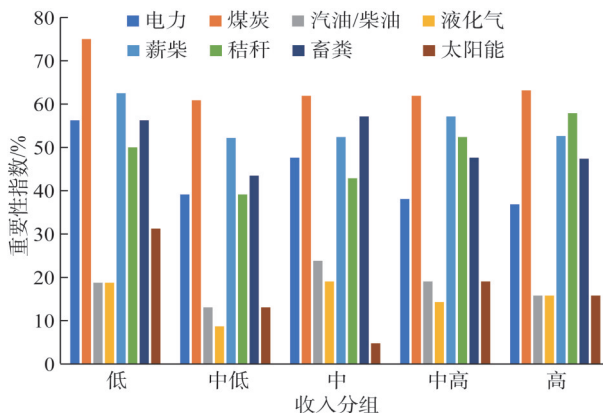


图1 不同收入家庭能源重要性认知情况

Fig. 1 Awareness of the importance of energy with different incomes

2.2 能源消费结构

根据《综合能耗计算通则》(GB/T2589—2008)将能源使用量统一折算成标准煤，其中煤炭、汽油、柴油、液化气、薪柴、秸秆以及畜粪的折标煤系数(kgce/kg)分别为0.714、1.471、1.457、1.714、0.571、0.543、0.500，电力折标煤系数[kgce/(kW·h)]为0.123。由于无法精准核算太阳能的使用量且其使用量较低，因此本部分忽略计算太阳能在消费总量中的占比。分析结果显示（表2），低收入与高收入家庭的户均能源使用量分别为3485 kgce和3974 kgce，两者仅相差14.03%，远低于其收入差距比（2.5~15.7倍）。整体来看，商品能源和传统生物质能源的使用比例相当，分别占比48.66%和47.99%，而清洁能源仅占比3.35%。在商品能源方面，煤炭是最常使用的能源，占消费总量的35%左右；液化气占整体使用比例较低（5.10%），但随着收入的增加逐渐增高；电力消费占比

表2 家庭能源消费数量和结构

Table 2 Quantity and structure of household energy consumption

类型	低收入		中低收入		中收入		中高收入		高收入	
	kgce	%	kgce	%	kgce	%	kgce	%	kgce	%
煤炭	1200	34.43	1021	30.10	1307	41.14	1150	34.46	1364	34.32
汽油	200	5.73	191	5.62	153	4.81	241	7.22	195	4.91
柴油	67	1.94	220	6.50	50	1.56	49	1.47	152	3.83
液化气	103	2.95	134	3.94	182	5.72	214	6.42	257	6.47
电力	96	2.75	109	3.22	124	3.91	120	3.61	132	3.32
薪柴	1100	31.56	998	29.41	486	15.31	726	21.77	664	16.70
秸秆	314	9.01	290	8.56	277	8.73	647	19.39	857	21.55
畜粪	406	11.64	429	12.65	598	18.81	189	5.66	354	8.90

3.36%。在非商品能源部分，薪柴的使用比例随着收入增加逐渐降低，在低收入及高收入家庭的能源消费总量占比分别为31.56%和16.70%，相差近2倍；秸秆在低、中低和中等收入家庭中的使用比例均维持在10%左右，但在中高及高收入家庭中的占比达到20%。既有研究表明，能源价格是影响能源使用的关键因素^[21]。在实地调查中也发现，收入水平较高的家庭对能源的选择范围相对较广，使用能源的种类更加多元化。

2.3 能源可获得性评估

基于李克特5分量表法，将能源获取困难等级依次分为“非常困难、比较困难、一般、比较容易和非常容易”等五个选项，并分别赋予5、4、3、2和1分。结果显示（表3），能源可获得性平均得分3.26分，属于“比较困难”级，其中电力、秸秆、畜粪、薪柴、太阳能、煤炭、汽油/柴油和液化气的可获得性平均得分分别为3.28、3.15、2.87、3.16、2.90、3.75、3.07和2.88，对应“比较困难、比较困难、一般、比较困难、一般、比较困难、比较困难和一般”等级。就收入水平分组来看，从低到高的不同收入分组家庭的能源可获得性得分分别为3.51、3.36、3.36、2.94和3.11，显示除中高收入家庭外，各收入家庭的能源可获得性均处于“比较困难”的水平。其中，低收入家庭在煤炭、汽油/柴油、液化气和薪柴等能源中属于“比较困难”的水平，秸秆的获取等级为“一般”，而高收入家庭中获取等级为“一般”的能源为汽油/柴油、液化气和太阳能，秸秆的获取等级为“比较困难”。从能源视角来看，家庭能源获取便捷性由易到难依次为电力、秸秆、畜粪、薪柴、太阳能、煤炭、汽油/柴油和液化气。由访谈可知，液化气等商品能源的获取便捷性较低的原因主要是受经济水平的限制，而生物质能源不仅获取方便且价格便宜，是当地居民的首选。能源获取便捷度在不同收入分组家庭中存在较大差异。在实地走访的过程中，不少农户反映造成能源获取相对困难的原因是政府没能提供相应的能源设施与服务，还有部分农户认为是受能源价格较高和交通不便等原因的影响，当地居民会优先选择薪柴、秸秆等能源。

表3 家庭能源获取困难程度
Table 3 Difficulty in obtaining energy for households (%)

类型	非常困难	比较困难	一般	比较容易	非常容易	平均值
电力	0.95	43.82	38.54	14.83	1.86	3.28
煤炭	16.75	54.48	20.67	4.52	3.49	3.78
汽油/柴油	23.34	29.96	11.24	0.51	34.96	3.10
液化气	31.20	13.95	3.33	0.81	50.70	2.67
薪柴	5.97	41.61	24.25	23.92	4.26	3.22
秸秆	4.72	33.21	28.38	30.95	2.73	2.95
畜粪	8.12	25.46	30.96	13.32	22.15	2.97
太阳能	20.04	24.93	15.34	9.30	30.39	2.80

2.4 能源获取途径及用途

土族家庭多以农业种植为主要生计方式，农作物主要为甜菜、小麦、玉米、油菜和青稞等。结果显示（表4），土族家庭的能源获取途径主要有三种，分别为购买、室外采集及自家生产。在能源用途方面，日常炊事及取暖主要为煤炭以及以薪柴、秸秆和畜粪为主体的传统生物质能源，也有部分家庭的炊事辅以电力或液化气；交通出行用能则以

表4 能源用途及比例分析

Table 4 Analysis of energy use and proportion

(%)

类型	获取途径	主要用途	使用率				
			低收入	中低收入	中等收入	中高收入	高收入
电力	购买	炊事、照明等家用	87.50	100.00	100.00	95.24	100.00
煤炭	购买	炊事、取暖	81.25	100.00	85.71	100.00	94.74
汽油/柴油	购买	交通出行	93.75	82.61	95.24	95.24	84.21
液化气	购买	炊事	12.50	47.83	47.62	38.10	42.11
薪柴	室外采集	炊事、取暖	87.50	91.30	71.43	85.71	78.95
秸秆	自家生产、室外采集	炊事、取暖	81.25	60.00	76.19	60.48	73.68
畜粪	自家生产、室外采集	炊事、取暖	37.50	65.22	52.38	71.43	63.16
太阳能	室外采集	照明等家用	12.50	39.13	52.38	47.62	52.63

汽油和柴油为主。在使用率方面，不同收入家庭既有共性特征也有显著差异，例如煤炭、电力、秸秆、薪柴等在各收入家庭的使用率均较高，超过60%以上；畜粪在低收入家庭中使用率占比为37.50%，在中高收入家庭中平均达到71.43%；太阳能在中高收入和高收入家庭中使用率占比在50%左右，在低收入家庭中仅为12.5%。在实地调研中发现，近年来，在“退耕还林”和“退耕还牧”政策的影响下，以室外采集为主的生物质能源使用占比逐渐下降，这也使得对商品能源的需求逐渐增强，成为能源清洁化转型的重要动力，但也对区域能源基础设施提出了新的建设要求。

2.5 能源消费的环境效应

化石及生物质等能源在消费过程中产生的温室气体和污染物主要包括二氧化碳、氮氧化物、甲烷、二氧化硫和颗粒物等^[22]，其计算公式为：

$$G_{ij} = \sum_{i=1}^n E_i B_{ij}$$

式中： G 为第*i*种能源的第*j*种温室气体或污染物的排放量（g）； E_i 为第*i*种能源的实际消耗量（kg）； B 为第*i*种能源的第*j*种温室气体和污染物的排放因子（g/kg）。根据既有的能源污染物研究文献^[23-31]，选取与青海地区能源质量和地区生产技术水平相似的地区作为参考，并结合均值方法，获得区域排放因子（表5）。

结果显示，调查区域的家庭年人均CO₂、N₂O、CH₄、NO_x、SO₂和TSP的产生量分别

表5 温室气体和污染物排放因子

Table 5 Greenhouse gas and air pollutant emission coefficients

类型	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	NO _x	SO ₂	TSP
煤炭/(g/kg)	1963.35	0.04	1.47	1.83	9.59	1.82
汽油/(g/kg)	3448.94	0.06	1.12	7.94	0.20	0.12
柴油/(g/kg)	3515.04	0.06	1.11	12.60	0.12	0.12
液化气/(g/kg)	3127.81	0.02	0.05	2.20	0.18	0.00
电力/[g/(kW·h)]	147.61	0.06	0.36	0.89	1.37	2.55
薪柴/(g/kg)	1522.99	0.14	2.36	1.44	0.46	5.34
秸秆/(g/kg)	1318.45	0.14	4.78	1.75	0.45	18.77
畜粪/(g/kg)	903.59	0.10	3.76	2.45	2.64	20.40

为 1856.87 kg、117.10 g、295.14 g、254.46 g、451.87 g 和 520.74 g。温室气体和污染物排放量主要与家庭生物质能源的使用量相关。其中，约 50% 的 CO₂ 的排放量来自于供暖、制冷和照明用途。SO₂ 在中等收入家庭中产生量最高，是产生量最低的中高收入家庭的 1.3 倍。TSP 在高收入家庭中产生量为 6.33 kg，高于产生量最低的中高收入家庭 1.67 kg。整体来看，各温室气体和污染物的产生量随收入的增加呈波动上升趋势。低收入组家庭由于对生物质能源的依赖性较强，而生物质能源的各气体排放因子较大，排放量高于其他收入分组家庭。

表 6 家庭人均温室气体和污染物排放情况

Table 6 Per capita emissions of greenhouse gases and pollutants in households (kg)

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	NO _x	SO ₂	TSP
低收入	1924.91	0.12	2.96	2.52	4.56	5.02
中低收入	1930.58	0.12	2.94	2.81	4.25	5.07
中收入	1652.67	0.10	2.64	2.34	4.95	4.95
中高收入	1714.07	0.11	2.72	2.22	3.95	4.66
高收入	2062.13	0.13	3.49	2.83	4.89	6.33
平均值	1856.87	0.12	2.95	2.54	4.52	5.21

2.6 家庭能源物质流

物质流分析以质量守恒定律为基础，主要用于核算及可视化表达系统物质投入产出及环境效应^[32]。能源的流动过程主要包括投入、消耗和产出三部分。基于物质流分析方法，构建了以家庭为系统的能源物质流模型并进行可视化表达（图 2、图 3）。

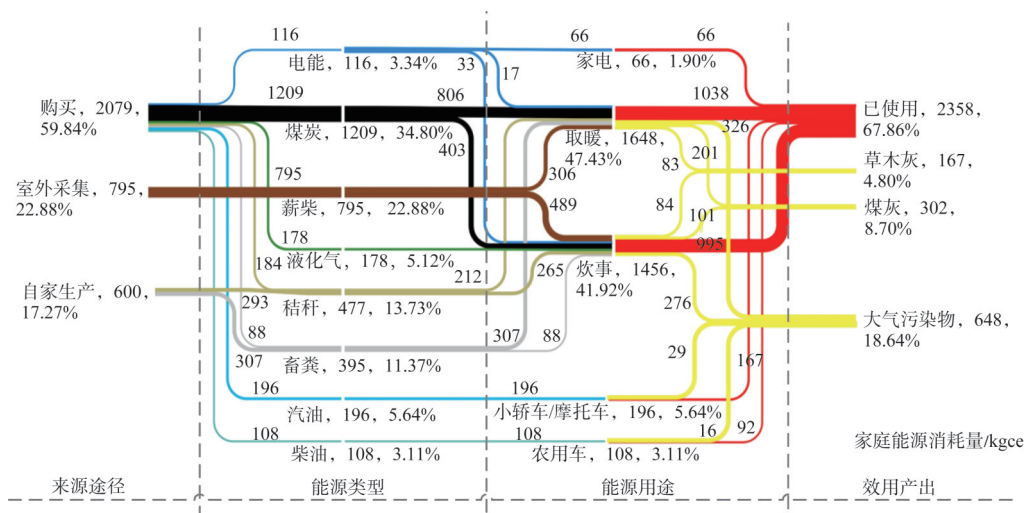


图 2 平均收入家庭能源物质流

Fig. 2 Energy flow of average household income

综合分析表明，能源有效能最终占能源总量约 67.86%，约 13.50% 的部分转变为草木灰和煤灰，另外还有约 18.64% 的部分转变为温室气体和大气污染物（图 2）。以低、中、高三个组别建立对比型能源流动图（图 3），可以发现低收入组家庭能源的主要获取方式为购买（51.64%），取暖和炊事是最大的家庭用能部门，且主要以煤炭、畜粪和薪柴

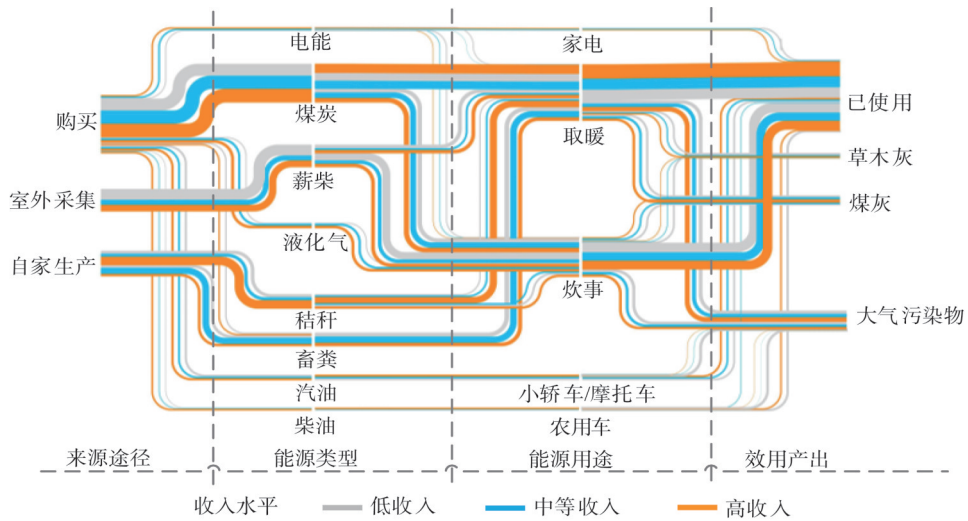


图3 不同收入家庭能源物质流

Fig. 3 Energy flow of households with different incomes

等能源为主；交通用能共消耗了占能源总量7.66%的能源。中等收入家庭能源也是主要通过购买获得（57.16%），取暖用能主要以煤炭和畜粪为主，炊事用能则以煤炭和薪柴为主，并有少部分液化气进行补充；交通用能共消耗了能源总量的6.36%。高收入家庭购买所得能源占比为55.77%，取暖和炊事用能主要为煤炭、薪柴和秸秆；交通用能占能源总量的8.74%。总的来看，在能源的获取方式上，不同收入分组家庭的商品能源比例比较接近，但室外采集及自家生产方面存在差异；能源有效使用率与家庭收入成正相关，中等收入家庭的大气污染物产生率最高。

3 结论

土族家庭主要的能源消费种类为煤炭、薪柴和秸秆，太阳能等清洁能源的使用量整体偏低。家庭能源消费的用途主要为炊事、取暖、家电和交通用能等，且当地大多以多种能源结合的方式进行炊事和取暖活动。在交通工具的使用上，最常用的为小轿车和摩托车，农用车和电动车的使用率较低。同时，通过构建家庭能源物质流分析模型，有利于实现对家庭尺度能源消费特征的更为直观且量化的表达。

在少数民族集中分布的地区，文化水平较高的居民具有更强的市场意识，更倾向于选择商品能源进行消费^[33]。同时，当家庭收入逐渐增加时，能源消费结构逐渐向商品性能源转变^[34]，且高收入家庭的能源消费种类更多，但各种能源的消耗量整体比低收入家庭低^[34]，但本文发现，当家庭收入逐渐升高时，能源消费量相应增加但其差距并没有显著上升，同时，商品能源比例逐渐上升而传统的生物质能源比例略微降低。随着社会进步，对能源的依赖性越大^[35,36]，同时秸秆、薪柴等一次能源燃烧产生的污染物是造成室内空气质量下降的主要原因^[37,38]，尤其对妇女、儿童、老人带来更多的伤害^[39]。因此，进一步扩大清洁能源使用比例，提高能源的利用效率，将是本地区推进生态文明建设、实现可持续发展的重要任务。针对土族地区家庭的能源调查及分析，主要提出以下建议：一是持续坚持实施“退耕还林”“退牧还草”等重要生态措施，降低传统生物质能源的室外

采集来源, 倒逼推进家庭能源消费的清洁化和商品化转型; 二是提前做好能源基础设施规划, 加强电力等能源基础设施建设, 提升清洁能源供应保障能力; 三是注意对区域煤炭质量的把关, 从青藏高原环境生态质量改善和民族地区人民健康的高度坚持保障高品质用煤的供应。

参考文献(References):

- [1] United Nations (UN). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. <https://www.unesdoc.org/ar/node/266888>, 2019-10-28.
- [2] UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). The Paris Agreement. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>, 2019-12-15.
- [3] 陈兴鹏, 姜璐, 邢冉, 等. 基于文献计量的中国家庭能源消费的地理格局及影响因素分析. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2019, 37(6): 1-7. [CHEN X P, JIANG L, XING R, et al. A review on the geographical pattern and driving factors of household energy consumption in China. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Science*, 2019, 37(6): 1-7.]
- [4] HAMAMOTO M. Energy-saving behavior and marginal abatement cost for household CO₂ emissions. *Energy Policy*, 2013, 63(12): 809-813.
- [5] PING X G, LI C W, JIANG Z G. Household energy consumption patterns in agricultural zone, pastoral zone and agro-pastoral transitional zone in eastern part of Qinghai-Tibet Plateau. *Biomass and Bioenergy*, 2013, 58(6): 1-9.
- [6] DING W G, HE L, ZEWUDIE D, et al. Gender and renewable energy study in Tibetan Pastoral Areas of China. *Renewable Energy*, 2019, 133(7): 901-913.
- [7] JIANG L, CHEN X P, XUE B. Features, driving forces and transition of the household energy consumption in China: A review. *Sustainability*, 2019, 11(4): 1-20.
- [8] MA W, ZHOU X, RENWICK A. Impact of off-farm income on household energy expenditures in China: Implications for rural energy transition. *Energy Policy*, 2019, 127(12): 248-258.
- [9] ZHANG L X, YANG Z F, CHEN B, et al. Rural energy in China: Pattern and policy. *Renewable Energy*, 2009, 34(12): 2813-2823.
- [10] 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. *Nature Energy*, 2018, 3(7): 567-573.
- [11] 吴燕红, 曹斌, 高芳, 等. 滇西北农村生活能源使用现状及生物质能源开发利用研究: 以兰坪县和香格里拉县为例. 自然资源学报, 2008, 23(5): 781-789. [WU Y H, CAO B, GAO F, et al. Studies on current rural energy resources utilization and bio-energy development in Northwest Yunnan: The case study on Lanping and Shangri-La counties. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23(5): 781-789.]
- [12] 刘刚. 西藏能源消费格局及其环境效应. 北京: 中国科学院研究生院, 2007. [LIU G. Tibet's energy consumption pattern and its environmental effects. Beijing: Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, 2007.]
- [13] 蔡国田, 张雷. 西藏农村能源消费及环境影响研究. 资源开发与市场, 2006, 22(3): 238-244. [CAI G T, ZHANG L. Research on rural energy consumption and environmental impact in Tibet. *Resources Development and Market*, 2006, 22(3): 238-244.]
- [14] 吴彦潮, 赵翠薇. 贵州省低碳经济发展动态评价研究. 贵州师范大学学报: 自然科学版, 2016, 2(34): 19-26. [WU Y C, ZHAO C W. Research on the dynamic evaluation of the development of low carbon economy in Guizhou province. *Journal of Guizhou Normal University: Natural Science Edition*, 2016, 2(34): 19-26.]
- [15] 聂泓玮, 张晓妮, 勾思曼. 西南少数民族地区农户生活能源消费结构影响因素分析: 以云南省德宏、怒江自治州为例. 中国农学通报, 2019, 35(23): 159-164. [NIE H W, ZHANG X N, GOU S M. The influencing factors of rural household energy consumption structure in southwest minorities areas: A case study of Dehong and Nujiang Autonomous Prefectures of Yunnan province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2019, 35(23): 159-164.]
- [16] HUA H L, PAN Y J, YANG X Y, et al. Dynamic relations between energy carbon footprint and economic growth in ethnic minority autonomous regions, China. *Energy Procedia*, 2012, 17(2): 273-278.
- [17] JIANG L, YU L, XUE B, et al. Who is energy poor? Evidence from the least developed regions in China. *Energy Policy*, 2020, 137(2): 1-10.
- [18] 杨小军, 王轶博, 徐晋涛. 少数民族地区农村家庭生活能源消费需求研究: 以甘肃省、云南省为例. 林业经济, 2016, 38(6): 14-21, 54. [YANG X J, WANG Y B, XU J T. Research on rural households' energy consumption demands in minority areas: Taking Gansu and Yunnan provinces as examples. *Forestry Economy*, 2016, 38(6): 14-21, 54.]
- [19] 胡芳. 土族人口的数量与性别年龄结构变动分析. 青海社会科学, 2016, 7(6): 119-125. [HU F. An analysis of the

- change of Tu Nationality's population and gender and age structure. *Qinghai Social Sciences*, 2016, 7(6): 119-125.]
- [20] 李林, 李晓东, 校瑞香, 等. 青藏高原东北部气候变化的异质性及其成因. *自然资源学报*, 2019, 34(7): 1496-1505. [LI L, LI X D, XIAO R X, et al. The heterogeneity of climate change and its genesis in the Northeastern Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(7): 1496-1505.]
- [21] 王天穷, 顾海英. 我国农村能源政策以及收入水平对农户生活能源需求的影响研究. *自然资源学报*, 2017, 32(8): 1286-1297. [WANG T Q, GU H Y. Impacts of rural energy policy and income level on rural household's energy demand in China. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(8): 1286-1297.]
- [22] IEA (International Energy Agency). Real-world policy packages for sustainable energy transitions. <https://www.iea.org/events/real-world-policy-packages-for-sustainable-energy-transitions>, 2018-11-18.
- [23] IPCC. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Volume II. Japan: The Institute for Global Environmental Strategies, 2008.
- [24] 陈茜, 於世为. 中国生活能源消费的典型污染物排放及驱动因素研究. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(12): 40-51. [CHEN H, YU S W. Emissions and driving forces of primary air pollutants from residential energy consumption in China. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(12): 40-51.]
- [25] 孙永龙, 牛叔文, 兰忠成, 等. 牧民家庭能源消费模式的演变及环境效应. *农业工程学报*, 2014, 30(16): 256-262. [SUN Y L, NIU S W, LAN Z C, et al. Evolution and environmental effect of household energy consumption pattern for herdsmen. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(16): 256-262.]
- [26] 生态环境部. 大气细颗粒物一次源排放清单编制技术指南, 2014. [Ministry of Ecology and Environment. Technical guidelines for the compilation of primary source emission inventory of atmospheric fine particles, 2014.]
- [27] 李静, 刘丽雯. 中国家庭消费的能源环境代价. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(12): 31-39. [LI J, LIU L W. Research on energy and environment cost of household consumption in China. *China Population, Resources and Environment*, 2007, 27(12): 31-39.]
- [28] SHEKAR R M, CHANDRA V. Inventory of aerosol and sulphur dioxide emissions from India. Part II: Biomass combustion. *Atmospheric Environment*, 2002, 36(4): 699-712.
- [29] 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. *农业工程*, 2017, 7(4): 60-64. [YAN Z Q, YE W C, CHEN J, et al. Rural energy structure and emission estimation of main pollutant in Zhejiang province. *Agricultural Engineering*, 2017, 7(4): 60-64.]
- [30] HUANG Y, SHEN H Z, CHEN H, et al. Quantification of global primary emissions of PM_{2.5}, PM₁₀, and TSP from combustion and industrial process sources. *Environmental Science & Technology*, 2014, 48(23): 13834-13843.
- [31] ANDREAE M O. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning. *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, 15(4): 4955-4966.
- [32] 王天天, 卢笛音, 曹雅. 物质流分析方法及应用研究综述. *再生资源与循环经济*, 2017, 10(8): 9-12, 16. [WANG T T, LU D Y, CAO Y. A review of material flow analysis methods and application. *Renewable Resources and Recycling Economy*, 2017, 10(8): 9-12, 16.]
- [33] 董梅, 徐璋勇. 农村家庭能源消费结构及影响因素分析: 以陕西省1303户农村家庭调查为例. *农林经济管理学报*, 2018, 17(1): 45-53. [DONG M, XU Z Y. Energy consumption structure of rural households and influencing factors: Based on 1303 rural households in Shaanxi province. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2018, 17(1): 45-53.]
- [34] SMITH K R, APTE M G, YU M, et al. Air pollution and the energy ladder in Asian cities. *Energy*, 1994, 19(5): 587-600.
- [35] NIU S W, ZHANG X, ZHAO C S, et al. Variations in energy consumption and survival status between rural and urban households: A case study of the Western Loess Plateau, China. *Energy Policy*, 2012, 49(9): 515-527.
- [36] 曹建军, 许雪赉, 杨书荣, 等. 青藏高原不同草地利用方式产生的原因及其对社会—生态系统的影响研究进展. *自然资源学报*, 2017, 32(12): 2149-2159. [CAO J J, XU X Y, YANG S R, et al. Advance in the reasons for two different grassland use patterns formed and their each effects on the socio-ecological system on the Qinghai-Tibetan Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(12): 2149-2159.]
- [37] 吴玲, 肖盼. 江苏省家庭能源消费及影响因素调查. *南京工程学院学报: 社会科学版*, 2018, 18(3): 51-54. [WU L, XIAO P. An investigation on household energy consumption and influencing factors in Jiangsu province. *Journal of Nanjing Institute of Technology: Social Science Edition*, 2018, 18(3): 51-54.]
- [38] JIANG L, XUE B, XING R, et al. Rural household energy consumption of farmers and herders in the Qinghai-Tibet Plateau. *Energy*, 2020, 192(1): 1-9.
- [39] GOLDEMBERG J, TEIXERIA C S. Renewable energy-traditional biomass vs modern biomass. *Energy Policy*, 2004, 32(6): 711-714.

Household energy consumption characteristics of the Tu ethnic group in the northeast of the Tibetan Plateau

LI Hong-qing^{1,2}, XING Ran^{1,2}, JIANG Lu^{3,4}, CHEN Xing-peng⁴, XUE Bing^{1,5}

(1. Institute of Applied Ecology, CAS, Shenyang 110016, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Guangzhou Institute of Geography, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China; 4. College of Earth and Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 5. Academy of Plateau Science and Sustainability, Qinghai Normal University, Xining 810016, China)

Abstract: Energy plays an important role in social and economic development. Household energy consumption behavior has a wide range of connections with regional or global social ecosystems, and has significant spatial and social differences under the influence of culture and geography. China is a country with multi-ethnic groups. The ethnic areas in China have different characteristics in terms of production and lifestyle, climate conditions, cultural traditions, and other aspects and also show certain characteristics in the consumption of living energy. However, the research on the energy geography of ethnic minority groups' households is still on the initial stage and lacks a first-hand data survey. Based on the special geographical characteristics of the Tibetan Plateau, this study focused on the 100 Tu's households in Qinghai province and carried out field investigations. From the perspective of overall investigation and income-based groups, we compared the characteristics of their household energy consumption, calculated the environmental effects, constructed an energy flow model, and visualized the household energy consumption input-out flow. The survey results show that the per capita energy consumption of Tu households is 3473 kgce, and the energy resources are mainly coal, firewood, straw, and cow-dung. By comparison, we found that the energy consumption of low-income households is 3485 kgce, while that of high-income households is 3974 kgce. As income levels rise, the energy consumption structure gradually changes to diversification, and the importance of energy gradually turns from biomass energy to commodity energy. The survey shows that the convenience of household energy access is listed in a descending order of electricity, straw, animal dung, fuelwood, solar energy, coal, gasoline/diesel, and liquefied gas. The per capita greenhouse gas and pollutant emissions of households are 1872.21 kg, of which CO₂, N₂O, CH₄, NO_x, SO₂ and TSP are 1856.87 kg, 117.10 g, 295.14 g, 254.46 g, 451.87 g and 520.74 g, respectively. In the future, the Tibetan Plateau region should enhance the use of clean energy, and promote the sustainable transformation of regional household energy consumption. The research results are expected to provide scientific support for the clean energy transformation and sustainable development on the Tibetan Plateau.

Keywords: household energy consumption; Tibetan Plateau; environmental effects; energy material flow mode; Tu ethnic group