

DOI: 10.5846/stxb202202170373

杜昱东, 刘恋, 王佳斌, 白羽萍, 回文颖, 李嘉劲, 张帆. 基于碳排放约束的北京市社区生态效率评价. 生态学报, 2023, 43(2): 590-602.

Du Y D, Liu L, Wang J B, Bai Y P, Hui W J, Li J J, Zhang F. Evaluation of community's ecological efficiency in Beijing based on carbon emission constraint. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(2): 590-602.

基于碳排放约束的北京市社区生态效率评价

杜昱东¹, 刘恋¹, 王佳斌¹, 白羽萍^{1,2,*}, 回文颖¹, 李嘉劲¹, 张帆^{2,3}

1 中国地质大学(北京)土地科学技术学院, 北京 100083

2 中国科学院地理科学与资源研究所陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101

3 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:在“双碳目标”的背景下,社区作为生态文明建设的基本单元,其碳排放核算及生态效率评估尤为重要。基于家庭消费视角,采用碳排放系数法和消费者生活方式法核算社区居民碳排放,并运用超效率 DEA 模型评估社区生态效率,最后通过计量分析识别生态效率影响因素。研究结果显示:(1)社区居民人均碳排放的评估结果呈现出商品房社区(528.85kgCO₂/月)>单位社区(475.66kgCO₂/月)>传统社区(368.33kgCO₂/月)的关系;(2)生态效率的评估结果呈现出传统社区(111.04%)>商品房社区(108.78%)>单位社区(105.70%)的关系;(3)社区管理工作参与意愿、家庭光照条件会对社区生态效率产生积极影响;此外,年龄结构(中青年人口占比)对商品房社区的生态效率有消极影响,受教育程度的提升则会提高生态效率。进一步提出针对三类社区特点的转型发展策略,为全国不同类型社区生态转型和绿色低碳发展提供参考范式和决策支持。

关键词:生态效率;生活消费碳排放;低碳社区管理;超效率 DEA;北京市

Evaluation of community's ecological efficiency in Beijing based on carbon emission constraint

DU Yudong¹, LIU Lian¹, WANG Jiabin¹, BAI Yuping^{1,2,*}, HUI Wenjie¹, LI Jiajin¹, ZHANG Fan^{2,3}

1 School of Land Science and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2 Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract: In the context of dual carbon goal, as the basic unit of urban and rural ecological civilization construction, community carbon emission accounting and ecological efficiency evaluation are particularly important. From the perspective of household consumption, this paper adopts the carbon emission coefficient method and consumer lifestyle method to calculate the carbon emission of community residents, and uses the super-efficiency DEA model to evaluate the community ecological efficiency, and finally identifies the influencing factors of ecological efficiency through econometric analysis. The results showed that: (1) the per capita carbon emission of community residents indicated the order of commercial housing community (528.85 kgCO₂/month) > unit community (475.66 kgCO₂/month) > traditional community (368.33 kgCO₂/month); (2) The ecological efficiency presented the traditional community (111.04%) > commercial housing community (108.78%) > unit community (105.70%); (3) Willingness to participate in community management and household lighting conditions had positive effects on community ecological efficiency. In addition, the age structure (the proportion of young and middle-aged population) had a negative impact on the ecological efficiency of commercial housing communities,

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(72004215); 国家自然科学基金青年基金项目(72104223)

收稿日期:2022-02-17; **网络出版日期:**2022-09-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: baiyp@cugb.edu.cn

while the improvement of education level would improve the ecological efficiency. Furthermore, the transformational development strategies based on the characteristics of the three types of communities were proposed to provide a reference paradigm and decision support for the ecological transformation and low-carbon development of different types of communities in China.

Key Words: eco-efficiency; carbon emissions from household consumption; low-carbon community management; super-efficiency DEA; Beijing

社区是一定规模的人口聚集在一定的地理空间范围内所形成的一个交往密切、紧密关联的集体,是人们居住与生活的主要场所^[1]。与此同时,社区也是生态文明建设的基本单元,承载着生产、消费、设施服务等多种功能,是实现绿色生态圈建设的最佳组织和管理单位。探索社区生态建设与转型发展的路径,是我国开展生态文明建设需要解决的现实命题。与此同时,在实现“碳达峰碳中和”双碳目标与新型城镇化的双重背景下,促进社区转型升级,推动生态社区建设有利于推动“双碳”目标下沉落地,促进合理配置资源、建设绿色低碳型社会、缓解城市污染与环境恶化等城市发展中出现的“城市病”现象^[2-4]。在此基础上,建立合理的模型方法对社区生态环境影响进行定量评价显示出前所未有的紧迫性。

在目前研究成果中,由于微观层面数据获取的困难性,针对社区生态环境影响进行评价的文章数量较少,并且大多集中于对社区碳排放进行核算,分析其空间异质性与影响因素。王蔚在社区碳排放研究中认为大型社区之间的人均非通勤碳排放相近,碳排放的差异性主要体现在通勤碳排放上^[5]。陈莎等认为能源消耗是社区碳排放的主要来源^[1]。詹梨苹等在以能源消耗为碳排放主要来源的基础上,对社区功能建筑间的碳排放强度进行了对比^[6]。以上研究从碳排放角度开展对社区的评价,试图以削减碳排放的方式进行社区生态的改良。然而,虽然碳排放能够从一定程度上较为准确地反映社区这一社会经济系统对资源环境的干扰,但仅从碳排放的角度考虑社区的生态效益,容易忽略社区功能价值的正向产出,导致对社区生态影响的评价趋于片面,达不到合理评估社区生态效益并进行综合性管理,推进生态社区转型建设的研究目标。

生态效率最早由 Schaltegger & Sturm 提出^[7],并在应用过程中不断扩展,其特点是兼顾经济和生态效益,以寻求二者的平衡点,力求在经济发展的同时,使其环境影响最小,充分体现了科学发展可持续的理念^[8-10]。同时,从消费者的角度来看,由于产品整个生命周期内资源和能源消耗的减少,生态效率的提高将有利于生活成本的降低^[11]。国外的生态效率研究主要集中于企业经营与区域尺度层面^[12-16],引入国内后多作为衡量地区绿色发展的指标^[17-20]。目前生态效率研究多为大尺度研究,缺少微观尺度研究,无法体现精细尺度下生态效率的区域不均衡性,且多以时间序列纵向研究,缺少横向对比^[17, 21-24]。相关领域内生态效率的评价多基于城市或更大的尺度^[25],因此政府很难针对城市社区制定有效的节能减排政策^[26]。所以,从生态效率的角度出发,基于城市社会经济功能的微型单元——社区,核算不同社区类型间的横向生态效率,探索社区管理策略,可为缓解城市功能失调、资源利用效率低下,推动社区生态化转型发展提供定量化的科学支撑。

依赖于悠久的历史与发达的经济,北京拥有多种互不相同、特色鲜明的社区类型。借鉴已有研究中北京社区的类型划分^[27-30],本文将北京市区的社区分为传统社区、单位社区、商品房社区。由于传统建筑的保护工作执行到位,北京城内保留了大量建设于明清时代的住房与传统型社区。此外,由于历史原因,北京城内还有由政府开发并统一分配的楼房组成的单位社区,以及由商业公司开发并由市场分配的商品房社区。这三种社区在生活方式、消费模式、资源利用、生态适应及公共服务等方面差异明显。社区生态转型研究需要不同类型的研究样本,而北京拥有复杂多样的社区类型和较为迫切的生态转型需求,因而其成为研究生态文明建设和绿色低碳发展进程中社区生态转型的天然试验场。

本文将社区家庭人均碳排放作为负产出指标,居民满意度、人均可支配收入作为正产出指标纳入社区生态效率的评价体系中,从碳排放约束角度评估社区生态效率的平均水平,通过把社区居民满意度即社区对居

民精神需求满足程度作为社区居住价值中的社会效益的体现,成功实现社区生态、社会、经济三大效益的紧密结合^[11]。以北京市为例,运用超效率数据包络分析法(SE-DEA)核算社区生态效率,从社区视角入手揭示人类社会经济系统生态效率的空间异质性,并通过多元线性回归方法识别社区属性等多种因素对生态效率的差异化影响。通过该研究,本文希望揭示典型社区类型之间生态效率及其影响因素的差异,并以此为基础明晰社区生态效率的提升途径,为北京市社区转型提出政策建议,推动生态文明建设,为实现双碳目标提供科学方案。

1 研究方法

1.1 碳排放核算

社区家庭碳排放可分为直接碳排放和间接碳排放两类,其中直接碳排放包括建筑物能耗和交通出行两部分的排放,本文基于碳排放系数法(ECM)对其进行核算。间接碳排放则是通过消费者生活方式法(CLA)和投入产出方法确定家庭8类支出消费碳排放系数,核算家庭从消费过程中获得的产品与服务对应的生产中隐含的碳排放量。

1.1.1 直接碳排放核算

直接碳排放是指烹饪、取暖、照明和交通等使用化石能源的过程中所产生的碳排放,主要从建筑物能耗和交通出行两个方面分别进行核算。

(1) 建筑物能耗碳排放

借鉴前人研究^[1],参照《2017年IPCC国家温室气体清单指南》和中国能源统计年鉴,将北京市社区使用的能源种类分为电能、天然气、液化石油气、煤炭和供暖,计算公式为:

$$E_i = \sum_i^n F_i \times EF_i \quad (1)$$

式中, E_i 为家庭月均 i 类能源消耗产生的碳排放; F_i 为 i 类能源的月均消耗; EF_i 为 i 类能源消耗的碳排放因子; i 是能源类型。碳排放系数、单位和数据如表1所示。

表1 碳排放系数表

Table 1 The table of carbon emission coefficient

能源种类 i Energy type i	碳排放系数 Carbon emission coefficient	单位 Unit	数据来源 Data sources
电能 Electricity	1.00	kgCO ₂ /kW · h	2016年华北区域电网碳排放因子
天然气 Natural gas	2.09	kgCO ₂ /m ³	2006年IPCC国家温室气体清单指南
液化石油气 Liquefied petroleum gas (LPG)	43.21	kgCO ₂ /罐	2006年IPCC国家温室气体清单指南
煤炭 Coal	1.98	kgCO ₂ /kg	2006年IPCC国家温室气体清单指南
供暖 Heating	27.50	kgCO ₂ /m ²	清华大学建筑节能研究中心

(2) 交通出行能耗碳排放

现代家庭出行使用的主要交通工具具有私家车、网约车、摩托车、公共汽车、飞机、火车、自行车以及电动车等。由于社区尺度、政策管制、数据可得性以及碳排放强度等因素,本文仅考虑碳排放量较大且居民日常出行较常使用的私家车与网约车,参考相关文献^[31]建立碳排放模型,公式如下:

$$E_{pc} = \frac{\text{Cost}_{oil}}{\text{Price}_{oil}} \times EF_{oil} \quad (2)$$

其中, E_{pc} 为私家车每月平均碳排放量; Cost_{oil} 是家庭每月人均汽油支出费用; Price_{oil} 是汽油的价格; EF_{oil} 是汽油的碳排放因子。

$$E_{hailing} = D_{hailing} \times GC_{hailing} \times (1 - \text{vacant}) \times EF_{oil} \quad (3)$$

其中, E_{hailing} 是家庭每月乘坐网约车所产生的碳排放; D_{hailing} 是家庭每月乘坐网约车出行的路程, 单位为 km; GC_{hailing} 是网约车的每公里汽油消耗量; vacant 是空车率; EF_{oil} 是汽油的碳排放因子。

表 2 交通出行数据来源

Table 2 Data declaration of transportation carbon emissions estimation

数据名称 Data declaration	来源 Sources
私家车汽油费用支出 Household expenditure on gasoline of private car/(元/月)	微观调研
汽油价格 Price of gasoline/(元/L)	国家发改委
汽油碳排放因 Carbon emission factor of gasoline/(kgCO ₂ /L)	IPCC 2006
每周乘网约车的次数 Frequency on car-hailing services	微观调研
乘网约车出行的平均距离 Average distance of riding car-hailing services/km	微观调研
网约车每公里耗油量及空车率 Gasoline consumption per km of hailing-car and its vacant rate/(L/km, %)	全国平均数据

1.1.2 间接碳排放核算

参照 Reynolds C J 等人的研究^[32], 常见做法是将家庭消费支出划分为食品、衣着、生活用品和服务、医疗保健、交通通信、教育文化和娱乐、居住以及其他商品和服务八项, 每一项对应一个或多个相关行业, 综合多行业生产碳排放与产值的比值表示每一类支出的碳排放系数, 并结合消费量确定各项消费支出产生的间接碳排放。

投入产出法 (Input-Output Analysis) 是近年来中国 CLA 中应用较多的优化方法, 是量化和估算间接碳排放的一种常用方法。它通过考虑行业之间的相互联系确定碳排放系数, 可以反映一个或多个行业的变化而引起的碳排放的改变。

计算的公式如下:

$$C = F(I - A)^{-1}Y \quad (4)$$

式中, C 为家庭间接碳排放 (t); F 为 $1 \times n$ 行向量, 表示投入产出表中各部门的直接碳排放强度 (t/万元); A 为 $n \times n$ 投入产出表的直接消耗系数矩阵; I 为与 A 阶数相同的单位矩阵; Y 为列向量, 代表家庭的支出情况 (万元); $(I - A)^{-1}$ 为 Leontief 逆矩阵, 该矩阵显示了国民经济某一部门生产技术变化时, 对其他所有部门的影响。

间接能源消费和碳排放的主要数据来自北京市 2017 年的投入产出表。本文消费支出类别与投入产出表中行业类型的关系以及直接碳排放强度计算方法参考董会娟的文章^[33]。为简化计算同时考虑数据的可获得性, 本文使用标煤碳排放系数来计算行业直接碳排放, 标煤碳排放系数参考涂华的研究取 $2.54\text{tCO}_2/\text{tce}$ ^[34]。

1.2 超效率数据包络分析模型

数据包络分析法 (DEA) 由美国学者 Charnes 和 Cooper 于 1978 年提出, 是一种评价“多投入多产出”模式下决策单元 (DMU) 的相对效率的方法, 它使用线性规划数学方法来评估 DMU 的相对效率^[35]。当效率值等于 1 时, 意味着 DMU 处于生产前沿面, 是有效的。当效率值小于 1 时, 意味着 DMU 远离生产前沿面, 是低效或弱有效的。DEA 的模型主要有 CCR 和 BCC 两种, 前者规模报酬不变, 后者规模报酬可变。P. A nersen 等学者于 1993 年提出了一种 CCR 模型的改进模型, 即超效率 DEA 模型。它克服了传统 CCR 模型无法对多个决策单元做出进一步的评价和比较的缺陷, 使有效决策单元能够进行进一步的比较、排序。因此, 本研究选用规模报酬不变的超效率 DEA 模型。

超效率 DEA 模型的特点是, 要对某决策单元进行效率评价时, 先将其排除在外。因此, 对于无效的 DMU, 由于生产前沿面没有发生变化, 其效率与传统的 DEA 模型计算出的值相同。而对于有效 DMU, 投入在效率值不变的基础上成比例增加, 增加的比例被记录为超效率, 所测得的超效率大于传统 DEA 模型所测得的效率, 其值大于 1。有效决策单元的超效率评价价值越高, 相对效率越高。

如图 1 所示, 在计算 DMU B 的效率值时, 将其排除在 DMU 的集合之外, 则此时 ACD 成为了有效生产前

1.4 生态效率影响因素分析

本文评估的社区生态效率,除了由投入产出指标经超效率 DEA 模型生成之外,还受到投入、产出指标之外的其他因素的影响。为了测度生态效率的影响因素以及其影响程度,本文以传统社区、单位社区和商品房社区的家庭生态效率作为被解释变量,以影响生态效率的诸因素为控制变量建立回归模型。

本文从家庭和社区层面出发假定的影响因素共 6 个,包括年龄结构、受教育程度、楼层、工作参与度、光照条件、社区管理工作参与意愿^[36-37]。各变量定义及指标处理方法如表 4 所示。

表 4 生态效率影响变量设置

Table 4 The definitions of variables in ecological efficiency

变量分类 Classification of variables	变量名称 Variable name	变量符号 Variable symbol	变量属性 Variable attributes	变量定义 Definition of variables
家庭结构 Family structure	生态效率	y	数值变量	经 SE-DEA 模型计算出的家庭相对效率
	年龄结构	x_1	数值变量	18—65 岁年龄区间内的中青年人口数占家庭总人数的比例
	受教育程度	x_2	名义变量	以平均学历表示,小学及以下为 0,初中=1,高中或中专=2,大专=3,本科=4,硕士及以上=5
	工作参与度	x_3	数值变量	家庭中有工作的人占成人的比例
自然条件 Natural conditions	楼层	x_4	数值变量	家庭居住房屋层数
	光照条件	x_5	名义变量	房屋朝南=1,其他=-1
社会服务 Social services	社区管理工作参与意愿	x_6	定序变量	非常不愿意=1,比较不愿意=2,一般=3,比较愿意=4,非常愿意=5

参考已有研究中关于生态效率影响因素的截面数据模型,本研究在一般的线性回归方程的基础上研究上述解释变量对生态效率的影响。初步设定多元线性回归模型为:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_6 x_6 + \varepsilon \quad (6)$$

其中, $x_1, x_2, \dots, x_6$ 是表中对应的控制变量, y 是三类社区的家庭生态效率, $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_6$ 为控制变量的标准化回归系数, ε 为误差项。

2 数据来源

由于投入产出数据每五年公布一次,本文选用的投入产出表来自《2017 年北京市投入产出表》相关数据,各行业能源消费量来自《2018 年北京市统计年鉴》。北京市居民家庭基本信息、家庭能源消耗、生活服务消费、社区生活满意度及居民决策行为评估等家庭特征数据均通过问卷调查收集获得。问卷发放于 2021 年 3—7 月,以线下为主,线上为辅。问卷统计的是家庭当前的家庭情况、对社区的满意程度和在过去一年中平均每月的能源消耗与生活消费支出。

参考已有研究和专家意见^[30, 38-40],设计《北京市社区生态效率评价及管理策略研究》调查问卷,分为个人与家庭基本信息、家庭能源消耗信息、家庭生活服务消费信息、社区生活满意度及居民决策行为评估四个模块。就问卷内容与形式咨询中科院地理所从事类似研究的专业人士,并取得其认可。通过线上渠道预调研确定问卷的合理性和可行性,多次修改后正式开始调研。调研初期以实地走访、一对一访谈的方式进行问卷收集,后期由于疫情影响通过网络发放收集问卷,共收到有效问卷 181 份,其具体分布如图 2 所示。

3 结果和分析

3.1 受访社区特征

3.1.1 三类典型社区基本特征

对问卷调查得到的样本进行整理,得到三类典型社区家庭基本特征如表 5 所示。

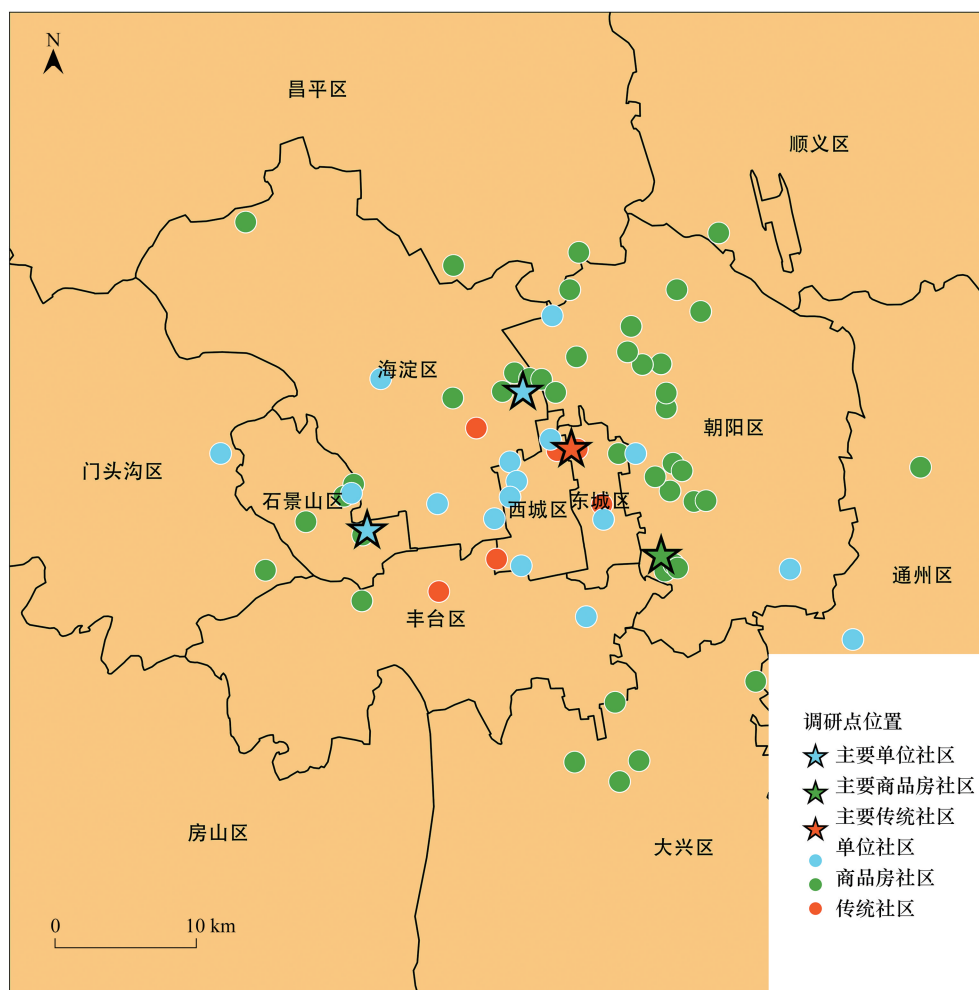


图2 调查样本分布图

Fig.2 Distribution of the selected household samples

传统社区平均每户家庭有 3.2 人,在三类社区类型中最高,但其老龄化程度在三类社区中最为严重,中青年人口只占家庭总人口数的 72%。此外,传统社区的受教育程度和工作参与度也在三类社区中处于垫底位置。在房屋条件方面,传统社区大部分是平房,采光不佳,只有 46% 的家庭朝南,但是传统社区居民社区管理工作参与意愿较高,仅稍低于单位社区。整体而言,传统社区家庭呈现出家庭成员多、老龄化程度高、教育程度低、工作参与度低、房屋条件差但热心公益的特点。这可能是由传统社区居住条件差,目前居住人口收入均不高、且居住人口以退休中老年人口及其子女为主造成的。

单位社区除平均社区管理工作参与意愿在三类社区中最高外,其他数据均为三类社区中的中等水平。具体而言,其平均家庭规模为 3.08 人。其老龄化程度也很严重,中青年人口比例只比传统社区高了 6 个百分点,工作参与度也只是稍高于传统社区,仅有 57%。单位社区家庭在基础信息方面除受教育程度外,其他均与传统社区很相似。这可能是由于单位社区建设时间相对较早,其居住条件也比较差,居住人口也以机关企事业单位退休中老年人口及其子女为主。但是单位社区一般建设单位为国企和事业单位,其对员工的教育素养要求较高,待遇也相对较好,所以单位社区居住人口的受教育程度显著高于同为退休老人家庭聚居的传统社区,家庭平均受教育程度达到高中及以上。单位社区家庭平均社区管理工作参与意愿在三个社区中最高,可见其对社区最有归属感与管理改善的热情。整体而言,单位社区家庭呈现出老龄化程度较高、受教育程度较高、工作参与度较低、社区管理意愿最强的特点,这与单位社区居住人口以机关事业单位退休中老年人口家

庭为主,并且生活条件较好有很大关系。

商品房社区特点非常鲜明。在基础信息方面,商品房社区平均家庭规模最小,仅有 2.75 人,有数量不少的未育家庭。商品房社区平均年龄结构最为年轻,94%的家庭人口为中青年人口。工作参与度最高,达到 74%。平均受教育程度也最高,平均教育水平达到大专及以上。商品房社区家庭的社区管理工作意愿显著低于传统社区和单位社区,平均意愿仅为前两类社区的 1/4。整体而言,商品房社区呈现出以青壮年为主、收入高、家庭规模小、受教育程度高、工作参与度高但是对社区管理工作极不感兴趣的特点。这可能是由于商品房社区建设年代较新,房价较贵,因此居住人口大部分为学历高、经济条件好、工作任务重的中青年人。

表 5 三类典型社区家庭样本基本特征

Table 5 Basic characteristics of Household samples in three types of communities

		社区类型 Community type		
		传统社区 Traditional community	单位社区 Unit community	商品房社区 Commercial housing community
基础信息	问卷数量/份	54	53	74
Basic information	平均家庭规模/人	3.2	3.06	2.75
	平均年龄结构	0.72	0.78	0.94
	平均受教育程度	1.92	2.7	3.71
	平均工作参与度/%	0.41	0.57	0.74
	平均建筑采光	0.46	0.70	0.72
	平均楼层/层	0.73	5.51	6.42
	平均社区管理工作参与意愿	3.78	3.98	1.01

平均年龄结构为 0—1 的指标;平均受教育程度为 0—5 的指标;平均建筑采光为 0—1 的指标;平均社区管理工作参与意愿为 0—5 的指标

3.1.2 三类典型社区家庭生态效率投入产出指标特征

三类典型社区家庭生态效率投入产出指标特征如表 6 所示。其中,商品房社区社会经济指标投入强度最大,人均消费支出为 3590.66 元,在三类社区中最多,人均住房面积也最大,为 32.34m²。商品房家庭居民的就业密度也最高。与之相反,传统型社区社会经济三项指标的投入水平在三类社区中均为最低,单位社区则居于另外两类社区之间。在资源消耗方面,三类社区呈现出不同的特征,传统型社区人均用水量和人均用燃气量在三类社区中最低,分别为 2.55m³和 7.25m³,但其人均用电量最多,达 114.03kw·h,这可能与北京市 2015 年完成对传统社区“煤改电”改造后,冬季采暖用电大幅增加有关。单位社区突出特征为人均用燃气量最高,为 13.17m³,另外两项资源消耗均占据三类社区的中间位置。商品房社区的人均用水在三类社区中投入最多,为 3.46m³。在产出指标部分,商品房社区中居民人均可支配收入和居民满意度两项正产出均为最高。但同时负产出人均碳排放也最大,达 528.84kgCO₂。单位社区中,两项正产出水平在三类社区中均为第二,其中的居民满意度产出与商品房社区基本持平,但人均可支配收入与商品房水平差距较大。在此基础上,其人均碳排放为 475.66kgCO₂,在三类社区中居于第二位。传统型社区人均可支配收入和居民满意度两项正产出水平在三类社区中均为最低,但与此同时,其人均碳排放量最低,仅为 368.35kg。分析三类社区家庭生态效率的各项指标可知,三类社区具有鲜明的生态影响特征,并且难以简单判断其生态效率的大小关系,需要进一步的实证研究。

3.2 三类典型社区家庭碳排放结果分析

三类社区居民月均碳排放总量结果如图 3 所示,核算得出的人均碳排放总量以商品房社区>单位社区>传统社区的数量关系呈现。这反映出商品房社区是三类社区中人均碳排放总量最大的社区类型,居民月均碳排放量为 528.85kgCO₂。单位社区次之,月均碳排放量为 475.66kgCO₂。而传统型社区产生的居民人均碳排放最小,为 368.33kgCO₂。从碳排放结构上看,三类社区直接碳排放与间接碳排放各自碳排放总量中的占比基本一致,传统社区、单位社区两类社区间接碳排放量略低于直接碳排放量,直接碳排放量分别高出间接碳

排放量 27.77kgCO₂、13.76kgCO₂。而商品房社区间接碳排放量则明显高于直接碳排放量,间接碳排放量高于直接碳排放量 53.53kgCO₂。

表 6 三类典型社区家庭生态效率投入产出指标特征

Table 6 Characteristics of input-output indexes of household ecological efficiency in three typical communities

指标类型 Index type	指标层次 Index hierarchy	指标意义 Description of index	社区类型 Community type		
			传统社区 Traditional community	单位社区 Unit community	商品房社区 Commercial housing community
投入指标 Input indexes	社会经济	人均消费支出/元	2151.54	2918.52	3590.66
		人均住房面积/m ²	10.67	32.15	32.34
		工作参与度	0.41	0.57	0.74
	资源消耗	人均用电量/(kw·h)	114.03	71.67	60.25
		人均用水量/m ³	2.55	3.00	3.46
		人均用燃气量/m ³	7.25	13.17	10.98
产出指标 Output indexes	正产出	人均可支配收入/元	3841.36	6422.51	15087.84
	负产出	居民满意度	3.20	3.77	3.79
		人均碳排放/kgCO ₂	368.35	475.66	528.84

投入产出指标均为月均数据

3.3 三类典型社区生态效率计算结果及分析

通过超效率 DEA 模型计算出样本家庭生态效率,并加以处理计算后得到三类典型社区的生态效率。

三类典型社区生态效率呈现出传统社区>商品房社区>单位社区的数量关系。传统社区的生态效率最高,为 111.04%,因其虽然正产出两项指标均为三类社区中的最低水平,但负产出人均碳排放远远低于其他两类社区,且除人均用电量外,其余投入指标皆为最低。简而言之,传统社区“产出低,但投入更低”。与之相反,商品房社区虽然正产出两项指标均为三类社区中的最高水平,但其负产出人均碳排放高于其他两类社区,且除人均用电量和人均用燃气量外,其余投入指标皆为最高,即“产出高,但投入较高”,因此其生态效率低于传统社区,为 108.78%。与此同时,单位社区在正产出中的人均可支配收入指标远小于商品房社区的情况下,其投入指标和负产出人均碳排放都和商品房社区差距不大,即“投入较高,且产出较低”,因此其生态效率在三类型社区中位于最低水平,为 105.70%。

因三类社区样本容量不同,本文将三类社区家庭生态效率分布以频数占各类型社区样本总数比例形式展现如图 4。从图中可以看出,这三类社区生态效率绝大部分集中在 50%至 200%之间,在 200%至 500%之间只有零星分布,且整体趋势是从 50%至 100%区间开始迅速递减。生态效率在 100%至 150%的样本占传统社区的一半以上,达 51.85%,且其生态效率最高不超过 250%,在三类社区中结果最为稳定。与之相反,单位社区生态效率在 50%至 100%的样本超过了五分之三,达 62.26%,与其生态效率在三类社区中最低的结果相符。传统社区和单位社区生态效率分布呈现的显著特征与这两类社区居住家庭构成较为简单,大部分均为北京原住民和体制内员工有很大关系。商品房社区样本的生态效率分布较为均匀,在 50%至 100%之间和 100%至 150%之间所占比例均为 37.82%,在 150%至 200%之间所占比例也达到 19.33%,这证明了由于商业社区居住人口构成较为复杂,其社区家庭生态效率差异也较大,需要进一步研究其生态效率的影响因素。

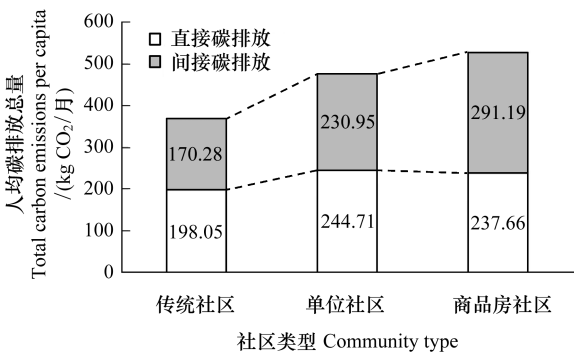


图 3 三类典型社区每月人均碳排放总量
Fig.3 Total monthly carbon emissions per capita in three typical communities

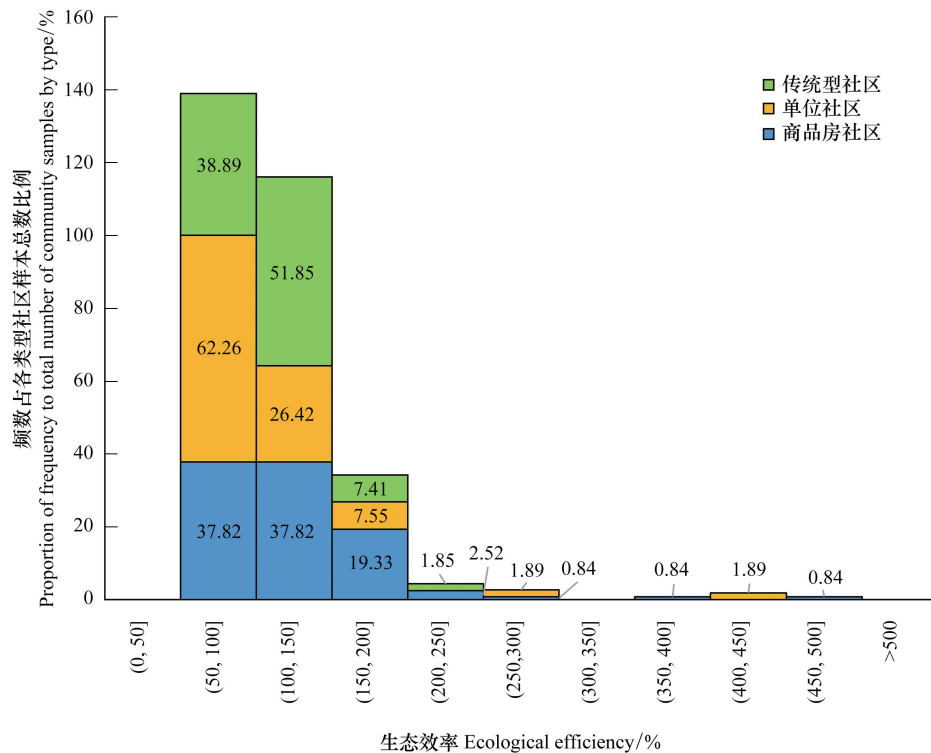


图4 三类典型社区家庭生态效率分布图

Fig.4 Distribution map of household ecological efficiency in three typical communities

3.4 生态效率影响因素分析

运用 Stata 软件分别对所有样本家庭及三类典型社区家庭生态效率的影响因素进行回归分析,结果如表 7。

对整体而言,社区管理工作参与意愿、光照条件对生态效率的影响是正向的。社区工作参与意愿对生态效率的正向影响很大,其每提高 1%都会使生态效率提高近 0.10%。这充分证明了开展社区服务志愿、组建居民自治组织等活动的重要性。通常认为通过组织社区管理活动,能够让居民更有社会责任感,进而培养绿色低碳的生活理念,并将之付诸行动。因此社区应加大举办此类活动的力度,培养社区居民的主人翁意识,使居民不仅成为社区的居住者,更要成为社区的管理者。光照对生态效率的积极作用与预期一致。随着家庭光照条件变好,生态效率会随之提高,这主要是因为朝南的房屋更少需要人造光源,进而减少家庭能源消耗。

光照条件和楼层对传统社区生态效率影响较大。传统社区是唯一被楼层产生显著消极影响的社区类型,这可能与传统社区多为胡同平房,年代久远,很少有高于三层的建筑,而传统社区居住的多为退休老人,住在楼上多不方便,会造成居民满意度下降有关。单位社区仅有社区管理工作参与意愿一项指标显著,这又一次佐证组织社区管理活动的重要性。商品房社区的显著因素最多,有四个,它们分别是社区管理工作参与意愿、工作参与度、年龄结构和受教育程度。年龄结构(中青年比例)对生态效率的影响是负面的,家庭年龄结构每提升 1%,生态效率则会降低 0.285%,这可能是因为 18—65 岁的中青年人是消费的主力军,他们在家庭中所占比例的提升会提高人均碳排放,影响生态效率。因此,社区在建设生态文明的过程中,要把中青年作为工作的重点。与此同时,随着家庭受教育程度的提高,生态效率也会随之显著提高。受教育程度 1%的提升会带来生态效率 0.224%的提升。一般来说,受到高等教育的居民会更加关注环境与生态问题,更加有社会责任感,继而践行绿色低碳的生活理念。这体现了加强思想教育、开展低碳宣传、提升居民素质是建设生态文明重要的一环。

表 7 三类型社区家庭生态效率主要影响因素的参数估计结果

Table 7 Parameter estimation results table for major influencing factors of household ecological efficiency in three typical communities

社区类型 Community type	变量 Variable	变量系数 Coefficients	回归估计 标准误差 Std. error	<i>t</i>	<i>P</i>	回归系数 95% 的置信区间 95% confidence interval		显著性水平 Sig.	Beta
整体 All	年龄结构	-0.025	0.058	-0.44	0.662	-0.139	0.089		-0.059
	受教育程度	0.059	0.062	0.95	0.341	-0.064	0.182		0.132
	楼层	-0.032	0.046	-0.69	0.488	-0.122	0.059		-0.050
	社区管理工作参与意愿	0.099	0.035	2.79	0.006	0.029	0.169	* * *	0.208
	光照	0.029	0.017	1.7	0.091	-0.005	0.064	*	0.113
传统社区 Traditional community	工作参与度	-0.191	0.062	-3.08	0.002	-0.314	-0.069	* * *	0.327
	年龄结构	0.028	0.023	1.21	0.232	-0.018	0.074		0.142
	受教育程度	0.022	0.044	0.51	0.61	-0.065	0.11		0.074
	楼层	-0.28	0.111	-2.53	0.015	-0.503	-0.057	* *	-0.259
	社区管理工作参与意愿	-0.009	0.033	-0.28	0.782	-0.075	0.057		-0.034
单位社区 Unit community	光照	0.033	0.019	1.78	0.081	-0.004	0.071	*	0.247
	工作参与度	-0.128	0.048	-2.68	0.01	-0.223	-0.032	* *	-0.399
	年龄结构	0.037	0.058	0.64	0.526	-0.08	0.155		0.087
	受教育程度	-0.078	0.054	-1.44	0.158	-0.187	0.031		-0.162
	楼层	-0.065	0.063	-1.03	0.308	-0.193	0.062		-0.097
商品房社区 Commercial housing community	社区管理工作参与意愿	0.141	0.051	2.77	0.008	0.039	0.243	* * *	0.274
	光照	0.031	0.03	1.02	0.312	-0.03	0.091		0.099
	工作参与度	-0.103	0.128	-0.8	0.426	-0.361	0.155		-0.166
	年龄结构	-0.285	0.096	-2.97	0.004	-0.477	-0.093	* * *	-0.360
	受教育程度	0.224	0.08	2.79	0.007	0.064	0.384	* * *	0.324
	楼层	-0.008	0.074	-0.1	0.917	-0.155	0.14		-0.011
	社区管理工作参与意愿	0.095	0.057	1.67	0.1	-0.019	0.209	*	0.174
	光照	0.026	0.032	0.81	0.421	-0.038	0.089		0.081
	工作参与度	-0.307	0.111	-2.77	0.007	-0.528	-0.086	* * *	-0.342

* * * $p<0.01$, * * $p<0.05$, * $p<0.1$

4 结论和建议

4.1 结论

本文利用运用超效率 DEA 模型对北京市三类型社区:传统社区、单位社区和商品房社区的生态效率进行评估,最后对生态效率的影响因素进行回归分析,可得出以下结论:

(1) 三类型社区生态效率的评估结果呈现出传统社区>商品房社区>单位社区的数量关系。传统社区因其朴素节俭的生活方式,生态效率最高,为 111.04%。商品房社区虽然碳排放最高,但因有极高的人均可支配收入,生态效率仍有 108.78%,位列第二。单位社区在人均可支配收入不是很高的情况下产生了较多的碳排放和资源消耗,因此其生态效率在三类型社区中位于最低水平,为 105.70%。三类社区家庭生态效率绝大部分集中在 50%至 200%之间,在 200%至 500%之间只有零星分布,且整体趋势是从 50%至 100%区间开始迅速递减。传统社区一半以上家庭生态效率在 100%至 150%之间,在三类社区中结果最为稳定。单位社区生态效率在 50%至 100%的样本超过了五分之三,达 62.26%,与其生态效率在三类社区中最低的结果相符。传统社区和单位社区生态效率分布呈现的显著特征与这两类社区居住家庭构成较为简单,大部分均为北京原住民和体制内员工有很大关系。商品房社区样本的生态效率分布较为均匀,这从侧面证明了商业社区居住人口构成较为复杂。

(2) 通过对生态效率的影响因素进行回归分析,可以看出,对整体而言,社区管理工作参与意愿、光照条

件会对生态效率产生积极影响,而工作参与度对生态效率的影响则是消极的。这一结果一方面展现了房屋设计、社区管理的重要性,另一方面也显现出当前居民收入增加的同时并未匹配低碳生活的理念。此外,通过对三种社区类型分别进行回归分析,本研究还发现年龄结构对商品房社区有很大的消极影响,这反映出当前中青年人是消费与产生碳排放的主力,节能减排应把中青年作为工作重点。与此同时,受教育程度的提高会显著提升商品房社区的生态效率,因为高知识人群往往有更高的收入和社会责任感。这为普及生态保护教育、大力开展低碳宣传提供有力支撑。

4.2 讨论与建议

针对三类典型社区的不同特征,本文提出以下建议:

(1)对传统社区而言,鉴于目前其碳排放已经很低的现状,社区转型提升策略应以加强社区硬件设施建设、满足居民生活需求、提升居民满意度为重点。传统社区由于建设年代久远,居住条件十分恶劣:人均住房面积不足 10 平方米,一半以上家庭不朝阳,光照条件差,居民满意度也远低于另外两类社区。因此,结合当前的文物保护政策,传统社区应在充分保护目前民居现状和历史文物的同时,积极改造住户居住条件,不仅要“面子工程”,也要做“里子工程”,切实提高居民居住条件。此外,传统社区也应将历史街区的优势发挥出来,大力挖掘社区历史文化,发展旅游业,拓宽居民收入渠道。与此同时,鉴于传统社区老龄化程度很深、医疗消费占比大的现状,其应加强社会保障和医疗设施配备,使退休居民老有所养,病有所医,提升居民满意度。

(2)对单位社区而言,目前其社区转型提升策略应以减少能源消耗、鼓励居民成为义工与志愿者、开展社区管理活动上。单位社区生态效率低的原因是资源消耗较大、碳排放较多但是居民收入并不高。单位社区的社区管理工作参与意愿是三类社区最高的,而且参与意愿也极大影响了该社区类型的生态效率。因此,单位社区的首要工作是大力开展社区管理工作,提升居民社会责任感,培养绿色低碳的生活理念,使居民不仅成为社区的居住者,更要成为社区的管理者。此外,单位社区有一大批受教育程度较高的退休人员,因此单位社区应鼓励这批退休人员参与义工和志愿者工作,并开展群体性文化娱乐活动,在满足退休人员的精神文化需求的同时鼓励其对社区转型发展做出贡献。

(3)对商品房社区而言,由于其人均碳排放在三类社区中最高,因此社区转型发展应把节能减排、推行绿色低碳生活方式作为工作重点。首先,商品房社区应大力开展绿色低碳生活方式的宣传工作,提倡合理消费、低碳消费。目前,居民收入增加的同时并未匹配低碳生活的理念,高收入家庭往往带来更多的碳排放,因此,社区要着重引导高收入家庭进行低碳消费并做到物尽其用,通过改造增加新能源车位等方式促进低碳生活方式的普及。其次,商品房社区还应开展社区管理活动以及一些社区公共活动,提升社区凝聚力与居民归属感。

(4)政府也应该在社区转型发展、提升生态效率中发挥积极作用。首先,鉴于受教育程度能提升生态效率这一研究结果,政府应加大教育投入,并在教育课程中加入更多保护生态、绿色低碳的内容,从小培养公民的环保低碳意识。其次,政府应加大对保护生态环境、绿色低碳的宣传力度,不仅仅要“喊口号”,更要通过开展社区志愿活动、引导居民建立低碳生活目标、建立低碳生活奖励制度、建立高碳排放消费清单等手段,使绿色低碳观念深入人心。此外,鉴于目前高收入人群的高碳排放现状,政府应着手研究“高碳排放消费税”,增加消费产生高额碳排放的商品与服务的成本,以减少此类消费的产生。政府还应从市场角度入手,加大低碳产品的补贴力度,为实现“碳中和、碳达峰”目标打下坚实基础。

目前,鲜有研究对于社区尺度的生态效率开展评估,大多数研究是对城市、省份等大尺度的生态效率进行评估,针对社区尺度的研究大多是核算社区的碳排放。本文对北京市不同社区的碳排放核算结果与秦波等^[29]的结果相一致,与王悦,杜运违等^[26, 38]对商品房社区高碳排放的分析结果相一致,与陈江红等^[11]对社区生态效率不仅考虑经济产出,也考虑环境影响与社会价值的理念也相一致,较好地证明了本研究的可靠性。而在对社区碳排放计算中,陈莎,詹梨苹等^[1, 6]在考虑能源消耗碳排放、交通出行碳排放的基础上,还考虑了废弃物碳排放与公共绿地碳汇,与本文的计算方法有所重叠也有所不同。这对研究结果之间的对比产生了一定影响,因此日后研究将进一步争取在深化的基础上完善核算体系。本文是对北京市典型社区家庭生态效率

与转型发展的初步探讨,研究数据均来自问卷调查。受疫情影响,无法通过线下方式获取全部数据,且本次问卷数量较少,无法充分反应北京社区生态效率情况。此外,由于一些社区层面的数据如社区人口、社区绿地面积等的不可得性,本文未进一步探究其与生态效率的关系。若数据可获得,并扩大社区样本量后研究结论将更全面与准确。

参考文献 (References):

- [1] 陈莎,李赓佩,程利平,杨孝光. 基于 LCA 的北京市社区碳排放研究. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(S2): 5-9.
- [2] 周芸. “双碳”目标下的生态社区建设与社区循环经济发展. 张江科技评论, 2021, (4): 44-47.
- [3] 周宏春,周春,李长征. 双碳背景下的城市治理重点与政策建议. 城市管理与科技, 2021, 22(5): 22-25.
- [4] 庄贵阳,魏鸣昕. 碳中和目标下的中国城市之变. 可持续发展经济导刊, 2021, (5): 12-15.
- [5] 王蔚. 上海市城市外围大型居住社区居民碳排放分析. 交通与运输(学术版), 2016, (2): 120-122.
- [6] 詹梨苹,赵锐,刘思瑶,黄娅,田晓刚. 基于清单核算法的社区碳排放时空分布特征. 四川环境, 2020, 39(3): 182-188.
- [7] Schaltegger S, Sturm A. Ökologische rationalität: ansatzpunkte zur ausgestaltung von ökologieorientierten managementinstrumenten. Die Unternehmung, 1990, 44(4): 273-290.
- [8] WBCSD. Eco-efficient leadership for improved economic and environmental performance. Geneva: WBCSD, 1996: 3-16.
- [9] 王恩旭,武春友. 基于超效率 DEA 模型的中国省际生态效率时空差异研究. 管理学报, 2011, 8(3): 443-450.
- [10] 诸大建,朱远. 生态效率与循环经济. 复旦学报: 社会科学版, 2005, (2): 60-66.
- [11] 陈江红,李启明. 生态效率在城市住宅小区中的应用研究. 华中建筑, 2008, 26(3): 110-112.
- [12] Wursthorn S, Poganietz W R, Schebek L. Economic-environmental monitoring indicators for European countries: a disaggregated sector-based approach for monitoring eco-efficiency. Ecological Economics, 2011, 70(3): 487-496.
- [13] Seppälä J, Melanen M, Mäenpää I, Koskela S, Tenhunen J, Hiltunen M R. How can the eco-efficiency of a region be measured and monitored? Journal of industrial Ecology, 2005, 9(4): 117-130.
- [14] Hur T, Kim I, Yamamoto R. Measurement of green productivity and its improvement. Journal of Cleaner Production, 2004, 12(7): 673-683.
- [15] Kuosmanen T. Measurement and analysis of eco-efficiency: an economist's perspective. Journal of Industrial Ecology, 2005, 9(4): 15-18.
- [16] Romano G, Molinos-Senante M, Carosi L, Llanquileo-Melgarejo P, Sala-Garrido R, Mocholi-Arce M. Assessing the dynamic eco-efficiency of Italian municipalities by accounting for the ownership of the entrusted waste utilities. Utilities Policy, 2021, 73: 101311.
- [17] 杨斌. 2000—2006 年中国区域生态效率研究——基于 DEA 方法的实证分析. 经济地理, 2009, 29(7): 1197-1202.
- [18] 张炳,黄和平,毕军. 基于物质流分析和数据包络分析的区域生态效率评价——以江苏省为例. 生态学报, 2009, 29(5): 2473-2480.
- [19] 任宇飞,方创琳,简雪芹. 中国东部沿海地区四大城市群生态效率评价. 地理学报, 2017, 72(11): 2047-2063.
- [20] 傅春,王娟,莫寓琪. 生态效率与科技创新的时空耦合研究. 山东工商学院学报, 2021, 35(5): 11-20.
- [21] 孙钰,梁一灿,齐艳芬,崔寅. 京津冀城市群生态效率的空间收敛性研究. 科技管理研究, 2021, 41(19): 184-194.
- [22] Grassauer F, Herndl M, Nemecek T, Guggenberger T, Fritz C, Steinwider A, Zollitsch W. Eco-efficiency of farms considering multiple functions of agriculture: concept and results from Austrian farms. Journal of Cleaner Production, 2021, 297: 126662.
- [23] 田泽,潘晶晶,任芳容,毛春梅. 大保护背景下中国三大流域生态效率评价与影响因素研究. 软科学, 2022, 36(1): 91-97.
- [24] 陈傲. 中国区域生态效率评价及影响因素实证分析——以 2000-2006 年省际数据为例. 中国管理科学, 2008, 16(S1): 566-570.
- [25] 成金华,孙琼,郭明晶,徐文赞. 中国生态效率的区域差异及动态演化研究. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(1): 47-54.
- [26] 王悦,李锋,陈新闯,胡印红,胡盼盼,杨建新. 典型社区家庭消费碳排放特征与影响因素——以北京市为例. 生态学报, 2019, 39(21): 7840-7853.
- [27] 贾晓朋,孟斌,张媛媛. 北京市不同社区居民通勤行为分析. 地域研究与开发, 2015, 34(1): 55-59, 70-70.
- [28] Yan B Q, Gao X L, Lyon M. Modeling satisfaction amongst the elderly in different Chinese urban neighborhoods. Social Science & Medicine, 2014, 118: 127-134.
- [29] 秦波,田卉. 社区空间形态类型与居民碳排放——基于北京的问卷调查. 城市发展研究, 2014, 21(6): 15-20.
- [30] 张艳,柴彦威,郭文伯. 北京城市居民日常活动空间的社区分异. 地域研究与开发, 2014, 33(5): 65-71.
- [31] Yang Z, Fan Y, Zheng S Q. Determinants of household carbon emissions: pathway toward eco-community in Beijing. Habitat International, 2016, 57: 175-186.
- [32] Reynolds C J, Piantadosi J, Buckley J D, Weinstein P, Boland J. Evaluation of the environmental impact of weekly food consumption in different socio-economic households in Australia using environmentally extended input-output analysis. Ecological Economics, 2015, 111: 58-64.
- [33] 董会娟,耿涌. 基于投入产出分析的北京市居民消费碳足迹研究. 资源科学, 2012, 34(3): 494-501.
- [34] 涂华,刘翠杰. 标准煤二氧化碳排放的计算. 煤质技术, 2014, (2): 57-60.
- [35] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision-making units. European Journal of Operational Research, 1979, 3(4): 339.
- [36] 石龙宇,许通,高莉洁,韩林桅,李倩瑜. 可持续框架下的城市低碳社区. 生态学报, 2018, 38(14): 5170-5177.
- [37] 曹佳磊,杨天珩,薛敏. 我国低碳社区建设居民认知及参与研究——以动机理论为分析视角. 改革与开放, 2015, (16): 65-66, 68-68.
- [38] 杜运伟,黄涛珍,康国定. 基于微观视角的城市家庭碳排放特征及影响因素研究——来自江苏城市家庭活动的调查数据. 人口与经济, 2015, (2): 30-39.
- [39] 肖作鹏,柴彦威,刘志林. 北京市居民家庭日常出行碳排放的量化分布与影响因素. 城市发展研究, 2011, 18(9): 104-112.
- [40] Han L Y, Xu X K, Han L. Applying quantile regression and Shapley decomposition to analyzing the determinants of household embedded carbon emissions: evidence from urban China. Journal of Cleaner Production, 2015, 103: 219-230.