

脱贫山区农户生计转型的低碳效应研究：以陇南山区为例

贾玉婷, 赵雪雁*, 介永庆

西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730070

摘要：明确脱贫山区农户生计转型的低碳效应对实现乡村绿色发展、建设低碳乡村至关重要。基于陇南山区农户的入户调查数据，利用碳排放清单法分析了2014—2019年农户的生计转型路径及其低碳效应。结果表明：（1）陇南山区农户的生计策略分为传统农业主导型、经济作物主导型、务工主导型、经商主导型和综合型；2014—2019年有26.97%的农户生计策略发生了转型，最主要的转型方式是由综合型转向务工主导型；（2）因人均生活碳排放增加量高于人均生产碳排放减少量，陇南山区农户的人均家庭碳排放呈增加趋势；（3）农户生计转型路径中，由经济作物主导型转向传统农业主导型的人均家庭碳排放降幅最大，为41.45%，综合型转向传统农业主导型的增幅最大，达208.86%。

关键词：农村居民；生计转型；碳排放；陇南山区

A study on low carbon effect of livelihood transition of farmers in the mountainous area out of poverty: taking Longnan mountainous area as an example

JIA Yuting, ZHAO Xueyan*, JIE Yongqing

College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China

Abstract: Background, aim, and scope Clarifying the low-carbon effect of the livelihood transition of farm households in poverty-stricken mountainous areas is crucial to realising the green transformation of villages and building low-carbon villages in China. However, most previous studies have focused on carbon emissions from households at the national or regional level. Few studies have examined the impact of changes in household livelihood strategies on carbon emissions. This study analysed the path of farmers' livelihood transformations and carbon emissions from 2014 to 2019, to clarify the impact of the transformations on carbon emissions. The data from poverty-stricken mountainous areas could provide a reference for rural low-carbon initiatives. **Materials and methods** Survey data on farmers' livelihood capital and main livelihood activities in the Longnan mountainous area from 2014 to 2019 enabled classification of the livelihood strategies. Using the Intergovernmental Panel on Climate Change carbon emission inventory method, the carbon emissions generated by the energy consumption associated with production and living materials of various farmers were calculated and the influence of livelihood

收稿日期：2023-04-30；录用日期：2023-08-07；网络出版：2023-08-25

Received Date: 2023-04-30; Accepted Date: 2023-08-07; Online first: 2023-08-25

基金项目：国家自然科学基金项目（41971268, 42371313）

Foundation Item: National Natural Science Foundation of China (41971268, 42371313)

通信作者：赵雪雁, E-mail: zhaoxy@nwnu.edu.cn

Corresponding Author: ZHAO Xueyan, E-mail: zhaoxy@nwnu.edu.cn

引用格式：贾玉婷, 赵雪雁, 介永庆. 2023. 脱贫山区农户生计转型的低碳效应研究：以陇南山区为例 [J]. 地球环境学报, 14(6): 740–752.

Citation: Jia Y T, Zhao X Y, Jie Y Q. 2023. A study on low carbon effect of livelihood transition of farmers in the mountainous area out of poverty: taking Longnan mountainous area as an example [J]. Journal of Earth Environment, 14(6): 740–752.

transformations of farmers on household carbon emissions was analysed. **Results** (1) The livelihood strategies of farmers could be classified as traditional agriculture-, cash crop-, workers oriented-, business oriented-, and comprehensive- strategies because of their different income structures. (2) From 2014 to 2019, 73.03% of the livelihood strategies of farmers remained unchanged. Among the farmers whose livelihood strategies changed, the proportion who changed from comprehensive to work-oriented was the highest (10.67%). (3) The per capita household carbon emissions of the studied farmers has increased because the increases in per capita living carbon emissions exceed the decreased production of carbon emissions. (4) Among the farmers whose livelihood strategies changed, 10.76% of farmers' per capita carbon emissions declined. The decline from cash crop- to traditional agriculture oriented farmers was greatest (41.45%). The per capita carbon emissions of the remaining 89.24% of farmers increased, with the largest increase (208.86%) from comprehensive- to traditional agriculture farmers. Finally, among farmers whose livelihood strategies did not change, all of farmers' per capita carbon emissions increased. **Discussion** The changed carbon emissions of Longnan mountain farming households display different characteristics concerning the transitions in livelihood strategy. With the acceleration of urbanisation, the construction, manufacturing, and service industries have attracted a large amount of surplus rural labour. The livelihood strategies of farmers in the Longnan mountainous areas have rapidly become work-oriented. The increase in work-oriented farmers and decrease in traditional agriculture and cash crop-oriented farmers have reduced the crops areas, livestock and poultry breeding, and reduced the per capita production carbon emissions of farmers to a certain extent. At the same time, the livelihood transition paths of farm households have had a greater impact on household carbon emissions. Carbon emissions have increased in most of the households that have shifted livelihood strategies, because of an increased demand for subsistence consumption. In addition, farmers have increased their use of direct energy sources, such as coal, petrol, to increase per capita household carbon emissions to some extent. **Conclusions** From 2014 to 2019, the livelihood strategies of 26.97% of farmers in the Longnan mountainous area changed. The most important mode of transformation was comprehensive to work-oriented. Household carbon emissions have increased as per capita living carbon emissions have increased. This emission increase has exceeded the decrease in production-related carbon emissions. Among the livelihood transition paths of farm households, per capita household carbon emissions have displayed a decreasing trend in farmer households that have experienced from traditional agriculture- to workers oriented-, from cash crop- to traditional agriculture- and from business oriented- to comprehensive- transitions. Among farm households that did not experience a change in livelihood strategies, all of farmers' per capita carbon emissions increased. **Recommendations and perspectives** With the goal of reducing household carbon emissions of farmers in Longnan mountainous area, in terms of carbon emissions from production, the government should encourage farmers to adjust their agricultural production, operation, and management modes, and guide them in the use of energy-saving and emission-reducing agricultural production technologies. Increased efforts should be taken to promote "green awareness" in rural areas, encourage farmers to participate in low-carbon activities, and promote the development of a lifestyle that inculcates habits of low-carbon consumption. Concurrently, the rate of utilisation of clean energy in rural areas should be increased, and farmers should be encouraged to accept clean energy sources, such as solar and wind energy, to reduce the carbon emissions associated with daily life.

Key words: rural residents; livelihood transformation; carbon emission; Longnan mountainous area

21 世纪以来, CO₂、CH₄ 等温室气体引发的全球变暖问题日益严重, 已经严重威胁到人类命运共同体和人与自然生命共同体的发展 (李绵德等, 2023)。2022 年, 全球 CO₂ 排放量已达 3.68×

10¹⁰ t, 其中家庭能源消耗产生的碳排放日益增长, 不容忽视 (王悦等, 2019; IEA, 2023)。早在 20 世纪 90 年代, 欧盟的家庭生活能源消费已取代工业部门成为最大的能源消耗部门 (Li

et al., 2015)。在我国, 家庭碳排放占一次能源利用碳排放总量的 30%—40%, 并且还在持续增加, 是碳排放的重要来源之一, 减排潜力巨大 (Li et al., 2019)。为响应《巴黎协定》的号召, 我国制定了力争 2030 年前实现碳达峰、2060 年前实现碳中和的“双碳”目标。为达该目标, 我国在当前经济背景下提出“家庭低碳计划 15 件事”, 包括使用节能灯、少喝瓶装水、少用空调多开窗等倡议。联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 则指出改变家庭的消费模式是减少碳排放、缓解气候变化影响的可行方法之一 (IPCC, 2001)。目前, 家庭碳排放成为新的“双碳”研究对象 (王建事等, 2023), 例如: 姜璐等 (2023) 以青海省西宁市为例核算了城镇居民的家庭碳排放; 邓慧丽等 (2016) 以宁夏生态移民为研究对象, 基于生命周期评估方法核算其家庭碳足迹。但以往研究大多利用家庭消费统计数据, 重点关注国家或区域层面的家庭碳排放 (Fan et al., 2012), 较少有研究从单个家庭生计活动视角出发探究家庭生计策略变化对其家庭碳排放的影响。

我国作为世界上最大的发展中国家, 自 1978 年以来经历了快速城镇化进程, 居民的家庭碳排放在国家和区域层面具有明显差异。东部沿海地区和西部山区在经济发展水平和城镇化进程上形成了巨大差异, 导致我国碳排放分布不均匀 (Wiedenhofer et al., 2017)。由于城乡居民不同的生活、生产和消费行为以及土地利用方式, 家庭碳排放量也存在显著差异 (Yao et al., 2018)。据 2005—2017 年我国城乡家庭碳排放调查, 城镇家庭的平均碳足迹量大约是农村的 2.5 倍 (尚梅等, 2021)。其中, 城市居民的直接能源消耗量增速大于农村居民, 且城市居民间接能源消耗及其产生的碳排放量远高于直接能源碳排放量, 农村居民的间接能源消耗则不明显 (Maraseni et al., 2016; Yin et al., 2020), 这是因为城市家庭在居住、饮食、服装、交通和社会服务等方面的碳排放量大致相同, 而农村家庭的碳排放主要集中在食物消费和土地利用方面 (Feng et al., 2011)。

在家庭碳排放影响因素方面, 已有研究主要关注收入、家庭消费模式、家庭规模、人口结构等因素对居民家庭碳排放的影响。例如: 利用面板固定效应模型识别城市家庭能耗碳排放增长及其

影响因素, 发现城市家庭收入的增长使其家庭碳排放量显著增加 (李娜娜等, 2022); 家庭规模缩小会增加额外的碳排放 (Zhang et al., 2023); 基于结构方程模型探究人口老龄化对家庭碳排放的影响, 发现人口老龄化会导致家庭碳排放增加 (陈英姿和胡亚琪, 2022)。近年来, 研究者日益重视生计活动对气候和环境的影响, 例如: 从农户生计资本的视角出发对云南耿马县 200 户农户的低碳行为进行实证分析, 发现农户会通过增加化肥、农药、农膜等资本投入提高农业种植的经济效应, 增加了农户的家庭碳排放 (杨红娟和徐梦菲, 2015); 从农户生计策略的视角出发, 发现 1978—2017 年三峡库区农户的生计策略从纯农业转向工业或商业, 加之受退耕还林政策的影响, 他们的家庭碳足迹从净碳排放转变为净碳固存 (Peng et al., 2021)。

山区不仅是全球生态环境脆弱区, 更是高度依赖自然资源发展的农户生计脆弱区 (Gerlitz et al., 2017)。陇南山区是我国生态建设的重点区域, 也是秦巴山连片特困区的核心部分。自精准扶贫方略实施以来, 陇南山区农户的生计资本不断提高, 生计策略不断优化、生活消费结构不断变化, 影响着陇南山区农户的家庭碳排放。研究脱贫山区农户生计转型的低碳效应, 可帮助了解脱贫地区农户生计的发展动态及其碳排放特征, 为推动当地的可持续发展提供借鉴。鉴于此, 本文以陇南山区为例, 基于对农户的调查数据, 在辨明农户生计转型路径的基础上, 分析农户生计转型对其家庭碳排放的影响, 旨在为脱贫山区实现绿色转型、建设低碳乡村提供决策依据。

1 研究区概况、数据来源、研究方法

1.1 研究区概况

陇南山区位于秦巴山脉西部、黄土高原与青藏高原交汇处, 是我国第一级与第二级阶梯的过渡地带, 是甘肃境内唯一的长江流域地区, 形成了山地、峡谷与盆地相间的复杂地形。该区属亚热带与温带的过渡地带, 区域气候的垂直变化特征明显, 海拔越高, 气温越低, 降水越多, 全域年降水量在 250—1000 mm。受季风气候和地形的影响, 该区干旱、暴雨、冰雹和霜冻等气候灾害多发, 对当地的农田和交通系统造成了严重威胁。

在精准扶贫方略的推动下, 陇南山区所辖 9 区

(县)已于2020年底全部实现脱贫摘帽。近年来,陇南山区农户的收入持续增长。根据《2022年陇南市国民经济和社会发展统计公报》(<https://www.gscx.gov.cn/zfxgk/public/32127978/147694700.html>),2022年陇南山区农村居民人均可支配收入为10013元,较2021年同比增长7.5%,但仍低于甘肃省农村居民人均可支配收入。该区农户以种植小麦、玉米、马铃薯等粮食作物和核桃、花椒、中药材等经济作物为主,其中,中药材、花椒、油橄榄等特色农产品产量持续增长。同时,陇南山区农户依靠生态、文化旅游资源优势发展乡村旅游、电商等产业,并积极外出务工以增加家庭收入。

1.2 数据来源

研究数据主要源于对陇南山区农户的问卷调查。首先,通过陇南市人民政府官网、陇南乡村大数据平台等了解陇南市社会经济发展状况,并结合已有文献,初步设计问卷和访谈提纲。其次,以陇南山区农村总户数(58.68万户)为样本总量,使用Sample Size Calculator计算抽样调查所需的样本量。据计算,当样本量 ≥ 1065 时,调查样本在95%置信水平上符合统计学要求。2020年5月,在陇南市随机选取3个乡镇、每个乡镇随机选取10户农户进行预调查以检验问卷逻辑和质量,根据预调查发现的问题对问卷进行修改和补充。在正式调查前,聘请生源地为陇南市的在校研究生和本科生作为调查员,对他们进行入户访谈及数据搜集方法培训。正式调查在2020年7—8月进行,按照“县—村—户”分层抽样的方法,选取陇南市9个区(县)、52个乡镇、77个村庄、1200户农户进行正式调查。在剔除信息不全、质量较差的132份问卷后,共获取有效问卷1068份,此次调查问卷有效率为89%。

调查内容主要包括:(1)2014年与2019年农户的基本情况,包括家庭成员基本信息和家庭特征(性别、年龄、受教育程度、家庭成员结构等);(2)2014年与2019年农户的生产与收入状况,包括粮食作物(小麦、土豆等)、经济作物(花椒、核桃、油橄榄、蔬菜、水果等)的种植面积、产量、收入、劳动力投入及生产资料投入等,畜禽养殖数量、劳动力投入、饲料投入,非农活动(如外出务工、经商等)的劳动力投入及收入等;(3)2014年与2019年农户生活的主要

消费数据,包括使用直接能源(秸秆、煤炭、汽油、电力等)和生活消费(食物、衣着、居住、医疗、教育旅游等)支出等。

陇南山区受访户具有以下特征(表1):(1)家庭规模较大,平均每户5人。(2)劳动力数量较多,平均每户4人,占家庭总人口的66.67%。

(3)受教育程度较低,大部分农户的劳动力受教育程度在初中及以下,其中文盲占19.93%、小学占24.83%、初中占23.48%。(4)家庭土地面积较大,但呈缩减趋势。2014年,陇南山区农户的户均土地面积为 0.74 hm^2 ,2019年降低至 0.71 hm^2 ,降幅为4.05%。(4)家庭年收入上升趋势明显。2014年农户家庭年收入为21794.45元,2019年上升至35564.17元,增幅为63.18%。(5)家庭年支出增幅较大。2014年农户的家庭年支出为19645.25元,2019年增加至31734.52元,增幅为61.54%。

表1 受访1068户基本特征
Tab. 1 The characteristics of 1068 households interviewed

调查内容 Survey content	年份 Year	
	2014	2019
家庭规模/(人·户 ⁻¹) Family size/(person·household ⁻¹)	5	—
劳动力数量/(人·户 ⁻¹) Workforce/(person·household ⁻¹)	4	—
土地面积/(hm ² ·户 ⁻¹) Area of land/(hm ² ·household ⁻¹)	0.74	0.71
家庭年收入/元 Annual household income/yuan	21794.45	35564.17
家庭总支出/元 Total household expenditure/yuan	19645.25	31734.52
劳动力 受教育水平 Education level of workforce/%	文盲 Illiterate	19.93
	小学 Primary school	24.83
	初中 Junior high school	23.48
	高中 Senior high school	17.57
	大专及以上 College or above	14.19

“—”表示该数据2019年较2014年没有发生变化。

“—” indicates that there has been no change in 2019 compared with 2014.

1.3 研究方法

1.3.1 农户生计策略分类

目前农户的生计策略划分多以农户家庭收入

为标准。鉴于此,根据农户收入比重的不同将农户的生计策略划分为传统农业主导型、经济作物主导型、务工主导型、经商主导型及综合型共 5 类(赵雪雁等, 2020)(表 2)。其中,传统农业主导型农户主要依靠种植粮食作物(土豆、玉米、小麦等)和养殖畜禽(牛、羊、猪、鸡等)来维持生计,该收入占此类农户家庭总收入的 60% 及以上;经济作物主导型农户主要依靠种植经济作物(花椒、油橄榄、核桃、蔬菜等)维持生计,该收入占此类农户家庭总收入的 60% 及以上;务工主导型农户主要依靠在本地或外地打工维持生计,该收入占此类农户家庭收入的 60% 及以上;经商主导型农户主要从事电商、个体经营等活动,该收入占其家庭总收入的 60% 及以上;综合型农户采用多种生计方式,如种植业、务工和个体经营等,但没有一种生计方式的收入占比超过 60%。

表 2 2014 年、2019 年农户生计策略类型
Tab. 2 Types of farmers' livelihood strategies in 2014 and 2019

生计策略类型 Types of livelihood strategies	2014		2019	
	家庭数量 Number of families	比重 Proportion /%	家庭数量 Number of families	比重 Proportion /%
传统农业主导型 Traditional agriculture-oriented	94	8.80	55	5.15
经济作物主导型 Cash crop-oriented	86	8.05	75	7.02
务工主导型 Worker-oriented	480	44.94	585	54.78
经商主导型 Business-oriented	31	2.90	38	3.56
综合型 Comprehensive	377	35.30	315	29.49

1.3.2 农户家庭碳排放核算

基于 2014—2019 年陇南山区农户生计资本、主要生计活动的调查数据。参考 IPCC 提出的碳排放清单法核算陇南山区农户的家庭碳排放,计算公式如下:

$$C = \sum C_i + \sum C_j \quad (1)$$

式中: C 为农户的家庭碳排放, C_i 为农户的生产碳排放, C_j 为农户的生活碳排放。

1.3.2.1 生产碳排放

陇南山区农户的生产碳排放主要考虑以下三个方面:(1)农业生产资料投入导致的温室气体排放;(2)作物种植产生的温室气体;(3)畜

禽养殖导致的温室气体排放(邓维忠和许中坚, 2023)。

陇南山区农业生产资料投入产生的碳排放主要来源于化肥、农药、农膜、农业翻耕、农业灌溉、农用柴油和农机设备,计算公式如下:

$$C_z = \sum Q_{zi} \times \alpha_{zi} \quad (2)$$

式中: C_z 为农业生产资料投入产生的碳排放; Q_{zi} 为各农业生产资料的投入量; α_{zi} 为各农业生产资料的碳排放系数,取值见表 3。

表 3 农业生产资料投入的碳排放系数
Tab. 3 Carbon emission coefficient of agricultural production material input

农业生产资料 Agricultural production materials	排放系数(以碳计) Emission coefficient (calculated as carbon)	参考来源 Reference
农机设备 Agricultural machinery equipment	0.1800 kg · kW ⁻¹	West and Marland, 2002; 赵培华, 2023 (Zhao P H, 2023)
化肥 Fertilizers	0.8956 kg · kg ⁻¹	
农药 Pesticides	4.9341 kg · kg ⁻¹	李波等, 2011 (Li B et al., 2011);
农膜 Plastic film	5.1800 kg · kg ⁻¹	田云和张俊飏, 2013 (Tian Y and Zhang J B, 2013)
农用柴油 Agricultural diesel oil	0.5927 kg · kg ⁻¹	
农业灌溉 Agricultural irrigation	20.4760 kg · hm ⁻²	
农业翻耕 Agricultural ploughing	3.1260 kg · hm ⁻²	伍芬琳等, 2007 (Wu F L et al., 2007)

陇南山区主要作物有玉米、冬小麦、大豆、花椒、中药材、油橄榄、核桃等。影响其碳排放的因素包括作物种植面积、作物类型及其碳排放系数,计算公式如下:

$$C_{pi} = \sum S_{pi} \times \alpha_{pi} \quad (3)$$

式中: C_{pi} 为作物种植的碳排放量; S_{pi} 为各类作物的种植面积; α_{pi} 为各类作物的碳排放系数,取值见表 4。

在畜禽养殖中,畜禽肠道发酵会产生大量的 CH₄,粪便管理也会产生大量的 CH₄ 和 N₂O (冉锦成等, 2017)。目前,陇南山区农户主要养殖的畜禽类型为牛、骡、驴、羊、猪和鸡,排放计算公式如下:

$$C_{ci} = \sum Q_{ci} \times \alpha_{ci} \quad (4)$$

$$C_{fi} = \sum Q_{fi} \times \alpha_{fi} \quad (5)$$

式中: C_{ci} 、 C_{fi} 分别为畜禽肠道发酵和粪便管理产生的碳排放; Q_{ci} 、 Q_{fi} 分别为各类畜禽的数量; α_{ci} 、 α_{fi} 分别为各类畜禽肠道发酵和粪便管理的碳排放系数,取值见表5。

表4 主要农作物碳排放系数
Tab. 4 Carbon emission coefficient of main crops

作物类型 Crop type	排放系数 (以 N ₂ O 计) Emission coefficients (calculated as N ₂ O)/(kg·hm ⁻²)	参考来源 Reference
玉米 Corn	2.53	田云和张俊飏, 2013 (Tian Y and Zhang J B, 2013)
冬小麦 Winter wheat	2.05	庞军柱等, 2011 (Pang J Z et al., 2011)
大豆 Soybean	0.77	熊正琴等, 2002 (Xiong Z Q et al., 2002)
蔬菜 Vegetable	4.21	田云和张俊飏, 2013 (Tian Y and Zhang J B, 2013)
其他旱地作物 (土豆、花椒、油橄榄、中药材、核桃) Other dryland crops (potato, peppercorn, olive, herb, walnut)	0.95	王智平, 1997 (Wang Z P, 1997)

按 1 kg N₂O 引发的温室效应相当于 273 kg CO₂ (IPCC, 2021)、1 kg CO₂ 折算为 12/44 kg 碳, 将 N₂O 排放量转化为碳排放量。
According to the greenhouse effect caused by 1 kg of N₂O, it is equivalent to 273 kg of CO₂ (IPCC, 2021), and 1 kg of CO₂ equals 12/44 kg of carbon, N₂O emission can be converted to carbon emission.

表5 畜禽养殖温室气体排放系数
Tab. 5 Greenhouse gas emission coefficient of livestock and poultry breeding

动物类型 Animal type		CH ₄ 排放系数 / (kg·头 ⁻¹ ·a ⁻¹)		N ₂ O 排放系数 / (kg·头 ⁻¹ ·a ⁻¹)		参考来源 Reference
		CH ₄ emission coefficient/(kg·head ⁻¹ ·a ⁻¹)		N ₂ O emission coefficient/(kg·head ⁻¹ ·a ⁻¹)		
		肠道发酵	粪便管理	粪便管理		
		Enteric fermentation	Fecal management	Fecal management		
牛	Cattle	47.00	1.00	1.39		IPCC, 2006; 胡向东和王济民, 2010 (Hu X D and Wang J M, 2010)
骡 / 驴	Mule / donkey	10.00	0.90	1.39		
羊	Sheep	5.00	0.16	0.33		
猪	Hog	1.00	3.50	0.53		
家禽	Poultry	—	0.02	0.02		

按 1 kg CH₄ 和 N₂O 引发的温室效应分别相当于 27.9 kg 和 273 kg CO₂ (IPCC, 2021)、1 kg CO₂ 折算为 12/44 kg 碳, 将 CH₄ 和 N₂O 排放量转化为碳排放量。

According to the greenhouse effect caused by 1 kg of CH₄ and N₂O, it is equivalent to 27.9 kg and 273 kg of CO₂ respectively (IPCC, 2021), and 1 kg of CO₂ equals 12/44 kg of carbon, CH₄ and N₂O emission can be converted to carbon emission.

1.3.2.2 生活碳排放

生活碳排放包括直接能源碳排放和生活消费碳排放。陇南山区农户的用能种类较单一, 主要能源有煤炭、液化气、汽油和电力, 同时还消耗大量的薪柴和秸秆。因此, 陇南山区农户家庭直接能源消耗产生的碳排放取决于其煤炭、液化气、汽油、电力、薪柴和秸秆的消耗量及其相应碳排放系数, 计算公式如下:

$$C_{dj} = \sum Q_{dj} \times \alpha_{dj} \quad (6)$$

式中: C_{dj} 表示家庭直接能源消耗所产生的碳排放; Q_{dj} 为家庭各类直接能源用量; α_{dj} 为能源燃烧的碳排放系数。依照 IPCC (2006)、中华人民共和国生态环境部 (2020-12-29) 和《GB/T 2589—2020, 综合能耗计算通则》(国家市场监督管理总局

总局和国家标准化管理委员会, 2020) 的假定, 煤炭、汽油、液化气、电力的碳排放系数如表6所示; 由于我国对薪柴、秸秆燃烧引起的碳排放研究不足, 因此, 沿用马晓微等 (2015) 提到的薪柴和秸秆的碳排放系数。

依据国家统计局发布的《居民消费支出分类》, 可将居民生活消费分为食品烟酒、衣着、居住、生活用品及服务、交通和通信、教育文化和娱乐、医疗保健及其他服务。因此, 生活消费产生的碳排放取决于家庭消耗品的类型、支出和相关碳排放系数, 计算公式如下:

$$C_{inj} = \sum P_{inj} \times \alpha_{inj} \quad (7)$$

式中: C_{inj} 为生活消费所产生的碳排放量; P_{inj} 为各类生活消费的支出; α_{inj} 为各类生活消费支出的碳排放系数, 取值见表7。

表 6 直接能源消耗碳排放系数
Tab. 6 Carbon emission coefficient of direct energy consumption

能源类型 Energy type	系数 Coefficient	参考来源 Reference
煤炭 Coal	0.5601 t·t ⁻¹ , 以碳计 (calculated as carbon)	IPCC, 2006; 《GB/T 2589—2020, 综合能耗计算通则》 (GB/T 2589—2020, general rules for calculation of the comprehensive energy consumption)
汽油 Petrol	0.8146 t·t ⁻¹ , 以碳计 (calculated as carbon)	
液化气 Liquid gas	0.8634 t·t ⁻¹ , 以碳计 (calculated as carbon)	
电力 Electricity	0.8922 t·(MW·h) ⁻¹ , 以 CO ₂ 计 (calculated as CO ₂)	中华人民共和国生态环境部, 2020-12-29 (Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China, 2020-12-29)
薪柴 Firewood	1.5000×10 ⁴ t·(10 ⁴ t) ⁻¹ , 以 CO ₂ 计 (calculated as CO ₂)	马晓微等, 2015 (Ma X W et al., 2015)
秸秆 Stalk	1.2038×10 ⁴ t·(10 ⁴ t) ⁻¹ , 以 CO ₂ 计 (calculated as CO ₂)	

按 1 kg CO₂ 折算为 12/44 kg 碳, 将 CO₂ 排放量转化为碳排放量。
According to the 1 kg of CO₂ equals 12/44 kg of carbon, CO₂ emission can be converted to carbon emission.

表 7 生活消费碳排放系数
Tab. 7 Carbon emission coefficient of living consumption and reference sources

类别 Category	排放系数 (以 CO ₂ 计) / (kg·元 ⁻¹) Emission coefficient (calculated as CO ₂) / (kg·yuan ⁻¹)	参考来源 Reference
食品 Food	0.095	刘莉娜等, 2012 (Liu L N et al., 2012)
衣着 Clothing	0.126	
居住 Residence	0.192	
生活用品及服务 Household goods and services	0.158	
交通和通信 Transportation and communication	0.159	
教育文化和娱乐 Education, culture and recreation	0.160	
医疗保健 Medical care	0.177	
其他服务 Other services	0.064	

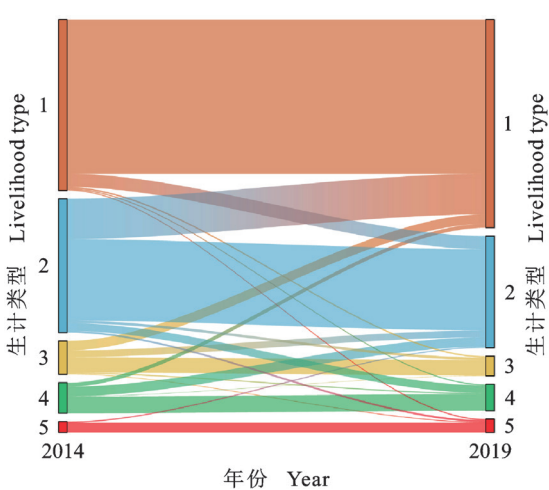
按 1 kg CO₂ 折算为 12/44 kg 碳, 将 CO₂ 排放量转化为碳排放量。
According to the 1 kg of CO₂ equals 12/44 kg of carbon, CO₂ emission can be converted to carbon emission.

选取陇南山区农户食品购买支出测算食品烟酒碳排放, 衣物购买支出测算衣着碳排放, 建(购)房开支测算居住碳排放, 家庭耐用品购买支出测算生活用品及服务碳排放, 电费、通信费、燃油费衡量交通和通信碳排放, 子女教育支出和外出旅游支出测算教育文化和娱乐碳排放, 看病、买药支出测算医疗保健碳排放。陇南山区农户的其他服务支出极少, 因此不将此类消费纳入碳排放核算。

2 结果

2.1 农户生计策略转型

2014—2019 年有 26.97% 的农户生计策略发生变化, 主要表现为由综合型转向务工主导型, 占 10.67%; 经济作物主导型转向传统农业主导型的农户最少, 仅占 0.09%。其余 73.03% 的农户选择维持原有生计模式, 其中, 选择维持务工主导型生计策略的农户最多 (图 1)。



1: 务工主导型; 2: 综合型; 3: 传统农业主导型; 4: 经济作物主导型; 5: 经商主导型。
1: worker-oriented; 2: comprehensive; 3: traditional agriculture-oriented; 4: cash crop-oriented; 5: business-oriented.

图 1 2014—2019 年陇南山区农户的生计转型轨迹
Fig. 1 Livelihood transformation track of farmers in Longnan mountainous area from 2014 to 2019

2.2 农户的人均家庭碳排放

2.2.1 农户的人均家庭碳排放变化

2014—2019年,陇南山区农户的人均家庭碳排放总体呈上升趋势,增幅为11.62%(图2)。从其构成看,农户的人均生活碳排放明显高于人均生产碳排放,并呈增长趋势,增幅为27.27%。人均生产碳排放呈下降趋势,降幅为8.30%。在生活碳排放方面,农户的人均生活消费碳排放呈上升趋势,增幅为32.32%;人均直接能源消耗产生的碳排放也呈增长趋势,增幅为21.14%。说明生活消费是造成陇南山区农户人均家庭碳排放增加的关键因素,而农户使用直接能源,如秸秆、煤炭等产生的碳排放也不容忽视。在生产碳排放方面,畜禽养殖的人均生产碳排放降幅最大,达36.42%,作物种植的降幅最小,仅为6.86%。表明陇南山区农户的生产过程中,畜禽养殖的减排潜力相对较强。

2.2.2 不同生计类型农户的人均家庭碳排放变化

2014—2019年传统农业主导型、经济作物主导型、经商主导型和综合型农户的人均家庭碳排放均呈增长趋势。其中,经济作物主导型农户的人均家庭碳排放增幅最大,达39.90%,综合型的增幅最低,为17.09%(表8)。

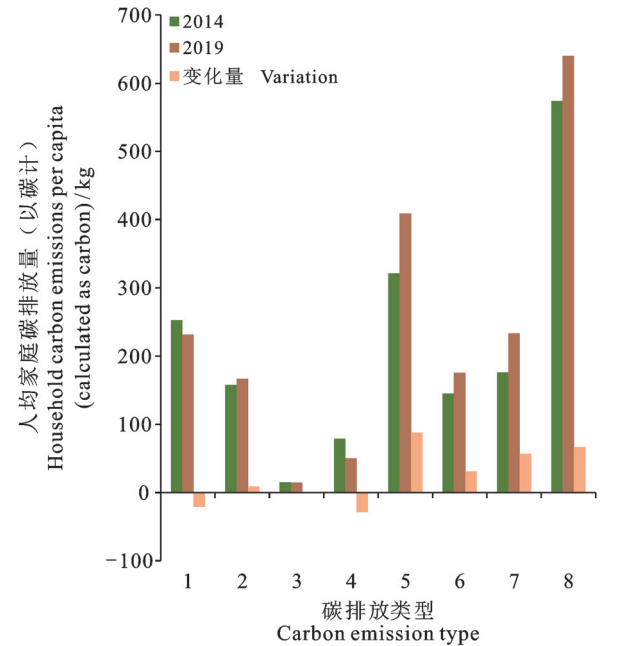


图2 2014—2019年陇南山区农户人均家庭碳排放量
Fig. 2 Per capita household carbon emissions of farmers in Longnan mountainous area from 2014 to 2019

表8 不同生计类型农户的人均家庭碳排放结构
Tab. 8 Per capital household carbon emission structure of farmers with different livelihood types

类别 Category	传统农业主导型 Traditional agriculture-oriented		经济作物主导型 Cash crop-oriented		务工主导型 Worker-oriented		经商主导型 Business-oriented		综合型 Comprehensive	
	2014	2019	2014	2019	2014	2019	2014	2019	2014	2019
	单位: kg (以碳计) Unit: kg (calculated as carbon)									
作物种植 Crop cultivation	18.68	9.56	13.17	12.79	8.47	7.13	4.72	4.18	24.27	29.58
农业生产资料投入 Agricultural production materials	161.46	165.93	154.83	167.54	155.98	165.76	155.45	165.14	160.04	168.58
畜禽养殖 Livestock and poultry breeding	101.64	238.26	101.17	75.81	50.07	27.09	21.18	5.84	109.90	59.24
直接能源消费 Direct energy consumption	129.75	138.90	103.66	128.90	166.90	180.59	191.87	260.37	126.74	173.06
生活消费 Living consumption	120.49	167.46	111.05	291.91	253.90	249.89	284.01	401.21	97.37	176.44

从人均生产碳排放看,2014—2019年除传统农业主导型农户外,其余各类农户的人均生产碳

排放均呈降低趋势。其中,综合型农户的降幅最大,达12.51%;务工主导型次之(6.78%);经

商主导型的降幅最小，为 3.41%；而传统农业主导型农户的人均生产碳排放呈增长趋势，增幅为 46.84%。从人均生活碳排放看，各生计类型的人均生活碳排放均呈增长趋势，其中，经济作物主导型农户的增幅最大，达 95.98%，务工主导型农户的增幅最低，为 2.30%。反映出传统农业主导型农户的减排潜力最弱。

2.2.3 不同生计转型路径农户的人均家庭碳排放变化

在生计转型过程中，农户的家庭碳排放也随之

发生变化（表 9）。具体来看，传统农业主导型转向务工主导型、经济作物主导型转向传统农业主导型、经商主导型转向综合型农户的人均家庭碳排放量呈降低趋势。其中，经济作物主导型转向传统农业主导型农户的碳排放量降幅最大，达 41.45%，传统农业主导型转向务工主导型农户的降幅最小，仅为 10.90%。其他生计转型农户的人均家庭碳排放均呈上升趋势。其中，由综合型转向传统农业主导型农户的增幅最大，达 208.86%，由综合型转向经商主导型农户的增幅最小，仅为 3.24%。

表 9 2014—2019 年不同生计转型路径农户的碳排放转移矩阵						
Tab. 9 State transition matrix of carbon emissions of farmers with different livelihood transformation paths from 2014 to 2019						
单位: kg (以碳计) Unit: kg (calculated as carbon)						
2019						
	传统农业主导型 Traditional agriculture-oriented	经济作物主导型 Cash crop-oriented	务工主导型 Worker-oriented	经商主导型 Business-oriented	综合型 Comprehensive	
2014	传统农业主导型 Traditional agriculture-oriented	84.19	154.11	-66.18	104.91	130.10
	经济作物主导型 Cash crop-oriented	-424.06	177.70	247.06	/	156.80
	务工主导型 Worker-oriented	64.26	154.20	0.32	378.47	17.58
	经商主导型 Business-oriented	/	/	/	236.13	-177.28
	综合型 Comprehensive	1082.49	127.39	83.17	21.42	84.79
“/” 表示没有此类生计转型路径的农户；负值表示碳排放量减少；正值表示碳排放量增加。						
“/” indicates farmers without such livelihood transformation pathways; negative: decrease in carbon emissions; positive: increase in carbon emissions.						

在生计策略保持不变的农户中，各生计类型的人均家庭碳排放量均呈增长趋势。其中，经商主导型农户的增幅最大，为 36.38%；务工主导型农户的增幅最小，仅为 0.05%。说明近年来，陇南山区不同生计策略农户的人均家庭碳排放增加趋势明显，但生计转型对农户人均家庭碳排放的影响非常复杂，受农业生产投入、生活消费、交通运输等因素影响。

3 讨论

3.1 陇南山区农户的生计转型

2014—2019 年，陇南山区农户的生计策略正迅速向务工主导型、经商主导型转型，其中由综合型转向务工主导型生计策略的农户占比最多，为 10.67%。已有研究也发现陇南山区农户的生计

策略以务工主导型为主，兼具农业特色化和非农化特征（王鹤霖和赵雪雁，2022）。这是因为乡村农业生产条件落后、农户生计方式单一（叶文丽等，2023），而随着城市化、全球化进程的加快，农户通常能够在城市寻求到更多工作机会，特别是建筑、制造和服务业等行业吸引了大量的农村剩余劳动力，使其有机会获得更高的收入并改善生活条件（毛新雅，2007）。访谈中发现：政府在陇南山区实施的城乡一体化政策通过改善农村地区的基础设施和公共服务，吸引和承接更多的产业转移，促进农户转移就业。其次，政府在陇南山区实施的就业帮扶政策，如厨师、技工、家政服务技能培训等，能够使农户适应非农就业岗位的工作要求，使其向务工主导型的生计策略转型。此外，陇南山区正大力发展电商产业，不少

农户表示电商产业链的发展不仅改善了农村基础设施,如乡村公路硬化、4G网络覆盖、乡村物流建设等,还促进了农户通过阿里巴巴、京东、快手、抖音等网络渠道开设网店,大幅提高其家庭收入,促进了农户向经商主导型生计策略转型。

3.2 生计转型对家庭碳排放的影响

2014—2019年陇南山区农户的人均家庭碳排放总量增加,但不同生计转型路径农户的碳排放存在差异。农户的生计策略转型路径中,由经济作物主导型转向传统农业主导型的人均家庭碳排放降幅最大,由综合型转向传统农业主导型的增幅最大。这是因为与种植经济作物相比,传统农业主导型农户受经济利益最大化、市场竞争、风险规避的影响较小,导致其对农业机械装备、农药、化肥的依赖较小,进而减少碳排放(王如如等,2023)。而与其他生计策略相比,传统农业主导型农户的作物种植面积更大、畜禽养殖数量更多,需要农户进行常规化的田间管理,从而导致其人均生产碳排放较大。此外,务工主导型、经商主导型生计策略还能有效推动农户参与非农产业和市场经济,可能导致其采取高排放的生活方式,增加家庭碳排放。农户生活方式的改变,也意味着其原有能源消费模式的改变,例如家用电器和私人交通工具的大量增加,增加了汽油、电力的消耗,这在一定程度上增加了农户家庭碳排放(尚梅等,2021)。

3.3 数据不确定性及研究展望

本研究基于对陇南山区农户进行的问卷调查和深度访谈,探讨农户生计转型的低碳效应。为核算陇南山区农户生计转型的低碳效应,采用农户回忆与查阅台账相结合的方法来获取2014年及2019年的农户生活消费和直接能源消费等相关数据。同时,根据尚梅等(2023)、王亚红和蔡亚平(2023)的研究,采用农户生活消费和直接能源消费的价值量计算家庭碳排放。尽管采用农户调查数据有助于确保研究数据的连续性,并且使用农户能源消费的价值量来计算家庭碳排放量具有较好的可比性,但仍难以避免误差的存在。例如在调查期间,农户所需的生活和直接能源的价格容易受天气、供求关系、货币或汇率变动、政府政策的影响而产生波动(Batten et al., 2021)。此外,不同农户的能源使用效率也存在差异,一些农户使用更高效的设备和技术,可在消耗相同能源

的情况下减少其碳排放量(Chen et al., 2020),这可能会影响计算结果的准确性。

未来研究将继续跟踪调查陇南山区农户的生计方式及生产生活消费情况,开展脱贫山区农户的家庭碳排放研究;还将进一步深入分析影响农户生计转型碳排放效应的关键因素,为制定有效的减排措施提供支撑;同时,将在厘清农户的食物消费量和消费结构等的基础上,建立更综合的农村家庭碳排放核算体系。

4 结论

采用IPCC碳排放清单法,基于2014—2019年陇南山区农户入户调查数据,对农户生计转型的碳排放,包括生产、生活碳排放量进行了综合估算,研究发现:

(1)根据农户的收入来源及占比,陇南山区农户的生计策略可划分为传统农业主导型、经济作物主导型、务工主导型、经商主导型和综合型;2014—2019年,陇南山区有26.97%的农户实现了生计转型,其中,最主要的转型方式是由综合型转向务工主导型。

(2)2014—2019年陇南山区农户的人均家庭碳排放量总体增加。其中,农户的人均生产碳排放减少,人均生活碳排放显著增加。不同生计策略类型农户的人均家庭碳排放存在差异,其中务工主导型农户的人均家庭碳排放下降,其余农户均呈上升趋势。

(3)生计策略发生转型的农户中,由传统农业主导型转向务工主导型、经济作物主导型转向传统农业主导型、经商主导型转向综合型农户的人均家庭碳排放量减少;生计策略保持不变的农户人均家庭碳排放均呈上升趋势。

陇南山区农户的生计转型对其人均生产碳排放和人均生活碳排放均产生影响,未来在生产碳排放方面,应鼓励农户调整农业生产、经营和管理模式,加强田间管理,减少不必要的化肥、农药以及农膜等农业生产资料的投入;引导农户使用节能减排的农业生产技术,如高效灌溉系统和节能农机具。在生活碳排放方面,应加大农村“绿色宣传”力度,鼓励农户参与“世界低碳日”等活动,促使其养成健康低碳的生活和消费习惯;同时应发展农村清洁能源、开发农村可再生绿色能源,鼓励农户采用太阳能、风能等清洁能源,减少对传统薪柴、秸秆、化石能源的依赖,降低

农户的生活碳排放。

参考文献

- 陈英姿, 胡亚琪. 2022. 人口老龄化对家庭碳排放的影响路径研究 [J]. *人口学刊*, 44(5): 99–112. [Chen Y Z, Hu Y Q. 2022. Pathways of population aging on household carbon emissions [J]. *Population Journal*, 44(5): 99–112.]
- 邓慧丽, 苗红, 孔云霄, 等. 2016. 宁夏生态移民家庭碳足迹调查与影响因素研究 [J]. *水土保持研究*, 23(4): 154–160. [Deng H L, Miao H, Kong Y X, et al. 2016. Research on carbon footprint of ecomigration family and its influence factors in Ningxia [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 23(4): 154–160.]
- 邓维忠, 许中坚. 2023. 湖南省农业碳排放特征及碳达峰分析 [J]. *中国生态农业学报 (中英文)*. DOI: 10.12357/cjea.20230423. (网络首发) [Deng W Z, Xu Z J. 2023. Characteristics of agricultural carbon emissions and carbon peak analysis in Hunan Province [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*. DOI: 10.12357/cjea.20230423. (online first)]
- 姜璐, 丁博文鹏, 周学伟, 等. 2023. 青海高原西宁城镇社区家庭能耗直接碳排放研究 [J]. *地理科学*, 43(1): 119–129. [Jiang L, Ding B W P, Zhou X W, et al. 2023. Household energy consumption and carbon emissions in Xining on Qinghai Plateau [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 43(1): 119–129.]
- 胡向东, 王济民. 2010. 中国畜禽温室气体排放量估算 [J]. *农业工程学报*, 26(10): 247–252. [Hu X D, Wang J M. 2010. Estimation of livestock greenhouse gases discharge in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26(10): 247–252.]
- 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 2020. GB/T 2589—2020, 综合能耗计算通则 [S]. 北京: 中国标准出版社. [State Administration for Market Regulation, Standardization Administration. 2020. GB/T 2589—2020, general rules for calculation of the comprehensive energy consumption [S]. Beijing: Standards Press of China.]
- 李波, 张俊飏, 李海鹏. 2011. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解 [J]. *中国人口·资源与环境*, 21(8): 80–86. [Li B, Zhang J B, Li H P. 2011. Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 21(8): 80–86.]
- 李绵德, 周冬梅, 朱小燕, 等. 2023. 河西走廊 2000—2020 年农业碳排放时空特征及其影响因素 [J]. *农业资源与*
- 环境学报*, 40(4): 940–952, 989. [Li M D, Zhou D M, Zhu X Y, et al. 2023. Spatial-temporal characteristics of agricultural carbon emissions and influencing factors in the Hexi Corridor from 2000 to 2020 [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 40(4): 940–952, 989.]
- 李娜娜, 赵月, 王军锋. 2022. 中国城市居民收入和储蓄增长对家庭能耗碳排放的区域异质性及政策应对 [J]. *生态经济*, 38(1): 30–35. [Li N N, Zhao Y, Wang J F. 2022. Regional heterogeneity and policy responses of the rising residential income and savings on China's urban household energy-related CO₂ [J]. *Ecological Economy*, 38(1): 30–35.]
- 刘莉娜, 曲建升, 邱巨龙, 等. 2012. 1995—2010 年居民家庭生活消费碳排放轨迹 [J]. *开发研究*, (4): 117–121. [Liu L N, Qu J S, Qiu J L, et al. 2012. Carbon emission trajectories of household living consumption from 1995 to 2010 [J]. *Research on Development*, (4): 117–121.]
- 马晓微, 杜佳, 叶奕, 等. 2015. 中美居民消费直接碳排放核算及比较 [J]. *北京理工大学学报 (社会科学版)*, 17(4): 34–40. [Ma X W, Du J, Ye Y, et al. 2015. A study of comparison of carbon emissions accounting from household energy consumption between China and United States of American [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 17(4): 34–40.]
- 毛新雅. 2007. 城市化与建设新农村的关系探究——兼论中国解决农民问题的途径 [J]. *经济问题探索*, (6): 4–9. [Mao X Y. 2007. A probe into the relationship between urbanization and building a new countryside—also on the ways to solve farmers' problems in China [J]. *Inquiry into Economic Issues*, (6): 4–9.]
- 庞军柱, 王效科, 牟玉静, 等. 2011. 黄土高原冬小麦地 N₂O 排放 [J]. *生态学报*, 31(7): 1896–1903. [Pang J Z, Wang X K, Mu Y J, et al. 2011. Nitrous oxide emissions from winter wheat field in the Loess Plateau [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 31(7): 1896–1903.]
- 冉锦成, 马惠兰, 苏洋. 2017. 西北五省农业碳排放测算及碳减排潜力研究 [J]. *江西农业大学学报*, 39(3): 623–632. [Ran J C, Ma H L, Su Y. 2017. A study on agricultural carbon emission and carbon emission reduction potential in five provinces in Northwest China [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 39(3): 623–632.]
- 尚梅, 徐紫瑞, 闫晓霞, 等. 2023. 中国居民家庭碳排放动态演进及驱动因素研究 [J]. *生态经济*, 39(3): 23–30.

- [Shang M, Xu Z R, Yan X X, et al. 2023. Research on dynamic evolution and driving factors of household carbon emissions in China [J]. *Ecological Economy*, 39(3): 23–30.]
- 尚梅, 张风斌, 胡振. 2021. 家庭异质性视角下城乡居民家庭碳排放研究——以陕西为例 [J]. *生态经济*, 37(2): 13–21, 34. [Shang M, Zhang F B, Hu Z. 2021. Research on household carbon emissions of urban and rural residents from the perspective of family heterogeneity: taking Shaanxi as an example [J]. *Ecological Economy*, 37(2): 13–21, 34.]
- 田云, 张俊飏. 2013. 中国农业生产净碳效应分异研究 [J]. *自然资源学报*, 28(8): 1298–1309. [Tian Y, Zhang J B. 2013. Regional differentiation research on net carbon effect of agricultural production in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 28(8): 1298–1309.]
- 王鹤霖, 赵雪雁. 2022. 帮扶措施对山区脱贫农户生计策略选择的影响——以陇南山区为例 [J]. *地理科学进展*, 41(11): 2004–2017. [Wang H L, Zhao X Y. 2022. Influence of support measures on the livelihood strategy choice of out-of-poverty farming households in mountainous regions: a case study of the Longnan mountainous area [J]. *Progress in Geography*, 41(11): 2004–2017.]
- 王建事, 王成新, 任婉侠, 等. 2023. 地理学视角下“双碳”研究: 主题、成效及展望 [J]. *地球科学进展*, 38(7): 757–768. [Wang J S, Wang C X, Ren W X, et al. 2023. “carbon peaking and carbon neutrality” studies in geosciences: theme, effects and prospects [J]. *Advances in Earth Science*, 38(7): 757–768.]
- 王如如, 张郁, 房艳刚, 等. 2023. 农业生产转型视角的东北三省农业碳排放格局特征与作用机制 [J]. *地理研究*, 42(8): 2264–2282. [Wang R R, Zhang Y, Fang Y G, et al. 2023. The pattern characteristics and mechanisms of agriculture carbon emissions from the perspective of agricultural production transition in Northeast China [J]. *Geographical Research*, 42(8): 2264–2282.]
- 王亚红, 蔡亚平. 2023. 农户贫困脆弱性、收入水平和消费升级对家庭碳排放的影响研究 [J]. *中国物价*, (2): 55–58. [Wang Y H, Cai Y P. 2023. Impact of vulnerability to poverty, income and consumption upgrading on household carbon emissions of rural household [J]. *China Price*, (2): 55–58.]
- 王悦, 李锋, 孙晓. 2019. 城市家庭消费碳排放研究进展 [J]. *资源科学*, 41(7): 1201–1212. [Wang Y, Li F, Sun X. 2019. Progress of research on carbon emissions of urban household consumption [J]. *Resources Science*, 41(7): 1201–1212.]
- 王智平. 1997. 中国农田 N_2O 排放量的估算 [J]. *农村生态环境*, 13(2): 51–55. [Wang Z P. 1997. Estimation of nitrous oxide emission of farmland in China [J]. *Rural Environment*, 13(2): 51–55.]
- 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 2007. 保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响 [J]. *生态学杂志*, 26(12): 2035–2039. [Wu F L, Li L, Zhang H L, et al. 2007. Effects of conservation tillage on net carbon flux from farmland ecosystems [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 26(12): 2035–2039.]
- 熊正琴, 邢光熹, 鹤田治雄, 等. 2002. 种植夏季豆科作物对旱地氧化亚氮排放贡献的研究 [J]. *中国农业科学*, 35(9): 1104–1108. [Xiong Z Q, Xing G X, Tsuruta H, et al. 2002. The effects of summer legume crop cultivation on nitrous oxide emissions from upland farmland [J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 35(9): 1104–1108.]
- 杨红娟, 徐梦菲. 2015. 少数民族农户低碳生产行为影响因素分析 [J]. *经济问题*, (6): 90–94. [Yang H J, Xu M F. 2015. The analysis of influencing factors on low-carbon production behavior of minority farmers minority people [J]. *On Economic Problems*, (6): 90–94.]
- 叶文丽, 王银, 吴孔森, 等. 2023. 黄土高原农户生计转型及其生态效应——以陕西省佳县为例 [J]. *生态学报*, 43(6): 2323–2335. [Ye W L, Wang Y, Wu K S, et al. 2023. Farmers' livelihood transition and ecological effects on Loess Plateau: a case study of Jiaxian County, Shaanxi Province [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 43(6): 2323–2335.]
- 赵培华. 2023. 河南省农业碳排放与经济增长的脱钩分析 [J]. *江苏农业科学*, 51(22): 245–249. [Zhao P H. 2023. Decoupling analysis of agricultural carbon emissions and economic growth in Henan Province [J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 51(22): 245–249.]
- 赵雪雁, 刘江华, 王伟军, 等. 2020. 贫困山区脱贫农户的生计可持续性及其生计干预——以陇南山区为例 [J]. *地理科学进展*, 39(6): 982–995. [Zhao X Y, Liu J H, Wang W J, et al. 2020. Livelihood sustainability and livelihood intervention of out-of-poverty farming households in poor mountainous areas: a case of Longnan mountainous area [J]. *Progress in Geography*, 39(6): 982–995.]
- 中华人民共和国生态环境部. 2020-12-29 [2023-04-02]. 2019年度减排项目中国区域电网基准线排放因子 [EB/OL]. <https://www.mee.gov.cn/ywgg/ydqhbh/wsqtz/202012/>

- t20201229_815386.shtml. [Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. 2020-12-29 [2023-04-02]. China regional grid baseline emission factors for the 2019 emission reduction project [EB/OL]. https://www.mee.gov.cn/ywgz/ycqhbh/wsqtz/202012/t20201229_815386.shtml.]
- Batten J A, Maddox G E, Young M R. 2021. Does weather, or energy prices, affect carbon prices? [J]. *Energy Economics*, 96: 105016. DOI: 10.1016/j.eneco.2020.105016.
- Chen J D, Gao M, Mangla S K, et al. 2020. Effects of technological changes on China's carbon emissions [J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 153: 119938. DOI: 10.1016/j.techfore.2020.119938.
- Fan J, Guo X M, Marinova D, et al. 2012. Embedded carbon footprint of Chinese urban households: structure and changes [J]. *Journal of Cleaner Production*, 33: 50–59.
- Feng Z H, Zou L L, Wei Y M. 2011. The impact of household consumption on energy use and CO₂ emissions in China [J]. *Energy*, 36(1): 656–670.
- Gerlitz J Y, Macchi M, Brooks N, et al. 2017. The multi-dimensional livelihood vulnerability index—an instrument to measure livelihood vulnerability to change in the Hindu Kush Himalayas [J]. *Climate and Development*, 9(2): 124–140.
- IEA. 2023. CO₂ emissions in 2022 [R]. Paris: International Energy Agency.
- IPCC. 2001. Climate change 2001: mitigation. Contribution of working group III to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories [R]. Hayama: Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC. 2021. Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. Cambridge: Cambridge University Press.
- Li J, Zhang D Y, Su B. 2019. The impact of social awareness and lifestyles on household carbon emissions in China [J]. *Ecological Economics*, 160: 145–155.
- Li Y M, Zhao R, Liu T S, et al. 2015. Does urbanization lead to more direct and indirect household carbon dioxide emissions? Evidence from China during 1996—2012 [J]. *Journal of Cleaner Production*, 102: 103–114.
- Maraseni T N, Qu J S, Yue B, et al. 2016. Dynamism of household carbon emissions (HCEs) from rural and urban regions of northern and Southern China [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(20): 20553–20566.
- Peng Y, Yang L E, Scheffran J, et al. 2021. Livelihood transitions transformed households' carbon footprint in the Three Gorges Reservoir area of China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 328: 129607. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129607.
- West T O, Marland G. 2002. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 91(1/2/3): 217–232.
- Wiedenhofer D, Guan D B, Liu Z, et al. 2017. Unequal household carbon footprints in China [J]. *Nature Climate Change*, 7(1): 75–80.
- Yao X L, Kou D, Shao S, et al. 2018. Can urbanization process and carbon emission abatement be harmonious? New evidence from China [J]. *Environmental Impact Assessment Review*, 71: 70–83.
- Yin X M, Hao Y, Yang Z F, et al. 2020. Changing carbon footprint of urban household consumption in Beijing: insight from a nested input-output analysis [J]. *Journal of Cleaner Production*, 258: 120698. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120698.
- Zhang Y M, Wang F, Zhang B. 2023. The impacts of household structure transitions on household carbon emissions in China [J]. *Ecological Economics*, 206: 107734. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2022.107734.