

京津冀地区碳排放时空分异格局及减排优化路径

宋沂邈¹, 李昂²

(1.北京农学院 经济管理学院, 北京 102206; 2.北京化工大学 经济管理学院, 北京 100029)

摘要: [目的] 分析京津冀地区农业碳排放的时空分异特征, 探索碳减排优化路径, 为低碳农业发展提供决策参考。[方法] 根据 IPCC 指南测算农业碳排放量, 并在此基础上采用趋势分析法研究京津冀地区农业碳排放线性变化规律, 采用 ArcGIS 断点分析法和核密度法分析京津冀 6 大农业区的空间演进趋势。[结果] 从时间上看, 京津冀农业碳排放量和碳排放强度整体呈下降趋势, 尤其是碳排放强度自 2005 年开始快速下降。与全国相比, 虽然农业碳排放总量占比小, 但是碳排放强度高于全国水平, 其中坝上农业区和冀南农业区的碳排放水平最高。从空间上看, 远离京津的坝上农业区北部, 冀中原农业区和冀南农业区部分县域碳排放强度较高, 而京津近郊农业区以及与其相邻的坝上农业区南部则保持轻度排放状态。此外, 根据核密度分析的结果, 6 大农业区整体碳排放强度在降低, 其中京津近郊农业区和冀中平原农业区碳排放强度内部差异化程度较大。[结论] 京津冀 3 省 6 大农业区应基于农业定位和资源禀赋在减碳和增汇两方面开展区域合作。未来应进一步考虑跨行业农业减碳合作。

关键词: 农业碳减排; 京津冀地区; 时空格局; 优化路径

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)03-0408-10

中图分类号: X322

文献参数: 宋沂邈, 李昂. 京津冀地区碳排放时空分异格局及减排优化路径[J]. 水土保持通报, 2024, 44(3): 408-417. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20240625.002; Song Yimiao, Li Ang. Spatiotemporal differentiation pattern and emission reduction optimization path of carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(3): 408-417.

Spatiotemporal Differentiation Pattern and Emission Reduction Optimization Path of Carbon Emissions in Beijing-Tianjin-Hebei Region

Song Yimiao¹, Li Ang²

(1. School of Economics and Management, Beijing University of Agriculture, Beijing 102206, China; 2. School of Economics and Management, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China)

Abstract: [Objective] The spatiotemporal differentiation of agricultural carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region was analyzed, and the optimal path of carbon emission reduction was explored in order to provide a decision-making reference for low-carbon agricultural development. [Methods] Agricultural carbon emissions were calculated based on the IPCC guidelines. Trend analysis was used to determine the linear changes in agricultural carbon emissions in Beijing-Tianjin-Hebei region. ArcGIS breakpoint analysis and the kernel density method were used to analyze the spatial evolution trends of the six major agricultural regions in Beijing-Tianjin-Hebei region. [Results] Overall carbon emissions and carbon intensity of agriculture in the Beijing-Tianjin-Hebei region showed a downward trend over time, especially carbon emission intensity that had been rapidly decreased since 2005. Although the proportion of total agricultural carbon emissions was small in this region, the carbon emission intensity was higher than the national level, with the highest carbon emission levels in the Bashang agricultural zone and the Jinan agricultural zone. From a spatial perspective, the northern part of the Bashang agricultural area, far from Beijing and Tianjin, as well as some counties in the central plains and Southern Hebei agricultural areas, had higher carbon emission intensity. However, the suburban agricultural area of Beijing and Tianjin, as well as the southern part of the adjacent Bashang

收稿日期: 2023-08-18

修回日期: 2024-02-01

资助项目: 北京农学院青年教师科研创新能力提升计划“基于碳时空分异格局的京津冀低碳农业发展绩效评价研究”(5076016183/031)

第一作者: 宋沂邈(1992—), 女(汉族), 山东省潍坊市人, 博士, 讲师, 主要从事农业经济管理研究。Email: 20219206@bua.edu.cn.

通信作者: 李昂(1995—), 男(汉族), 江苏省徐州市人, 博士, 博士后, 主要从事农村经济研究。Email: 1026758739@qq.com.

agricultural area, maintained a light and low emission status. In addition, according to the results of nuclear density analysis, the overall carbon emission intensity of the six major agricultural regions was decreasing, with a greater degree of internal differentiation in carbon emission intensity between the Beijing-Tianjin suburban agricultural region and the Hebei central plain agricultural region. [Conclusion] The six major agricultural regions in Beijing-Tianjin-Hebei region should be engaged in regional cooperation with regard to carbon reduction and sink enhancement based on agricultural positioning and resource endowments. In the future, further consideration should be given to cross industry agricultural carbon reduction cooperation.

Keywords: agricultural carbon reduction; Beijing-Tianjin-Hebei region; temporal and spatial patterns; optimization path

2023 年《中央 1 号文件》明确提出要推进农业绿色发展,推动农业发展质量。低碳农业是农业绿色发展质量的重要一环。京津冀作为中国重要的经济发展区域,其低碳农业发展既有利于京津冀地区的可持续发展,又对中国农业高质量发展具有重要意义。据有关研究,2050 年农业产业或将成为最大的排放源之一^[1],根据当前的研究,美国等发达国家农业已经实现碳中和,而中国农业仍处于碳达峰初期。因此,有必要以区域低碳农业发展带动全国农业绿色发展,而京津冀作为中国重要的经济发展区域,其率先实现农业碳中和对中国低碳农业发展具有重要意义。

20 世纪初期,世界各国开始认识到高碳农业的弊端,农业遂随之步入低碳农业时代。然而,目前关于碳排放的研究主要集中在能源、工业等领域,对于农业碳排放的研究相对较少。近年来,即便有部分学者对农业碳排放现状进行了研究,研究视域也多集中于全国视角^[2-4]或省域视角^[5-7]。从区域角度研究农业碳排放的文章相对较少,国内以陈儒等^[8]为代表性的学者在此方面做过尝试。在此之后,区域性农业碳排放研究开始在中国兴起,京津冀地区的农业碳排放研究开始受到重视^[4,9-10]。然而,现有京津冀地区农业碳排放研究多将 3 省分开,置于全国背景下分别研究,并未把京津冀作为一个单独的整体进行研究。

由于单独研究京津冀区域的报道较少,故而关于该区域的农业减碳增汇优化路径研究也有待丰富。借鉴现有农业碳减排优化路径研究,理论界主要从技术^[11-13]和政策^[14-15]两方面进行农业碳减排优化路径设计,其大多数路径方案是基于全国视域进行优化,对区域性,特别是京津冀地区农业碳减排优化的研究较少。因此,本研究利用京津冀地区 2000—2021 年数据,分析农业碳排放的时空分异特征,并提出碳减排优化路径,以期对低碳农业发展提供决策参考。

1 研究区概况

京津冀地区位于北纬 $36^{\circ}05'—42^{\circ}40'$,东经 $113^{\circ}275'—119^{\circ}50'$,北靠燕山山脉,南面华北平原,西

倚太行山,东临渤海湾,包括北京市、天津市以及河北省,总面积约 $218\ 000\ \text{km}^2$,是中国的“首都经济圈”。该地区北部及西北部地势较高,南部和东部地势较为平坦,总体地势西北高,东南低。京津冀地区属于暖温带大陆性季风型气候,四季分明、水热同期,适合植物生长,土地利用类型包括草地、林地、旱地、湖泊、沼泽地等(图 1)。京津冀区兼有海河、黄河、淮河和长江四大水系,但以黄河水系和海河水系为主。该地区农村居民点较多,村庄规模较大,整体城镇化水平高于全国平均水平。

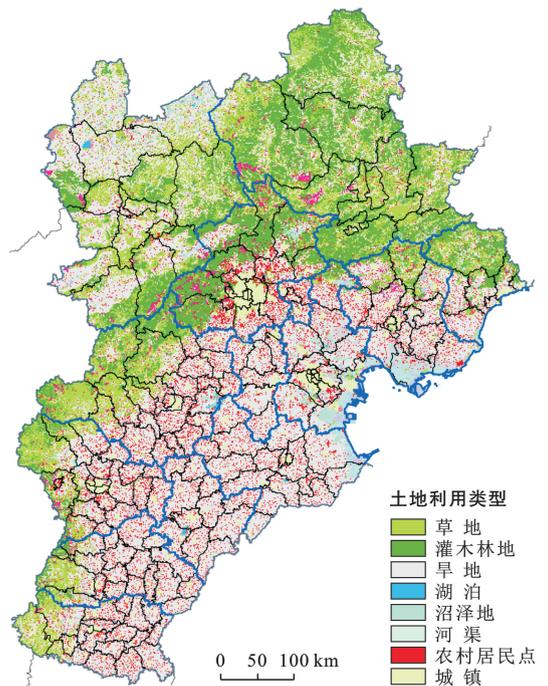


图 1 京津冀地区土地利用类型分布

Fig.1 Distribution of land use types of Beijing-Tianjin-Hebei region

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

2.1.1 农业碳排放基本测算方法 本研究碳排放计算方法根据 2021 年 3 月发布的《省际温室气体清单编制指南》(以下简称指南)农业部分计算而来。根据指南,农业温室气体清单包括 4 个部分,分别是稻田

CH₄ 排放,农用地 N₂O 排放,动物肠道发酵 CH₄ 排放,动物粪便 CH₄ 和 N₂O 排放。碳排放的计算公式如公式(1)所示。由于指南推荐了京津冀地区具体的碳排放因子,因此本研究大多数碳排放因子选用指南推荐数据,其余因子参考指南中推荐的因子计算方法或者参考国内外相关文献得出,所采用的计算因子见表 1。此外,除了指南中所示碳排放外,国内学者普

遍将农用物资、农业能源等也包含在内。本研究参考田云等^[3]以及丁宝根等^[16]的做法,将农用物资、农地利用等因素也考虑在内。碳排放计算公式如公式(1)所示。

$$E = \sum (EF_i \times AD_i) \quad (1)$$

式中: E 为碳排放量; EF_i 为各类碳源的排放因子; AD_i 为各类碳源的数量。

表 1 本研究采用的碳排放因子

Table 1 Carbon emission factors used in study

碳源	碳排放因子	来源
水稻	234 kg/hm ²	IPCC 指南华北单季稻
农用地 N ₂ O 直接排放	0.005 7 kg/hm ²	IPCC 提出农用地直接排放因子 EF 直接的范围是 0.001 4~0.008 1,本文选择指南中的推荐值 0.005 7
农用地 N ₂ O 间接排放	0.01 kg/hm ² 0.007 5 kg/hm ²	大气氮沉降引起的 N ₂ O 排放和农田氮淋溶和径流引起的 N ₂ O 排放的排放因子分别为 0.01,0.007 5
动物肠道发酵甲烷 (CH ₄) 排放	猪 52.9 kg/头	IPCC 指南规模化养殖下的推荐值
	牛 8.99 kg/头	
	羊 1 kg/头	
动物粪便 N ₂ O 管理	猪 0.227 kg/头	IPCC 华北地区粪便管理的推荐值
	牛 0.794 kg/头	
	羊 0.093 kg/头	
农用柴油	0.59 kg/kg	IPCC 指南
化肥	0.89 kg/kg	朱前涛等 ^[17]
农药	4.93 kg/kg	
农膜	5.18 kg/kg	韩超跃等 ^[18]
灌溉	266.48 kg/hm ²	段华平等 ^[19]
翻耕	312.60 kg/km ²	李波等 ^[20]

为了便于加总并与其他碳排放类研究保持一致,本文将各类温室气体统一换算成标准二氧化碳,根据 IPCC 第四次评估报告,碳、甲烷、氧化亚氮的二氧化碳转换系数分别为 44/12,25,298。

2.1.2 农业碳排放强度 相比于碳排放量,农业碳排放强度为相对性指标,是指单位农业生产总值带来的农业碳排放量。若一个地区的农业碳排放量增长,而碳排放强度下降,也可以说明该地区的减排效果在提升。本研究参考何邦路等^[21]的做法,农业碳排放强度如公式(2)所示。

$$CI = \frac{\sum_{i=1}^n C_{ij}}{S_{ij}} \quad (2)$$

式中:CI 为农业碳排放强度; C_{ij} 为第 j 个地区第 i 种碳源的碳排放量(t); S_{ij} 为第 j 个地区农业产值。

2.1.3 核密度分析法 核密度估计是一种非参数估计方法,该方法可以用连续的核密度曲线描绘农业碳排放强度的时间分布特征。核密度曲线的水平位置可以表示碳排放强度的高低,波峰高度和宽度可以体现碳排放强度在区间内的聚集程度。并且,波峰数量

越多,代表样本数据的极化程度越高,而曲线的延展程度可以描绘区域内的差异程度。纵向比较多期样本的核密度曲线可以用于分析该区域碳排放强度分布的动态演进过程。

具体来讲, j 区域碳排放强度的核密度曲线如公式(3)所示。

$$f_j(y) = \frac{1}{n_j h} \sum_{i=1}^{n_j} K\left(\frac{y_{ji} - y}{h}\right) \quad (3)$$

式中: K 代表核密度函数,描述了 y 邻域内所有样本点 y_{ji} 所占的权重; n 表示 j 区域样本数据中数据点的个数; y 是属于整体数据中的任一变量; y_{ji} 是样本数据中的一个数据点; h 代表核密度估计的窗宽。

常见的核密度函数有高斯核、双角核、三角核等,由于一般情况下,不同函数对于估计结果的影响不大,故而本文采用较为常见的高斯核函数。此外,虽然窗宽越小估计量越精确,但会导致参与计算的样本数目的相应减少,从而影响曲线的光滑性。因此本文用 Silverman (1986) 提出的最优窗宽选择方法确定窗宽。

2.2 数据来源

本研究以北京、天津市以及河北省 11 个地级市及其县域为研究对象,研究的时间范围为 2000—2021 年。

测算农业碳排放所涉及的原始数据来自国泰安数据库、历年地方统计年鉴和《中国农村统计年鉴》。由于河北省各县域 2010 年的数据整体缺失,本文采用插值法将其补足。天津市各区县农业碳排放数据自 2013 年起全部缺失,本研究采用预测法将其补足。

3 结果与分析

3.1 农业碳排放量与强度变化时间演进趋势

图 2 为京津冀地区分省份 2000—2021 年农业碳排放总量及碳排放强度的变化趋势。关于农业碳排放量,由图 2a 可以看出,河北省是京津冀地区农业碳排放量最高的省份,其次是天津和北京市。河北省农业体量大,而京、津主要发展都市型农业,农业体量小,故导致此内部差异。由于北京、天津与河北省的

农业碳排放量差异较大,为了凸显 3 地区的碳排放量变化,本研究将北京、天津市的农业碳排放量变化趋势单独以图 2b 显示。

根据图 2a,河北省的农业碳排放大致经历 4 个阶段。第一阶段为 2000—2005 年,在此阶段农业碳排放量持续上升,农业碳排放强度基本保持稳定高强度状态;第二阶段为 2005—2007 年,该阶段农业碳排放量先降后升,并于 2007 年达到峰值,但是农业碳排放强度开始快速下降;第三阶段为 2008—2019 年,在此阶段农业碳排放量平稳缓慢上升,与此同时,农业碳排放强度下降速度也开始变缓,但在此阶段碳排放强度整体较低,甚至开始低于农业体量更小的天津市;第四阶段为 2019—2021 年,伴随着 2015 年《巴黎协定》签订与国内诸多绿色生态农业措施的制定,农业碳排放量较上一阶段快速下降,农业碳排放强度在该阶段经历了短暂的上升,但 2018 年开始又进入新一轮下降。

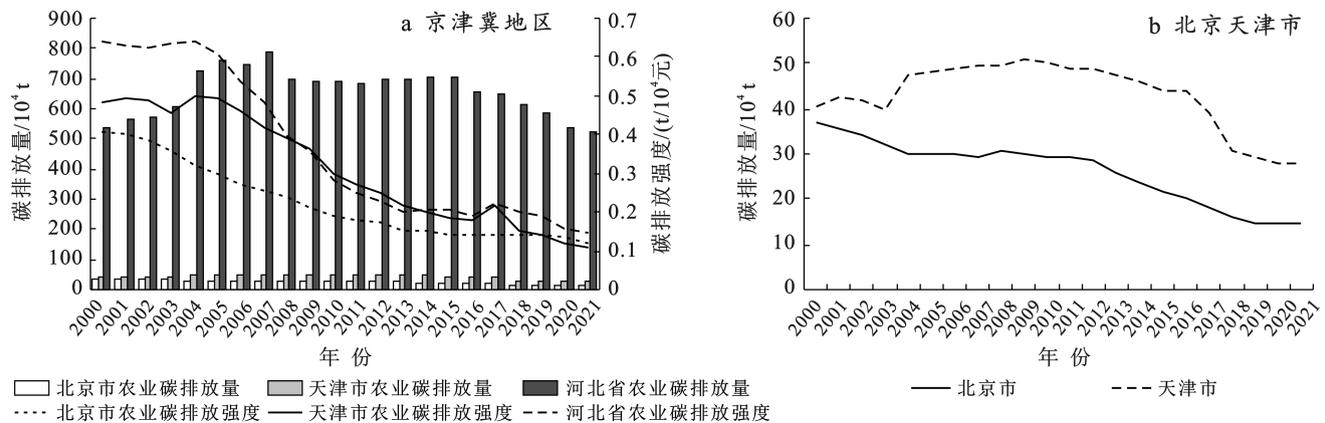


图 2 京津冀地区农业碳排放量及碳排放强度

Fig.2 Agricultural carbon emissions and carbon emission intensity in Beijing-Tianjin-Hebei region

北京农业碳排放大致经历 4 个阶段。第一阶段为 2000—2004 年,此阶段碳排放量快速下降,碳排放强度缓慢下降;第二阶段为 2005—2012 年,此阶段碳排放处于平台期,但碳排放强度快速下降;第三阶段为 2013—2019 年,此阶段碳排放又呈现下降趋势,但碳排放强度处于低平台期;第四阶段为 2019—2021 年,此阶段农业碳排放又进入平台期,但碳排放强度又出现下降趋势。

天津的农业碳排放大致可归类为 3 阶段。第一阶段为 2000—2003 年,该阶段天津农业碳排放经历了短期的增长后下降,碳排放强度亦是如此;第二阶段为 2004—2018 年,农业碳排放量在该阶段总体呈先升后降趋势,并于 2009 年达到峰值,碳排放强度在 2004 年达到峰值后开始持续下降,但在 2016—2018 年期间又出现短暂的反弹;第三阶段为 2019—2021 年,在此阶

段农业碳排放量呈平稳下降状态,而农业碳排放强度也开始新一轮下降并最终与北京基本持平。

综上可知,河北省碳排放量呈 4 阶段波动下降态势,北京碳排放量呈 4 阶段稳定下降态势,天津碳排放量则呈 3 阶段“草帽曲线”下降态势。虽然 3 省碳排放量随时间趋势演进动态各有其特征,但碳排放强度总体而言皆呈下降态势。

图 3a 为京津冀地区与全国 2000—2021 年农业碳排放总量及碳排放强度的变化趋势。由于京津冀地区农业碳排放量在全国占比不高(根据本文测算平均约 2%),因此京津冀地区农业碳排放量的变化趋势用图 3b 表示。对比两图发现,京津冀地区的农业碳排放量与农业碳排放强度走势与河北省基本一致,呈 4 个阶段。将京津冀地区农业碳排放强度与全国相比,发现整体要高于全国农业碳排放强度。在 2000—

2010 年的 11 a 间,京津冀农业碳排放强度虽然高于全国农业碳排放,但二者的差距逐步缩小,2011—2013

年与全国农业碳排放强度基本持平,2014 年开始又逐渐高于全国,但是差距总体呈缩小趋势。

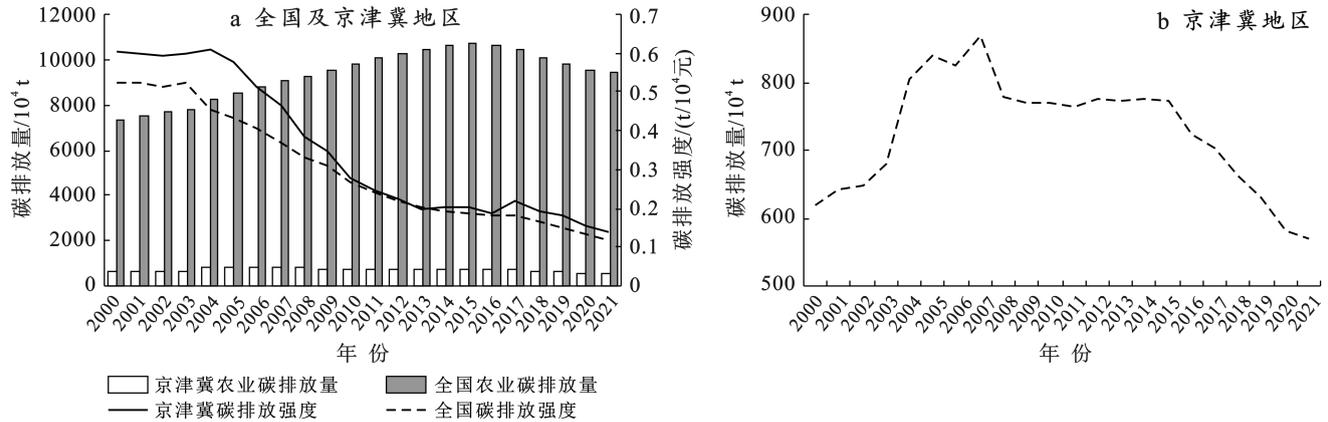


图 3 全国及京津冀地区农业碳排放量及碳排放强度时间变化趋势

Fig.3 Changing trend of agricultural carbon emissions and carbon emission intensity in Beijing-Tianjin-Hebei region and all China

为了进一步研究京津冀地区农业碳排放及碳排放强度的特征,本研究在刘彦随等^[22]的研究基础上,将京津冀地区分为 6 大农业区,分别是:①京津近郊农业区,农业定位为都市型现代农业,主要发展设施农业、休闲农业等。②冀东北农业区,主要种植小麦和绿色蔬菜等高质量农产品。③冀中平原农业区,主要种植小麦、玉米以及其他经济作物。④太行山农业区,该地区低温干燥,适合种植苹果、梨等果树。⑤坝上农业区,该地区地势高而平坦,除了畜牧业以外,也种植小麦、马铃薯等农作物。⑥冀南农业区气温较高,既可以种植小麦、玉米等粮食作物,也适宜种植大豆、红薯等经济作物,以及各类蔬菜等。本文计算了上述 6 大农业区的 2000—2021 年的碳排放强度如图 4 所示。

根据图 4 可知,6 大农业区整体而言碳排放强度呈下降趋势,且近 5 a 来一直保持在较低强度水平

(不超过 0.02),与图 1 的结论相符合。其中,坝上农业区的碳排放量和碳排放强度是 6 大农业区中最高的地区,且 2004 年以前,该地区碳排放强度平均为其余地区的 2 倍多,但是 2005 年以后,坝上农业区的生态环境问题开始受到重视^[23],该地区的碳排放量和碳排放强度都显著下降,碳排放强度与其他农业区基本持平。

冀南农业区是农业碳排放量第二高的地区,且 2007 年以后,其碳排放量超过排名第一的坝上农业区,成为京津冀碳排放占比最高的地区。冀南农业区的碳排放强度虽然比其他地区略高,相比坝上农业区,冀南农业区碳排放强度属于中等水平,且 2007 年以前与冀中平原农业区处于交替状态。2007 年以后,冀南农业区的生态农业优势被挖掘^[24],因此碳排放强度也受到了良好的控制,呈逐年下降态势。

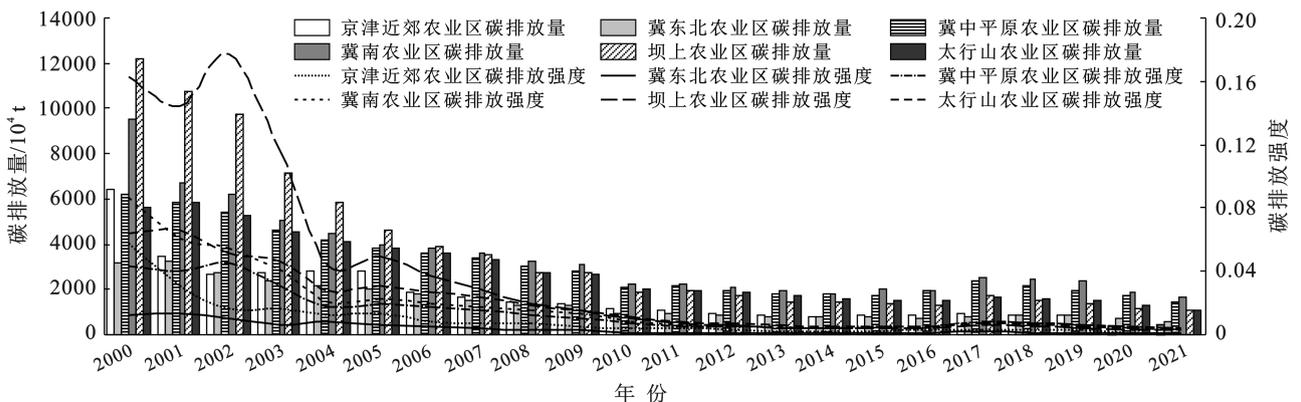


图 4 2000—2021 年京津冀 6 大农业区碳排放量及碳排放强度

Fig.4 Carbon emissions and intensity at six major agricultural areas in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2021

3.2 京津冀地区农业碳排放空间分布及动态演进特征

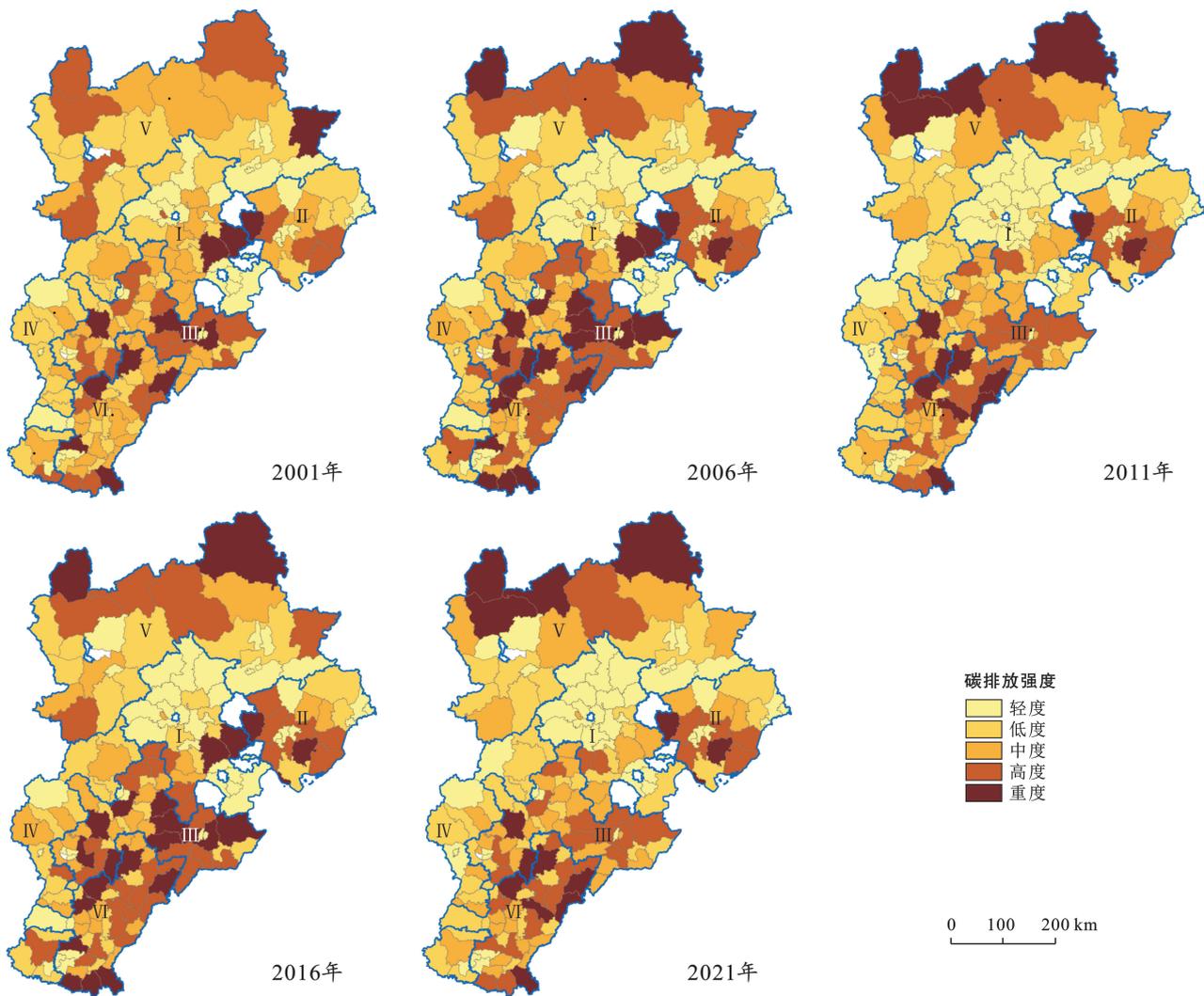
3.2.1 农业碳排放空间分布特征 为了进一步研究京津冀地区农业碳排放强度空间变化,通过计算 6 大

农业区县域级农业碳排放强度,并在 ArcGIS 软件中通过断点分级法将农业碳排放强度划分为 5 级(图 4):轻度 $\leq 0.04 \text{ t}/10^4 \text{ 元}$;低度 $(0.04 \sim 0.08 \text{ t}/10^4 \text{ 元})$;中度

(0.08~0.12 t/10⁴ 元);高度(0.12~0.16 t/10⁴ 元);重度(>0.16 t/10⁴ 元)。

图 5 为京津冀地区农业碳排放强度的空间分布情况。从 2001—2006 年,碳排放强度变化不明显,只有张家口市西北部有明显的降低,承德东北部一直处于重度碳排放状态,碳排放强度较高的地区主要处于中部和南部。2006—2011 年冀中平原农业区、冀南农业区和冀东部农业区的部分县域碳排放强度开始呈重度排放,除京津近郊农业区少部分县域保持低排

放以外,其他农业区的碳排放强度都有不同程度的提高。2011—2016 年,太行上农业区碳排放强度整体变化不大,京津近郊农业区碳排放强度则明显降低,其他农业区,尤其是冀南农业区和冀中平原农业区的碳排放强度则明显提高。2016—2021 年,坝上农业区继续保持高重度排放状态,京津近郊农业区持续轻度排放,冀中原农业区和冀南农业区除深县、辛集、宁晋、隆尧、林清、清河、大名几个地区碳排放呈重度以外,其他地区碳排放强度均有所降低。



注: I 京津近郊农业区; II 冀东北农业区; III 冀中平原农业区; IV 太行山农业区; V 坝上农业区; VI 冀南农业区。

图 5 京津冀 6 大农业区碳排放强度空间分布

Fig.5 Spatial distribution of carbon emission intensity at six major agricultural areas at Beijing-Tianjin-Hebei region

3.2.2 京津冀地区农业碳排放空间动态演进特征
本文参考贺青等^[25]以及张丽琼等^[26]的做法,并根据碳排放曲线的变化特征,隔 5 a 进行 1 次核密度分析,核密度分布结果如图 6 所示。

由图 6 可知,2001 年,6 大农业区的核密度曲线分布比较均匀,而随着时间的推移,6 大农业区的核密度曲线开始呈现峰值,且峰值逐年向左移动,水平

宽度减小,说明农业碳排放地区差距呈缩小态势,存在动态收敛性特征。冀东北农业区峰值最高,且峰值附近分布更集中,说明该地区的农业碳排放强度高、内部差异化程度小。冀东北农业区作为重要的农产品主产地,农业类型多样,农林牧渔总产值较高,农业生产效率相对较高,因此应该从总量上对碳排放进行控制。

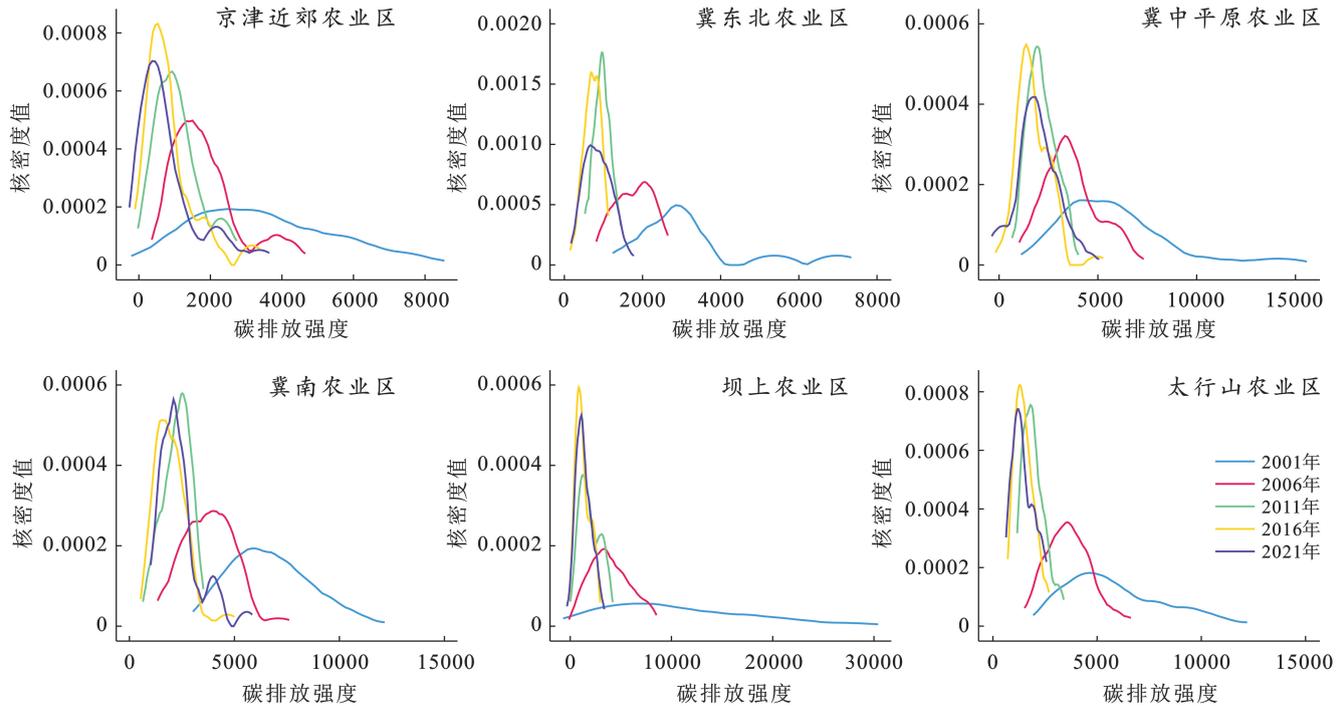


图 6 2000—2021 京津冀 6 大农业区核密度曲线

Fig.6 Nuclear density curve of six major agricultural areas in Beijing-Tianjin-Hebei region from 2000 to 2021

京津近郊农业区和太行山农业区 2011 年以后峰值较为集中,且纵轴数值较高,说明其碳排放强度降低的概率较高。其中,太行山农业区 2011, 2016, 2021 年的峰值比京津近郊农业区的要集中,说明同属碳排放强度较低的地区,太行上农业区的农业碳排放强度相对较高、内部差异化程度小。2010 年后,太行山农业区、农业机械总动力的增长^[27],导致 2016 年的峰值高于前后两年。因此应该从农机新能源替代方面进行碳排放的控制。而京津近郊农业区峰值附近分布更宽,说明该地区内部差异化程度大。这主要是由于,京津部分农业区经济发达,村民人均收入水平较高,但是农业占经济比重较低,农作物总播种面积与农业从业人员逐年下降,农业碳排放量不是京津两地农业的主要问题。京津地区农业应该在控制量的基础上,从质的角度推进低碳农业。

坝上农业区生态环境脆弱,该地区除了发展畜牧业以外,还肩负着京津冀生态屏障的重任。近年来,该地区一直坚持休耕种草、地下水超采综合治理、生态环境治理修复,且坝上地区受地形、降雨等影响,农业投入较少。因此该地区核密度曲线不断左移,且峰度持续降低。该地区农业碳排放应重点考虑农民生计与低碳补偿政策协调性。

冀中平原农业区和冀南农业区的核密度曲线峰值低,说明碳排放强度最低,但是曲线较宽,说明内部碳排放差异化程度较大。该地区与冀东北农业区同

为主要农产品产地,但是经济水平欠发达,农业规模化水平低,故而碳排放水平差异较大。该地区农业碳排放的优化路径应与农业规模经营体制的完善同步进行。

4 讨论

“双碳”目标的提出,对中国农业的低碳发展提出了新的要求。农业作为全国第二大排放源,对此,国碳中和目标的实现具有重要作用。因此,中国农业亟需一种以粮食安全为前提,以对资源禀赋和外源性投入进行最优利用为核心,以农业碳中和为最终目标的,农业经济与环境共赢的低碳农业发展模式。然而,农业碳排放家底尚未摸清这一现状,已经成为中国农业低碳转型的主要障碍之一。而摸清区域性农业碳排放的总量和规律,有助于区域性农业协同减排的实现,也对全国性低碳农业的推广具有重要意义。目前理论界常用的农业碳排放核算方法有:IPCC 排放因子法、投入产出法、生命周期分析法等。本文用 IPCC 排放因子法,从区域、省域、县域对京津冀地区的农业碳排放情况进行层层递进地核算。并根据核算结果对京津冀地区农业碳排放的时空规律进行分析,可为区域性农业政策地制定提供参考。

研究表明,从时间趋势来看,京津冀地区农业碳排放量在全国农业碳排放中占比较小(平均约 2%),但是碳排放强度整体高于全国碳排放水平。河北是

京津冀地区农业碳排放量最高的地区,因此京津冀地区碳排放和碳排放强度变化趋势与河北省基本一致。由于地理资源禀赋的限制,北京、天津农业碳排放量较少,强度较低,天津碳排放强度高于北京。总体而言,京津冀地区农业碳排放量和碳排放强度都呈下降趋势,尤其是碳排放强度,近3 a基本维持在 $0.1\sim 0.2\text{ t}/10^4$ 元之间。

进一步以县域为单位,按照碳排放强度将京津冀地区划分为6大农业区。6大农业区整体而言碳排放强度呈下降趋势,且近5 a一直保持在较低强度水平($0.01\text{ t}/10^4$ 元左右)。其中,坝上农业区的碳排放量和碳排放强度是6大农业区中最高的地区,其次是冀南农业区,但是相比坝上农业区,冀南农业区碳排放强度属于中等水平。2011年以后,6大农业区碳排放强度都维持在 $0.1\text{ t}/10^4$ 元以下的较低水平。从空间格局来看,2006年以前,6大农业区碳排放强度变化不明显,只有张家口西北部有明显的降低,排放强度较高的地区主要集中在承德东北部冀中平原中部和南部。2006—2011年,除京津近郊农业区少部分县域保持低排放以外,其他农业区的碳排放强度都有不同程度的提高。2016年以后,坝上农业区北部继续保持高排放状态,京津近郊农业区以及与其相邻的坝上农业区南部则保持轻度排放状态。而冀中原农业区和冀南农业区的深县、辛集、宁晋、隆尧、林清、清河、大名等县则呈高排放。此外,根据核密度分析的结果,6大农业区整体碳排放强度在降低,其中京津近郊农业区和冀中平原农业区碳排放强度内部差异化程度较大。

5 结论

(1) 关于农业定位。针对京津冀3省农业碳排放体量的差异,进一步明确京津冀3地农业发展定位。北京市是农业人才、科技的聚集地,具有人才资源禀赋,其定位为高端绿色有机农业。天津市与北京相邻,具有天然的地理位置优势,是连接北京与河北的重要渠道,属于加工型地区,其定位可以是高端绿色农业与休闲农业并行,协助河北拓宽农产品销售渠道与范围。河北省在劳动力、土地等方面具有资源禀赋,其定位可以是以大宗优质农产品生产为主并辅以发展绿色休闲农业。

(2) 关于区域合作。综合碳排放总量及强度,6大农业区碳排放问题比较严重的地区为坝上农业区北部、冀东北农业区、冀中平原农业区东南部和冀南农业区。这些地区的共性是远离京津,交通条件较差,县域经济发展缓慢严重影响了与京津的人才、技

术、资本方面的对接。因此,建议在当地政府的组织下,加强与京津地区的交流,特别是人才与技术的共享。

(3) 关于增汇。农业与其他行业不同之处在于,其既是碳源又是碳汇,根据本研究的测算,京津冀地区的净碳汇为负(约为 -1.00×10^{10}),说明单靠农业本身产生的碳汇无法覆盖其碳源。参考田云等^[28]的研究,农业碳汇补贴基础价格为94.26元/t,若补贴给农户,可以进一步提高农民收入。因此,农业碳减排还应该注重碳汇的作用,农业的减排量和碳汇量均可以在政府主导和市场兼顾的模式下进行补贴和交易,提高农户减碳增汇的积极性。

(4) 关于行业合作。农业碳减排除了依靠先进的农业技术等,还可以跨行业合作,特别是农业与能源行业相结合。河北北部特别是坝上农业区,适合发展风电,既合理利用闲置土地,又可以企业与农村共建的形式,提高当地经济发展水平。河北南部地区地势平坦,适合发展板下光伏农业,光伏板下可以禽畜养殖或种植农作物,既合理利用土地,也提高了农民收入。

参考文献(References)

- [1] 张晓萱,秦耀辰,吴乐英,等.农业温室气体排放研究进展[J].河南大学学报(自然科学版),2019,49(6):649-662.
Zhang Xiaoxuan, Qin Yaochen, Wu Leying, et al. Research progress on agricultural greenhouse gas emissions [J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2019, 49(6): 649-662.
- [2] 林斌,徐孟,汪笑溪.中国农业碳减排政策、研究现状及展望[J].中国生态农业学报(中英文),2022,30(4):500-515.
Lin Bin, Xu Meng, Wang Xiaoxi. Mitigation of greenhouse gas emissions in China's agricultural sector: Current status and future perspectives [J]. Chinese Journal of Eco-agriculture, 2022, 30(4): 500-515.
- [3] 田云,吴海涛.产业结构视角下的中国粮食主产区农业碳排放公平性研究[J].农业技术经济,2020(1):45-55.
Tian Yun, Wu Haitao. Research on fairness of agricultural carbon emissions in China's major grain producing areas from the perspective of industrial structure [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2020(1): 45-55.
- [4] 田云,尹志昊.中国农业碳排放再测算:基本现状、动态演进及空间溢出效应[J].中国农村经济,2022(3):104-127.
Tian Yun, Yin Minhao. Re-evaluation of China's agricultural carbon emissions: Basic status, dynamic evolution and spatial spillover effects [J]. Chinese Rural Economy, 2022(3): 104-127.
- [5] 李伟娟,张朋程.山东省粮食安全、农业机械化与农业碳排放的关联及发展建议[J].湖北农业科学,2022, 61

- (11):181-185.
- Li Weijuan, Zhang Pengcheng. Correlation and development suggestions of food security, agricultural mechanization and agricultural carbon emission in Shandong Province [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2022, 61(11):181-185.
- [6] 张生威, 奚宾. 黑龙江省金融发展对农业碳排放的影响研究[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版), 2022, 22(5):105-111.
- Zhang Shengwei, Xi Bin. Study on the impact of financial development on agricultural carbon emission in Heilongjiang Province [J]. Journal of Heilongjiang University of Technology (Comprehensive Edition), 2022, 22(5):105-111.
- [7] 祝宏辉, 李晓晓. 新疆农业碳排放的脱钩效应及驱动因素分析[J]. 生态经济, 2018, 34(9):31-35.
- Zhu Honghui, Li Xiaoxiao. Analysis of decoupling effect and driving factors of agriculture carbon emission in Xinjiang [J]. Ecological Economy, 2018, 34(9):31-35.
- [8] 陈儒, 邓悦, 姜志德. 基于修正碳计量的区域农业碳补偿时空格局[J]. 经济地理, 2018, 38(6):168-177.
- Chen Ru, Deng Yue, Jiang Zhide. Spatial and temporal pattern of regional agricultural carbon compensation based on the modified carbon measurement [J]. Economic Geography, 2018, 38(6):168-177.
- [9] 夏四友, 赵媛, 许昕, 等. 近 20 年来中国农业碳排放强度区域差异、时空格局及动态演化[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(3):596-608.
- Xia Siyou, Zhao Yuan, Xu Xin, et al. Regional inequality, spatial-temporal pattern and dynamic evolution of carbon emission intensity from agriculture in China in the period of 1997—2016 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(3):596-608.
- [10] 田云, 林子娟. 中国省域农业碳排放效率与经济成长的耦合协调[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(4):13-22.
- Tian Yun, Lin Zijuan. Coupling coordination between agricultural carbon emission efficiency and economic growth at provincial level in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(4):13-22.
- [11] 田云, 张银岭. 中国农业碳排放减排成效评估、目标重构与路径优化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(12):1-7.
- Tian Yun, Zhang Yinling. Research on effectiveness evaluation, target reconstruction and path optimization of agricultural carbon emission reduction in China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2019, 33(12):1-7.
- [12] 唐博文. 从国际经验看中国农业温室气体减排路径[J]. 世界农业, 2022(3):18-24.
- Tang Bowen. China's agricultural greenhouse gas emission reduction path from international experience [J]. World Agriculture, 2022(3):18-24.
- [13] 赵敏娟, 石锐, 姚柳杨. 中国农业碳中和目标分析与实现路径[J]. 农业经济问题, 2022, 43(9):24-34.
- Zhao Minjuan, Shi Rui, Yao Liuyang. Analysis on the goals and paths of carbon neutral agriculture in China [J]. Issues in Agricultural Economy, 2022, 43(9):24-34.
- [14] 高鸣, 张哲晰. 碳达峰、碳中和目标下我国农业绿色发展的定位和政策建议[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(1):24-31.
- Gao Ming, Zhang Zhexi. Positioning and policy suggestions of China's agricultural green development under the targets of carbon peaking and carbon neutrality [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2022(1):24-31.
- [15] 喻智健, 龚亚珍, 郑适. 中国农业农村碳中和: 理论逻辑、实践路径与政策取向[J]. 经济体制改革, 2022(6):74-81.
- Yu Zhijian, Gong Yazhen, Zheng Shi. Agricultural and rural carbon neutralization in China: Theoretical logic, practical path and policy orientation [J]. Reform of Economic System, 2022(6):74-81.
- [16] 丁宝根, 赵玉, 邓俊红. 中国种植业碳排放的测度、脱钩特征及驱动因素研究[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(5):1-11.
- Ding Baogen, Zhao Yu, Deng Junhong. Calculation, decoupling effects and driving factors of carbon emission from planting industry in China [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(5):1-11.
- [17] 朱前涛, 秦昊. 土地生产率与农业碳排放: 非线性关系及空间溢出[J]. 农林经济管理学报, 2023, 22(6):770-779.
- Zhu Qiantao, Qin Hao. Land productivity and agricultural carbon emissions: Nonlinear relationships and spatial spillovers [J]. Journal of Agro-forestry Economics and Management, 2023, 22(6):770-779.
- [18] 韩超跃, 赵先超, 胡艺觉, 等. 湖南省县域农业碳收支时空差异及碳补偿潜力[J]. 水土保持通报, 2023, 43(5):343-354.
- Han Chaoyue, Zhao Xianchao, Hu Yijue, et al. Spatio-temporal differences of agricultural carbon income and expenditure, and carbon compensation potential of counties in Hunan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(5):343-354.
- [19] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5):203-208.

- Duan Huaping, Zhang Yue, Zhao Jianbo, et al. Carbon footprint analysis of farmland ecosystem in China [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(5): 203-208.
- [20] 李波,张俊飏.基于投入视角的我国农业碳排放与经济发展脱钩研究[J].*经济经纬*,2012,29(4):27-31.
Li Bo, Zhang Junbiao. Decoupling of China's agriculture carbon emissions and economic development based on the input perspective [J]. *Economic Survey*, 2012, 29(4):27-31.
- [21] 何邦路,雷志樱,吴秀敏.绿色投资还是污染制造? 中国对外农业直接投资与东道国农业碳排放[J].*中国农业资源与区划*:1-16.
He Banglu, Lei Zhiying, Wu Xiumin. Pollution halo vs pollution haven: Does China's outward foreign direct investment in agriculture promote carbon reduction in host countries? [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 1-16.
- [22] 刘彦随,张紫雯,王介勇.中国农业地域分异与现代农业区划方案[J].*地理学报*,2018,73(2):203-218.
Liu Yansui, Zhang Ziwen, Wang Jieyong. Regional differentiation and comprehensive regionalization scheme of modern agriculture in China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(2):203-218.
- [23] 李志祥,田明中,武法东,等.河北坝上地区生态环境评价[J].*地理与地理信息科学*,2005,21(2):91-93.
Li Zhixiang, Tian Mingzhong, Wu Fadong, et al. Ecological environment evaluation on Bashang District in Hebei Province [J]. *Geography and Geo-information Science*, 2005, 21(2):91-93.
- [24] 栗长生.冀南平原特色生态农业发展现状分析:以邯郸市平原地区为例[J].*河北工程大学学报(社会科学版)*, 2007, 24(4):22-24.
- Li Changsheng. Analysis of present situation about the South Hebei Plain characteristic ecological agriculture development: Take the Handan Plain as the example [J]. *Journal of Hebei University of Engineering (Social Science Edition)*, 2007, 24(4):22-24.
- [25] 贺青,张俊飏.粮食主产区农业碳排放的动态演进及驱动因素研究[J].*生态经济*,2023,39(6):123-128.
He Qing, Zhang Junbiao. Research on the dynamic evolution and driving factors of agricultural carbon emissions in major grain-producing areas [J]. *Ecological Economy*, 2023, 39(6):123-128.
- [26] 张丽琼,何婷婷.1997—2018年中国农业碳排放的时空演进与脱钩效应:基于空间和分布动态法的实证研究[J].*云南农业大学学报(社会科学)*,2022,16(1):78-90.
Zhang Liqiong, He Tingting. Spatio-temporal of agricultural carbon emission and decoupling in China during 1997—2018: An empirical research based on spatial and distribution dynamics method [J]. *Journal of Yunnan Agricultural University (Social Science)*, 2022, 16(1):78-90.
- [27] 方方.京津冀地区农业生产效率的时空格局及收敛性研究[J].*世界地理研究*,2019,28(5):130-140.
Fang Fang. Research of spatial and temporal pattern of agricultural production efficiency and its convergence in Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. *World Regional Studies*, 2019, 28(5):130-140.
- [28] 田云,陈池波.市场与政府结合视角下的中国农业碳减排补偿机制研究[J].*农业经济问题*,2021,42(5):120-136.
Tian Yun, Chen Chibo. Research on the compensation mechanism of agricultural carbon emission reduction in China from the perspective of combination of market and government [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2021, 42(5):120-136.