

DOI: 10.5846/stxb202104010840

王正,周侃,樊杰.西部地区县域碳排放核算及主体功能区解析——以四川省为例.生态学报,2022,42(21):8664-8674.

Wang Z, Zhou K, Fan J. County-level carbon emission accounting and Major Function Oriented Zones in western regions: Taking Sichuan Province as an example. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(21): 8664-8674.

西部地区县域碳排放核算及主体功能区解析 ——以四川省为例

王 正^{1,2}, 周 侃^{1,2}, 樊 杰^{1,2,3,*}

1 中国科学院地理科学与资源研究所,北京 100101

2 中国科学院大学,北京 100049

3 中国科学院科技战略咨询研究院,北京 100190

摘要:科学认知区域碳排放是开展碳减排研究的基础性工作,主体功能区诸多政策都直接或间接与碳中和相关,分析不同功能定位的地域单元碳排放特征,有利于制定符合各地区功能定位的碳减排政策。选取城市化地区、农产品主产区、重点生态功能区比较典型的四川省,核算了 2010—2017 年各类主体功能区的碳排放量,以主体功能区为视角分析不同空间组分碳排放格局特征,结果显示:(1)四川省县域尺度碳排放整体上呈现东高西低的空间分布格局,碳排放具有明显核心—边缘结构特征,以成都平原为核心、攀枝花为次核心向外依次梯度降低。(2)主体功能区碳排放量差异明显,城市化地区是碳排放的主要承载区和碳排放变化的主要贡献区,农产品主产区和重点生态功能区碳排放量远低于城市化地区,重点生态功能区碳排放强度显著高于城市化地区和农产品主产区($P < 0.05$),需引起关注。(3)第二产业是各类主体功能区碳排放的主要来源,城市化地区第二产业碳排放比重高于其他主体功能区,农产品主产区和重点生态功能区居民生活碳排放比重则高于城市化地区。(4)立足各类主体功能区功能定位,从结构、技术角度讨论了各类主体功能区的碳减排政策措施,同时强调加强主体功能区区际合作,着眼全局,降低碳排放强度、减少碳排放量。

关键词:碳排放量;四川省;时空演进;主体功能区解析

County-level carbon emission accounting and Major Function Oriented Zones in western regions: Taking Sichuan Province as an example

WANG Zheng^{1,2}, ZHOU Kan^{1,2}, FAN Jie^{1,2,3,*}

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

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

3 Institute of Sciences and Development, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

Abstract: Scientific recognition of regional carbon emissions characteristics is the foundation for carbon emission reduction research. Policies of the Major Function Oriented Zones (MFOZs) are related to carbon neutrality directly or indirectly. Analyzing the characteristics of regional carbon emissions in different MFOZs is conducive to formulating policies in line with the functions of each zone. This study calculates the carbon emissions and analyzes its characteristics of the MFOZs from 2010 to 2017 in Sichuan Province. The results show that: (1) Sichuan Province's county-level carbon emissions present an obvious spatial distribution. Most counties in the western Sichuan Province belong to low emissions type, while most counties in the eastern Sichuan Province belong to high emissions type. There is an obvious core-periphery structure of

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41630644)

收稿日期: 2021-04-01; 网络出版日期: 2022-06-21

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fanj@igsnrr.ac.cn

carbon emissions, and emissions follow a circling layer pattern spatially differentiated against the distances to the regional core. Carbon emissions gradually decrease outwards from the core of Chengdu Plain and the secondary core of Panzhihua City. (2) There are obvious differences among MFOZs carbon emissions. The urbanized zones are the main part of carbon emissions with huge emissions. Changes in carbon emissions in the urbanized areas directly lead to changes in overall carbon emissions. The carbon emissions of foodstuff-security zones and ecological safety zones are much lower than urbanized zones. Carbon emission intensity of ecological safety zones significantly higher than that of other two zones ($P < 0.05$). Ecological safety zones require attention due to higher carbon emissions intensity. (3) The secondary industry plays an important role in carbon emissions in urbanized zones, foodstuff-security zones and ecological safety zones. The secondary industry is the main source of carbon emissions. The proportion of carbon emissions from the secondary industry in urbanized zones is the highest, while the proportion of residential carbon emissions in foodstuff-security zones and ecological safety zones is higher. (4) Based on the functional positioning of each zone, the carbon emissions reduction measures and policies of each zone should focus on their own carbon emission problems. Urbanized zones should accelerate upgrading the industrial structure and advocate a low-carbon life for citizens. The foodstuff-security zones and ecological safety zones should strictly limit the scale of industrial activities, especially high energy-intensive industries. Finally, decision maker should strengthen the inter-zone cooperation of the MFOZs, reduce carbon emission intensity and carbon emissions in a whole. Government should accelerate urbanization process, advocate people of two other zones migrating into urbanized zones. Urbanized zones should provide technical support for ecological safety zones to improve energy efficiency.

Key Words: carbon emissions; Sichuan Province; spatiotemporal evolution; analysis of Major Function Oriented Zones

改革开放以来,我国经济快速增长、能源消费量和碳排放量大幅增加,中国成为世界最大的能源消费和碳排放国^[1],能源消费碳排放量约占世界的 30%^[2],中国在减缓全球气候变化、降低碳排放量中扮演重要角色^[3-4],为应对日益严峻的全球气候变化挑战,2020 年 9 月中国政府在联合国大会上承诺将在 2060 年实现碳中和。主体功能区是刻画我国国土空间有序开发和保护格局的蓝图^[5-7],作为重要的政策实施单元,主体功能区的应对气候变化政策直接对减少碳排放、降低碳排放强度、增加碳汇提出了要求;同时人口规模和经济增长是碳排放的重要驱动因素^[8-9],主体功能区产业、投资、人口、环境等政策也通过对引导产业结构优化升级、合理调控产业转移、引导人口集聚影响人口和经济要素进而作用于碳排放。科学评估碳排放的主体功能区效应,有利于发挥主体功能区在减少碳排放、增加碳汇、实现碳中和的关键作用。碳排放的主体功能区解析则是认知其效应的基础性工作。

《IPCC 国家温室气体清单编制指南》是现行所有清单算法的基本模板,计算的核心思想是利用人类活动水平与排放系数相乘估算区域温室气体排放量。研究表明,目前全球人类活动导致的温室气体排放仍以碳为主,占到温室气体排放总量的 76%,碳排放中又有 86%来自化石能源消耗^[10],另一方面,省级能源消费数据相较于易于获取,因此以能源消费碳排放量表征区域碳排放成为众多学者的优先选择^[11]。故学者研究多以能源消费二氧化碳排放表征区域碳排放^[12-13],本文所称碳排放皆为能源消费二氧化碳排放。囿于能源消费数据可获取性和方法论限制,目前关于我国碳排放的研究集中在省级及以上空间尺度^[14-17],而省内各市各县资源禀赋和社会经济发展水平的差异必然带来碳排放差异,各市县减排政策应有所区别,且各市县发展定位不同,碳排放的政策约束显然不能“一刀切”。在县级尺度碳排放核算,不同学者进行了诸多有益的理论和实践探索,汪浩等将市级碳排放量利用排放系数和能源消费量计算,县级采用人口占比分配的方法,结合 ArcGIS 空间数据,将京津冀市级二氧化碳排放量自上而下分配至县级区域^[18],发现京津冀碳排放县域尺度上呈现出分层集聚的特点。赵荣钦等根据各县三次产业产值和人口占市级对应指标的比重,将河南省市级能源消费量分配至各县,进而核算河南省县域能源消费碳排放量,分析发现碳排放具有从市区向周边县(区)逐渐降低的特征^[19]。朱松丽等人基于省级能源消费数据核算碳排放量,计算省级三次产业碳排放强度(三次产业的单位

GDP 碳排放量)和人均碳排放量(即能源统计口径中生活消费部分的人均碳排放)并与各县三产产值和人口数相乘后相加得到县域碳排放量^[20]。也有学者建立 DMSO-OLS 夜间灯光指数与碳排放的线性方程,构建了碳排放空间数据集,结合行政区划矢量边界建立不同行政等级尺度碳排放数据集^[21],分析重庆市^[22]和哈长城市群^[23]县域尺度碳排放时空格局,认为碳排放具有显著的空间集聚现象。利用三次产业产值比重分配省级能源消费量忽略了主体功能区间能源利用效率差异,分配省级碳排放量则未考虑不同主体功能区碳排放强度的差异。因此,本文借鉴谭显春等^[24]引入市级单位 GDP 能耗数据表征区域能源利用效率的核算方法,采用中国碳核算数据库提出的能源碳排放系数,选取四川省作为典型案例区进行县域尺度碳排放核算,解析主体功能区碳排放分异特征,以期为主体功能区视角下碳减排政策提供基础数据和科学支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

四川省雄踞我国西南部,面积辽阔、人口众多。截止 2019 年,四川省国土面积 48.61 万 km²,常住人口 8375.0 万人,成都平原(根据四川省主体功能区划方案,文中成都平原指四川盆地西部、龙泉山和龙门山-邛崃山之间地区,川南地区位于四川盆地南缘、川渝滇黔交界处,川东北位于川渝陕结合部,攀西地区主要包括攀枝花市和凉山州)自然条件优越,是四川省内城市和人口集中分布区域,成都都市圈是我国城镇化格局的重要节点;四川盆地是我国农业安全格局中长江流域主产区的重要组成部分;川西高原(四川雅安、邛崃山脉以西的高原和山地的统称)是青藏高原的重要组成部分,更是我国“两屏三带”生态安全战略格局中黄土高原-川滇生态屏障的重要组成。四川省城市化区域、农业区域、生态区域较为典型,更有利刻画城市化地区、农业地区、生态地区碳排放的比例关系,因此作为本文的研究案例区。本文统一使用四川省主体功能区划行政区划,下辖 181 个县级单元,其中城市化地区 90 个区县单元,农产品主产区 35 个区县单元,56 个重点生态功能区。县级行政区划调整问题,则根据地理位置将其划入相应主体功能区(图 1)。

1.2 数据来源及能源分类

以 2010 年为基期年,四川省分行业分能源消费数据来源于《中国能源统计年鉴》,地市级能耗数据、各县区常住人口和生产总值来源于《四川省统计年鉴》和各地市统计年鉴,由于县域和省域统计数据存在差异,本文统一采用各区县数据加总得到的相应省级数据。《中国能源统计年鉴》涉及能源类型均被纳入,由于《IPCC 国家温室气体清单编制指南》和《省级温室气体清单编制指南》中统计的能源消费类型与《中国能源统计年鉴》不完全一致,提供的燃料低位热值和单位热值含碳量无法满足对能源消费全类型的计算,Liu 等学者通过对国内 4243 个煤矿和 602 个煤炭样品的分析检测,测算出按照《中国能源统计年鉴》中各能源类型的低位热值和单位热值含碳量因子^[25]。从能源消费碳排放计算的全面性和科学性出发,本文采用 Liu 及其团队实际测算值^[4,25]。

1.3 方法

采用 IPCC 参考方法(即方法 2)核算省级碳排放量,其公式如下^[26]:

$$E = \sum_{i=1} \left[AC_i \times NCV_i \times CC_i \times 10^{-3} \times COF_i \times \frac{44}{12} \right] \quad (1)$$

式中, E 为碳排放量, i 为能源类型, AC_i 为能源消费量(单位:10⁶t)(转换为热量单位:TJ), NCV_i 为 i 种能源净热值(热量单位:TJ), CC_i 为 i 种能源低位热值含碳量, COF_i 为 i 种能源碳氧化率, $\frac{44}{12}$ 为碳与二氧化碳转换比例。借鉴前人把区域碳排放分解为 4 个部门的核算方法^[20,27],将《中国能源统计年鉴》中的终端消费量中 7 类部门合并:将农林牧渔业代表第一产业,用工业和建筑业代表第二产业,将交通运输仓储和邮政业、批发零售业和住宿餐饮业以及其他行业合并为第三产业,生活消费表征居民生活,共 4 类进行碳排放核算。如前所述,目前我国能源消费数据以省为单元统计,故无法直接计算出县级碳排放量。谭显春等认为省内能源利用

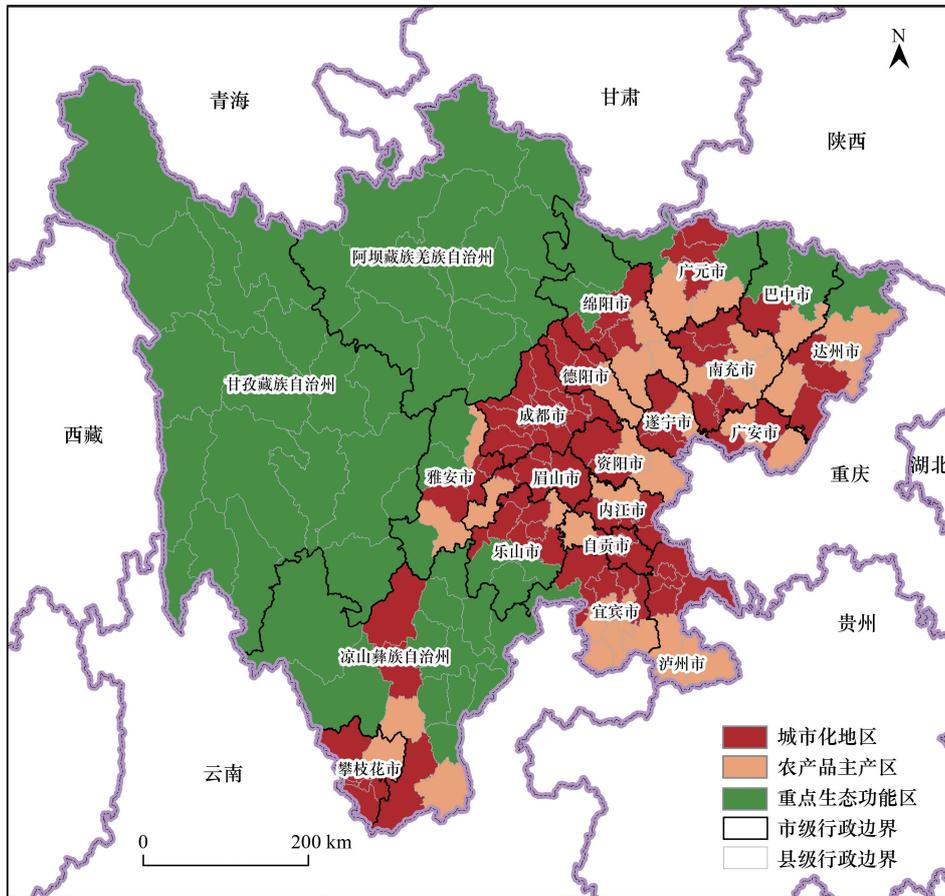


图 1 四川省主体功能区格局图

Fig.1 Layout of the Major Function Oriented Zones in Sichuan Province

效率差异各市间较大,而市内各县较小,因此引入市级单位 GDP 能耗用以体现各市能源利用效率的差异,其核算方法主要过程有:利用省级能源消费数据计算出省碳排放量,根据省三次产业产值和人口数计算出省三次产业碳强度和人均生活碳排放量,省三产碳强度和人均生活碳排放量分别乘各市产业产值和人口数得出理论市级碳排放量,以市单位 GDP 能耗、市 GDP、排放系数三者相乘得到各市实际碳排放量。以各市实际排放量与理论排放量的比值分别与省级三产强度、省级人均生活碳排放量相乘得出各市三次产业碳强度、市级人均生活碳排放量,将市级三次产业碳强度和人均生活碳排放量分别与各县的三次产业产值及人口数相乘,再相加得到各县级单元的碳排放量(图 2),方法详见文献^[24]。

采用 ANONA 单因素方差分析主体功能区间碳排放强度差异,用最小显著极差法(LSD)确定显著性水平($P < 0.05$ 时表示有显著差异)。基尼系数表示各县区碳排放区域差异程度,计算公式如下:

$$Gini = \frac{\sum_i \sum_j |x_i - x_j|}{2n^2 \bar{x}} \tag{2}$$

式中, x_i 和 x_j 为 i 和 j 地区碳排放量, \bar{x} 为各县碳排放量平均值, n 为样本值,即 181。Gini 系数范围[0, 1], 数值越大区域差异越大。当 Gini 系数在大于 0.4 表示差异较大,大于 0.5 则表示高度不平均状态^[28]。用 Getis-Ord G^* 指数探究各县区碳排放的局部空间自相关关系,识别碳排放高值集聚区和低值集聚区,其计算公式如下^[29]:

$$G^* = \sum_j^n W_{ij}(d) Y_j / \sum_{j=1}^n Y_j \tag{3}$$

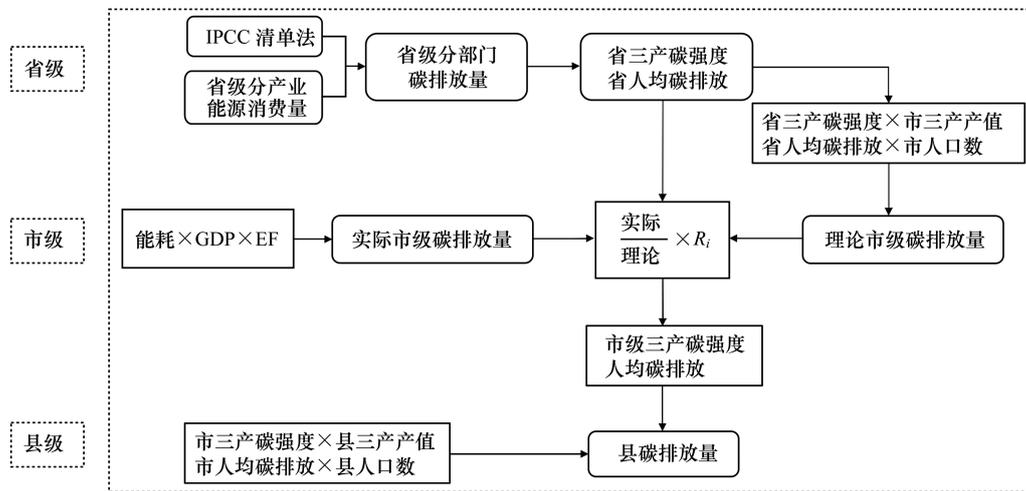


图2 县级碳排放量核算流程示意图

Fig.2 Schematic diagram of county-level carbon emissions accounting

R_i , $i=1,2,3,4$,代表省级三次产业碳排放强度和人均碳排放量, EF :碳排放转换系数 Emission factor

当 i 与 j 不相等时, G^* 指数公式为:

$$Z(G^*) = [G^* - E(G^*)] / \sqrt{\text{Var}(G_i^*)} \quad (4)$$

式中, W_{ij} 为空间权重矩阵, $E(G^*)$ 为 G^* 的期望值, $\sqrt{\text{Var}(G_i^*)}$ 是 G^* 的方差; 统计显著水平下, $Z(G^*) > 0$, 则区域为高值集聚的热点区, 反之则为低值集聚的冷点区。

2 结果与分析

2.1 县域碳排放时空演进特征

县级尺度上碳排放整体表现出东高西低的特征, 成都平原是碳排放高值区集中分布地, 攀西和川南地区部分市辖区也存在碳排放高值区。碳排放中值区则主要分布在高值区的周围, 分布在成都平原、川东北、川南和攀西地区, 近年来在川东北和川南地区扩张尤为明显。碳排放低值区主要分布在四川北部、西部和东南部, 近年来碳排放量低值区增加。2010—2017 年高值区呈现出以成都为中心向四周扩张的趋势, 在其东南和东北方向上尤为明显(图 3、图 4)。成都平原人口密集、城市化水平较高, 经济发达, 是省内人口和经济的主要承载区域, 必然带来大量的化石能源消费, 因此碳排放量较高。川东北、川南和攀西地区是我国重要的能源化工基地, 工业基础雄厚、工业产值在国民经济产值中比重较高, 工业是化石能源消费和碳排放的主要来源^[30-31], 因此碳排放量较高。而川西和川北的广大区域多为高原和山地, 人口稀疏、大规模的工业开发活动较少, 故碳排放较少。

四川省区县碳排放基尼系数范围在 0.487—0.502, 处于差异偏大和高度不平均的临界值, 说明四川省县域碳排放量区域差异较大, 且研究期内碳排放基尼系数仅有小幅波动下降, 表明碳排放空间差异并未有明显改变。

分别计算 2010、2014 和 2017 年碳排放 Getis-Ord G^* 指数, 并根据 G^* 指数划分为热点区、次热区、次冷区、冷点区四类。热点图分析表明, 四川省碳排放存在明显的核心—边缘结构且呈现出双核心模式。以成都都市圈为核心, 向外逐渐扩散, 依次为次热区、次冷区和冷点区。南部攀枝花市形成次级核心, 向北依次向冷区、冷点区递减。2010 年至 2017 年, 两核心热点区有向外围扩张趋势, 成都都市圈为核心的热点区, 都江堰、绵阳安州区、眉山丹棱县由次热区转变为热点区; 次热区也扩展到宜宾市高县、长宁县、兴文县和泸州市叙永县。但在川东北和攀西地区, 南充市西充县、嘉陵区和广安市武胜县、华莹市, 凉山州会东县由次热区转为次冷区。

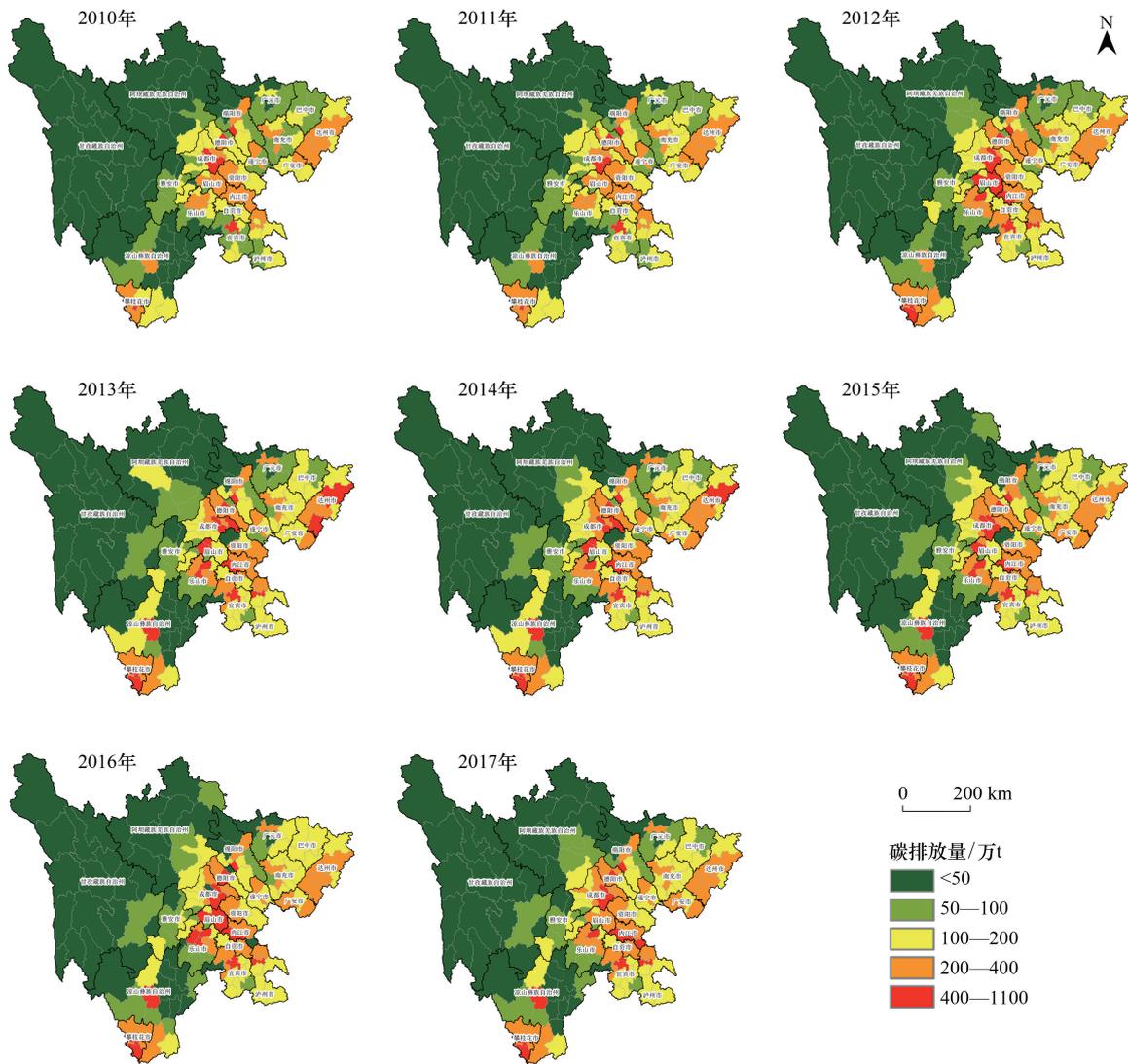


图3 2010—2017年县域碳排放格局
 Fig.3 County-level carbon emissions pattern from 2010 to 2017

西昌市则由次冷区转为冷点区。表明,四川省碳排放高值区由核心向边缘扩张的现象,主要集中在成都都市圈周围和川南地区,川东北和攀西地区则有收缩趋势(图5)。

2.2 主体功能区碳排放特征

2.2.1 主体功能区碳排放量分异特征

高值区分布呈现出团块集中在城市化地区,重点生态功能区主要以低值区为主。值得注意的是,生态功能区内部出现分异,毗邻高值区的区县碳排放量相对较高。碳排放中值区由城市化地区向农产品主产区扩张尤为明显,具体到地市主要扩张区在巴中、南充、自贡、宜宾、泸州等地(图4)。

碳排放量呈现出城市化地区>农产品主产区>重点生态功能区的特征,城市化地区是碳排放主要区域(图6),其碳排放量占全省比重稳定在76.40%—78.09%,农产品主产区和重点生态功能区碳排放量明显低于城市化地区,农产品主产区则稳定在15.21%—16.57%,重点生态功能区则稳定在6.70%—7.21%(表1),各主体功能区之间碳排放量差异明显,主体功能区类型对碳排放量影响显著。城市化地区是全省推进工业化、城镇化的主要承载区域,是产业集聚和人口集中分布区,较大的经济和人口规模必然带来大量的碳排放。农产品主产区具备较好的农业生产条件,区内耕地广布,以提供农产品为主要功能,限制大规模、高强度工业开发

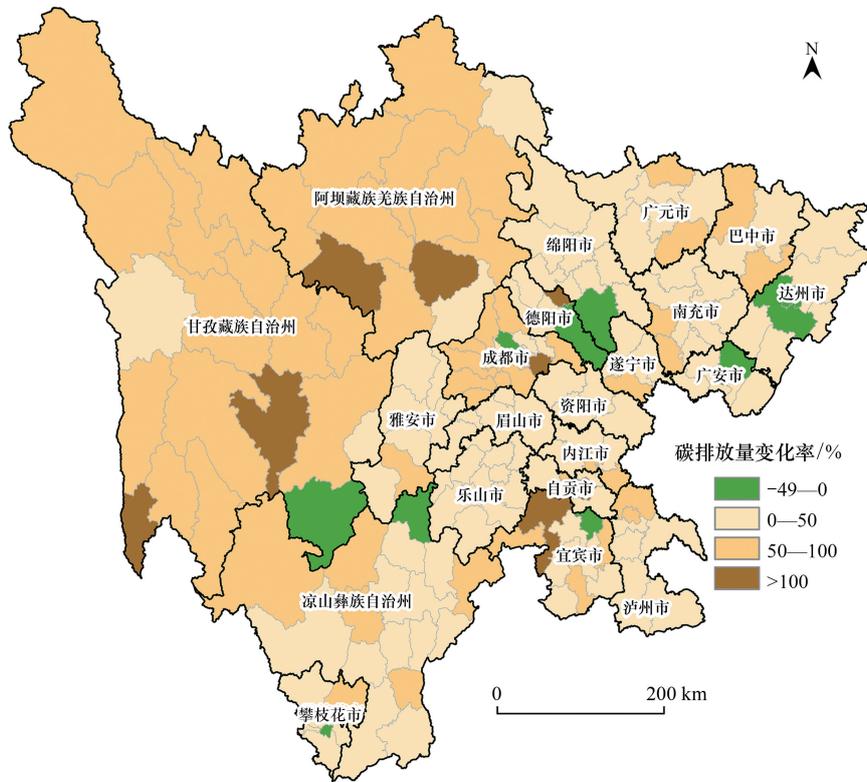


图 4 2010—2017 年碳排放量变化

Fig.4 Changes in carbon emissions from 2010 to 2017

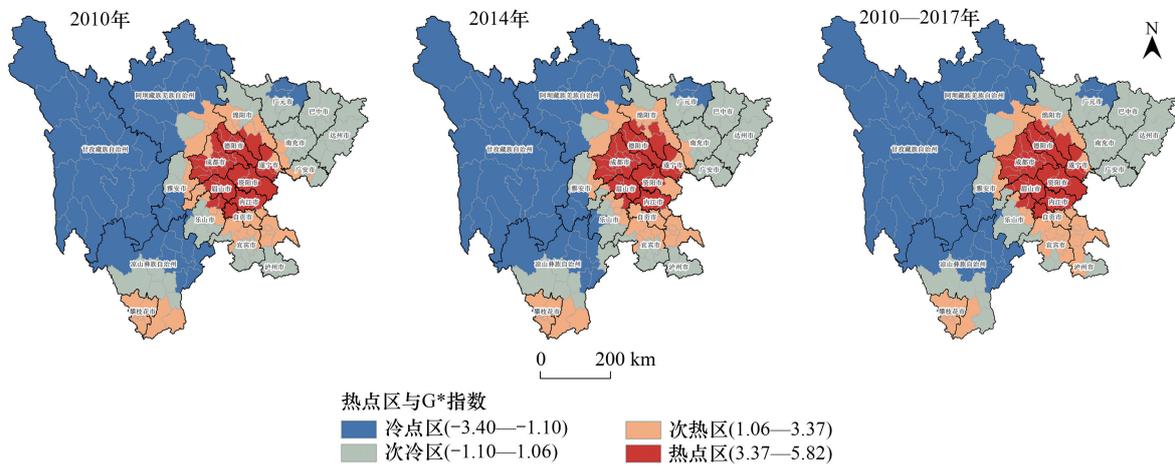


图 5 2010、2014、2017 年四川省碳排放热区分布

Fig.5 Distribution of carbon emissions hot spots in Sichuan Province in 2010, 2014, 2017

建设;重点生态功能区则以生态系统保护为重要定位,以提供生态产品、保障生态安全为主要功能,区内林地和草地面积占比较大,限制大规模的工业化和城镇化开发,故农产品主产区和重点生态功能区碳排放量较低。

朱松丽、谭显春等、徐婕等学者开展了对黑龙江、贵州、广东省、四川省主体功能区碳排放的研究,也发现城市化区域是碳排放的主要功能区,占全省碳排放 2/3 以上,农产品主产区高于重点生态功能区^[24,32-33]。对武汉都市圈主体功能区碳排放量的核算分析也得出了类似的结论^[28]。由此可见,各主体功能区的功能定位

与碳排放量显著相关。

2.2.2 主体功能区碳排放变化态势

采用碳排放量变化贡献度,即不同主体功能区碳排放增加量(减少量)与总增加量(减少量)的比值,测度各主体功能区对碳排放变化的贡献。考虑碳排放量 2010—2016 年不断增加,2016—2017 年碳排放量出现明显下降(图 6),分为两阶段分析各主体功能区对碳排放变化的贡献。结果表明,城市化地区在 2010—2016 年碳排放增加的贡献度最大,农产品主产区次之,重点生态功能区最低,分别为 75.24%、16.43%、8.33%;在 2016—2017 年碳排放下降的贡献中,城市化地区贡献(76.71%)仍然明显高于农产品主产区(13.63%)和重点生态功能区(9.66%)(表 2),说明四川省碳排放变化主要来自城市化地区。

分析主体功能区碳排放量内部结构(限于图幅,仅展示 2010 和 2017 年,图 7),发现城市化地区、农产品主产区和重点生态功能区的碳排放均主要来源于第二产业,且研究期内比较稳定。且城市化地区第二产业和第三产业碳排放比重高于农产品主产区和重点生态功能区,这也与城市化地区是工业活动的主要承载区的功能定位相一致。农产品主产区和重点生态功能区居民生活消费产生的碳排放比重高于城市化地区,农产品主产区第一产业碳排放量比中高于其他两类主体功能区。

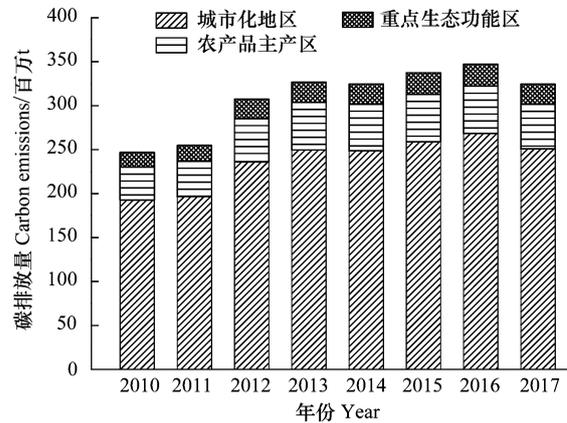


图 6 2010—2017 年各主体功能区碳排放量

Fig. 6 2010—2017 Carbon emissions of Major Function Oriented Zones

表 1 2010—2017 年各主体功能区碳排放量比重变化/%

Table 1 Changes in the proportion of carbon emissions in Major Function Oriented Zones from 2010 to 2017

主体功能区 Major function oriented zones	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	平均 Average
城市化地区 Urbanized zones	78.09	77.10	76.73	76.40	76.56	76.72	77.27	77.30	77.02
农产品主产区 Foodstuff-security zones	15.21	15.92	16.13	16.57	16.39	16.07	15.56	15.70	15.94
重点生态功能区 Ecological safety zones	6.70	6.98	7.14	7.02	7.05	7.21	7.17	7.00	7.03

表 2 2010—2017 年不同主体功能区碳排放量变化统计

Table 2 Statistics of changes in carbon emissions in different Major Function Oriented Zones from 2010 to 2017

主体功能区 Major function oriented zones	2010—2016 年		2016—2017 年	
	增加量/(10^4 t)	增加贡献度/%	减排量/(10^4 t)	减排贡献度/%
城市化地区 Urbanized zones	75.50	75.24	17.46	76.71
农产品主产区 Foodstuff-security zones	16.49	16.43	3.10	13.63
重点生态功能区 Ecological safety zones	8.35	8.33	2.20	9.66

2.2.3 主体功能区的碳排放强度分异

碳强度是能源利用经济效率的重要指标,对各主体功能区 2010—2017 年碳排放强度比较分析发现,2010—2017 年三类主体功能区碳排放强度经历了整体下降的过程,从下降幅度来看,城市化地区下降幅度最大(39.51%),重点生态功能区次之(33.55%),农产品主产区最低(33.14%)(图 8)。碳排放强度存在主体功能区间差异,重点生态功能区的碳排放强度显著高于城市化地区和农产品主产区($P < 0.05$),且高于省平均水平,能源利用效率较低。

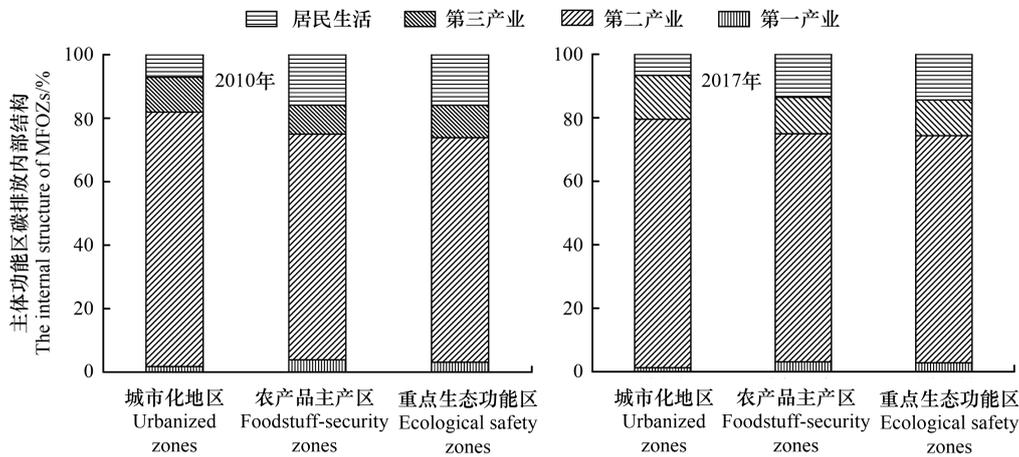


图7 2010 和 2017 年不同主体功能区碳排放内部结构

Fig.7 The proportion of carbon emissions in Major Function Oriented Zones of 2010 and 2017

3 结论与政策建议

3.1 结论

不同区域根据其主体功能定位在国土空间开发和保护格局中扮演不同角色,其承载的人口和经济规模差异较大,碳排放在不同主体功能区之间存在明显差异。主要结论如下:

(1)四川省碳排放高值区集中分布在成都平原和川东北、川南、攀西地区的城市化地区,由于主体功能区空间分布格局,碳排放整体表现出东高西低的特征。四川省县域碳排放空间差异较大,具有明显的核心—边缘结构,以成都都市圈为核心和以攀枝花为次核心,向外依次过度为次热区、次冷区和冷点区。研究期内碳排放热点区从成都都市圈不断向外围和川南地区扩张,在川东北和攀西地区则具有收缩态势。

(2)城市化地区是四川省碳排放的主要来源,研究期内其碳排放量占全省比重稳定在 75%左右,城市化地区是碳排放变化的主要贡献区,农产品主产区和重点生态功能区碳排放量占全省比重较小,分别为 16%、7%左右,重点生态功能区碳排放强度显著高于城市化地区和农产品主产区($P<0.05$)。

(3)第二产业是三类主体功能区碳排放的主要来源,城市化地区第二产业碳排放比重高于农产品主产区和重点生态功能区,农产品主产区和重点生态功能区居民生活碳排放比重高于城市化地区,农产品主产区第一产业碳排放比重相对较高。

3.2 政策建议

面向控制碳排放总量和降低碳强度目标,根据三类主体功能区碳排放特征,结合功能区定位,不同功能区碳减排政策和措施各有侧重。

作为四川省碳排放的主要来源,城市化地区是碳减排的重要阵地,应控制城市化地区碳排放规模,争取碳排放量早日达到峰值并下降。2017 年四川省城市化地区以 21%的国土面积承载了约 80%的经济产出,容纳全省 65%的人口,约 3/4 的碳排放量,相对于经济,人口集聚程度较低,应进一步吸纳非城市化地区的人口,发挥人口城镇化的集聚效应对碳排放的抑制作用^[34]。进一步倡导城市居民绿色低碳生活,引导居民形成低碳

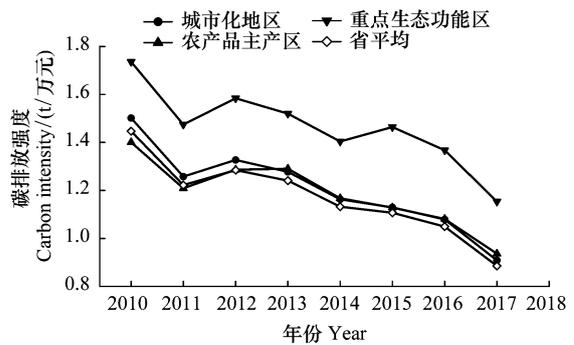


图8 2010—2017 年主体功能区碳排放强度

Fig.8 Carbon emission intensity of Major Function Oriented Zones from 2010 to 2017

生活理念,控制碳排放量增长。第二产业是城市化地区碳排放的主要部分,应调整产业结构,加快产业升级,走绿色高效的工业发展道路。以单位生产总值能耗较高的重化工业基地为重点、进一步降低碳强度(图9)。

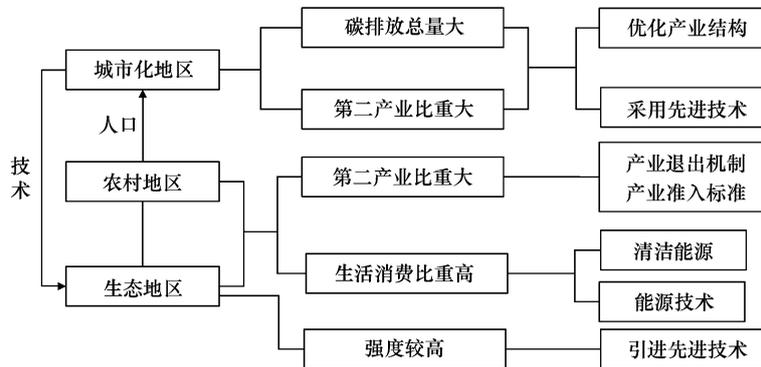


图9 主体功能区碳减排政策框图

Fig.9 Diagram of carbon emission reduction policies in Major Function Oriented Zones

农产品主产区和重点生态功能区碳排放主要来源于第二产业,居民生活碳排放占比较高。应严格落实主体功能区产业政策,执行高能耗企业退出机制,将不符合农产品主产区和重点生态功能区主体功能定位的工业企业限期迁出。严格设置环境准入标准,在承接来自城市化地区的产业转移时,甄别高能耗高污染企业,规避“污染避难所”效应^[35]。农产品主产区和重点生态功能区实施人口退出的主体功能区政策,加快推进人口向城市化地区和区内中心城镇集聚,整治农村宅基地,加强农村居民供暖等生活基础设施建设,提高设施利用效率。推进能源革命,因地制宜发展太阳能、风能等清洁能源,引进先进能源利用技术,提高居民生活能源利用效率,降低居民生活的能源消费碳排放强度,进而减少居民生活能源消费量。重点生态功能区应积极引进先进生产技术,提高区内能源利用效率,降低碳排放强度(图9)。

加强主体功能区区际合作,积极引导农产品主产区和重点生态功能区人口向城市化地区集聚,以发挥城市化地区能源利用效率较高的优势,同时增加重点生态功能区碳汇空间;城市化地区加强对重点生态功能区的技术支持,提高能源利用效率,降低碳排放强度(图9)。着眼四川全省,减少区域整体碳排放量。

参考文献(References):

- [1] Guan D B, Peters G P, Weber C L, Hubacek K. Journey to world top emitter: an analysis of the driving forces of China's recent CO₂ emissions surge. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(4): L04709.
- [2] European Commission. Emission database for global atmospheric research (EDGAR v4.3.2). Joint Research Centre (JRC)/PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. <https://edgar.jrc.ec.europa.eu/>.
- [3] Guan D B, Meng J, Reiner D M, Zhang N, Shan Y L, Mi Z F, Shao S, Liu Z, Zhang Q, Davis S J. Structural decline in China's CO₂ emissions through transitions in industry and energy systems. *Nature Geoscience*, 2018, 11(8): 551-555.
- [4] Shan Y L, Huang Q, Guan D B, Hubacek K. China CO₂ emission accounts 2016—2017. *Scientific Data*, 2020, 7(1): 54.
- [5] 樊杰. 主体功能区战略与优化国土空间开发格局. *中国科学院院刊*, 2013, 28(2): 193-206.
- [6] 樊杰. 中国主体功能区划方案. *地理学报*, 2015, 70(2): 186-201.
- [7] 樊杰. 地域功能-结构的组织途径——对国土空间规划实施主体功能区战略的讨论. *地理研究*, 2019, 38(10): 2373-2387.
- [8] Steckel J C, Hilaire J, Jakob M, Edenhofer O. Coal and carbonization in sub-Saharan Africa. *Nature Climate Change*, 2020, 10(1): 83-88.
- [9] 郑颖, 逯非, 刘晶茹, 王效科. 我国典型城市化化石能源消费 CO₂ 排放及其影响因素比较研究. *生态学报*, 2020, 40(10): 3315-3327.
- [10] IPCC. *Climate Change 2013: the Physical Science Basis; Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. New York: Cambridge University Press, 2014.
- [11] 王少剑, 刘艳艳, 方创琳. 能源消费 CO₂ 排放研究综述. *地理科学进展*, 2015, 34(2): 151-164.
- [12] 葛全胜, 刘洋, 王芳, 郑景云. 2016—2060 年欧美中印 CO₂ 排放变化模拟及其与 INDCs 的比较. *地理学报*, 2018, 73(1): 3-12.
- [13] 刘洋, 郑景云, 葛全胜, 王芳. 低碳发展背景下中国温室气体排放变化及其对全球减排的贡献. *资源科学*, 2017, 39(12): 2399-2407.

- [14] Lee C T, Rozali N E M, Van Fan Y, Klemeš J J, Towprayoon S. Low-carbon emission development in Asia: energy sector, waste management and environmental management system. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2018, 20(3): 443-449.
- [15] Liang S, Zhao J F, He S M, Xu Q Q, Ma X. Spatial econometric analysis of carbon emission intensity in Chinese provinces from the perspective of innovation-driven. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, 26(14): 13878-13895.
- [16] Qi W, Li G D. Residential carbon emission embedded in China's inter-provincial population migration. *Energy Policy*, 2020, 136: 111065.
- [17] Song M, Wu J, Song M R, Zhang L Y, Zhu Y X. Spatiotemporal regularity and spillover effects of carbon emission intensity in China's Bohai Economic Rim. *Science of the Total Environment*, 2020, 740: 140184.
- [18] 汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉. 县域尺度的京津冀都市圈 CO₂ 排放时空演变特征. *环境科学*, 2014, 35(1): 385-393.
- [19] 赵荣钦, 张帅, 黄贤金, 秦耀辰, 刘英, 丁明磊, 焦士兴. 中原经济区县域碳收支空间分异及碳平衡分区. *地理学报*, 2014, 69(10): 1425-1437.
- [20] 朱松丽, 汪航, 王文涛, 周湘, 刘燕华. “十二五”期间中国区域低碳经济与国土空间开发格局的协调发展研究. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(9): 135-142.
- [21] Shi K F, Yu B L, Zhou Y Y, Chen Y, Yang C S, Chen Z Q, Wu J P. Spatiotemporal variations of CO₂ emissions and their impact factors in China: a comparative analysis between the provincial and prefectural levels. *Applied Energy*, 2019, 233-234: 170-181.
- [22] 孙秀锋, 施开放, 吴健平. 县级尺度的重庆市碳排放时空格局动态. *环境科学*, 2018, 39(6): 2971-2981.
- [23] 于博, 杨旭, 吴相利. 哈长城市群县域碳排放空间溢出效应及影响因素研究——基于 NPP-VIIRS 夜间灯光数据的实证. *环境科学学报*, 2020, 40(2): 697-706.
- [24] 谭显春, 赖海萍, 顾佰和, 涂唐奇, 李辉. 主体功能区视角下的碳排放核算——以广东省为例. *生态学报*, 2018, 38(17): 6292-6301.
- [25] Liu Z, Guan D B, Wei W, Davis S J, Ciais P, Bai J, Peng S S, Zhang Q, Hubacek K, Marland G, Andres R J, Crawford-Brown D, Lin J T, Zhao H Y, Hong C P, Boden T A, Feng K S, Peters G P, Xi F M, Liu J G, Li Y, Zhao Y, Zeng N, He K B. Reduced carbon emission estimates from fossil fuel combustion and cement production in China. *Nature*, 2015, 524(7565): 335-338.
- [26] IPCC. IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories (Institute for Global Environmental Strategies (IGES), 2006).
- [27] Wu L B, Kaneko S, Matsuoka S. Driving forces behind the stagnancy of China's energy-related CO₂ emissions from 1996 to 1999: the relative importance of structural change, intensity change and scale change. *Energy Policy*, 2005, 33(3): 319-335.
- [28] 李璐, 董捷, 徐磊, 张俊峰. 功能区土地利用碳收支空间分异及碳补偿分区——以武汉城市圈为例. *自然资源学报*, 2019, 34(5): 1003-1015.
- [29] 周侃, 王强, 樊杰. 经济集聚对区域水污染物排放的影响及溢出效应. *自然资源学报*, 2019, 34(7): 1483-1495.
- [30] Luan B J, Huang J B, Zou H. Domestic R&D, technology acquisition, technology assimilation and China's industrial carbon intensity: evidence from a dynamic panel threshold model. *Science of the Total Environment*, 2019, 693: 133436.
- [31] 刘汉初, 樊杰, 曾瑜哲, 郭锐. 中国高耗能产业碳排放强度的时空差异及其影响因素. *生态学报*, 2019, 39(22): 8357-8369.
- [32] 朱松丽. 基于国土空间开发格局的城市化地区和其他功能区碳排放现状——黔粤案例研究. *气候变化研究进展*, 2016, 12(2): 132-138.
- [33] 徐婕, 潘洪义, 黄佩. 基于 LUCC 的四川省主体功能区碳排放与生态补偿研究. *中国生态农业学报*, 2019, 27(1): 142-152.
- [34] 王少剑, 苏泳娴, 赵亚博. 中国城市能源消费碳排放的区域差异、空间溢出效应及影响因素. *地理学报*, 2018, 73(3): 414-428.
- [35] Ding X H, Cai Z Y, Xiao Q Q, Gao S H. A study on the driving factors and spatial spillover of carbon emission intensity in the Yangtze River economic belt under double control action. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(22): 4452.