

杜辉, 张学儒, 张世国, 等. 耕地转变为建设用地的碳排放效应: 基于中国224个地级市的经验与证据[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(6): 65-74. DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.06.007

耕地转变为建设用地的碳排放效应: 基于中国 224个地级市的经验与证据

杜辉^{1,2}, 张学儒^{1,2}, 张世国³, 张清勇⁴

1. 河北经贸大学公共管理学院, 石家庄 050061; 2. 河北经贸大学河北省城乡融合发展协同创新中心, 石家庄 050061; 3. 《管理世界》杂志社, 北京 100026; 4. 中国人民大学农业与农村发展学院, 北京 100872

摘要 为探究在碳达峰、碳中和的时代背景下, 土地利用变化对碳排放的影响以及影响路径, 推动生态环境协同治理、实现绿色高质量发展, 本文从耕地转变为建设用地这一视角切入, 基于2009—2010年、2018—2019年中国224个地级市的数据, 运用面板固定效应模型着重探究耕地转变为建设用地的碳排放效应及其影响机制。结果显示: 全国耕地转变为建设用地呈现收缩趋势, 东部省份以及东北地区趋势最为突出, 中西部省份收缩趋势不明显; 碳排放总量仅东部省份呈现下降趋势, 其他省份均呈上升趋势; 耕地转变为建设用地显著增加了碳排放量, 这一结果在进行稳健性检验以及处理可能存在的内生性后依然成立。研究结果表明, 耕地变为建设用地所引致的产业结构以及能源消费变化是影响碳排放的主要路径。

关键词 土地利用变化; 碳排放; “双碳”; 建设用地; 耕地; 产业结构; 能源消费

中图分类号 X22 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)06-0065-10

气候变化是人类面临的严峻挑战。伴随着经济发展, 由化石能源燃烧引起的二氧化碳和甲烷等温室气体排放对气候变化产生了深刻影响^[1], 导致了包括冰川融化、气温上升、降水不均匀和生物多样性丧失在内的一系列问题^[2]。这其中约75%的二氧化碳由仅占世界陆地面积2%的城市建设用地所产生^[3]。统计数据显示全球每年因土地利用变化导致的碳排放量在1.2 Gt以上, 2015年甚至高达1.6 Gt以上, 碳排放的持续增加造成了人类环境发展的不可持续^[4], 实现“碳达峰”和“碳中和”已成为实现人类社会可持续发展的重要路径。

学界关于建设用地对碳排放的影响效应和路径进行了有益探索。从影响效应来看, 现有研究突出强调建设用地显著增加了碳排放^[5]。其原因在于工业化和人口城镇化进程发展迅速, 大量的耕地转变为建设用地^[6], 建设用地所承载的人类活动, 包括能源消费、工业生产过程和废弃物排放等, 产生了大量的碳排放^[7]。当前建设用地碳排放已成为主要碳源, 林地、草地、水域和未利用地的碳吸收能力不断减弱^[8], 造成生态系统碳储量的损失。这一结论在京津冀、长三角和珠三角等地均得到验证^[9]。因此, 建设用地的碳源地位明显^[10], 控制建设用地规模^[11]、提高创新能力^[12]、合理利用外资^[13]等成为减少碳排放

的主要思路。土地利用变化影响碳排放的路径也是研究关注的重点。从产业结构来看, 土地利用结构影响区域产业分布和经济发展^[14], 如第二产业占用大量建设用地^[15]且以化石能源为主, 导致碳排放量大^[16]。此外, 部分研究也就能源消耗量对于碳排放的促进作用作出了有益探索^[17]。

现有文献对建设用地与碳排放的关系进行了深入分析, 为本研究提供了重要借鉴。但当前对该问题的研究大都以某一区域或者某一城市为研究对象, 对全国层面的探索较少。在我国突出强调粮食安全以及实现“双碳”目标的大背景下, 耕地转变为建设用地, 其碳排放能力究竟如何变化? 事实上, 自2010年以来, 中国二氧化碳排放量居世界前列^[18]。而中国仍在经历快速的土地城市化进程, 政府依靠土地征收将大量的耕地转化为建设用地, 以满足中国经济和城市的快速增长。据《全国国土规划纲要(2016—2030年)》推算, 到2030年266.67万hm²耕地将被征收用作建设用地。建设用地的快速增加对碳排放总量的影响不可小觑, 直接关系到国家经济高质量发展。本研究运用空间数据和计量模型探究耕地转变为建设用地的碳排放效应, 以期为实现土地优化利用和发展低碳经济提供数据支持。

1 材料与方法

1.1 理论分析及研究假说

土地利用变化深刻影响土地覆盖类型,最终影响土地固碳能力^[19]。已有关于土地利用碳排放的研究重点关注碳排放的测量及其时空变化^[20]、减少土地利用碳排放的可行方式^[21]、增强碳汇的可行路径^[22]、土地利用对碳排放的影响^[23]和土地利用碳排放影响因素^[24]等方面。其中,耕地转变为建设用地的碳排放影响受到诸多学者的关注。从碳源的角度看,研究显示城市土地利用方式对碳排放的影响与城市土地利用结构息息相关^[25],建设用地比重高是碳排放量大的主要原因^[26],因建设用地导致的碳排放量逐渐增加,平均增长率为7.1%^[27],其中工业、建筑与交通等部门是碳排放的主要来源^[28],交通和工业用地相关碳排放量占比为85%^[27];内在原因在于能源和工业源碳排放大多发生在建设用地上^[29],这些产业改变了人们的生产生活方式,也改变了能源消耗量^[14]。从碳汇的角度来看,大量的建设用地挤占了生态空间,降低了植被的碳汇能力^[30]。生态和农业用地转变为建设用地后丧失原有碳汇功能^[28],且这一过程通常是不可逆转的。与此同时,耕地转变为建设用地后土壤理化性质发生变化,对有机碳的固化吸收作用也将有所减弱^[29]。到2100年,51%~63%的新增城市用地将由耕地转为建设用地^[31]。增强林草等地类的碳汇功能对于优化土地利用以及实现碳减排具有重要意义^[32]。

基于以上研究,本研究提出以下假说。

假说1:耕地转变为建设用地会显著影响碳排放。

耕地转变为建设用地影响碳排放的机制是研究的关注点。土地利用变化对碳排放影响的根源在于人类活动。人类活动对能源和资源消耗的影响因土地类型不同而存在较大差异^[33]。通常情况下,建设用地规模越大,碳排放量越多^[7],原因在于建设用地作为人类生活和工业生产的基本空间载体,碳排放量远高于其他土地利用类型^[34]。同时工业企业因对能源的需求较大而成为碳排放的直接主体^[35]。研究

指出,目前部分城市仍是“二三一”产业结构,第二产业内部结构不尽合理,显著影响碳排放^[36]。制造业向服务业转型是减碳的核心路径之一^[37]。此外,相关研究也指出,重化工业集中了中国接近60%的能源消费量,且能源强度较高^[38],随着能源消耗量的增加,碳排放量也会增加^[39]。阳凯等^[35]以洞庭湖地区为例研究,发现煤炭消费量的增加导致当地碳排放量上升。伴随着能源消耗的增加,高耗能高碳排的产业会在短时间内增加碳排放量^[39]。减少碳排放需要控制化石能源的消耗,提升清洁能源消费占比^[40],并依靠技术进步和改善当地能源结构以实现降碳增汇^[39]。

基于以上分析,本研究提出假说2。

假说2:耕地转变为建设用地通过影响产业结构和能源消费影响碳排放量。

1.2 数据来源

本研究使用的数据包括2009—2010年和2018—2019年全国224个地级市的土地利用覆盖数据^①,从该数据中解析获得耕地转变为建设用地的具体面积。使用的碳排放数据源于中国碳核算数据库(China emission accounts and datasets, CEADs), CEADs由清华大学研究团队于2016年创建,是打造国家、区域、城市、基础设施多尺度统一、全口径、可验证的高空间精度、分社会经济部门、分能源品种品质的精细化碳核算数据平台(<https://www.ceads.net.cn>)。该数据库是采用粒子群优化-反向传播(PSO-BP)算法,解析DMSP/OLS和NPP/VIIRS卫星图像反演得到,这一数据集覆盖面广、时间跨度长,具有较好的连续性,被认为是国内较为权威和科学的碳排放核算数据库^[31]。本研究使用的其他数据来自《中国城市统计年鉴》^②。

1.3 研究方法

1)土地利用转移矩阵。土地利用转移矩阵是从系统分析的角度出发,通过对土地利用系统的不同状态(如不同类型的土地使用)以及这些状态随时间的转变进行定量描述而形成的研究方法^[41]。如表1所示,行表示 t_1 时点的土地利用类型,列表示 t_2 时点

① 本研究使用的耕地转变为建设用地数据来源于武汉大学的杨杰和黄昕教授发布的1990—2021年的年度土地覆盖数据,数据格式为栅格数据。杨杰和黄昕教授使用335 709张Landsat图像,在谷歌地球引擎(GEE)平台上制作了源自Landsat的中国年度土地覆盖数据集annual land cover (CLDC)。其撰写的《30 m annual land cover and its dynamics in China from 1990 to 2019》的研究论文发表于Earth System Science Data。该数据包括9种用地类型,分别为:耕地、森林、灌木、草原、水域、冰雪、裸地、不透水面、湿地。本研究主要识别耕地转换为不透水地面(建设用地)的数值,以此作为核心解释变量。

② 需要说明的是,部分变量存在年份缺失,本研究主要使用插值法进行填补。

的土地利用类型。 P_{ij} 表示 t_1-t_2 时间段内土地利用类型 i 转变为土地利用类型 j 的面积占土地总面积的比例。 P_{ii} 表示 t_1-t_2 时间段内土地利用类型保持不变的面积百分比。 P_{i+} 表示 t_1 时间点土地利用类型 i 的面积占土地总面积的百分比。 P_{+j} 表示 t_2 时间点 j

种土地利用类型的总面积占土地总面积的百分比。 $P_{i+} - P_{ii}$ 表示 t_1-t_2 时间段内土地利用类型 i 面积减少的百分比。 $P_{+j} - P_{jj}$ 表示 t_1-t_2 期间地类 j 面积增加的百分比。 t_1-t_2 时期各种土地利用类型的净变化量可表示为 D_j ,见式(1)。

表1 土地利用转移矩阵

Table 1 Land use transfer matrix

| | | t_1 | | | | 合计 | 减少量 |
|---------------|-------|-------------------|-------------------|----|-------------------|----------|-------------------|
| | | A_1 | A_2 | …… | A_n | Total | Decrement |
| t_2 | A_1 | P_{11} | P_{12} | …… | P_{1j} | P_{1+} | $P_{1+} - P_{11}$ |
| | A_2 | P_{21} | P_{22} | …… | P_{2j} | P_{2+} | $P_{2+} - P_{22}$ |
| | — | — | — | — | — | — | — |
| | A_n | P_{n1} | P_{n2} | …… | P_{nj} | P_{n+} | $P_{n+} - P_{nn}$ |
| 合计 Total | | P_{+1} | P_{+2} | …… | P_{+j} | 1 | |
| 新增量 Increment | | $P_{+1} - P_{11}$ | $P_{+2} - P_{22}$ | …… | $P_{+j} - P_{jj}$ | | |

$$D_j = \max(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) - \min(P_{j+} - P_{jj}, P_{+j} - P_{jj}) = |P_{+j} - P_{j+}| \quad (1)$$

2) 计量回归模型。本研究主要考察耕地转变为建设用地的碳排放效应,本研究的基准回归使用的计量模型设定如下:

$$C_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 L_{it} + X_{it} + \delta_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中, i 表示不同城市, t 代表年份; C_{it} 表示地级市碳排放量; L_{it} 表示地级市范围内耕地转变为建设用地的面积,根据土地覆盖数据获得研究时间段内耕地转变为建设用地的面积; α_1 表示耕地转变为建设用地变化的系数,也是本研究最关心的估计系数; X_{it} 为包括城市经济发展水平、城市化率等在内的一系列控制变量; δ_i 表示城市个体固定效应,旨在控制城市内部不可观测因素; λ_t 表示时间固定效应,旨在控制与耕地转变为建设用地变化有关的全国性政策或者其他随时间变化但是不随城市变化的因素; ϵ_{it} 为随机扰动项。

在机制分析部分,主要是用中介效应模型进行分析。根据已有研究^[42],为避免中介机制检验中潜在的内生性偏误,重点考察核心解释变量与中介变量之间的因果关系。为此,设置如下模型:

$$S_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 L_{it} + X_{it} + \delta_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

$$N_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 L_{it} + X_{it} + \delta_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \quad (4)$$

式(3~4)中, S_{it} 和 N_{it} 分别表示2个中介变量, L_{it} 代表核心解释变量,其余变量含义与前文一致。本

研究据此进行回归分析。

3) 变量介绍。

①解释变量:耕地转变为建设用地。本研究中土地利用变化特指耕地转变为建设用地,其他土地类型的变化并不在本研究的研究范畴^①。实际操作中,主要在ArcGIS平台上,将2009—2010年、2018—2019年的空间数据使用叠加功能进行叠加分析,得到土地利用转移矩阵,从中获取耕地转变为建设用地的面积。

②中介变量:产业结构变化和能源消费量。产业结构变化主要使用第二产业增加值占GDP的比重衡量,能源消费量主要使用地级市能源消耗量(非煤炭能源均折算为标准煤)表示。

③控制变量:借鉴已有研究^[26,43],本研究也控制了如下可能影响碳排放的变量,包括经济发展水平、人口规模(人口密度)、外资利用程度、创新强度(科研支出)、工业企业数量、固定资产投资等变量,变量的描述性统计见表2。

需要说明的是,本研究使用的耕地转变为建设用地数据由GIS通过土地利用转移矩阵获得,为使数据保持一致,本研究所有的变量均为2个年份间的差值,即增量。

① 之所以单独考虑耕地转变为建设用地,是因为相关研究指出:“在中国,建设用地上承载的碳排放已经超过碳排放总量的70%”,降低建设用地上承载的碳排放对于应对全球气候变暖具有重要意义。因此,耕地转变为建设用地后带来的碳排放增加可能最为明显,因此我们着重探究耕地转变为建设用地的对碳排放的影响。其他地类变换虽然也是重要因素,但是为避免主题过于分散,所以并未就其他地类变换带来的碳排放效应进行系统分析。

表2 描述性统计

Table 2 Descriptive statistics

| 变量 Variables | 变量说明 Variable definition | 样本量 Samples | 均值 Mean | 标准差 SD |
|--|---|----------------|------------|-----------|
| 碳排放 Carbon emission | 碳排放量/Mt Carbon emission | 378 | 2.48 | 8.89 |
| 耕地转变为建设用地 Land transfer | 耕地转变为建设用地面积/km ² Square of land transfer | 596 | 9.45 | 14.08 |
| 经济发展水平 Economic development | 人均国内生产总值/元 Per capita of GDP | 596 | 3 744.89 | 7 300.84 |
| 人口规模 Scale of population | 人口密度/(人/km ²) Population density | 596 | 3.25 | 15.77 |
| 外资利用程度 Utilization of foreign capital | 实际使用外资额/万元 Actual use of foreign capital | 596 | 2 051.85 | 48 573.71 |
| 创新强度 Innovation intensity | 科学支出/万元 Scientific expenditure | 596 | 29 737.83 | 182 000 |
| 工业企业数 Number of industrial enterprises | 规模以上工业企业数 Number of industrial enterprises above designated size | 596 | 37.933 | 280.62 |
| 固定资产投资 Investment in fixed assets | 固定资产投资数额/万元 Amount of investment in fixed assets | 596 | 3 050 000 | 4 180 000 |
| 产业结构 Industrial structure | 二产增加值占GDP的比重 The proportion of the secondary industry in GDP | 596 | 5.13 | 1.10 |
| 能源消费 Energy consumption | 化石能源消耗量(标准煤)/万 t Fossil energy consumption | 596 | -0.96 | 4.24 |

2 结果与分析

2.1 中国土地利用变化的时空演变特征

中国土地利用变化具有明显的时空分布不均匀特征(表3)。从空间分布状况来看,东部耕地转变为建设用地面积高于中西部和东北。2009—2010年,东部省份各城市耕地转变为建设用地的均值为27.24 km²,中部省份各城市均值为13.61 km²,而西部省份各城市均值为12.13 km²,东北地区为14.63 km²。结合原始数据发现,2009—2010年,全国耕地转变为建设用地变化面积较少的地区主要分布在我国青藏高原地区,而耕地转变为建设用地变化幅度最明显的是河北省唐山市。

从空间分布来看,2018—2019年东部省份各城市耕地转变为建设用地面积平均为5.66 km²,中部省份各城市平均为3.94 km²,西部省份各城市平均为11.11 km²,而东北地区平均为1.36 km²。2018—2019年,我国各城市中耕地转变为建设用地变化量最大的城市是四川省成都市,面积为110.62 km²。

通过对比可以发现,在研究时间段内,全国耕地转变为建设用地呈现收缩趋势,尤其是东部地区下降了380.8%,中部地区也呈现下降趋势,西部省份虽有下降但是下降幅度最小。这也和实际情况高度一致,即东部省份城市化发展水平持续稳定发展,耕地转变为建设用地年际变动幅度较小,中部省份各城市发展趋势也基本一致。但西部省份还处于城市化快速发展的阶段,因此,耕地转化为建设用地的面积

2.3 基准回归结果

基于双向固定效应模型的耕地转变为建设用地

仍旧较大。

2.2 中国碳排放的时空演变特征

我国二氧化碳排放总量呈现增加趋势。2009年,我国累计碳排放量为8 208.25 Mt,2018年,我国累计碳排放量为10 756.72 Mt (<https://client.mytbanic.com>),增长率高达31.05%。2009—2010年,东部省份各城市碳排放量均值为5.31 Mt,中部省份各城市碳排放量均值为0.74 Mt,西部省份各城市碳排放量均值则为4.04 Mt,东北地区为2.29 Mt。2018—2019年,东部省份各城市碳排放量均值为1.24 Mt,中部省份各城市碳排放量均值为1.08 Mt,西部省份各城市碳排放量均值则为9.17 Mt,东北地区为4.67 Mt。数据反映出我国碳排放呈现时空分布不均匀的特征,即东部地区各城市碳排放量年际差异小,各年二氧化碳排放量趋于稳定。而伴随着国家对中西部省份的持续支持,其经济发展水平存在较大提升空间,未来中西部地区的碳排放量有可能持续增加,且年际变化幅度有下降的可能。

结合原始城市数据,碳排放年际变化差异较大的城市主要集中在内蒙古鄂尔多斯、包头以及陕西榆林等城市,这些城市是我国主要的化石能源产地,也是当地重要的发电厂所在地,这可能是当地碳排放量年际差异较大的重要原因。而碳排放年际变化差异较小的城市主要集中在南方城市,如浙江省温州市,年际变化差异极小,这与当地的产业结构密切相关,当地主要发展第三产业,污染企业以及重工业产业占比较低,碳排放量较少,年际差异也较小。

的碳排放效应回归结果见表4,如第(1)列所示,在不添加任何控制变量而仅考虑时间固定效应和城市固

表3 不同区域碳排放及土地利用变化情况
Table 3 Carbon emission and land use change in different regions

| 区域 Region | 省级行政区 Provincial level | 2009—2010 | | 2018—2019 | |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| | | 碳排放/Mt Carbon emission | 土地利用/km ² Land use | 碳排放/Mt Carbon emission | 土地利用/km ² Land use |
| 东部 Eastern | 北京 Beijing | 4.65 | 8.48 | -0.25 | 32.30 |
| | 福建 Fujian | 2.52 | 10.51 | 1.96 | 3.15 |
| | 广东 Guangdong | 3.02 | 8.61 | 0.27 | 2.18 |
| | 海南 Hainan | 0.52 | 2.54 | 0.57 | 2.25 |
| | 河北 Hebei | -3.24 | 45.24 | -3.76 | 6.42 |
| | 上海 Shanghai | 16.44 | 54.12 | 2.27 | 0.40 |
| | 天津 Tianjin | 16.81 | 70.68 | 4.13 | 0.06 |
| | 山东 Shandong | 4.40 | 24.12 | 4.70 | 2.51 |
| | 江苏 Jiangsu | 5.75 | 29.43 | 2.79 | 1.46 |
| | 浙江 Zhejiang | 2.26 | 18.62 | -0.28 | 5.91 |
| 中部 Central | 安徽 Anhui | 2.32 | 16.23 | 0.97 | 2.97 |
| | 河南 Henan | -3.14 | 22.06 | -1.96 | 3.00 |
| | 湖北 Hubei | 2.45 | 12.09 | 5.40 | 8.02 |
| | 山西 Shanxi | 1.30 | 12.73 | 0.15 | 2.60 |
| | 江西 Jiangxi | 0.89 | 10.08 | 1.33 | 2.83 |
| | 湖南 Hunan | 0.62 | 8.46 | 0.61 | 4.20 |
| | 甘肃 Gansu | 1.36 | 1.10 | 2.02 | 4.24 |
| | 广西 Guangxi | -1.08 | 5.83 | 0.09 | 6.09 |
| | 贵州 Guizhou | 0.75 | 5.09 | 1.66 | 9.29 |
| | 云南 Yunnan | 2.13 | 3.64 | 39.40 | 13.78 |
| 西部 Western | 内蒙古 Neimenggu | 14.75 | 10.68 | 10.52 | 5.84 |
| | 四川 Sichuan | 0.83 | 9.96 | 1.51 | 11.58 |
| | 宁夏 Ningxia | 6.27 | 4.15 | 18.92 | 0.76 |
| | 新疆 Xinjiang | 2.83 | 1.80 | - | 5.31 |
| | 重庆 Chongqing | 12.33 | 72.11 | -4.35 | 54.97 |
| | 陕西 Shaanxi | 5.31 | 19.05 | 12.74 | 10.14 |
| | 青海 Qinghai | -1.02 | 0.03 | - | 0.18 |
| | 黑龙江 Heilongjiang | 1.58 | 11.26 | 1.4 | 0.34 |
| 东北 Northeast | 吉林 Jilin | 3.03 | 16.53 | 2.86 | 0.99 |
| | 辽宁 Liaoning | 2.26 | 16.08 | 9.76 | 2.76 |

定效应的情况下,耕地转变为建设用地显著增加了碳排放,第(2)列在添加了经济发展水平以及人口密度等变量的条件下,耕地转变为建设用地对碳排放的影响仍然显著为正。考虑到科技创新投入对于产业升级以及碳减排的重要作用,本研究在第(3)列加入了创新强度变量,回归结果依旧显示耕地转变为建设用地显著增加了碳排放量。

2.4 内生性检验

上述估计结果控制了时间固定效应和个体固定效应,一定程度上减弱了可能由于遗漏重要变量、选择性偏误带来的内生性问题,但是仍可能存在耕地转变为建设用地与碳排放效应互为因果所带来的内

生性问题,即究竟是“耕地转变为建设用地影响了碳排放”还是“碳排放较多的地区是因为耕地转变为建设用地的更多”。解决这一问题有利于保证结果的准确性。本研究使用工具变量法来处理可能存在的内生性。借鉴张洪振等^[44]的研究方法,选择“除本市外,省内其他城市耕地转变为建设用地的平均值”作为耕地转变为建设用地的工具变量。从相关性来看,一个省内土地利用规划的实施情况会对本城市的土地利用变化产生重要影响,从外生性来看,其他城市的耕地转变为建设用地水平并不会影响本城市的碳排放状况,因此以“除本市外,省内其他城市耕地转变为建设用地的平均值”满足工具变量既有相

表4 基准回归结果

Table 4 Baseline regression

| 项目 Item | (1) | (2) | (3) |
|--|---------------------|---------------------|---------------------|
| 耕地转变为建设用地 Arable land converted into construction land | 0.113*** (0.041) | 0.109*** (0.042) | 0.116*** (0.043) |
| 经济发展水平 Economic development | | 0.000 (0.000) | 0.000* (0.000) |
| 人口密度 Scale of population | | 0.010 (0.015) | 0.005 (0.015) |
| 工业企业数量 Number of industrial enterprises | | -0.003** (0.002) | -0.003* (0.001) |
| 固定资产投资 Investment in fixed assets | | 0.000 (0.000) | 0.000 (0.000) |
| 外商直接投资 Utilization of foreign capital | | -0.000 (0.000) | -0.000 (0.000) |
| 创新强度 Innovation intensity | | | -0.000 (0.000) |
| 城市固定效应 City fixed effects | 是 Yes | 是 Yes | 是 Yes |
| 时间固定效应 Time fixed effects | 是 Yes | 是 Yes | 是 Yes |
| 常数项 Constant | 0.839 (0.803) | 0.353 (0.979) | 0.215 (0.980) |
| R ² | 0.007 | 0.016 | 0.016 |
| 观测值 Observations | 378 | 378 | 378 |

注:括号内为稳健性标准误,***、**、*分别表示在1%、5%以及10%的水平上显著。下同。The parentheses indicate robust standard errors. ***, ** and * denote significance at 1%, 5% and 10% level, respectively. The same as below.

关性又有外生性的要求。如表5所示,在使用工具变量进行回归后发现耕地转变为建设用地仍显著增加碳排放。证明了基准回归结果的可靠性。

2.5 机制分析

上述实证结果均证明耕地转变为建设用地对碳排放具有显著的正向影响。那么值得进一步讨论的问题是产生这一影响的内在影响机制是什么?由理论分析可以发现,可能的影响路径有2条,即耕地转变为建设用地通过影响产业结构以及能源消费结构而影响了碳排放。如前述理论分析部分指出,通常情况下建设用地是城市工业企业发展的基础,而工业企业对碳排放具有重要影响^[39],研究也发现煤炭等化石能源消费也会显著增加碳排放量。因此本研究主要从这2个方向切入进行机制分析。

如表6所示,耕地转变为建设用地对产业结构具有显著的正向影响,同时耕地转变为建设用地显著影响了能源消费。而产业结构尤其是第二产业占比

表5 内生性处理

Table 5 Endogenous processing

| 项目 Item | 检验结果 Test result |
|--|---------------------|
| 第一阶段:First stage 除本市外,省内其他城市耕地转变为建设 用地的平均值 The average value of arable land converted into construction land in other cities in the province | 0.957*** (0.099) |
| 控制变量 Control variable | 是 Yes |
| 城市固定效应 City fixed effects | 是 Yes |
| 时间固定效应 Time fixed effects | 是 Yes |
| 第二阶段:Second stage 耕地转变为建设用地 Arable land converted into construction land | 0.153** (0.067) |
| 控制变量 Control variable | 是 Yes |
| 城市固定效应 City fixed effects | 是 Yes |
| 时间固定效应 Time fixed effects | 是 Yes |
| 观测值 Observations | 292 |
| Weak-identification test | 92.838 |
| Sargan statistic | 0.000 |

表6 机制分析

Table 6 Mechanism analysis

| 项目 Item | 产业结构 Industrial structure | 能源消费 Energy consumption |
|--|------------------------------|-------------------------------|
| 耕地转变为建设用地 Arable land converted into construction land | 0.047*** (0.014) | 0.009* (0.005) |
| 控制变量 Control variable | 是 Yes | 是 Yes |
| 城市固定效应 City fixed effects | 是 Yes | 是 Yes |
| 时间固定效应 Time fixed effects | 是 Yes | 是 Yes |
| 常数项 Constant | 2.032*** (0.309) | 5.014*** (0.093) |
| R ² | 0.396 | 0.016 |
| 观测值 Observations | 596 | 596 |

较高时,能源消费量也会较大,共同影响了碳排放量。综上,回归结果证实了理论分析部分有关机制的探讨是成立的,即耕地转变为建设用地通过影响产业结构和能源消费影响了碳排放。

2.6 稳健性检验

在回归中,因数据处理而产生的极端值往往会影响结果的准确性。为保证研究结果的稳健性,本研究参照陈强远等^[45]的做法,采用5%分位上双边缩尾回归,再将总样本分别双边缩尾5%后进行回归。回归结果如表7所示。在缩尾回归后耕地转变为建设用地碳排放效应仍旧显著为正,其平均效应

约为9.5%，与基准回归相差不大，证明模型稳健性较为良好。为保证研究结果的可靠性，本研究还基于替换被解释变量、缩尾回归的方式展开了稳健性检验。

表7 稳健性检验：缩尾回归

Table 7 Robustness test: tailed regression

| 项目 Item | (1) | (2) | (3) |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| 耕地转变为建设用地 Arable land converted into construction land | 0.095*** (0.027) | 0.088*** (0.026) | 0.095*** (0.026) |
| 控制变量 Control variable | 是 Yes | 是 Yes | 是 Yes |
| 城市固定效应 City fixed effects | 是 Yes | 是 Yes | 是 Yes |
| 时间固定效应 Time fixed effects | 是 Yes | 是 Yes | 是 Yes |
| 常数项 Constant | 0.909* (0.490) | 0.604 (0.636) | 0.460 (0.641) |
| R ² | 0.069 | 0.05 | 0.043 |
| 观测值 Observations | 360 | 360 | 360 |

验，结果表明基准回归结果是稳健的^①。

3 讨论

伴随经济增长与城市化的扩张，城市用地规模迅速扩大，大量的耕地转为建设用地，极大地增加了碳排放量。而随着城市碳排放的增加，有必要认识土地利用管理在碳减排方面的潜力，准确识别耕地转变为建设用地对碳排放影响的作用机制和传导路径，有助于为土地调控碳减排方案制定以及经济高质量发展提供科学依据。本研究使用2009—2010年、2018—2019年224个地级市的面板数据，探究了耕地转变为建设用地对碳排放的影响及其影响路径。

本研究发现：(1)全国耕地转变为建设用地呈现收缩趋势，东部省份以及东北地区趋势最为突出，中西部省份收缩趋势不明显。碳排放总量仅东部省份呈现下降趋势，其他省份均呈上升趋势。(2)耕地转变为建设用地显著增加了碳排放，耕地转变为建设用地每提升1个单位，碳排放将增加0.116个单位，这一研究结果在进行稳健性检验后仍然成立，并且在使用省域内除本市外的其他城市耕地转变为建设用地的平均值作为工具变量处理可能存在的内生性后，结果仍然显示耕地转变为建设用地显著增加了碳排放。(3)耕地转变为建设用地所引致的产业结构以及能源消费变化市影响碳排放的主要路径。

基于以上结论，本研究提出如下建议：(1)充分发挥土地利用总体规划管控作用。从经济层面来说，可以采取用地准入限制、土地税收等调控手段，

提高用地门槛，严格控制耕地转变为建设用地数量，从源头上减少耕地转换为建设用地的数量；从生态保护层面来看，增加城市绿地面积供应，促进地区碳汇潜力与能力提升，并且依托政策支持着力推进山水林田湖草沙全方位、全地域治理，推进森林城市建设，推动构建生态安全屏障。同时，全国各城市切实加强加强对闲置、低效和废弃建设用地等的开发利用，深挖存量建设用地潜力，促进土地资源的节约集约利用；最后，要以碳汇能力提升为导向，强化国土空间规划的制定和实施，对于碳汇能力较高的区域实施集中保护，建立碳汇影响评估制度，提出碳汇损失补偿机制，或者碳汇空间补偿机制。(2)推进产业结构升级，促进经济协同可持续发展。习近平总书记指出：“绿色发展是高质量发展的底色，新质生产力本身就是绿色生产力。各地必须加快发展新质生产力，实现产业优化升级，提高地区碳生产力。同时加强区域协同合作，经济发达地区要帮助欠发达地区实现技术升级，降低经济发展对用地扩张的依赖性，提高土地资源利用效率，有效抑制碳排放增长。(3)增加清洁能源消费，减少化石能源消费量。化石能源燃烧是碳排放的重要来源，从政府角度来看，应该加强政策引导，对新型能源开发或使用者给予政策、资金和技术等多方面支持；从清洁能源生产角度看，发展低碳经济必然要求减少传统能源消费，增加对清洁能源的需求，这需要逐渐增加清洁能源的产量比例，提供更丰富和可持续的能源选择。因此要强化新能源的开发利用，如布局风能、太阳能等能源开发，培育新的低碳经济增长点，减少碳排放；从消费者消费的角度来看，加强政策宣传，推广绿色能源，如推广使用新能源汽车，并加强对绿色产品的消费补贴，逐步替代或减少化石能源消费。

参考文献 References

- [1] CRUTZEN P J. Geology of mankind [J/OL]. Nature, 2002, 415 (6867): 23 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1038/415023a>.
- [2] CRAMER W, GUIOT J, FADER M, et al. Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean [J]. Nature climate change, 2018, 8: 972-980.
- [3] XIA C, YE H A G O, ZHANG A Q. Analyzing spatial relationships between urban land use intensity and urban vitality at street block level: a case study of five Chinese megacities [J/OL]. Landscape and urban planning, 2020, 193: 103669 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103669>.

① 限于篇幅，这些回归结果并未展示，有需要可向本文作者索取。

- [4] LI B G, GASSER T, CIAIS P, et al. The contribution of China's emissions to global climate forcing[J]. *Nature*, 2016, 531(7594): 357-361.
- [5] CAO W, YUAN X. Region-county characteristic of spatial-temporal evolution and influencing factor on land use-related CO₂ emissions in Chongqing of China, 1997-2015[J]. *Journal of cleaner production*, 2019, 231: 619-632.
- [6] WANG Z, CUI C, PENG S. How do urbanization and consumption patterns affect carbon emissions in China: a decomposition analysis[J]. *Journal of cleaner production*, 2019, 211: 1201-1208.
- [7] 张梅, 杨雨霏, 黄贤金, 等. 新常态下中国城镇建设用地扩张演变的碳效应及其驱动因素研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2023, 32(10): 2212-2224. ZHANG M, YANG Y F, HUANG X J, et al. Carbon effects and driving factors of urban construction land expansion in China under the new normal[J]. *Resources and environment in the Yangtze Basin*, 2023, 32(10): 2212-2224 (in Chinese with English abstract).
- [8] 谭洁, 刘琴, 唐晓佩, 等. 基于LMDI模型的土地利用碳排放时空差异及影响因素研究: 以洞庭湖区为例[J]. *地域研究与开发*, 2024, 43(1): 160-166. TAN J, LIU Q, TANG X P, et al. Spatial and temporal evolution of carbon emissions from land use and its influencing factors based on LMDI model: a case study of the Dongting Lake area[J]. *Areal research and development*, 2024, 43(1): 160-166 (in Chinese with English abstract).
- [9] 李珊, 温榕冰, 李建军, 等. 中国五大城市群用地景观格局对碳排放绩效的影响[J]. *经济地理*, 2023, 43(12): 91-102. LI S, WEN R B, LI J J, et al. Impact of land use landscape pattern on carbon emission performance in five major urban agglomerations in China[J]. *Economic geography*, 2023, 43(12): 91-102 (in Chinese with English abstract).
- [10] 丁明磊, 杨晓娜, 赵荣钦, 等. 碳中和目标下的国土空间格局优化: 理论框架与实践策略[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(5): 1137-1147. DING M L, YANG X N, ZHAO R Q, et al. Optimization of territorial space pattern under the goal of carbon neutrality: theoretical framework and practical strategy[J]. *Journal of natural resources*, 2022, 37(5): 1137-1147 (in Chinese with English abstract).
- [11] XU Q, YANG R, DONG Y X, et al. The influence of rapid urbanization and land use changes on terrestrial carbon sources/sinks in Guangzhou, China[J]. *Ecological indicators*, 2016, 70: 304-316.
- [12] 沈小波, 陈语, 林伯强. 技术进步和产业结构扭曲对中国能源强度的影响[J]. *经济研究*, 2021, 56(2): 157-173. SHEN X B, CHEN Y, LIN B Q. The impacts of technological progress and industrial structure distortion on China's energy intensity[J]. *Economic research journal*, 2021, 56(2): 157-173 (in Chinese with English abstract).
- [13] 宋德勇, 汪涌, 胡杨. 外资持股的供应链低碳化效应研究[J]. *中国工业经济*, 2023(11): 155-173. SONG D Y, WANG Y, HU Y. A study of supply chain decarbonization effects of foreign ownership[J]. *China industrial economics*, 2023(11): 155-173 (in Chinese with English abstract).
- [14] ALI G, PUMIJUMNONG N, CUI S H. Valuation and validation of carbon sources and sinks through land cover/use change analysis: the case of bangkok metropolitan area[J]. *Land use policy*, 2018, 70: 471-478.
- [15] 王亮. 基于灰色关联的盐城市城市建设用地碳排放协调发展研究[J]. *水土保持研究*, 2015, 22(2): 253-257. WANG L. Research for coordinative development about carbon emission from construction land in Yancheng City based on grey correlation method[J]. *Research of soil and water conservation*, 2015, 22(2): 253-257 (in Chinese with English abstract).
- [16] ZHANG D Y, MOHSIN M, TAGHIZADEH-HESARY F. Does green finance counteract the climate change mitigation: asymmetric effect of renewable energy investment and R&D[J/OL]. *Energy economics*, 2022, 113: 106183 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2022.106183>.
- [17] 陈瑞敏, 马晓君, 李宜良. 黄河流域五大增长极碳排放脱钩效应: 基于GDIM的因素分解[J]. *中国环境科学*, 2024, 44(5): 2853-2866. CHEN R M, MA X J, LI Y L. Analysis of carbon emission decoupling effects in the five growth poles of the Yellow River Basin based on GDIM decomposition[J]. *China environmental science*, 2024, 44(5): 2853-2866 (in Chinese with English abstract).
- [18] XIA C Y, DONG Z, WU P, et al. How urban land-use intensity affected CO₂ emissions at the county level: influence and prediction[J/OL]. *Ecological indicators*, 2022, 145: 109601 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109601>.
- [19] FENG W, CAI B M, ZHANG B. A bite of China: food consumption and carbon emission from 1992 to 2007[J/OL]. *China economic review*, 2020, 59: 100949 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2016.06.007>.
- [20] LIU X L, LI T, ZHANG S R, et al. The role of land use, construction and road on terrestrial carbon stocks in a newly urbanized area of western Chengdu, China[J]. *Landscape and urban planning*, 2016, 147: 88-95.
- [21] DOU Y, LUO X, DONG L, et al. An empirical study on transit-oriented low-carbon urban land use planning: exploratory spatial data analysis (ESDA) on Shanghai, China[J]. *Habitat international*, 2016, 53: 379-389.
- [22] HUANG Z H, DU X J. Toward green development? Impact of the carbon emissions trading system on local governments' land supply in energy-intensive industries in China[J/OL]. *Science of the total environment*, 2020, 738: 139769 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139769>.
- [23] 李键, 毛德华, 蒋子良, 等. 长株潭城市群土地利用碳排放因素分解及脱钩效应研究[J]. LI J, MAO D H, JIANG Z L, et al. Study on the decomposition of land use carbon emission factors and decoupling effect in Chang Zhu Tan Urban Cluster[J].

- Ecological economics, 2019, 35(8): 28-34 (in Chinese with English abstract).
- [24] 独孤昌慧. 中国农地利用碳排放及影响因素研究:1990—2016年[J]. 生态经济, 2020, 36(5): 19-23. DUGU C H. Research on carbon emissions and influencing factors of China's agricultural land utilization: 1990-2016 [J]. Ecological economics, 2020, 36: 19-23 (in Chinese with English abstract).
- [25] XIA C Y, ZHANG J, ZHAO J, et al. Exploring potential of urban land-use management on carbon emissions: a case of Hangzhou, China [J/OL]. Ecological indicators, 2023, 146: 109902 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109902>.
- [26] LI J B, HUANG X J, CHUAI X W, et al. The impact of land urbanization on carbon dioxide emissions in the Yangtze River Delta, China: a multiscale perspective [J/OL]. Cities, 2021, 116: 103275 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103275>.
- [27] KE Y H, XIA L L, HUANG Y S, et al. The carbon emissions related to the land-use changes from 2000 to 2015 in Shenzhen, China: implication for exploring low-carbon development in megacities [J/OL]. Journal of environmental management, 2022, 319: 115660 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115660>.
- [28] 陈姜全, 李效顺, 耿艺伟, 等. 中国城镇化与碳排放机制分析及实证研究: 基于经济发展、人口转移和城镇扩张视角[J]. 自然资源学报, 2024, 39(6): 1399-1417. CHEN J Q, LI X S, GENG Y W, et al. Mechanism analysis and empirical research on urbanization and carbon emissions in China: based on the perspective of economic development, population transfer, and urban expansion [J]. Journal of natural resources, 2024, 39(6): 1399-1417 (in Chinese with English abstract).
- [29] 王田雨, 岳文泽. 面向碳增汇的国土空间格局优化: 理论框架与行动逻辑[J]. 自然资源学报, 2024, 39(5): 1008-1021. WANG T Y, YUE W Z. Optimizing territorial spatial pattern for carbon sink growth: theoretical framework and action logic [J]. Journal of natural resources, 2024, 39(5): 1008-1021 (in Chinese with English abstract).
- [30] WU S, HU S G, FRAZIER A E. Spatiotemporal variation and driving factors of carbon emissions in three industrial land spaces in China from 1997 to 2016 [J/OL]. Technological forecasting and social change, 2021, 169: 120837 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120837>.
- [31] CHEN G Z, LI X, LIU X P, et al. Global projections of future urban land expansion under shared socioeconomic pathways [J/OL]. Nature communications, 2020, 11(1): 537 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14386-x>.
- [32] YUAN M, SONG Y, HONG S J, et al. Evaluating the effects of compact growth on air quality in already-high-density cities with an integrated land use-transport-emission model: a case study of Xiamen, China [J]. Habitat international, 2017, 69: 37-47.
- [33] XIA C Y, CHEN B. Urban land-carbon nexus based on ecological network analysis [J/OL]. Applied energy, 2020, 276: 115465 [2024-03-14]. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115465>.
- [34] 於冉, 田思萌. 基于承载关系的合肥市土地利用碳排放效应分析[J]. 安徽农业大学学报, 2016, 43(6): 939-945. YU R, TIAN S M. An analysis of land use and carbon emission in Hefei city based on carrying relationship [J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2016, 43(6): 939-945 (in Chinese with English abstract).
- [35] 阳凯, 王奕文, 黄春华, 等. 洞庭湖区域土地利用变化的碳排放效应研究[J]. 生态科学, 2023, 42(2): 193-201. YANG K, WANG Y W, HUANG C H, et al. Effect of land use change on carbon emission in Dongting Lake Region [J]. Ecological science, 2023, 42(2): 193-201 (in Chinese with English abstract).
- [36] 刘传明, 孙喆, 张瑾. 中国碳排放权交易试点的碳减排政策效应研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(11): 49-58. LIU C M, SUN Z, ZHANG J. Research on the effect of carbon emission reduction policy in China's carbon emissions trading pilot [J]. China population, resources and environment, 2019, 29(11): 49-58 (in Chinese with English abstract).
- [37] 贺舒琪, 穆恩怡, 戴晓冕, 等. “鸟起巢中, 水出源头”: 区域产业动态的碳排放效应[J]. 地理研究, 2024, 43(3): 535-557. HE S Q, MU E Y, DAI X M, et al. Tracing the origin: Carbon emission effects of regional industrial dynamics [J]. Geographical research, 2024, 43(3): 535-557 (in Chinese with English abstract).
- [38] 徐英启, 程钰, 王晶晶, 等. 中国低碳试点城市碳排放效率时空演变与影响因素[J]. 自然资源学报, 2022, 37(5): 1261-1276. XU Y Q, CHENG Y, WANG J J, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of carbon emission efficiency in low carbon city of China [J]. Journal of natural resources, 2022, 37(5): 1261-1276 (in Chinese with English abstract).
- [39] 黄汉志, 贾俊松, 张振旭. 江西县域土地利用变化碳排放时空演变及其影响因素[J]. 生态学报, 2023, 43(20): 8390-8403. HUANG H Z, JIA J S, ZHANG Z X. Spatiotemporal pattern evolution and influencing factors of land-use carbon emissions in counties, Jiangxi Province [J]. Acta ecologica sinica, 2023, 43(20): 8390-8403 (in Chinese with English abstract).
- [40] 李菁菁, 李安琦. 城市低碳发展模式研究: 以济宁市为例[J]. 环境保护科学, 2021, 47(2): 56-61. LI J J, LI A Q. Study on the development mode of a low carbon city: taking Jining as an example [J]. Environmental protection science, 2021, 47(2): 56-61 (in Chinese with English abstract).
- [41] 徐岚, 赵羿. 利用马尔科夫过程预测东陵区土地利用格局的变化[J]. 应用生态学报, 1993, 4(3): 272-277. XU L, ZHAO Y. Forecast of land use pattern change in Dongling district of Shenyang: an application of Markov process [J]. Chinese journal of applied ecology, 1993, 4(3): 272-277 (in Chinese with English abstract).
- [42] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120. JIANG T. Mediating effects and

- moderating effects in causal inference[J]. *China industrial economics*, 2022(5):100-120 (in Chinese with English abstract).
- [43] XIA C Y, LI Y, XU T B, et al. Analyzing spatial patterns of urban carbon metabolism and its response to change of urban size: a case of the Yangtze River Delta, China[J]. *Ecological indicators*, 2019, 104:615-625.
- [44] 张洪振,任天驰,杨纳华.村两委“一肩挑”治理模式与村级集体经济:助推器或绊脚石?[J]. *浙江社会科学*, 2022(3):77-88. ZHANG H Z, REN T C, YANG R H. The “one shoulder
- multi-task” governance model and the village-level collective economy: roll booster or stumbling block[J]. *Zhejiang social sciences*, 2022(3):77-88 (in Chinese with English abstract).
- [45] 陈强远,林思彤,张醒.中国技术创新激励政策:激励了数量还是质量[J]. *中国工业经济*, 2020(4):79-96. CHEN Q Y, LIN S T, ZHANG X. The effect of China’s incentive policies for technological innovation: incentivizing quantity or quality[J]. *China industrial economics*, 2020(4):79-96 (in Chinese with English abstract).

Effects of transforming farmland into construction land on carbon emission: based on experience and evidence of 224 prefecture-level cities in China

DU Hui^{1,2}, ZHANG Xueru^{1,2}, ZHANG Shiguo³, Zhang Qingyong⁴

1. *College of Public Administration, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China;*

2. *Hebei Province Center for Urban Rural Integration Development Collaborative Innovation, Hebei University of Economics and Business, Shijiazhuang 050061, China;*

3. *Editorial Office of Journal of Management World, Beijing 100026, China;*

4. *College of Agricultural Economics and Rural Development, Renmin University of China, Beijing 100872, China*

Abstract The impact and pathways of changes in land use on carbon emissions in the context of carbon peaking and carbon neutrality (double carbon) were studied from the perspective of transforming farmland into construction land to promote the collaborative governance of ecological environment and achieve the development with green and high-quality. A panel fixed effects model was used to investigate the effects and mechanisms of transforming farmland into construction land on carbon emission based on the data of 224 prefecture-level cities in China from 2009—2010 and 2018—2019. The results showed that the transformation of farmland into construction land across China had a shrinking trend, with the most prominent trend in the eastern and northeastern regions, while the shrinking trend was not obvious in the central and western provinces. The emissions of total carbon only showed a downward trend in the eastern provinces, while other provinces showed an upward trend. The transformation of farmland into construction land significantly increased carbon emissions, and this result remained valid after conducting tests of robustness and addressing issues of potential endogeneity. It is indicated that the changes in industrial structure and energy consumption caused by the transformation of farmland into construction land are the main pathways affecting carbon emissions.

Keywords changes in land use; carbon emissions; carbon peaking and carbon neutrality (double carbon); construction land; farmland; industrial structure; energy consumption

(责任编辑:张志钰)