

中国县域能源消费碳排放估算及其空间分布*

刘 畅^{1,2} 苏 筠^{1#} 黎玲玲¹

(1.北京师范大学地理科学学部,北京 100875;2.南京大学地理与海洋科学学院,江苏 南京 210023)

摘要 将传统的碳排放因子法与人口权重分配法相结合,估算了2015年中国2 170个县域的碳排放量,并将县域分为高/低碳排放量-高/低碳排放强度的4种类型。分析表明:(1)县域的平均碳排放量为 $1\,287 \times 10^3$ t,但差异较大,空间分布上整体呈现东高西低;81.58%的县域的碳排放强度在 $0.01 \sim <1.05$ t/万元,空间分布上呈现西部及西北高、东部及东南低。(2)低碳排放量-低碳排放强度类县域数量最多(占45.81%),在全国除东南沿海区域均有分布;高碳排放量-低碳排放强度类县域分布在中国部分华北地区及东部、东南沿海地区,中部也有少量分布;高碳排放量-高碳排放强度类县域主要分布在东北三省;低碳排放量-高碳排放强度类县域主要分布在中国西北的西藏自治区、新疆维吾尔自治区和青海省,同时山西省境内也有较多分布。(3)整体看,中低收入、处于发展提速的中西部县域发展仍需预留一定的碳排放空间;对于高收入的东部县域,则要提出更高的减排要求。

关键词 碳排放量 碳排放强度 空间分布 全球变化 县域

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2020.01.022

The estimation and spatial distribution of the carbon emissions of county units in China LIU Chang^{1,2}, SU Yun¹, LI Lingling¹. (1. Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875; 2. School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing Jiangsu 210023)

Abstract: Using the energy consumption method combined with allocation by population density, the carbon emissions (CE) and emission intensity (EI) of 2 170 county units in China in 2015 were estimated. And the county units were classified into 4 types: high/low CE with high/low EI. The results showed that: (1) the average CE of units was 1 287 kilotons with significant difference, and the distribution demonstrated high in the east and low in the west. 81.58% of units had a EI of $0.01 \sim <1.05$ tons per 10 000 yuan, while the distribution showed high in the west and northwest, low in east and southeast. (2) The majority type in China was low CE-low EI which included a large number of less-developed county units (accounting for 45.81%), and these units were distributed widely except the southeast coastal areas. High CE-low EI units were mainly located in part of North China, east and southeast coastal areas and with a small distribution in Central China. High CE-high EI units were mainly distributed in the three northeast provinces. And low CE-high EI units were mainly distributed in the northwestern region including Tibet, Xinjiang and Qinghai. Meanwhile, there were some distribution in Shanxi. (3) In general, the midwest county units with low income were in a rapid development stage. And it was necessary to reserve a CE space for their development. In contrast, the eastern coastal county units with high income should be asked for more stringent requirements of CE reduction.

Keywords: carbon emissions; carbon emission intensity; spatial distribution; global change; county units

工业革命以来,气候变暖的主要人为原因是二氧化碳的排放^[1]。减少碳排放、发展绿色低碳循环经济,受到多国政府的重视。中国作为碳排放大国,已深入参与全球环境治理,已在2015年巴黎举行的全球气候大会中做出承诺:2030年单位生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%^[2]。2017年,随着美国退出《巴黎协定》,包括中国在内的其他国家的排放空间可能被压缩,减排负担增加,发展低碳经济区域的策略调整变得更为迫切^[3]。

估算碳排放量及空间分布,可为减排提供数据基础。目前,碳排放的估算方法主要有:排放因子法^[4]、质量平衡法^[5]、碳足迹核算法中的投入—产出法^[6]、生命周期法^[7]等。估算的范围,从宏观尺度到中观尺度主要有大洲^[8-9]、国家^[10-12]及省区^[13-14]、城市^[15-17]等。由于很难获得县域或更小单位面积上的能耗等基础数据,较小尺度的碳排放估算研究较缺乏。

因为尺度效应的存在,需通过多尺度的碳排放

第一作者:刘 畅,男,1996年生,硕士研究生,研究方向为全球变化、生态承载力。# 通讯作者。

* 国家重点研发计划“全球变化与应对”重点专项(No.2016YFA0602704)。

http://www.zjzj.com

估算及研究,才能制定系统、全面且有针对性的减排和低碳政策。尺度效应,是指改变尺度认识地理事物和现象或分析地理问题时,所关注的重点和得出的结论有一定的差异^[18]。因此,在特定的空间尺度描述和提取信息,所得到的特征和机理在其他尺度上并不一定存在,结论不可简单外推应用,需通过多尺度的研究才能全面把握内在规律^[19]。

中国国土辽阔,辖2 000多个县域,县域之间在经济发展水平、产业结构、能源利用效率存在巨大差异,估算县域的碳排放量和排放强度,可为制定有针对性的区域减排政策提供依据,但受限于估算基础数据的难获取性,目前缺乏县级尺度的研究。

本研究拟改进传统的碳排放估算方法,将排放因子法与人口权重分配法相结合,估算县域碳排放量及其碳排放强度,分析中国当前县域碳排放量的空间分布,同时对县域进行分类,了解各区域的县域碳排放发展类型。

1 数据来源与方法

1.1 数据来源

中国现行的行政区划包括省级、地级、县级、乡级行政区。其中,县级行政区主要包括县、自治县、旗、自治旗、县级市、市辖区等。考虑到自治县及旗、自治旗主要是民族地区命名方式的不同,都可归为“县”,因此本研究的县域包括县、县级市、市辖区3类。一个地级市所在地可能包括多个市辖区,但各区面积较小,为便于数据获取和分配,每个地级市的市辖区统一计算。

首先采用联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的排放因子法估算省级区域的能源消费碳排放量,再根据人口数据对各省进行自上而下的县域碳排放量的分配;根据县域碳排放量和GDP,进一步计算碳排放强度。主要数据包括:(1)行政区划底图。资料来自自然资源部的国家地理信息公共服务平台网站(<https://www.tianditu.gov.cn/>),使用2015年的县级、省级两种行政区划图。由于中国港澳台地区的数据暂缺,本研究共包括31个省级单元及其下辖2 170个县域。(2)2015年31个省区的能源消耗量,不同能源种类的排放因子系数。能耗数据来自各省统计年鉴的能耗数据模块。排放因子等能源相关系数来自《2006年IPCC国家温室气体清单指南》。(3)各县域人口占全省的比重。人口密度栅格数据来自哥伦比亚大学社会经济中心(SEDAC)网站(<http://sedac.ciesin.columbia.edu>)。表

征地区常住人口密度,栅格分辨率为30 m×30 m。

1.2 县域碳排放量及排放强度的估算方法

1.2.1 能耗法估算分省碳排放量

排放因子即能耗法进行估算碳排放量是较成熟的一种方法,其本质即从区域生产端进行核算,将常见能源类型的消耗量进行统计,同时使用其碳排放系数,将所有能耗质量转化为理想状态下的标准煤质量,计算其燃烧产生的碳(碳元素)质量。标准煤的二氧化碳排放系数使用国家发展和改革委员会能源研究所推荐的2.457,乘12/44换算得到碳排放系数。具体为:

$$CE_{省} = \sum_n E_n \times c_n \times B \times 2.457 \times 12/44 \quad (1)$$

式中: $CE_{省}$ 为省区的碳排放量, 10^3 t; n 为能源种类序号,能源包括煤、油品、热力等; E_n 为能源消耗量, 10^3 t; c_n 为能源的标准煤折算系数; B 为碳氧化率,%。

中国各省区2015年碳排放量估算结果见表1,

表1 中国各省区2015年碳排放量估算结果
Table 1 Estimation results of carbon emissions in Chinese provinces in 2015

省区	碳排放量/(10^3 t)
北京市	41 941
天津市	50 009
河北省	180 019
山西省	121 955
内蒙古自治区	112 411
辽宁省	133 866
吉林省	52 557
黑龙江省	73 401
上海市	68 060
江苏省	183 353
浙江省	115 588
安徽省	73 745
福建省	74 353
江西省	49 456
山东省	224 170
河南省	140 540
湖北省	100 202
湖南省	94 043
广东省	181 695
广西壮族自治区	58 420
海南省	11 174
重庆市	52 759
四川省	122 053
贵州省	59 611
云南省	64 192
陕西省	68 901
甘肃省	46 177
青海省	24 510
宁夏回族自治区	30 367
新疆维吾尔自治区	91 643
西藏自治区	8 784

合计排放 $2\,709\,958 \times 10^3 \text{ t}$ 。美国国家橡树岭实验室二氧化碳信息分析中心(CDIAC)的数据显示,中国2014年碳排放总量为 $2\,806\,634 \times 10^3 \text{ t}$ 。以CDIAC估算结果为标准值,误差为3.4%,估算结果具有可信度,可作为后续计算的基础数据。

1.2.2 依据省内人口权重进行县域碳排放分配

使用 ArcGIS 工具对从 SEDAC 获取的高精度人口密度数据进行分区统计,得到省级和县域的人口密度加和数据,并将单位面积的人口密度转化为人口数量。使用 Raster Calculator 工具按照式(2)进行运算,得到县域的碳排放量。

$$CE_{\text{县}} = P_{\text{县}} / P_{\text{省}} \times CE_{\text{省}} \quad (2)$$

式中: $CE_{\text{县}}$ 为县域的碳排放量, 10^3 t ; $P_{\text{县}}$ 为县域内的人口密度转换的人口总量; $P_{\text{省}}$ 为省域内的人口总量。

该方法运算方便,且可满足研究中国碳排放量分布格局的要求。DE AZEVEDO 等^[20]建立的1970—2015年巴西碳排放数据库中,在国家碳排放降尺度分配的过程中,使用了与碳排放相关的经济指标进行分配,因人口密度是影响经济活动的主要因素(GDP是后续需要进行分析研究的指标,所以不作为分配权重因子),本研究使用人口密度为权重因子进行分配,实际上即从消费端对碳排放进行估算,具有一定的可靠性。

1.2.3 碳排放强度的计算

碳排放强度表示一个地区产生单位 GDP 需要排放的碳。为体现生产效率差异,引入了碳排放强度,即碳排放量与 GDP 总量的比值。碳排放强度越低,意味着碳排放效率较高,即排放较少的碳、产出更多的 GDP。

2 结果分析

2.1 县域的碳排放量及其空间分布

使用自然断点法将中国县域的碳排放量分为10级,碳排放量最低 $21 \times 10^3 \text{ t}$,最高 $64\,032 \times 10^3 \text{ t}$,平均 $1\,287 \times 10^3 \text{ t}$ 。由表2可看出,大多数县域处在前3级碳排放量较少的类别中,占总个数的79.36%,但其碳排放总量却只占全国的44.12%。而碳排放量较高的县域个数较少,6~10级共有80个县域,占总个数的3.69%,但其碳排放量却占到了总量的26.86%。

由图1可见,碳排放量差异较大,整体呈现东高西低。高碳排放中心是华北地区的京津市辖区及华东地区的上海市辖区,同是中国直辖市的市辖区,但其经济辐射带动能力的不同,导致周边地区的碳排放量不同。华南地区的珠三角地区,以成都市辖区、昆明市辖区为主的西南地区,环渤海地区的山东省境内及辽东半岛均为高碳排放区域,他们大多经济发达且人口稠密,生产消费活动频繁。此外,东北地区的碳排放量也普遍较高,与产业结构与支柱产业类型相关。而西北地区和青藏地区,则相对碳排放量较低,这与当地的人口密度低、经济较落后直接相关。

2.2 县域的碳排放强度及其空间分布

计算每个县域的碳排放强度,同样分为10级。由表3可知,大多数县域的碳排放强度位于前4个级别,即 $0.01 \sim < 1.05 \text{ t/万元}$,共占总个数的81.58%,而碳排放强度高的地区个数较少,且多为县,碳排放强度最高的两个县分别位于西藏自治区山南市和青海省果洛州。

由图2可见,中国县域的碳排放强度呈现西部及西北高、东部及东南低。除西部地区外,东北、华北地区也存在一定数量的中高碳排放强度的县域。东北三省的西部地区(即大兴安岭周边)及太行山以西的山西省境内,都是高碳排放强度区域,整体分别处于 $1.05 \sim < 2.80$ 、 $2.03 \sim < 6.52 \text{ t/万元}$ 的区间内。

表2 中国县域碳排放量分级(2015年)

Table 2 The carbon emission classifications of county units in China (2015)

级别	个数	占总个数的比例/%	碳排放量占比/%	碳排放量/(10^3 t)	典型县域
1	677	31.20	7.26	$21 \sim < 509$	塔河县、黑河市辖区等
2	596	27.47	16.34	$509 \sim < 974$	鹤壁市辖区、白银市辖区等
3	449	20.69	20.52	$974 \sim < 1\,532$	永清县、张掖市辖区等
4	265	12.22	18.29	$1\,532 \sim < 2\,311$	伊春市辖区、蓬莱市辖区等
5	103	4.75	10.73	$2\,311 \sim < 3\,549$	大庆市辖区、珠海市辖区等
6	41	1.89	6.11	$3\,549 \sim < 5\,666$	合肥市辖区、扬州市辖区等
7	20	0.92	5.86	$5\,666 \sim < 9\,946$	郑州市辖区、厦门市辖区等
8	11	0.51	5.28	$9\,946 \sim < 14\,680$	杭州市辖区、西安市辖区等
9	5	0.23	4.09	$14\,680 \sim < 25\,249$	南京市辖区、广州市辖区等
10	3	0.14	5.52	$25\,249 \sim 64\,032$	北京市辖区、上海市辖区和天津市辖区

新疆维吾尔自治区地质调查院 <http://www.xjgepc.com>

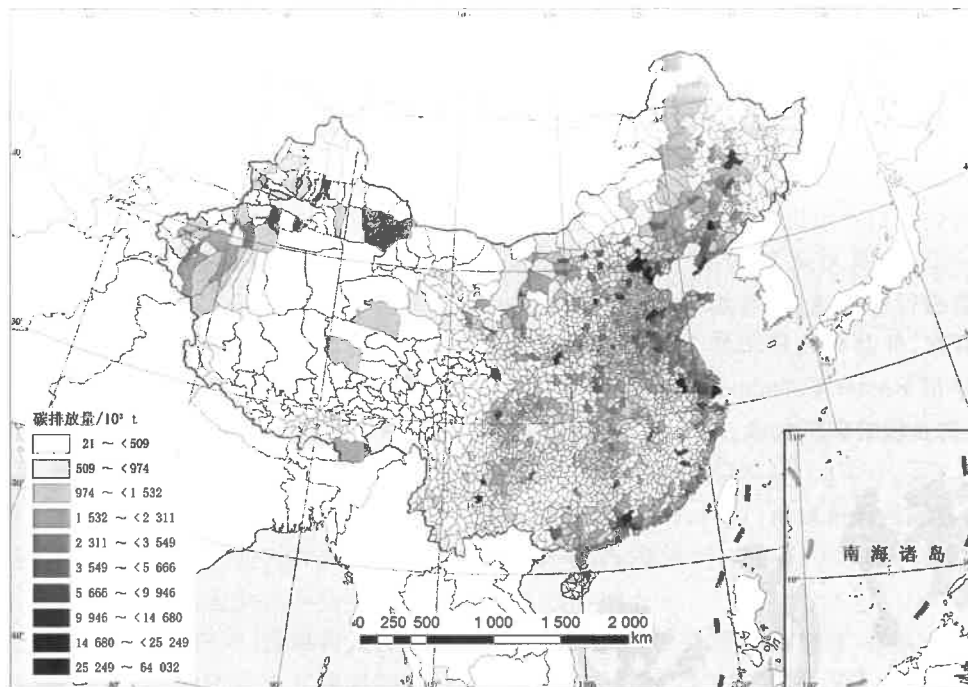


图 1 中国县域碳排放量的空间分布(2015 年)

Fig.1 The spatial distribution of carbon emissions in county units of China (2015)

表 3 中国县域碳排放强度分级(2015 年)

Table 3 The classification of emission intensity of county units in China (2015)

级别	个数	占总个数的比例/%	碳排放强度/(t·万元 ⁻¹)	典型县域
1	379	17.47	0.01~<0.31	青岛市辖区、苏州市辖区等
2	580	26.73	0.31~<0.53	开封市辖区、安顺市辖区等
3	499	23.00	0.53~<0.76	西宁市辖区、天水市辖区等
4	312	14.38	0.76~<1.05	黄龙县、长宁县等
5	186	8.57	1.05~<1.45	吴忠市辖区、临汾市辖区等
6	116	5.35	1.45~<2.03	平遥县、吕梁县等
7	55	2.53	2.03~<2.80	壶关县、那曲县等
8	31	1.43	2.80~<4.05	大同县、昌都县等
9	10	0.46	4.05~<6.52	墨玉县、沾源县等
10	2	0.09	6.52~12.68	错那县、班玛县

而在西部地区,西藏、藏南、宁夏回族自治区南部和青海省全境的碳排放强度均较高。西藏的碳排放强度多处于 1.45~<6.52 t/万元区间内;藏南地区分布在 4.05~<12.68 t/万元的极高碳排放强度区域;宁夏回族自治区南部碳排放强度均处于 2.80~<6.52 t/万元,而青海省境内的大多数县域碳排放强度均高于 1.05 t/万元。此外,甘肃省境内存在明显的碳排放强度差异,甘东南地区出现了碳排放强度高于 1.05 t/万元的区域,而其余区域的碳排放强度均较低。

2.3 基于碳排放量与碳排放强度的县域分类

通过绘制县域的距平四象限图,将县域分为高/低碳排放量-高/低碳排放强度的 4 种类型,结果见表 4。中国有相当多的“双低”县域有待发展;高碳排放量-低碳排放强度类县域数明显多于“双

高”县域的数量,这些县域随碳排放量升高,碳排放强度逐渐降低,碳排放与经济发展、技术进步具有正向促进作用;已存在一定数量发展模式较绿色的县域,虽然碳排放量较高但同时碳排放强度已在降低。

由图 3 可见:1、2 类县域主要分布在中国的东部、南部;1 类县域经济条件较好,但整体的发展模式较落后,主要分布在东北三省;2 类县域碳排放效率很高,经济发达且产业结构、支柱产业较合理,分布在中国部分华北地区及东部、东南沿海地区,中部也有少量分布;3 类县域则在全国除东南沿海区域均有分布,是中国主要的碳排放模式;4 类县域经济落后且碳排放效率低下,主要分布在中国西北的西藏自治区、新疆维吾尔自治区和青海省,同时山西省境内也有较多分布。

表 4 中国县域分类结果
Table 4 The classification results of county units in China

类别	个数	占总个数的比例/%	平均碳排放量/(10 ³ t)	平均碳排放强度/(t·万元 ⁻¹)	典型县域	特征
1类	178	8.20	2 163	1.463	昆明市辖区、大同市辖区等	高碳排放量-高碳排放强度
2类	464	21.38	3 016	0.418	北京市辖区、上海市辖区等	高碳排放量-低碳排放强度
3类	994	45.81	602	0.452	濮阳市辖区、黄石市辖区等	低碳排放量-低碳排放强度
4类	534	24.61	597	1.408	永宁县、壶关县等	低碳排放量-高碳排放强度

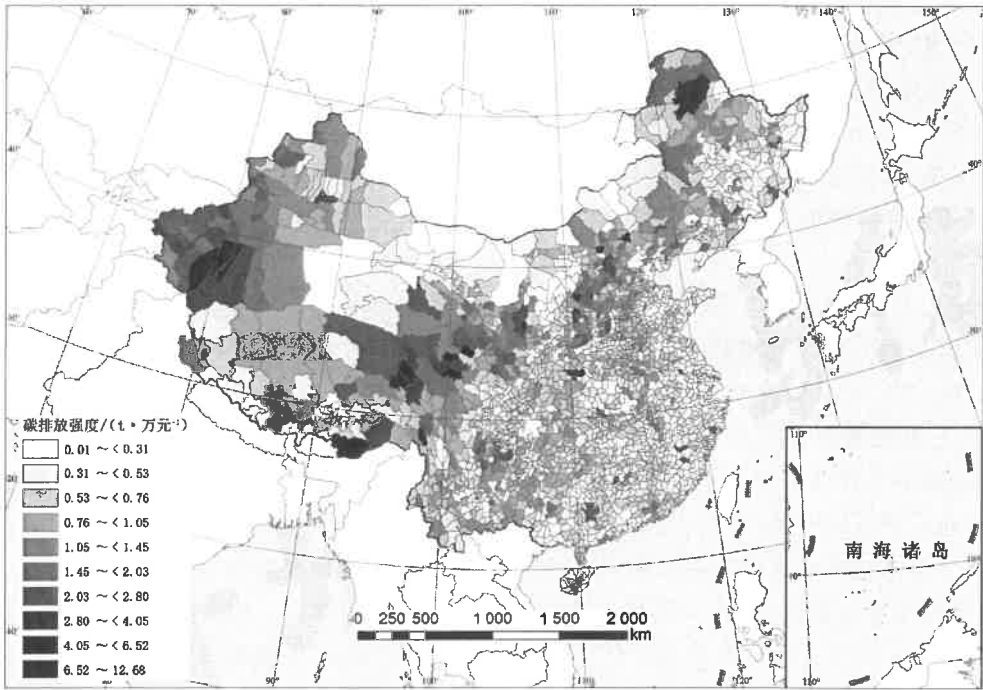


图 2 中国县域碳排放强度的空间分布(2015 年)

Fig.2 The spatial distribution of carbon emission intensity in county units of China (2015)

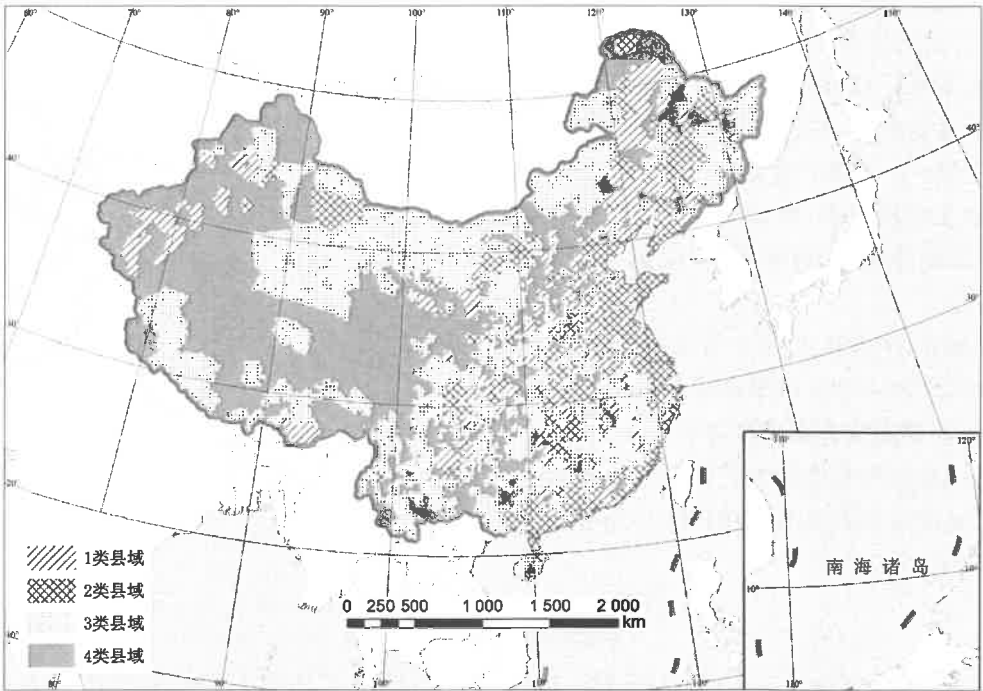


图 3 中国县域分类空间分布(2015 年)

Fig.3 The spatial distribution of classification results (2015)

2.4 不同碳排放特征的县域应采取不同的发展策略

不同类别的县域,形成碳排放特征的原因有所差别,因此需要采取不同的发展策略。如山西省是中部地区较集中分布了4类县域的省份。梁红岩等^[21]^[10]使用山西省2005—2013年市级面板数据测算山西省各市的全要素能源效率,发现晋中、运城、忻州及长治都是能源损失较大区域,存在很大的节能空间。而导致山西省在中部地区出现过高的碳排放强度县域的原因主要与其城镇化水平低、工业技术落后导致能源利用率低有关,且长治、晋中等作为居民主导型城市,其居民低碳意识、低碳城市建设落后、低碳技术创新能力弱,也是导致碳排放强度过高的原因^[21]^[12],^[22]。

2类县域具有高碳排放量-低碳排放强度的特征,且通常具有相似的经济发展模式。昆山市是江苏省苏州市辖区的一个县级市,以电子信息、装备制造、冶金业等工业类型为支柱产业。2005年,正式启动开发区创建全国首批生态工业园区工作。2006年,昆山市经济开发区以节地、节水、节电为重点,大力推动清洁生产,通过重点企业扶持发展循环经济,淘汰落后设备装置和工艺技术,减少废物产量,降低园区企业能耗^[23]。2008年大力推广低碳经济,实行土地集约利用机制,提高开发区、工业园区综合容积率,单位面积产出强度大幅提高。同时,提升金融等第三产业的比重,2015年昆山市的第三产业占比达到44%,高于全国平均水平。所以,实现碳排放模式的转化,首先是产业模式的调整,第三产业是相较于第二、第一产业更低碳、更高效的产业类型;其次是在现有产业结构下,更新产业组织形式、实现产业升级,贯彻低碳发展新理念,引入新技术,严格控制能源消耗,实现高碳排放量-低碳排放强度的发展模式^[24]。

目前整体看,中低收入、处于发展提速的中西部县域发展仍需预留一定的碳排放空间;对于高收入的东部县域,则要提出更高的减排要求。发展低碳经济和治理碳排放的政策应该从区域上综合考虑,充分考虑各地区城镇化的节能减排演化路径差异,推进区域间的有效合作。

3 结 语

(1) 将传统的碳排放因子法与人口权重分配法相结合,估算了2015年中国2 170个县域的碳排放

量。结果显示,县域的平均碳排放量为 $1\ 287 \times 10^3$ t,但差异较大,空间分布上整体呈现东高西低;81.58%的县域的碳排放强度在 $0.01 \sim < 1.05$ t/万元,空间分布上呈现西部及西北高、东部及东南低。

(2) 3类县域数量最多(占45.81%),在全国除东南沿海区域均有分布;2类县域分布在中国部分华北地区及东部、东南沿海地区,中部也有少量分布;1类县域主要分布在东北三省;4类县域主要分布在中国西北的西藏自治区、新疆维吾尔自治区和青海省,同时山西省境内也有较多分布。

(3) 整体看,中低收入、处于发展提速的中西部县域发展仍需预留一定的碳排放空间;对于高收入的东部县域,则要提出更高的减排要求。

(4) 人口密度数据存在一定的精度问题,但由于距离2010年人口普查已数年,同时考虑到在ArcGIS计算中的便捷,使用人口密度栅格数据进估算。估算方法中的碳排放的分配方法,采用了“将省级碳排放量按照人口分配到县域”的方法,虽然Nature子刊有文章也使用了类似方法,具有一定的参考性与可靠性。但该方法对于这种“消费侧排放”的计算未考虑能源消费弹性的差异,即抹杀了城市/乡村、不同收入群体、消费习惯之间的碳排放差异,存在一定误差。建立精确的碳排放格网化估算模型,可建立更完善的相关指标评估体系,是日后可深入的方向。

参考文献:

- [1] CHANGE C. Synthesis report: summary for policymakers[R]. Cambridge: Press Syndicate of the University of Cambridge, 2007.
- [2] 薛春.《巴黎协定》格局下的中国碳市场应对[J].生态经济, 2017, 33(2): 45-48.
- [3] 张海滨,戴瀚程,赖华夏,等.美国退出《巴黎协定》的原因、影响及中国的对策[J].气候变化研究进展, 2017, 13(5): 439-447.
- [4] ABDUL WAHAB S A, CHARABI Y, AL MAAMARI R, et al. CO₂ greenhouse emissions in Oman over the last forty-two years[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 52: 1702-1712.
- [5] SINGH P, KANSAL A, CARLIELL MARQUET C. Energy and carbon footprints of sewage treatment methods[J]. Journal of Environmental Management, 2016, 165: 22-30.
- [6] MA J, DU G, XIE B. CO₂ emission changes of China's power generation system: input-output subsystem analysis[J]. Energy Policy, 2019, 124: 1-12.
- [7] LIU W, ZHU Q, ZHOU X, et al. Comparative analyses of dif-

- ferent biogenic CO₂ emission accounting systems in life cycle assessment[J]. *Science of the Total Environment*, 2019, 652: 1456-1462.
- [8] MCDOWALL W, RODRIGUEZ B S, USUBIAGA A, et al. Is the optimal decarbonization pathway influenced by indirect emissions? Incorporating indirect life-cycle carbon dioxide emissions into a European TIMES model[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 170: 260-268.
- [9] URATA T, YAMADA T, ITSUBO N, et al. Global supply chain network design and Asian analysis with material-based carbon emissions and tax[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2017, 113: 779-792.
- [10] SHAN Y, GUAN D, ZHENG H, et al. China CO₂ emission accounts 1997-2015[J]. *Scientific Data*, 2018, 5: 170201.
- [11] SCHIPPER L, MURTISHAW S, KHRUSHCH M, et al. Carbon emissions from manufacturing energy use in 13 IEA countries, long-term trends through 1995[J]. *Energy Policy*, 2001, 29(9): 667-688.
- [12] KIM S. CO₂ emissions, foreign direct investments, energy consumption, and GDP in developing countries: a more comprehensive study using panel vector error correction model[J]. *Korean Economic Review*, 2019, 35(1): 5-24.
- [13] PEI J, NIU Z, WANG L, et al. Spatial-temporal dynamics of carbon emissions and carbon sinks in economically developed areas of China: a case study of Guangdong Province[J]. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 13383.
- [14] 王铮, 刘晓, 朱永彬, 等. 京、津、冀地区的碳排放趋势估计[J]. *地理与地理信息科学*, 2012, 28(1): 84-89.
- [15] LI L, CHEN C, XIE S, et al. Energy demand and carbon emissions under different development scenarios for Shanghai, China[J]. *Energy Policy*, 2010, 38(9): 4797-4807.
- [16] SHAO L, GUAN D, ZHANG N, et al. Carbon emissions from fossil fuel consumption of Beijing in 2012[J]. *Environmental Research Letters*, 2016, 11: 114028.
- [17] NANGINI C, PEREGON A, CIAIS P, et al. A global dataset of CO₂ emissions and ancillary data related to emissions for 343 cities[J]. *Scientific Data*, 2019, 6: 180280.
- [18] 李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨[J]. *地理研究*, 2005, 24(1): 11-18.
- [19] 李霖. 空间数据多尺度表达模型及其可视化[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [20] DE AZEVEDO T R, COSTA JUNIOR C, BRANDÃO JUNIOR A, et al. SEEG initiative estimates of Brazilian greenhouse gas emissions from 1970 to 2015[J]. *Scientific Data*, 2018, 5: 180045.
- [21] 梁红岩, 董威胁, 王静. 全要素能源效率变动对资源型地区低碳发展的影响——以山西省为例[J]. *经济问题*, 2016(8).
- [22] 段永惠, 针宏艳, 张乃明. 山西省低碳城市评价与空间格局分析[J]. *生态经济*, 2018, 34(4): 55-58.
- [23] 陈海燕. 转变经济发展方式背景下土地集约利用机理研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2011.
- [24] 李广东, 方创琳. 中国县域国土空间集约利用计量测度与影响机理[J]. *地理学报*, 2014, 69(12): 1739-1752.
- (上接第 83 页)
- 价标准也有待进一步细化。从影响因素分析来看, 仅从长三角地区整体上进行了分析, 不能反映各影响因素的空间效应。因此, 进一步完善指标体系, 丰富计量分析方法是未来需深入研究的方向。

参考文献:

- [1] 哲欣. 从“两座山”看生态环境[N]. *浙江日报*, 2006-03-23(1).
- [2] 王金南, 苏洁琼, 万军. “绿水青山就是金山银山”的理论内涵及其实现机制创新[J]. *环境保护*, 2017, 45(11).
- [3] 杜雯翠, 江河. “绿水青山就是金山银山”理论: 重大命题、重大突破和重大创新[J]. *环境保护*, 2017, 45(19): 34-38.
- [4] 刘潘. 从卖石头到“卖风景”的华丽转身——浙江湖州余村践行“两山”科学论断, “绿水青山”不断“淌金流银”[J]. *环境经济*, 2018(9/10): 96-97.
- [5] 李庆旭. 绿水青山聚集人才人气, 真山真水诠释风景独好——“绿水青山就是金山银山”重要思想的旌德实践创新[J]. *中国生态文明*, 2018(3): 84-87.
- [6] 杜艳春, 程翠云, 何理, 等. 推动“两山”建设的环境经济政策着力点与建议[J]. *环境科学研究*, 2018, 31(9): 1489-1494.
- [7] 翁智雄, 马忠玉, 朱斌, 等. “绿水青山就是金山银山”思想的浙江实践创新[J]. *环境保护*, 2018, 46(9): 53-57.
- [8] 秦昌波, 苏洁琼, 王倩, 等. “绿水青山就是金山银山”理论实践政策机制研究[J]. *环境科学研究*, 2018, 31(6): 985-990.
- [9] 翟帅, 周建华. “绿水青山就是金山银山”的实践成效评价研究[J]. *湖州师范学院学报*, 2017, 39(9): 6-13.
- [10] 程翠云, 葛察忠, 杜艳春, 等. 浙江省衢州市绿金指数核算研究[J]. *生态学报*, 2019, 39(1): 37-44.
- [11] WANG M X, ZHAO H H, CUI J X, et al. Evaluating green development level of nine cities within the Pearl River Delta, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 174: 315-323.
- [12] YAO L, LI X L, LI Q, et al. Temporal and spatial changes in coupling and coordinating degree of new urbanization and ecological-environmental stress in China[J]. *Sustainability*, 2019, 11(4): 1171.
- [13] 姜磊, 柏玲, 吴玉鸣. 中国省域经济、资源与环境协调分析——兼论三系统耦合公式及其扩展形式[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 788-799.
- [14] 黄哲明. 赣南原中央苏区农村生态经济系统耦合特征的时空分异研究[D]. 南昌: 江西师范大学, 2015.
- [15] 马亚亚, 刘国彬, 张超, 等. 陕北安塞县生态与经济系统耦合协调发展研究[J]. *生态学报*, 2019, 39(18): 1-10.
- [16] 李晓钟, 黄蓉. 工业 4.0 背景下我国纺织产业竞争力提升研究——基于纺织产业与电子信息产业融合视角[J]. *中国软科学*, 2018(2): 21-31.
- [17] LU H L, ZHOU L H, CHEN Y, et al. Degree of coupling and coordination of eco-economic system and the influencing factors: a case study in Yanchi County, Ningxia Hui Autonomous Region, China[J]. *Journal of Arid Land*, 2017, 9(3): 446-457.
- [18] 杜龙左, 陈闻君. 基于耦合理论新疆煤炭产业和区域经济生态环境协调发展研究[J]. *新疆农垦经济*, 2014(5): 37-41.
- [19] 吴玉鸣, 张燕. 中国区域经济增长与环境的耦合协调发展研究[J]. *资源科学*, 2008, 30(1): 25-30.

