

何艳秋, 陈 柔, 朱思宇, 等. 中国农业碳排放空间网络结构及区域协同减排[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(5): 1218-1228.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2020.05.020

中国农业碳排放空间网络结构及区域协同减排

何艳秋, 陈 柔, 朱思宇, 王 芳

(四川农业大学管理学院, 四川 成都 611130)

摘要: 研究农业碳排放省际关联网络结构可为建立区域协同减排机制, 发挥减排连锁效应奠定基础。突破传统基于地理邻接或地理距离考察区域农业碳排放关联的方法, 利用社会网络分析, 从空间网络视角考察农业碳排放关联的特点, 明确各区域的网络功能, 并通过建立非参数回归模型, 从空间关联、经济关联、技术关联三纬角度解释农业碳排放关联的深层次原因。发现中国农业碳排放关联网络稳定性高, 区域溢出“等级森严”; 中部地区为网络核心, 西部地区重要性显著提升; 八大板块以谄媚者、类经纪人、受益者、贡献者和孤立者角色传递农业碳排放; 空间、经济、技术三纬关联是引起农业碳排放关联的主要因素。最终提出通过缩短空间距离、增强经济联系、加强技术溢出扩大省际农业碳排放关联, 根据各区域在农业碳排放空间关联网络中的差异化角色实施“引领-跟随”型减排策略, 充分发挥中介者的“管道”作用, 最终形成省际间的互动协作减排机制。

关键词: 农业碳排放; 空间关联网络; 协同减排

中图分类号: X16 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2020)05-1218-11

Spatial network structure of agricultural carbon emission in China and regional collaborative emission reduction

HE Yan-qiu, CHEN Rou, ZHU Si-yu, WANG Fang

(College of Management, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: Study on the inter-provincial correlation and influencing factors of agricultural carbon emission can lay the foundation for establishing the regional collaborative emission reduction mechanism and exerting the chain-effect of emission reduction. Breaking through the traditional methods of examining regional agricultural carbon emission correlation based on geographic adjacency or geographic distance, social network analysis was used to investigate the characteristics of agricultural carbon emission correlation from the perspective of spatial network and clarify the network functions of each region. In addition, the reasons of agricultural carbon emission correlation were explained from the perspective of spatial correlation, economic correlation and technology linkage by nonparametric regression. Agricultural carbon-emission association network had high stability, and regional spillovers were ranked. The central provinces and cities were the core of the network, and the importance of the western provinces and cities had increased significantly. The eight sectors delivered agricultural carbon emissions in the roles of flatterers, brokers, beneficiaries, contributors and solitary. The three-latitude correlation of space, economy and technology was the main factor that caused the correlation of agricultural carbon emission. It was proposed to expand inter-provincial agricultural carbon emission correlation by shortening space distance, strengthening economic relation and strengthening technology spillover. The "lead-follow" emission reduction strategy was implemental according to the differentiated role of each region in the correlation network. Give full play to the intermediary's "conduit" role. Finally, an inter-provincial interactive and cooperative emission reduction mechanism will be formed.

收稿日期: 2020-03-22

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(71704127)

作者简介: 何艳秋(1983-), 女, 重庆人, 博士, 副教授, 主要研究方向为农业可持续发展、农业资源环境。(E-mail) linxiatingqi@126.com

通讯作者: 王 芳, (E-mail) 11575503@qq.com

Key words: agricultural carbon emissions; spatial correlation network; collaborative emission reduction

气候变暖是关系到各国政治、经济、社会、生态能否持续发展的关键问题,为此,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)提出“2050年净碳排放缩减为0,升温幅度不超过 1.5°C ”^[1]。中国作为全球最大的温室气体排放国,工业碳排放一直被政府节能减排工作所关注,但占全国总量17%的农业碳排放也不容忽视^[2],其减排效果的好坏直接影响中国“总量、强度”双控减排目标的实现。继2019年中央一号文件提出推动农业农村绿色发展,积极建设生态循环农业发展模式以后,2020年中央一号文件明确提出要对农村生态环境的突出问题进行治理。近年来,随着区域协同发展战略的深化,区域联动发展机制的逐步实施,带动了农业产业集群化发展、农业产业链区域延伸、农产品跨区域转移和农业生产技术的区域扩散,进而使各地农业碳关联也更为紧密,减排很难仅仅依靠某个地区的单方行动取得良好成效,必须通过区域协同减排才能从根本上解决问题。因此,整体把握中国农业碳排放区域关联网络的结构和特征,深入分析各地区在网络中的地位和作用,有利于明确各区域农业碳减排责任,突破减排壁垒,发挥减排连锁效应,最终通过区域协同减排达到事半功倍的效果。

近年来,碳排放空间关联引起了学者们的极大关注,利用空间计量模型和区域间投入产出模型研究区域碳关联的文献层出不穷。空间计量模型的代表学者有 Cole 等^[3]、Yu 等^[4]、Dong 等^[5]、Li 等^[6]、George 等^[7],他们一致认为碳排放存在显著的空间集聚性和空间溢出效应,宏观上是由于各区域存在经济关联、技术关联和政策关联,微观上是由于能源消费行为的相似性和企业环境行为的模仿跟随效应;区域间投入产出模型的代表学者有 Zhang^[8]、Jiao 等^[9],他们认为最终需求改变所带来的跨区域产出变动是引起碳关联的重要原因。部分学者认为碳排放存在复杂的网络关联结构^[10-14]。随着中国产业融合的深化,农业产业重要性的进一步提升,农业碳排放及其衍生指标的空间关联引起了部分学者的兴趣。李秋萍等^[15]构建空间 Durbin 模型对中国农业碳排放空间效应进行研究,发现中国农业碳排放存在明显的空间关联。孙赫等^[16]发现中国土地利用碳排放强度在省级尺度上具有明显的空间集聚

特征。吴贤荣等^[17]发现中国省域农业碳减排潜力不仅与当地经济指标有关,还同其相邻地区的农业减排潜力显著相关。程琳琳等^[18]发现省域农业碳生产率在空间上存在明显的溢出效应。Wu 等^[19]发现农业净排放存在明显区域收敛和区域关联。并且,大家一致认为农业经济发展、农业生产结构、农业技术创新、农业劳动力和城市化都是农业碳排放区域关联的重要原因^[20-22]。

梳理国内外相关研究结果发现,学者们虽一致认为由于碳排放空间效应的存在,减排政策的实施必须在考虑地区碳关联和碳依赖的情况下,进行多方合作才能达到效果,但立足农业碳排放空间关联的研究仅占少数,且大都基于地理邻接关系或地理距离考察空间关联。随着中国区域协同发展战略的深入、农业经济发展模式的调整和三产融合步伐的加快,农业投入要素和农产品转移更加密切和复杂,农业碳排放空间关联关系也已超越了地理位置关系,突破了传统线性模式,呈现出复杂的网络结构特点。各地区在农业碳关联网络中扮演的角色以及农业碳排放在各区域主体间传递都是值得研究的问题,并且农业作为受自然禀赋条件限制较多的产业,与工业生产的地域灵活性不同。研究农业碳排放的区域关联可为中国建立长期的、可持续的区域协同减排机制,最终实现整体高效减排奠定坚实的基础。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 农业碳排放总量测算方法

农业碳排放源包括5类:一是农用能源;二是农地利用;三是反刍动物饲养;四是作物种植;五是农业废弃物。各类碳排放源均有细分项,参考IPCC测算方法,以细分项活动数据乘以碳排放系数后相加,算得该类碳排放源的排放量,农业碳排放总量即为5类碳排放之和。最终,根据《IPCC第五次评估报告》^[23]折算系数,将二氧化碳、甲烷和氧化亚氮3种排放气体折算成二氧化碳排放当量。测算所需排放因子主要参考赵欣等^[24]、王智平^[25]、Dyer 等^[26]、伍芬琳等^[27]、IPCC^[28]、闵继胜等^[29]、刘丽华等^[30]的研究成果。

1.2 农业碳排放空间关联度测算方法

根据1989年日本学者 Kaya^[31]提出的 Kaya 恒

等式和 Commoner^[32] 1992 年提出的 IPAT 模型, 将农业碳排放影响因素概括为农业劳动力、农业经济水平、农业生产技术和土地。采用修正引力模型测算农业碳排放区域关联度, 公式如下:

$$y_{ij} = k \frac{\sqrt[4]{P_i G_i T_i A_i} \sqrt[4]{P_j G_j T_j A_j}}{D_{ij}^2} \quad (1)$$

y_{ij} 为地区 i 对地区 j 的农业碳依赖度, P_i 、 G_i 、 T_i 、 A_i 、 P_j 、 G_j 、 T_j 、 A_j 分别为地区 i 和地区 j 的农业劳动力规模、人均农业增加值、农业碳强度和耕地总面积, D_{ij}^2 为地区 i 和 j 省会城市球面距离的平方, k 为经验系数。经验系数用来调整地区间农业碳依赖程度, 根据地区间农业碳转移量测算:

$$k_{ij} = \frac{c_{ji}}{c_{ji} + c_{ij}} \quad (2)$$

k_{ij} 为地区 i 对地区 j 的农业碳依赖经验系数, c_{ji} 为区域 i 调入区域 j 的农产品而转移的碳排放量, c_{ij} 为区域 j 调入区域 i 的农产品而转移的碳排放量。地区间碳转移量 c 由区域间农产品转移额^[33] 与各地区农业碳强度相乘可得。

1.3 社会网络分析法

1.3.1 农业碳排放关联网络整体特征刻画指标 利用网络密度、网络关联度、网络效率、网络等级和凝聚力指数刻画农业碳关联网络的整体特征。网络密度、网络关联度和凝聚力指数反映各省市农业碳关联关系的紧密程度, 网络效率反映网络的稳健性和脆弱性, 网络等级反映网络成员地位的不平等程度。各指标的取值范围均在 0 和 1 之间。

1.3.2 农业碳排放关联网络中各省市的重要性测度 由于各省市农业碳关联非对称, 同时采用中心性和声望分析找到农业碳排放关联网络中“重要”的省市。中心性强调地区作为碳依赖者角色的重要性, 包括度数中心性、接近中心性和中间中心性, 分别测度各地区在碳关联网络中的活跃性、独立性和控制能力。声望强调各地区作为碳被依赖者的重要性, 包括度数声望和邻近声望, 度数声望衡量直接碳依赖, 邻近声望兼顾直接和间接碳依赖。

1.3.3 农业碳排放关联网络块模型分析 为进行角色和地位分析, 找到行动者组合, 简化农业碳排放关联网络, 分析农业碳排放的区域传递特征, 利用迭代相关收敛法构建块模型将中国各省市分为不同的功能区。借鉴 Stanley^[34] 的研究结果, 角色划分见表 1。

表 1 内部关系评价标准

Table 1 Internal relationship evaluation criteria

位置内部的关系比例	位置接受到的关系比例	
	≈ 0	> 0
$\geq (gk-1)/(g-1)$	孤立者	初级地位
$< (gk-1)/(g-1)$	谄媚者	经纪人

$(gk-1)/(g-1)$ 表示一个角色总关系的期望比, gk 表示功能块内成员数量, g 表示网络中总成员数量。

1.3.4 农业碳排放区域关联原因的非参数回归 农业碳排放空间关联与农业投入要素的空间关联密不可分, QAP (Quadratic assignment procedure, 二次指派程序) 回归立足“关系”数据, 推导农业碳关联的原因。因变量为农业碳排放空间关联矩阵, 自变量从空间关联、经济关联和技术关联三方面选择, 具体如下:

(1) 区域空间邻接关系矩阵 X : 由各省市间铁路运行时间构成。

$$\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

x_{ij} 表示区域 i 和区域 j 之间的铁路运行时间。

(2) 农业产业结构相似系数矩阵 S :

$$S_{kl} = \frac{\sum_{j=1}^n S_{kj} S_{lj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n S_{kj}^2 \sum_{j=1}^n S_{lj}^2}} \quad (3)$$

S_{kj} 和 S_{lj} 为地区 k 和 l 农业产值中 j 行业占比, n 为第一产业行业数量。

(3) 技术进步差异矩阵 A : 由各省市碳生产率 (农业增加值/农业碳排放) 间差异的绝对值构成。

(4) 农用能源结构相似性矩阵 N :

$$N_{kl} = \frac{\sum_{j=1}^N N_{kj} N_{lj}}{\sqrt{\sum_{j=1}^N N_{kj}^2 \sum_{j=1}^N N_{lj}^2}} \quad (4)$$

N_{kj} 和 N_{lj} 为地区 k 和 l 第 j 种能源消费量占比, n 为第一产业消耗能源种类。

(5) 农产品区域转移程度矩阵 E : 依托《2012 年中国 31 省市区区域间投入产出表》中区域间农产品转移量整理而得。

(6) 跨区域农业龙头企业数量矩阵 M : 根据中国农业上市公司业务量集中地整理而得。

1.3.5 样本与数据 研究样本为全国 31 个省 (市、

自治区) 2006 年到 2017 的数据, 不含港、澳、台地区, 原始数据均来自 2007 年到 2018 年《中国能源统计年鉴》和《中国农村统计年鉴》以及各省市的统计局官网。

2 农业碳排放空间关联网络结构和特征分析

2.1 整体网络特点分析

从图 1 可见, 2006 年到 2017 年中国农业碳排放

关联网络整体网络密度维持在 0.18 以上, 凝聚力指数维持在 0.42 以上, 各地区农业碳排放行为存在一定的区域溢出效应。各年的网络关联度、网络效率和网络等级度也比较稳定, 分别维持在 0.57、0.53 和 0.97 左右, 说明各区域农业碳排放存在关联关系, 关联网络具有较好的通达性, 且由于关联网络中存在较多冗余连线, 增加了整体网络的稳定性, 但网络结构的不平等程度比较高, 区域间的农业碳排放溢出效应“等级森严”, 部分地区处于支配和控制地位。

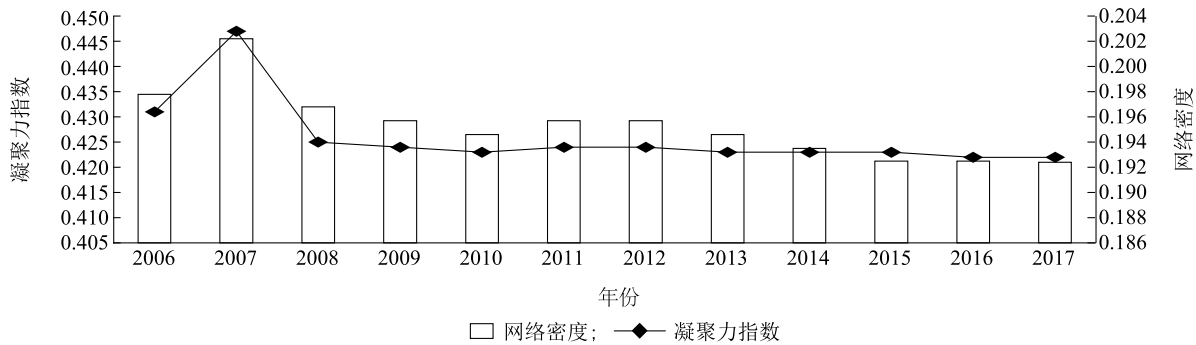


图 1 2006-2017 年农业碳排放网络密度及凝聚力指数

Fig.1 Agricultural carbon emission network density and cohesion index in 2006-2017

2.2 各省市重要性分析

2.2.1 中心性分析 从度数中心性来看, 点出度中心势由 2006 年的 20.89% 上升到 2017 年的 24.44%, 点入度中心势一直维持在 41% 左右, 整体网络集聚情况有所增加(图 2)。从 2006 年到 2017 年, 处于中心的地区未有明显变化。长江中游地区的湖北省、湖南省和江西省一直处于网络中心, 与其他地区有较为活跃的农业碳依赖关系, 三省均处于长江中游地区, 是中国重要的粮油产地, 也是连接东西的枢纽。东北三省一直处于网络边缘, 与其他地区农业碳排放的依赖关系较弱。

从中间中心性来看, 中间中心势由 2006 年的 22.52% 降低到 2017 年的 17.95%, 说明整体网络中起中介和桥梁作用的地区有所减少, 但从时间趋势看, 处于中介者地位的地区未有显著变化(图 3)。其中, 河北省、湖北省、辽宁省、陕西省对农业碳关联网络控制力最强, 河北省是北部沿海地区与其他地区碳依赖关系的重要枢纽, 辽宁省是东北三省与其他地区碳依赖关系的中转站, 而陕西省和湖北省是中国中、东、西碳依赖关系的重要纽带。随时间推移, 四省控制力有所增强, 山东省和湖南省对网络控制力也开始逐渐显现出来。

从接近中心性来看, 从 2006 年到 2017 年, 东北三省, 西北新疆维吾尔自治区、宁夏回族自治区, 沿海天津市、北京市、上海市、浙江省、福建省和海南省等地在农业碳关联网络中较为独立(图 4)。随时间推移, 山西省作为中国重要的能源基地, 其独立性明显削弱。

2.2.2 地区重要性空间分布规律 为把握各省市在农业碳关联网络中重要性的区域分布特点, 根据国务院发展研究中心对八大经济区的划分, 基于中心性和声望总结各区特点。从表 2 可见, 长江中游、黄河中游和西南地区相对中间中心性、相对度数声望和邻近声望均排名靠前, 对农业碳关联网络有较强控制力, 且被多数地区直接或间接依赖, 处于网络最核心和最重要地位, 三个地区都是中国农业生产集中地和资源禀赋较为丰富的地区, 在全国农业生产链中也处于比较核心的地位; 西北地区相对中间中心性和相对度数声望较高, 对关联网络控制力较强, 且被多数地区直接依赖, 西北地区分布着中国较多的牧场, 畜牧业生产优势明显, 且畜牧产品区域转移频繁; 北部沿海相对点出度和相对度数声望较高, 在关联网络中活动力较强, 也被多数地区直接依赖, 该地区既有以第三产业为主的北京市和天津市, 也

有农业增加值较高的河北省和山东省,在网络中的参与度较高,西北和北部沿海处于关联网络中次要位置;南部沿海相对点出度较高,但声望很低,在关联网络中活动力较强,东部沿海在整个农业碳关联网络中活动力、控制力和独立性都较弱,声望也靠

后,这 2 个地区均不以农业生产为主,对其他地区的农业依赖性较高,东北地区相对外接近中心性较高,在整个网络中相对独立,不太容易受其他地区碳关联的影响,所以,南部沿海、东北和东部沿海处于不太重要的位置。

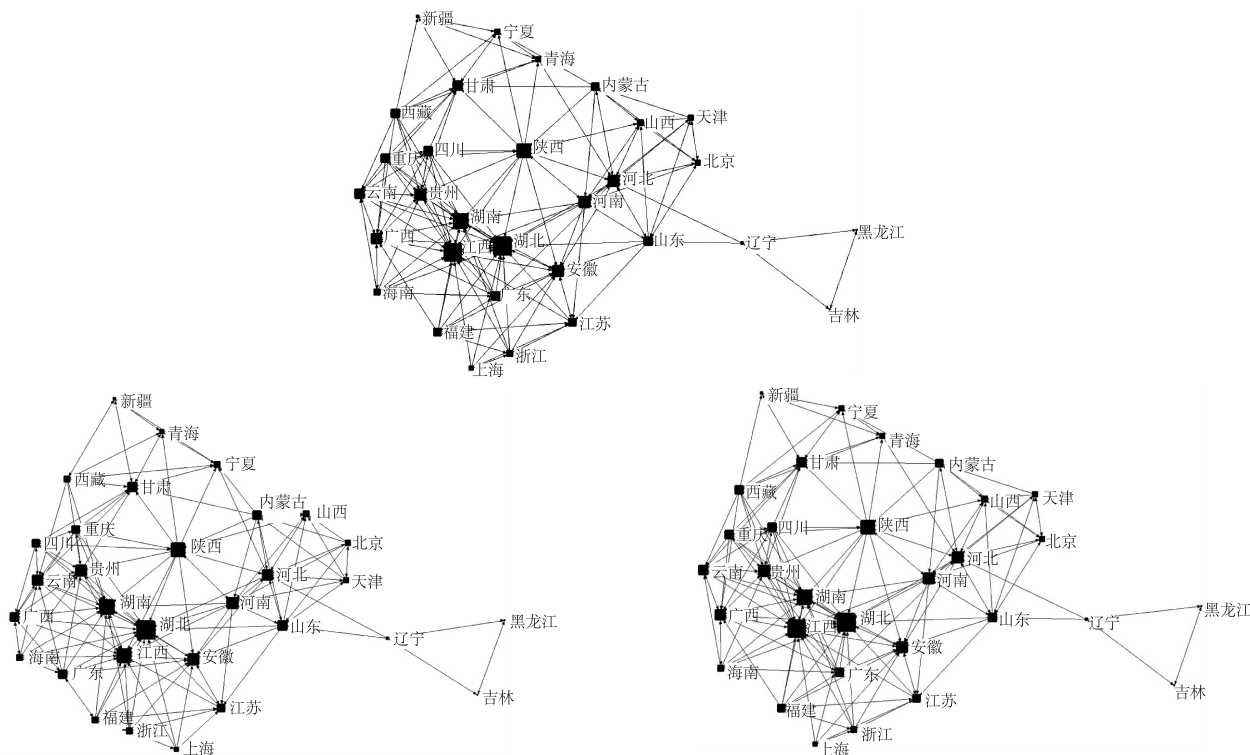


图 2 农业碳排放的度数中心性关联网络结构

Fig.2 Degree centrality network structure of agricultural carbon emission

2.3 角色和地位分区

2006 年和 2017 年中国农业碳排放关联网络均分为 8 个板块(表 3)。2006 年板块一包含北部沿海北京市、天津市、河北省、山东省,黄河中游山西省和内蒙古自治区;板块二为黄河中游河南省、陕西省;板块三为东北三省;板块四为西北新疆维吾尔自治区、青海省和宁夏回族自治区;板块五为东部沿海浙江省、江苏省、上海市,南部沿海福建省;板块六为长江中游湖南省、江西省、湖北省、安徽省;板块七为西南云南省、重庆市、广西壮族自治区、贵州省、四川省,南部沿海广东省、海南省;板块八为西北西藏自治区和甘肃省。到 2017 年,除板块五的东部沿海两省一市、南部沿海福建省和板块六的长江中游四省没有变化外,其余板块内所含省市均有不同程度调整。板块一部分省(市、自治区)向板块二进行了转移,缩减为北京市和天津市,并纳入了东北的辽宁

省;板块二承接了由板块一转移来的大量黄河中游和北部沿海省市;板块三仅去除了辽宁省,仍集中在东北;板块四将除西藏自治区外的西北四省连接成片;板块七去除的四川省、重庆市纳入了板块八。板块移动与中国农业布局、区域经济有一定关系,河北省、山西省、陕西省、内蒙古自治区均为中国农牧交错带重点区域^[35],2017 年融入了板块二。四川省、西藏自治区、甘肃省、青海省、新疆维吾尔自治区为中国草原生态区,农业发展模式为农牧互补、牧养结合^[36],2017 年将其原来分属 3 个板块融为了 2 个板块,且其所属的板块四和板块八农业碳排放关联关系非常密切,而成渝经济区的打造,使四川省和重庆市距离缩短,经济关联更为密切,所以四川省和重庆市同属板块八。辽宁省作为连接东北地区与其余地区的中介,其中间中心性提升了 4% 左右,在农业碳排放关联网络中扮演的地位和角色更加明显。

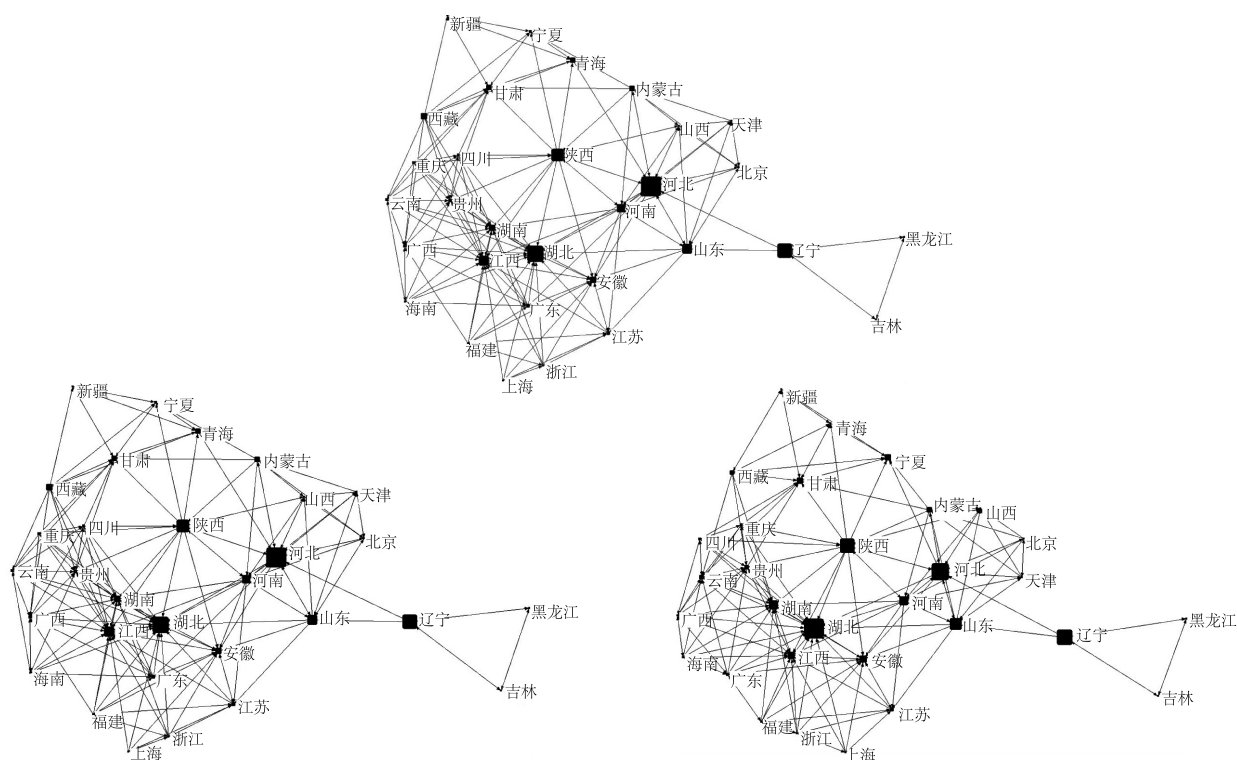


图3 农业碳排放的中间中心性关联网络结构

Fig.3 Intermediate central network structure of agricultural carbon emission

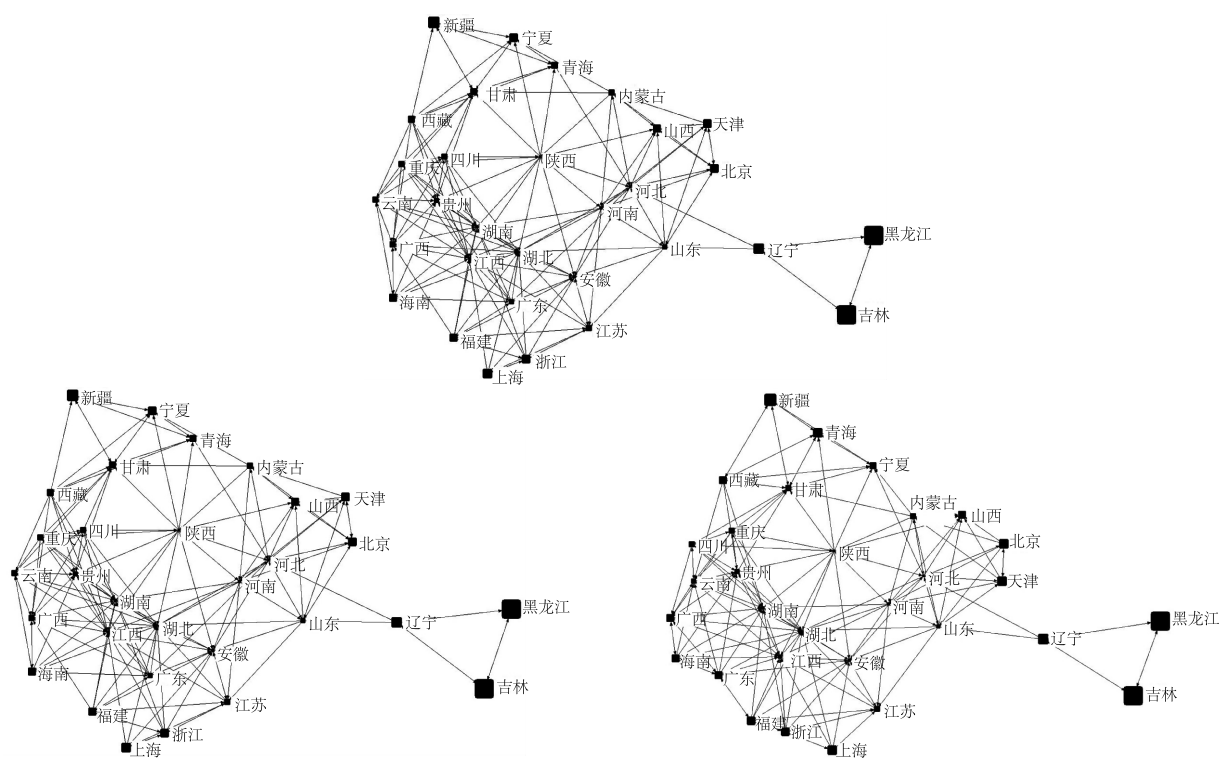


图4 农业碳排放的接近中心性网络结构

Fig.4 Near centrality network structure of agricultural carbon emission

表 2 农业碳排放网络中八大经济区的重要性分析

Table 2 Analysis on the importance of the eight economic regions in the agricultural carbon emissions network

地区	相对点出度 (%)	相对外接近中心性 (%)	相对中间中心性 (%)	相对度数声望	邻近声望	重要性特征
长江中游	12.5	15.7	7.2	0.47	0.22	控制力强,被多数地区直接或间接依赖
黄河中游	26.3	18.9	7.8	0.19	0.08	
西南地区	26.2	18.3	9.2	0.18	0.08	活动力和控制力强,被多数地区直接或间接依赖
西北地区	17.8	16.3	7.0	0.16	0.03	控制力强,被多数地区直接依赖
北部沿海	24.7	18.2	5.8	0.16	0.06	活动力强,被多数地区直接依赖
南部沿海	25.6	17.3	2.9	0.07	0.03	活动力强,不重要
东北地区	7.7	26.1	3.2	0.05	0	独立性强,不重要
东部沿海	17.8	15.0	4.6	0.10	0.03	不重要

声望和中心性均为年平均值。

表 3 2017 年农业碳排放网络中的网络板块关联

Table 3 Association of network blocks in the agricultural carbon emissions network in 2017

板块	接受关系数(个)		发出关系数(个)		板块成员数(个)	块内关系数(个)	块间关系数(个)	期望内部关系比 (%)	实际内部关系比 (%)	板块特征
	块内	块间	块内	块间						
板块 I	2	4	2	14	3	4	18	0.07	0.04	谄媚者
板块 II	24	14	24	25	6	48	39	0.17	0.27	初级地位
板块 III	2	2	2	1	2	4	3	0.03	0.07	孤立者
板块 IV	11	14	11	1	4	22	15	0.10	0.18	初级地位
板块 V	8	4	8	15	4	16	19	0.10	0.13	初级地位
板块 VI	12	47	12	3	4	24	50	0.10	0.20	初级地位
板块 VII	16	12	16	22	5	32	34	0.13	0.21	初级地位
板块 VIII	2	5	2	21	3	4	26	0.07	0.04	谄媚者
总计	77	102	77	102	31	154	204	-	-	-

整体来看,八大板块农业碳排放依赖关系总数为 358 个,其中,板块间关系数为 204 个,板块内关系数为 154 个,农业碳排放的区域间溢出效应明显。其中,板块二、板块六和板块七块间关系数明显高于其他板块,占到块间关系总数的 60%。

从板块地位来看,板块三的总关系数为 7 个,板块间关系数仅为 3,实际内部关系比大于期望内部关系比,从前文分析结果可见,板块内网络密度为 1,说明板块三在农业碳排放关联网络中既不太被板块外成员依赖,也不太依赖板块外成员,板块内的碳依赖关系比较活跃,处于孤立者地位,重要性排名靠后。

板块一和板块八总关系数分别为 22 个和 30 个,板块间关系数远高于板块内关系数,且实际内部关系比小于期望内部关系比,板块内密度在 8 个板块中排名最后,在农业碳排放关联网络中处于谄媚

者角色,对板块外成员的碳依赖多于对板块内成员,且不太被板块外成员碳依赖。两板块内各省市的点出度都明显高于点入度,且重要性处于中下水平。板块二、四、五、六、七实际内部关系数均大于期望内部关系数,板块间关系也比较活跃,属于初级者地位,根据板块间发出关系和接受关系的大小进一步将其分类。

板块二、五、七为受益板块,三大板块的共同特征是板块间接受关系数小于发出关系数,说明其对板块外成员的农业碳依赖更强。其中,板块二和板块七发出关系和接收关系都较多,结合其中心性,两板块所含区域对农业碳关联网络的控制能力较强,可以看成类经纪人地位,在整个农业碳关联网络中起中介枢纽作用,同时板块内各成员也比较活跃。板块二含盖了北部沿海和黄河中游省市,侧重于接

受北部和西部区域的关系,同时与除东北外的其余板块都有发出关系,有承接南北、通东达西的作用。板块七涵盖了西南和南部沿海部分省市,侧重于接受西部和中部地区的关系,同时向东部沿海、长江中游和西部地区发出关系,有贯穿东西的作用。

板块四和板块六为贡献板块,特征是板块间接受的关系数远大于发出的关系数,说明其被较多的板块外成员依赖,两板块包含了长江中游地区和西北地区省市。长江中游地区是中国重要的农业集中地,规模大,品种多,而西北地区能源资源丰富,农业生产投入要素和产出的地区间转移使其在农业碳排放关联网络中扮演贡献者角色。八大板块分类结果见图5。从图5可见,网络中的谄媚者集中在发达的沿海地区和少量西部地区;贡献者主要是长江中游和西北地区,是中国主要的农业生产地区和资源丰富地区;类经纪人的分布相对分散,起着连接南北、贯穿东西的重要作用。

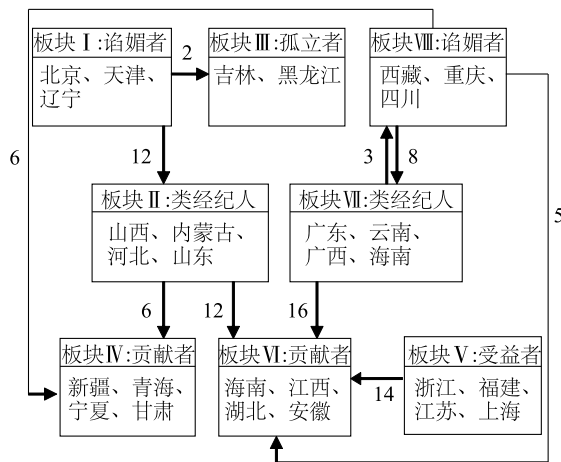


图5 2017年农业碳排放网络中八大板块角色及关联

Fig.5 Role and relationship of the eight network blocks in the agricultural carbon emissions network in 2017

3 农业碳排放区域关联原因的非参数QAP回归

3.1 QAP相关性分析

从矩阵相关性(表4)可见,除能源结构相似性矩阵外,其余因素均显著与农业碳排放关联矩阵相关。能源结构相似性矩阵不显著的原因是农业碳排放组成中农用能源消耗引起的碳排放量相对较低,2006年到2017年全国农用能源消耗引起的农业碳

排放在整个农业碳排放中平均占比仅为14.3%。

表4 影响因素与农业碳排放区域依赖度的相关分析

Table 4 Correlation analysis between influencing factors and agricultural carbon emissions regional dependences

影响因素	相关系数
X(空间邻接关系矩阵)	-0.305 **
M(跨区域农业龙头企业数量矩阵)	0.309 **
N(能源结构相似性矩阵)	0.036
S(农业产业结构相似性矩阵)	0.131 **
T(技术水平差异性矩阵)	-0.088 *
E(农产品区域转移程度矩阵)	0.111 *

**和*分别表示相关性达到0.01和0.05显著水平。

表5可见,除能源结构相似性矩阵外,其余影响因素间均显著相关。空间铁路运行时间越短,两地的经济联系越紧密,则跨区域龙头企业越多,产业结构越相似,技术差异性越小;产业结构越相似,技术水平差异越小,跨区域龙头企业越多;产业结构越相似,产品的跨区域流动也会更频繁,数量会更多。技术水平差异性和产品区域转移程度仅为0.10的显著度下负相关,说明产品转移更容易在技术水平差异小的区域间进行。

3.2 QAP非参数回归分析

从表6可见,2006年到2017年各因素对农业碳排放区域关联的整体解释程度在55%左右,并且通过了0.01的显著性检验,除空间邻接关系和技术水平差异性系数估计结果为负外,其余因素的系数估计结果均为正,说明农业碳排放的区域关联密切度会受到区域间空间关联、经济关联和技术关联程度的影响。区域空间关联对农业碳排放地区关联的影响最为显著,而空间关联不是体现在空间距离上,而是体现在经济距离上,因为经济距离的拉近必然会促使两地间的交通更为便利。本研究的空间邻接矩阵用地区间铁路运行时间更好地印证了这一点,从估计系数来看,其对农业碳排放地区关联的影响程度较为稳定。经济关联除了会拉近地区间的时间距离外,也表现在区域产业集群化发展引起的产业结构更加相似,跨区域农业龙头企业数量更多,以及农产品和生产要素在便捷运输过程中转移更多,经济关系更为密切也使地区间农业碳排放更加相互依赖。技术水平相当的地区农业碳排放关系也越密切,说明

跨区域的技术扩散效应可以使地区间农业碳排放关系加深,从而为地区间合作减排奠定基础。

表5 影响因素间的相关分析

Table 5 Correlation analysis among influencing factors

变量	X	M	N	S	T	E
X	1.000	-0.264 ***	-0.095	-0.317 ***	0.341 ***	-0.083
M	-0.264 ***	1.000	0.008	0.197 ***	-0.218 ***	0.045
N	-0.095	0.008	1.000	0.037	-0.043	0.072
S	-0.317 ***	0.197 ***	0.037	1.000	-0.552 ***	0.136 **
T	0.341 ***	-0.218 ***	-0.043	-0.552 ***	1.000	-0.099 *
E	-0.083	0.045	0.072	0.136 **	-0.099 *	1.000

X等矩阵见表4。***、**和*分别表示在0.01、0.05和0.10水平显著相关。

表6 农业碳排放区域关联的QAP回归结果

Table 6 QAP regression results of agricultural carbon emissions regional association

时间	X	M	N	S	T	E	R2
2006	-0.24 ***	0.25 ***	0.05	0.16 ***	-0.11 ***	0.07 **	0.559 ***
2007	-0.24 ***	0.24 ***	0.04	0.06 *	-0.11 ***	0.09 **	0.556 ***
2008	-0.24 ***	0.25 ***	0.04	0.15 ***	-0.10 **	0.08 **	0.558 ***
2009	-0.24 ***	0.25 ***	0.03	0.15 ***	-0.09 **	0.07 **	0.560 ***
2010	-0.25 ***	0.25 ***	0.03	0.14 ***	-0.08 **	0.07 **	0.561 ***
2011	-0.24 ***	0.25 ***	0.03	0.07 *	-0.08 *	0.08 **	0.555 ***
2012	-0.24 ***	0.25 ***	0.03	0.15 ***	-0.07 *	0.07 **	0.557 ***
2013	-0.24 ***	0.24 ***	0.03	0.13 ***	-0.07 *	0.07 **	0.553 ***
2014	-0.24 ***	0.24 ***	0.04	0.12 ***	-0.09 **	0.08 **	0.546 ***
2015	-0.23 ***	0.24 ***	0.03 *	0.13 ***	-0.08 **	0.08 **	0.550 ***
2016	-0.24 ***	0.24 ***	0.03	0.12 ***	-0.09 **	0.08 **	0.548 ***
2017	-0.23 ***	0.24 ***	0.03	0.12 ***	-0.08 **	0.08 **	0.551 ***

X等矩阵见表4。***、**和*分别表示在0.01、0.05和0.10水平显著相关。

4 结论与启示

4.1 结论

本研究基于2006-2017年中国各省(市、自治区)数据,以修正引力模型测算农业碳排放空间依赖,利用社会网络分析法,建立非参数回归模型,从空间网络视角考察各区域的网络功能,从空间关联、经济关联、技术关联三维角度解释农业碳排放关联的深层次原因,主要研究结果如下:①农业碳排放网络稳定性高,区域排放溢出“等级森严”。中国农业碳排放网络板块间关系系数明显大于板块内关系系数,农业碳排放区域关联明显,整体网络密度并不太高,但网络稳定性高,且不平程度也较高,中部地区处于支配和控制地位。②中部地区处于网络核心,西

部重要性显著提升,东部重要性最低。长江中游和黄河中游对整体网络控制力较强,声望较高,处于网络核心;西南和西北地区声望仅次于中部地区,且对整体网络的控制能力也较强,两经济区的重要性有上升趋势;北部沿海和南部沿海在整体网络中比较活跃,度数中心性较高,但主要扮演依赖者角色;东北经济区相对独立,东部沿海最不重要。③农业碳排放网络八大板块所处角色和地位差异明显。京、津、辽代表的板块一和川、渝、藏代表的板块八为谄媚者,主要体现为板块间农业依赖关系;晋、蒙、冀、鲁、豫、陕代表的板块二和粤、云、桂、琼、贵代表的板块七为类经纪人角色,板块间接受和发出关系均较多,对网络控制力较强,起到中介作用;新、青、甘、宁代表的板块四和鄂、湘、皖、赣代表的板块六为贡献

者角色,接受的关系数远大于发出的关系数;吉、黑代表的板块三为孤立者,板块间接受和发出关系都较少;浙、苏、闽、沪代表的板块五为受益者角色,对其他地区有较多发出关系。④空间关联、经济关联和技术关联三维关联均显著影响农业碳排放关联。区域空间距离、产业结构相似性、产品转移程度、跨区域农业龙头企业数量和技术水平差异性对农业碳排放区域关联的解释程度超过 50%。随着区域协调发展的进一步加深,各区域空间距离将进一步缩短,经济联系将得以加强,生产要素、产品以及技术扩散的渠道更为通畅,农业碳排放区域关联也会增强。

4.2 启示

地区间农业碳排放关联的增强使国家能够在全国一盘棋的整体思路下协调各方行动,达到 1 加 1 大于 2 的减排效果。农业碳排放关联的增强需要地区间空间、经济和技术三维关系的进一步加强。一方面依托中国综合交通运输体系的建设,缩短区域空间距离,另一方面增强区域间农业经济的交流合作,建立跨区域农业产业带或产业园,同时也要充分发挥减排技术扩散效应,在鼓励各地加大农业减排技术研发的同时,出台优惠政策,促进技术的区域间扩散,以技术源为中心,实现“水波式”溢出。

由于中国各地区在农业碳排放关联网络中所处地位和角色不同^[37-39],制定和分配减排任务时应充分考虑各区域碳排放的依赖。贡献者板块作为重要的农业碳排放承担者和接受者,应和受益者板块、谄媚者板块建立良好的长效互动机制,通过资金投入、技术转移、资源补偿等方式,增强其农业碳减排引领地位,进而提高受益者和谄媚者跟随型减排成效;类经纪人板块作为农业碳排放的传导者和中介者,应进一步激发其“管道”作用,通过政策引导,优化与其他地区的农业碳排放关联,充分发挥其减排传输功能;对于孤立者板块,需扩大其农业碳排放关联,使其密切融入农业碳排放关联网络,营造减排溢出的良好接受渠道。

参考文献:

- [1] 联合国环境规划署.《全球升温 1.5℃特别报告》发布,为气候变暖再敲警钟[EB/OL]. (2018-10-10)[2019-12-20].<http://www.tanpaifang.com/tanguwen/2018/1010/62363.html>.
- [2] 李波,张俊飏,李海鹏.中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J].中国人口·资源与环境,2011(8):80-86.
- [3] COLE M, ELLIOTT A, ROBERT J R. The carbon dioxide emissions of firms: A Spatial analysis[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2013, 65:290-309.
- [4] LIU Y, XIAO H W, PRECIOUS Z, et al. Carbon emissions in China: A spatial econometric analysis at the regional level[J]. Sustainability, 2014, 6:6005-6023.
- [5] DONG F, LONG R Y, LI Z L, et al. Analysis of carbon emission intensity, urbanization and energy mix: evidence from China[J]. Nat Hazards, 2016, 82:1375-1391.
- [6] LI L, HONG X F, TANG D L, et al. GHG emissions, economic growth and urbanization: A spatial approach[J]. Sustainability, 2016, 10:123-126.
- [7] GEORGE M, FRANKLIN A. Spatial analysis of emissions in Sweden[J]. Energy Economics, 2017, 10:383-394.
- [8] ZHANG Y G. Interregional carbon emission spillover-feedback effects in China[J]. Energy Policy, 2017, 100:138-148.
- [9] JIAO J L, YANG Y F, BAI Y. The impact of inter-industry R&D technology spillover on carbon emission in China[J]. Nat Hazards, 2018, 91:913-929.
- [10] MENG B, XUE J J, FENG K S, et al. China's inter-regional spillover of carbon emissions and domestic supply chains[J]. Energy Policy, 2013, 61:1305-1321.
- [11] 孙亚男,刘华军,刘传明,等.中国省际碳排放的空间关联性及其效应研究——基于 SNA 的经验考察[J].上海经济研究, 2016(2):82-92.
- [12] 杨桂元,吴齐,涂洋.中国省际碳排放的空间关联及其影响因素研究——基于社会网络分析方法[J].商业经济与管理, 2016(4):56-68.
- [13] 张翼.基于空间关联网络结构的中國省域协同碳减排研究[J].统计与信息论坛,2017(2):63-69.
- [14] WANG F, GAO M N, LIU J, et al. The spatial network structure of China's regional carbon emissions and its network effect[J]. Energies, 2018, 11:2706.
- [15] 李秋萍,李长建,肖小勇,等.中国农业碳排放的空间效应研究[J].干旱区资源与环境,2015(4):30-35.
- [16] 孙赫,梁红梅,常学礼,等.中国土地利用碳排放及其空间关联[J].经济地理,2015(3):154-162.
- [17] 吴贤荣,张俊飏,程琳琳,等.中国省域农业碳减排潜力及其空间关联特征——基于空间权重矩阵的空间 Durbin 模型[J].中国人口·资源与环境,2015(6):53-61.
- [18] 程琳琳,张俊飏,田云,等.中国省域农业碳生产率的空间分异特征及依赖效应[J].资源科学,2016(2):276-289.
- [19] WU H Y, HUANG H J, TANG J. Net greenhouse gas emissions from agriculture in China: Estimation, spatial correlation and convergence[J]. Sustainability, 2019, 11:4817.
- [20] MA D. Spatial heterogeneity and influencing factors of agricultural energy carbon emission efficiency in China—An empirical research of spatial panel data model[J]. Resour Dev Mark, 2018, 12:1693-1765.
- [21] WU Y, FENG K. Spatial-temporal differentiation features and cor-

- relation effects of provincial agricultural carbon emissions in China [J]. *Environ Sci Technol*, 2019, 3: 180-190.
- [22] WANG J, ZHANG Y, TIAN Y, et al. Influencing factors and spatial spillover of agricultural carbon emissions in major grain producing areas in China [J]. *J S Chin Agric*, 2019, 7: 1632-1639.
- [23] PACHAURI K, MEYER A. Climate change 2014: Synthesis report [R]. Geneva: IPCC, 2014.
- [24] 赵欣, 龙如银. 考虑全要素生产率的中国碳排放影响因素分析 [J]. *资源科学*, 2010(10): 1863-1870.
- [25] 王智平. 中国农田 N_2O 排放量的估算 [J]. *农村生态环境*, 1997(2): 51-55.
- [26] DYER J A, KULSHRESHTHA S N, MCCONKEY B G, et al. An assessment of fossil fuel energy use and CO_2 emissions from farm field operations using a regional level crop and land use database for Canada [J]. *Energy*, 2010, 35(5): 2261-2269.
- [27] 伍芬琳, 李琳, 张海林, 等. 保护性耕作对农田生态系统净碳排放量的影响 [J]. *生态学杂志*, 2007(12): 2035-2039.
- [28] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. New York: Cambridge University Press, 2007.
- [29] 闵继胜, 胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2012(7): 21-27.
- [30] 刘丽华, 蒋静艳, 宗良纲. 农业残留物燃烧温室气体排放清单研究: 以江苏省为例 [J]. *环境科学*, 2011(5): 1242-1248.
- [31] KAYA Y. Impact of carbon dioxide emission on GNP growth: interpretation of proposed scenarios [R]. Paris: IPCC Energy and Industry Subgroup, 1989.
- [32] COMMONER B. Making peace with the planet [M]. New York: New Press, 1992.
- [33] 刘卫东, 唐志鹏, 韩梦瑶. 2012年中国31省区市区域间投入产出表 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [34] STANLEY W. Social network analysis: Methods and applications [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.
- [35] 新华网. 我国优化布局农业发展新空间 [EB/OL]. (2016-12-04) [2019-12-31]. <http://www.soozhu.com/wx/article/297884/>.
- [36] 中国改革报. 我国草原畜牧业发展潜力巨大 [EB/OL]. (2018-07-25) [2019-12-31]. http://www.crd.net.cn/2018-07/25/content_24734062.htm.
- [37] 赵先超, 宋丽美, 古黄玲. 基于GIS的湖南省农地利用碳排放时空格局研究 [J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(9): 307-311.
- [38] 王珧, 张永强, 田媛, 等. 我国粮食主产区农业碳排放影响因素及空间溢出性 [J]. *南方农业学报*, 2019, 50(7): 1632-1639.
- [39] 张治会, 李全新. 基于解构模型的2000-2014年甘肃省碳排放核算与分析 [J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(5): 257-260.

(责任编辑: 张震林)