

长江中游城市群耕地利用碳排放 “总量—强度”的空间关联特征

熊子昕^{1,2}, 匡兵^{1,2}, 柯楠³

(1.华中师范大学 公共管理学院, 湖北 武汉 430079; 2.华中师范大学
自然资源治理研究院, 湖北 武汉 430079; 3.华中科技大学 公共管理学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: [目的] 揭示长江中游城市群耕地利用碳排放“总量—强度”的空间关联特征, 为实现高质量发展提供理论和现实指导。[方法] 采用 IPCC 系数法、总体耦合态势模型和双变量空间自相关法分析相关指标。[结果] ①2010—2013 年长江中游城市群耕地利用碳排放总量呈显著上升趋势, 年均增率为 2.0%; 2014—2020 年则呈下降趋势, 年均降幅为 2.6%, 且碳排放的市域间差异趋于扩大。②长江中游城市群耕地利用的碳排放强度总体处于波动下降态势, 年均降幅达 4.9%, 但受边际递减效应影响, 碳排放强度进一步改善的难度不断加大。③2010—2020 年长江中游城市群耕地利用碳排放量与碳排放强度的加权中心距离从 0.571 km 减少到 0.312 km, 移动方向夹角总体也呈减小趋势, 总体耦合态势不断加强。④2010—2020 年长江中游城市群耕地利用碳排放总量与强度存在显著空间正相关, 同时存在空间异质性。聚集态势主要表现为武汉城市圈“双高”聚集区和环长株潭城市群“双低”聚集区。[结论] 应采取差异化手段对耕地利用碳排放总量与强度进行分区调控, 完善碳排放总量和强度“双控”机制。

关键词: 耕地利用; 碳排放总量; 碳排放强度; 双变量空间相关性; 长江中游城市群

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)03-0406-08

中图分类号: F323.211, X321

文献参数: 熊子昕, 匡兵, 柯楠. 长江中游城市群耕地利用碳排放“总量—强度”的空间关联特征[J]. 水土保持通报, 2023, 43(3): 406-413. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.20230216.004; Xiong Zixin, Kuang Bing, Ke Nan. Spatial correlation characteristics of amount and intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in an urban agglomeration in middle reaches of Yangtze River [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(3): 406-413.

Spatial Correlation Characteristics of Amount and Intensity of Carbon Emissions Resulting from Cultivated Land Utilization in an Urban Agglomeration in Middle Reaches of Yangtze River

Xiong Zixin^{1,2}, Kuang Bing^{1,2}, Ke Nan³

(1.College of Public Administration, Central China Normal University, Wuhan, Hubei 430079, China;

2.Institute of Natural Resource Governance, Central China Normal University, Wuhan, Hubei 430079, China;

3.College of Public Administration, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: [Objective] The spatial correlation characteristics of the amount and intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in an urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River were analyzed in order to provide theoretical and practical guidance for achieving regional high-quality development. [Methods] The IPCC coefficient method, the overall coupling analysis model, and the bivariate spatial autocorrelation method were used in this study. [Results] ① The amount of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in the study area showed a significant upward trend during 2010—2013, with an average annual growth rate of 2.0%. Carbon emissions showed a downward trend during

收稿日期: 2022-09-26

修回日期: 2022-11-11

资助项目: 教育部人文社会科学研究青年项目“乡村振兴战略背景下中国耕地轮作休耕的响应与适应机制研究”(19YJC790054); 中央高校基本科研业务费项目(CCNU20QN036)

第一作者: 熊子昕(2000—), 女(汉族), 湖南省常德市人, 硕士研究生, 研究方向为土地利用管理。Email: xzx991224@163.com.

通信作者: 匡兵(1989—), 男(汉族), 湖北省荆州市人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用与政策方面的研究。Email: kuangbing117@163.com.

2014—2020, with an average annual decline of -2.6% . During the study period, the difference between the carbon emissions of each city tended to expand. ② The intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in the study area showed a fluctuating downward trend, with an average annual decline of -4.9% . However, due to the marginal decline effect, it was increasingly difficult to further improve the carbon emission intensity. ③ During the study period, the center-weighted distance between the amount and intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in the study area decreased from 0.571 km to 0.312 km. The included angle between their moving directions also showed a general declining trend, and the coupling situation continued to strengthen. ④ From 2010 to 2020, there was a significant spatial positive correlation between the amount and intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in the study area, and there was also spatial heterogeneity in this effect. The agglomeration situation was mainly manifested in the “high-high” and “low-low” area, which was represented by the Wuhan urban agglomeration and the Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration, respectively. [Conclusion] Different regulation measures should be taken according to the spatial correlation pattern between the amount and intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization. The “dual control” mechanism for the amount and intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization is also an important consideration.

Keywords: cultivated land utilization; amount of carbon emissions; intensity of carbon emissions; bivariate spatial correlation; urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River

低碳发展是指引经济低碳转型、实现人类社会可持续发展的基本理念^[1]。为实现“双碳”战略目标,中国正稳步推进碳减排工作。2021年中央经济工作会议上提出,要正确认识和把握碳达峰碳中和,创造条件尽早实现向碳排放总量和强度“双控”转变,加快形成降碳的激励约束机制。《中国共产党第二十次全国代表大会报告》再次强调,完善碳排放总量与强度调控,积极稳妥推进碳达峰碳中和。中国作为农业大国,农业在国民经济中始终占据基础性地位,耕地利用引发的碳排放集中,是中国碳排放的重要构成^[2-3]。在低碳发展理念指导下,对耕地利用碳排放“总量—强度”开展研究,是响应中国“双碳”战略的必然之举,对于实现耕地高质量利用、农业环境持续改善以及绿色低碳可持续发展等多重目标具有重要的现实意义。

目前学术界围绕耕地利用碳排放总量与碳排放强度进行了诸多研究。在碳排放总量方面,已有研究在不同视角和地理尺度下测算了耕地利用碳排放总量^[4],并揭示了碳排放总量的时空格局演变特征和驱动因素^[5-7]。在此基础上,还有学者对耕地利用碳排放与农业生产的关系^[8]进行了系统思考。在碳排放强度方面,学者们围绕碳排放强度的测度与分解^[9]、时空演变规律和特征^[10-11]以及驱动因素等^[12-13]进行了大量探索。这些成果较为系统地探究了耕地利用碳排放总量或强度相关议题,为本文提供了丰富的理论素材和方法指导。但已有成果分别从碳排放总量或强度的单一视角探究区域耕地利用碳排放问题,

鲜有将碳排放总量与强度纳入一个统一的分析框架进行深层次探讨,难以发挥出最佳的实践指导意义。长江中游城市群是长江经济带的重要组成部分,也是全国现代农业产业基地和重要创新基地^[14]。然而,作为长江流域中人口最密集,农业资源开发利用强度最高的地区之一,长江中游城市群耕地利用与生态环境的矛盾日益凸显,如何控制城市群碳排放总量与强度,实现农业绿色低碳化发展,是长江中游城市群亟待解决的难题^[15-16]。基于此,本文以长江中游城市群31个市级行政区为研究单元,基于2010—2020年长江中游城市群各市面板数据,首先测算出耕地利用碳排放总量及强度状况,进而采用总体耦合态势模型和双变量空间自相关分析其时空耦合规律及空间关联特征,对实现长江经济带耕地利用碳排放总量和强度的“双控”以及区域高质量发展具有重要意义。

1 研究方法数据来源

1.1 耕地利用碳排放总量测算

目前学者们在测度耕地利用碳排放总量时普遍选择IPCC碳排放系数法,采用各类碳源量与碳排放系数的乘积之和进行测算。在碳源方面,主要表现为种植过程中直接或间接的温室气体排放^[5,17-19],包括以下几类活动:①耕地种植。如翻耕行为形成的碳排放;②能源消耗。如农业机械运用消耗的能源在生产使用过程中导致的碳排放;③耕地资源利用化学化。如化肥、农药等在生产使用中导致的碳排

放。本文统一采用该方法,主要考察化肥、农药、农膜、农机、灌溉和翻耕 6 种碳源,在碳排放系数方面,主要参照学者们对于中国其他地区的分析^[20-22],具体见表 1。各系数已经得到了中国不同地区的验证,具有较强的适用性。碳排放测算公式如下:

$$E = \sum E_i = \sum T_i \cdot \delta_i \quad (1)$$

式中: E 为耕地利用碳排放总量; T_i 和 δ_i 分别表示各碳排放源的原始量与碳排放系数。

表 1 耕地利用主要碳源的碳排放系数
Table 1 Coefficients of main carbon sources in process of cultivated land utilization

碳源	碳排放系数	单位	文献来源
化肥	0.896	kg/kg	West 等 ^[23]
农业机械总动力	0.18	kg/kW	West 等 ^[23]
农药	4.934	kg/kg	Post 等 ^[24]
农膜	5.18	kg/kg	李波等 ^[25]
灌溉	20.5	kg/hm ²	李波等 ^[25]
翻耕	3.126	kg/hm ²	伍芬琳等 ^[26]

1.2 耕地利用碳排放强度测算

耕地利用碳排放强度表示碳排放量在单位产出的比例,因不受资源总量基数的影响,碳排放强度可客观反映出某一时期或某一个地区耕地利用“低碳化”程度。考虑耕地利用产出主要体现为农业产值,同时参考丁宝根等^[5]和吴昊玥等^[8]研究,本文选用单位农业 GDP 的碳排放量来表示耕地利用碳排放强度。计算公式为:

$$CEI = E / AGDP \quad (2)$$

式中:CEI 为耕地利用碳排放强度; E 为耕地利用碳排放总量;AGDP 为农业生产总值。

1.3 总体耦合态势模型

总体耦合态势模型通过比较不同空间变量加权中心距离及移动方向的相似性,以衡量空间变量演化的耦合态势^[27-28]。空间变量的加权中心距离越近,加权中心移动轨迹夹角越小,则总体耦合性越高。总体耦合态势模型的计算方法如下:

$$C_t(X_t, Y_t) = \left[\frac{\sum_{i=1}^n m_{ti} X_{ti}}{\sum_{i=1}^n m_{ti}}, \frac{\sum_{i=1}^n m_{ti} Y_{ti}}{\sum_{i=1}^n m_{ti}} \right] \quad (3)$$

$$L = \sqrt{(X_{CE,t} - X_{CI,t})^2 + (Y_{CE,t} - Y_{CI,t})^2} \quad (4)$$

$$\alpha = \arccos$$

$$\left[\frac{\Delta X_{CE} \times \Delta X_{CI} + \Delta Y_{CE} \times \Delta Y_{CI}}{\sqrt{(\Delta X_{CE}^2 + \Delta X_{CI}^2) \times (\Delta Y_{CE}^2 + \Delta Y_{CI}^2)}} \right] \times \pi \quad (5)$$

式中: C_t 为 CE(碳排放总量)或 CI(碳排放强度)的加权中心; X_t, Y_t 分别为 t 时期加权中心坐标; m_{ti}

是 t 时期像元 i 中 CE 或 CI 数值; X_{ti}, Y_{ti} 分别为 t 时期像元 i 的中心坐标; L 为 t 时期 CE 与 CI 加权中心的空间距离; $X_{CT,t}, Y_{CE,t}$ 与 $X_{CI,t}, Y_{CI,t}$ 分别为 t 时期 CE 与 CI 加权中心坐标; α 为某一时段内 CE 与 CI 加权中心的移动轨迹夹角; $\Delta X_{CE}, \Delta Y_{CE}$ 与 $\Delta X_{CI}, \Delta Y_{CI}$ 分别表示与上一时期相比,CE 与 CI 加权中心坐标变化值。

1.4 双变量空间自相关

双变量空间自相关分析用于反映两类变量空间分布关联与依赖特征,是用所有相邻位置的加权平均值评估一个位置 X 变量值与其他变量的相关程度^[29-30]。本研究运用双变量全局空间自相关分析耕地利用碳排放总量与强度的平均关联程度及其显著性,计算公式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (6)$$

式中: I 为双变量全局空间自相关指数,即总体上空间变量 X 与 Y 空间分布的相关性,取值范围在 -1 到 1 之间;越接近 -1,负相关越强烈;越接近 1,正相关越强烈;接近 0,则表明不存在空间聚集性。 n 为空间单元的数量; W_{ij} 为通过 K 邻接关系法建立的空间权重矩阵; X_i, Y_i 分布为自变量、因变量在空间单元 i, j 的观测值; S^2 为所有样本的方差。

运用双变量局部空间自相关准确把握耕地利用碳排放量与强度之间局部空间集聚性和分异特征,计算方法如下:

$$I_i = Z_i \sum_{j=1}^n W_{ij} Z_j \quad (7)$$

式中: Z_i 和 Z_j 分别为研究单元 i 和 j 上观测值标准化; W_{ij} 为空间权重。基于 I_i 可形成 4 种聚类模式,并由此组成的 LISA(local indications of spatial association)分布图能直观地呈现局部区域中自变量与因变量的集聚性及分异特征。聚类模式可分为 HH(高一高)聚集,即空间单元 i 的自变量与邻近单元 j 的因变量值均较大;LL(低—低)聚集,即空间单元 i 的自变量与邻近单元 j 的因变量值均较小;LH(低—高)聚集,即空间单元 i 的自变量值较小而邻近单元 j 的因变量值较大;HL(高一低)聚集,即空间单元 i 的自变量值较大而邻近单元 j 的因变量值较小。

1.5 数据来源

本文所用到的化肥、农药、农膜、农械、翻耕、灌溉、农业产值等数据均来源于 2011—2021 年《中国区域经济统计年鉴》《湖北农村统计年鉴》《湖南农村统

计年鉴》《江西农村统计年鉴》及国民经济与社会发展统计公报。其中,化肥以农业化肥折纯量为准,农药、农膜以当年实际使用量为准,农机以当年农用机械总动力为准,翻耕则以当年农作物播种面积代替,灌溉则以当年有效灌溉面积为准。

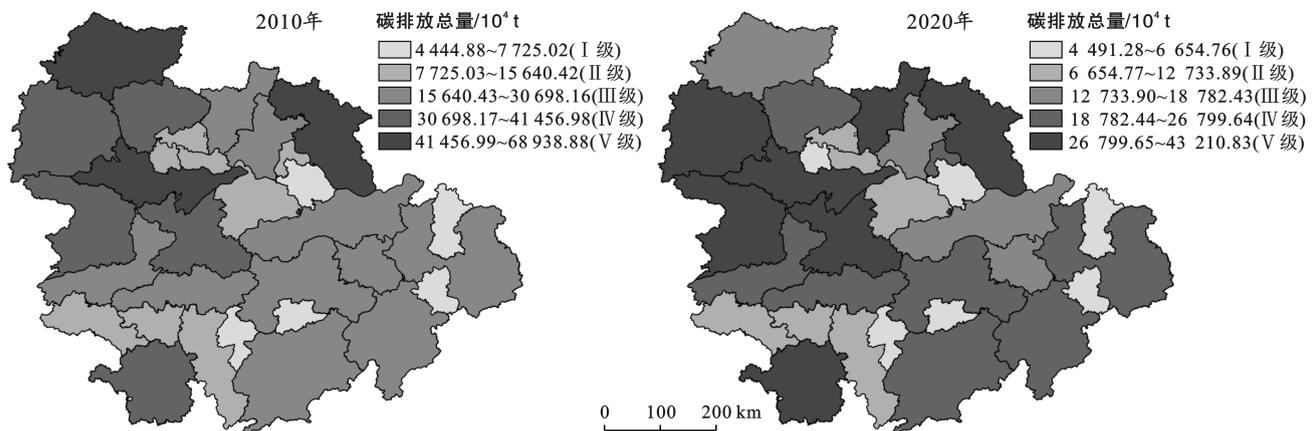
2 研究与分析

2.1 耕地利用碳排放总量的时空特征

根据公式(1)得到研究期内长江中游城市群耕地利用碳排放总量估算结果。2010—2020年,该区域碳排放总量总体呈“先上升后下降”趋势,表现出明显的阶段性特征。其中,2010—2013年呈上升趋势,由 9.82×10^9 t 增加到 1.04×10^{10} t,年均增率为 2.0%,这源于研究期间长江中游城市群农业规模化和机械化发展,导致化肥、农药、农膜和农机等农用物资的大范围投入,从而引起区域碳排放量增加。2014—2020年呈下降趋势,由 1.03×10^{10} t 下降到 8.45×10^9 t,年均降幅为 2.6%,这一特征表明低碳发展绿色理念在农业生产领域有了积极响应,长江中游城市群耕地利用碳排放得到了有效控制,正逐步向低碳化转

变。在研究期间不同时期,受生产结构、科技水平等因素的影响,不同碳源排放量也呈现差异性特征。其中农用化肥是耕地利用碳排放的最主要碳源,其碳排放与整体趋势一致,最高峰值为 7.78×10^6 t(2013年),自2014年起呈下降趋势。

进一步采用自然间断法,借助 ArcGIS 软件将碳排放总量划分为 5 个级别。其中,Ⅰ级碳排放量最低,Ⅴ级碳排放量最高(图 1)。从市域层面看,研究期内,Ⅰ—Ⅲ级碳排放量的地级市趋于减少,2010年包括新余市、景德镇市、鹰潭市、萍乡市等 23 个地级市,到 2020 年,减少了 7 个地级市。整个研究期内,Ⅴ级碳排放量的地级市增加了宜昌市、孝感市、常德市、襄阳市、岳阳市和衡阳市。长江中游城市群的传统农业大市以种植业为主,对耕地资源的依赖程度较高,同时,化肥、农药等高碳物资投入较多,导致其耕地利用碳排放量居于高位,成为长江中游城市群耕地利用碳排放主要来源地。又因不同地区自然条件、生产方式等存在差异,导致耕地利用过程中所投入各类农用物资比重存在不同,进而引起各市域间碳排放差异较大。



注:本图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为 GS(2020)4630 的标准地图制作。下同。

图 1 2010—2020 年长江中游城市群耕地利用碳排放总量动态变化

Fig.1 Dynamic changes of amount of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in urban agglomeration in middle reaches of Yangtze River from 2010 to 2020

2.2 耕地利用碳排放强度的时空特征

研究期内,长江中游城市群耕地利用碳排放强度总体呈波动下降趋势,由 2010 年 7 962.79 t/万元降至 2020 年 4 066.24 t/万元,年均降幅达 4.9%。这得益于长江中游城市群现代农业发展和农业机械化水平的提高,推动了耕地规模化利用,导致 2010—2013 年耕地利用碳排放强度加速下降。2014—2020 年耕地利用碳排放强度下降逐渐趋缓,但在 2016 年《全国农业现代化规划(2016—2020 年)》提出发展高效

绿色农业后,耕地利用碳排放强度再次加速下降。

同样利用自然间断法将碳排放强度划分为从低到高的 5 个级别(图 2)。总体来看,2010 年,Ⅰ—Ⅲ级碳排放强度的地级市 21 个,2020 年增加了襄阳、宜昌、荆门市等 5 个地级市,占长江中游城市群比例达到 83.9%。Ⅳ级碳排放强度地级市从 7 个减少至 3 个。由此表明,长江中游大多数城市耕地利用“低碳化水平”得到一定程度提升,且各市域之间差距趋于缩小。

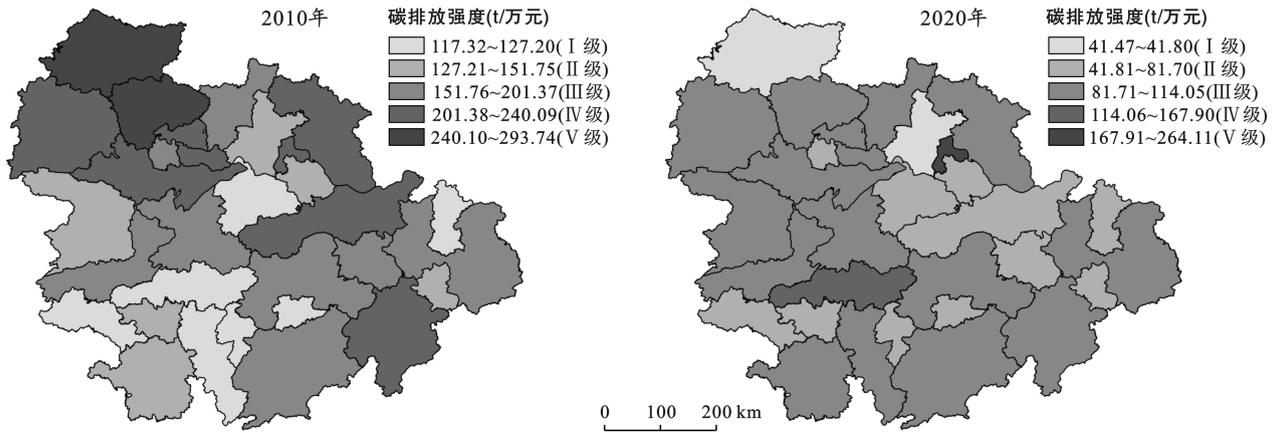


图 2 2010—2020 年研究区耕地利用碳排放强度动态变化

Fig.2 Dynamic changes of intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in study area from 2010 to 2020

2.3 耕地利用碳排放总量与碳排放强度的时空耦合特征

利用总体耦合态势模型测算出耕地利用碳排放总量与强度加权中心距离(表 2)及加权中心移动方向夹角(表 3),并根据加权中心经纬度坐标,结合 ArcGIS 软件得到长江中游城市群耕地利用碳排放总量与强度之间的空间耦合态势(图 3)。总体来看,2010—2020 年,长江中游城市群耕地利用碳排放总量与碳排放强度加权中心距离、移动方向夹角总体呈减少趋势,总体耦合态势不断加强。

表 2 2010—2020 年研究区耕地利用碳排放总量与碳排放强度的加权中心距离

Table 2 Center-weighted distance between amount and intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in study area from 2010 to 2020

年份	加权中心距离/km			
	长江中游城市群	武汉城市圈	环长株潭城市群	环鄱阳湖城市群
2010	0.571	116.678	119.241	123.931
2013	0.547	116.536	119.269	123.893
2016	0.602	116.483	119.236	123.926
2020	0.312	117.238	119.201	123.860

表 3 2010—2020 年研究区耕地利用碳排放总量与碳排放强度加权中心移动方向夹角

Table 3 Included angle between moving directions of amount and intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in study area from 2010 to 2020

时段	加权中心移动方向夹角/(°)			
	长江中游城市群	武汉城市圈	环长株潭城市群	环鄱阳湖城市群
2010—2013 年	3.705	9.869	9.869	9.869
2013—2016 年	8.926	9.128	7.449	9.696
2016—2020 年	6.005	9.104	7.521	9.256
2010—2020 年	3.416	9.867	9.870	9.867

从长江中游城市群内部来看,武汉城市圈耕地利用碳排放总量与碳排放强度加权中心始终呈“同向而行”态势,2010—2016 年碳排放量加权中心往西北方移动,从天门市转移到荆门市;碳排放强度加权中心则在天门市内向西北方转移。2016—2020 年在湖北省农业可持续发展规划指导下,湖北省各市加快转变农业发展方式,积极推进农村改革创新,碳排放量与碳排放强度加权中心均向东南方移动,分别转移到了天门市和孝感市。

两者中心距离由 116.678 km 增大到 117.238 km,其中 2016—2020 年两者加权中心变化绝对值大于 2016—2013 年绝对值,表明武汉城市圈耕地利用碳排放总量与强度变化耦合性减弱。这主要是荆门市、天门市和孝感市作为武汉城市圈的农业大市,率先调整了农业产业结构,提高了耕地利用效率,并通过城市“辐射效应”,引导了周边城市尤其是第一产业比重较大的城市,从而促进了耕地利用碳排放总量与强度双降。环长株潭城市群耕地利用碳排放总量与碳排放强度加权中心呈“相向而行”态势。2010—2020 年耕地利用碳排放总量加权中心总体向北移动,而碳排放强度加权中心总体向南移动。这是由于长沙市作为湖南省省会城市,其农业现代化与规模化发展迅速,且位居环长株潭城市群前列,因而碳排放量与强度加权中心均在长沙市内变化。

环鄱阳湖城市群耕地利用碳排放总量与碳排放强度加权中心呈“前期同向而行,后期逆向而行”态势且移动轨迹位于一个城市内。宜春市凭借优良的生态环境和丰富的农业资源,以水稻、苕麻种植等为重点,逐渐成为全国重要的商品粮基地,是江西农业发展的领跑者,带动碳排放总量与强度加权中心始终在市内移动。

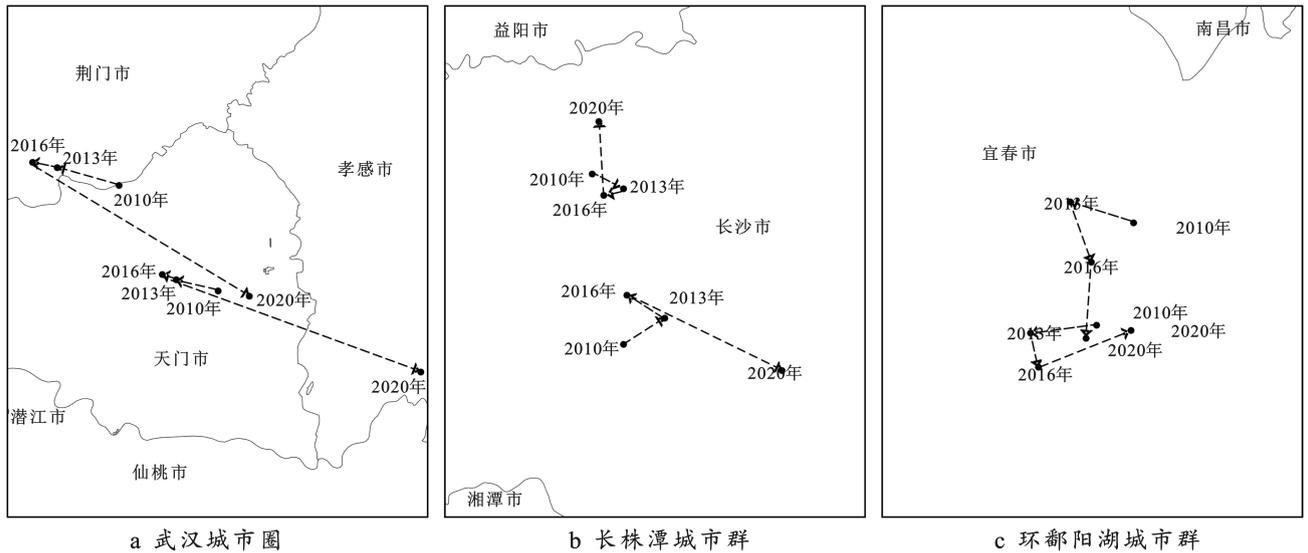


图 3 2010—2020 年研究区耕地利用碳排放量与碳排放强度加权中心移动轨迹
 Fig.3 Moving track of weighted center of amount and intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in study area from 2010 to 2020

2.4 耕地利用碳排放总量与强度的空间关联特征

2.4.1 耕地利用碳排放总量与强度的全局空间关联

为揭示长江中游城市群耕地利用碳排放量与强度之间空间显性形态特征,以 2010—2020 年耕地利用碳排放量与强度为基础,利用 Geoda 平台进行空间关联特征分(表 4)。

表 4 2010—2020 年研究区耕地利用碳排放总量与强度的双变量 Moran's I 统计值

Table 4 Moran's I statistics of bivariate carbon emissions and intensity of cultivated land use in study area from 2010 to 2020

年份	长江中游城市群总体	武汉城市圈	环长株潭城市群	环鄱阳湖城市群
2010	0.167 6***	0.211 1***	0.374 4**	-0.158**
2013	0.184 9***	0.292 0***	0.207 2**	-0.141**
2016	0.177 7***	0.308 2***	0.203 7**	-0.244**
2020	0.076 0***	0.062 0***	0.011 0**	-0.405**

注:***和**分别表示统计值在 0.01,0.05 水平上显著。

由表 4 可知,耕地利用碳排放总量与强度呈显著空间正相关性,即局部地区碳排放总量增加会导致周边地区碳排放强度增加。这是由于相邻城市之间存在经济交流与物质流通,局部地区碳排放总量的增加带动该城市碳排放强度的增加,最终也导致周边城市碳排放强度增加。但不同年份关联程度存在显著差异,呈倒“U”型变化特征。2010—2020 年长江中游城市群碳排放总量与强度的双变量 Moran's I 值均为正,在 0.07~0.19 之间波动,在 2013 年左右达到峰

值,且均在 0.05 水平上显著,表明长江中游城市群耕地利用碳排放总量与碳排放强度空间关联特征明显。这是由于随着技术水平提高和农业生产方式改善,城市本身在维持较低的碳排放强度的同时可以保证较高的经济产出。同时,“十二五”规划纲要首次提出碳排放强度约束性指标,政府对低碳绿色农业发展重视程度加深,进一步导致局部碳排放总量对周边地区碳排放强度的影响日益减少。

比较来看,内部 3 个城市群的双变量 Moran's I 值及变化差异明显。环长株潭城市群 Moran's I 升幅最明显,2010 年其 Moran's I 最大,环鄱阳湖城市群最小。2020 年,环长株潭城市群 Moran's I 仅为 0.011,已小于武汉城市圈。2013—2020 年 Moran's I 呈现“武汉城市圈>环长株潭城市群>环鄱阳湖城市群”格局。究其原因,碳排放总量对强度分布的作用可能与城市群规模、经济发展水平等有关,是未来城市群开展碳减排的重要关注目标。

2.4.2 长江中游城市群耕地利用碳排放总量与强度的局部空间关联 本文运用 OpenGeoDa 进行双变量局部空间自相关分析,生成 LISA 分布图(图 4)。由于研究为长时间序列,加之研究区域耕地利用碳排放量与强度存在较强的空间相关性,本文选取 2010,2020 年分析其局域空间关联特征的变化情况。

在 0.05 的显著性水平下,2010—2020 年,长江中游城市群耕地利用碳排放总量与强度的显著性空间类型以正相关为主,聚集态势由以襄阳市、宜昌市和荆门市为代表的武汉城市圈“高碳排放量—高碳排放强度”聚集区和以湘潭市、株洲市为代表的环长株潭

城市群“低碳排放量—低碳排放强度”聚集区组成。“低碳排放量—高碳排放强度”聚集较少且分布在“高碳排放量—高碳排放强度”聚集区周边。尽管潜江市本身碳排放量较低,但由于区域一体化发展,受到襄阳市、宜昌市等溢出影响,碳排放强度也较高。“高碳排放量—低碳排放强度”聚集则分布在“低碳排放量—低碳排放强度”聚集区周边,尽管长沙市和衡阳市碳排放量较高,但由于农业科技发展和产业结构优化,对双低聚集区具有负向溢出效应,本身碳排放强度较低。与 2010 年相比,2020 年碳排放总量与强度空间格局未发生较大变化,“高一高”聚集区仍分布在襄阳市、宜昌市和荆门市为代表的武汉城市

圈,原因是作为武汉城市圈农业大市,耕地利用规模大,但从业劳动人口结构不合理,农业技术无法得到进一步创新,从而形成了“高一高”聚集区。“低—低”聚集区增加了鄂州市,其他区域基本未发生明显变化。综合而言,长江中游城市群耕地利用碳排放量与强度之间局域关联呈现“小聚集大分散”现象,长江中游城市群的协调发展仍有待进一步加强。因此,在长江中游城市群后续低碳发展规划中,应增强城市之间的联动发展,确定以襄阳市、宜昌市和荆门市为代表的双高聚集武汉城市圈为重点减排区域,突出带动减排作用,有效促进长江中游城市群统筹协调可持续发展。

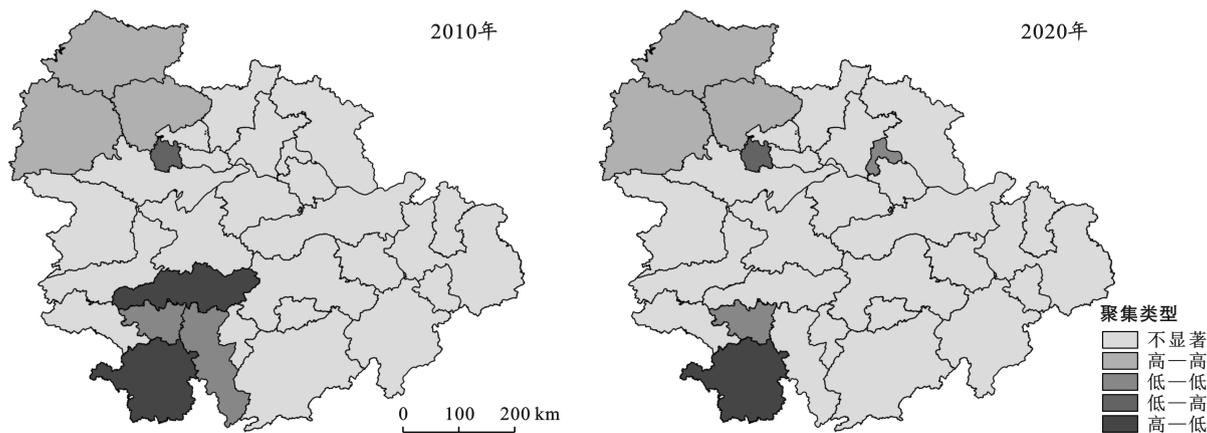


图 4 2010—2020 年研究区耕地利用碳排放量与碳排放强度的双变量 LISA 分布

Fig.4 Bivariate LISA cluster maps between amount and intensity of carbon emissions resulting from cultivated land utilization in study area from 2010 to 2020

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 长江中游城市群耕地利用碳排放总量呈先上升后下降趋势,2010—2013 年呈上升趋势,年均增率为 2.0%,2014—2020 年呈下降趋势,年均降幅为 2.6%,且市域间差异趋于扩大。耕地利用碳排放强度呈波动下降趋势,年均降幅达 4.9%,市域间差异逐渐缩小。

(2) 长江中游城市群耕地利用碳排放总量与强度的总体耦合态势不断加强。武汉城市圈耕地利用碳排放量与强度加权中心始终“同向而行”,环长株潭城市群两者呈“相向而行”且均在长沙市移动,环鄱阳湖城市群两者呈“前期同向而行,后期相向而行”且均在宜春市移动。

(3) 长江中游城市群耕地利用碳排放总量与强度存在显著的空间正相关。主要表现为以襄阳市、宜昌市和荆门市为代表的武汉城市圈“高一高”聚集类

型和以湘潭市、株洲市为代表的环长株潭城市群“低—低”聚集类型为主,未来应以武汉城市圈“高一高”聚集区为重点减排区。

3.2 讨论

从耕地利用碳排放的源头来看,化肥作为耕地利用碳排放的主要碳源,是未来推进耕地利用碳排放总量与强度“双控”的关键。应针对耕地利用碳排放量高的城市着手制定化肥减量方案,减少盲目施肥导致的浪费和土壤污染,促进地区耕地利用的碳排放总量与强度“双降”。

从耕地利用碳排放总量与强度的空间关联特征来看,对于总量与强度一致性高的“高一高”类型城市,该区域碳排放在相邻城市之间的空间溢出效果明显,应加强区域间碳减排政策交流与合作,制定出既能有效实现该区域碳排放目标又为相邻区域碳排放带来正外部效应的政策,形成区域碳减排政策联动机制,推动区域碳排放量和强度“双降”,使各相邻城市在环保领域和社会经济发展领域实现共赢。对于差

异性明显的区域来说,“高一低”类型城市可以提高科技发展水平,引导劳动力、技术、资金等生产要素高效配置,通过合理控制耕地生产要素投入强度,最大限度地降低耕地利用中的碳排放。“低—高”类型城市则应关注农业产业结构,加快农业产业结构调整的速度和优度,推进农业结构向节能型、高级化、高效化发展。

[参 考 文 献]

- [1] 宋妍,张明.公众认知与环境治理:中国实现绿色发展的路径探析[J].中国人口·资源与环境,2018,28(8):161-168.
- [2] 崔许锋,王雨菲,张光宏.面向低碳发展的农业生态效率测度与时空演变分析:基于SBM-ESDA模型[J].农业经济问题,2022,43(9):47-61.
- [3] 王少剑,黄永源.中国城市碳排放强度的空间溢出效应及驱动因素[J].地理学报,2019,74(6):1131-1148.
- [4] 吴贤荣,张俊飏,田云,等.中国省域农业碳排放:测算、效率变动及影响因素研究:基于DEA-Malmquist指数分解方法与Tobit模型运用[J].资源科学,2014,36(1):129-138.
- [5] 丁宝根,杨树旺,赵玉,等.中国耕地资源利用的碳排放时空特征及脱钩效应研究[J].中国土地科学,2019,33(12):45-54.
- [6] 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,2015,29(4):30-35.
- [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.
- [8] 吴昊玥,黄瀚蛟,陈文宽.中国粮食主产区耕地利用碳排放与粮食生产脱钩效应研究[J].地理与地理信息科学,2021,37(6):85-91.
- [9] 吴昊玥,孟越,黄瀚蛟,等.中国耕地低碳利用绩效测算与时空分异[J].自然资源学报,2022,37(5):1148-1163.
- [10] 阿依吐尔逊·沙木西,艾力西尔·亚力坤,刘晓曼,等.乌鲁木齐土地利用碳排放强度时空演变研究[J].中国农业资源与区划,2020,41(2):139-146.
- [11] 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.
- [12] 王若梅,马海良,王锦.基于水—土要素匹配视角的农业碳排放时空分异及影响因素:以长江经济带为例[J].资源科学,2019,41(8):1450-1461.
- [13] 王良健,李辉.中国耕地利用效率及其影响因素的区域差异:基于281个市的面板数据与随机前沿生产函数方法[J].地理研究,2014,33(11):1995-2004.
- [14] 刘蒙罢,张安录,文高辉.长江中下游粮食主产区耕地利用生态效率时空格局与演变趋势[J].中国土地科学,2021,35(2):50-60.
- [15] 马勇,黄智洵.长江中游城市群生态文明水平测度及时空演变[J].生态学报,2016,36(23):7778-7791.
- [16] 吴清,马会丽,吴黎,等.长江中游城市群农业经济时空格局演化研究[J].广东农业科学,2016,43(9):152-158.
- [17] 李俊杰.民族地区农地利用碳排放测算及影响因素研究[J].中国人口·资源与环境,2012,22(9):42-47.
- [18] 黎孔清,陈俭军,马豆豆.基于STIRPAT和GM(1,1)模型的湖南省农地投入碳排放增长机理及趋势预测[J].长江流域资源与环境,2018,27(2):345-352.
- [19] 田云,张俊飏,李波.湖北省农地利用碳排放时空特征与脱钩弹性研究[J].长江流域资源与环境,2012,21(12):1514-1519.
- [20] 李强,高威,魏建飞,等.中国耕地利用净碳汇时空演进及综合分区[J].农业工程学报,2022,38(11):239-249.
- [21] 匡兵,卢新海,韩璟,等.考虑碳排放的粮食主产区耕地利用效率区域差异与变化[J].农业工程学报,2018,34(11):1-8.
- [22] 周思宇,郝凤明,尹岩,等.东北地区耕地利用碳排放核算及驱动因素[J].应用生态学报,2021,32(11):3865-3871.
- [23] West T O. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2002, 91(1/2/3): 217-232.
- [24] Post W M, Kwon K C. Soil carbon sequestration and land-use change: Processes and potential [J]. Global Change Biology, 2000, 6(3): 317-327.
- [25] 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,2011,21(8):80-86.
- [26] 伍芬琳,李琳,张海林,等.保护性耕作对农田生态系统净碳释放量的影响[J].生态学杂志,2007,26(12):2035-2039.
- [27] Yang Chen, Zhan Qingming, Gao Sihang, et al. How do the multi-temporal centroid trajectories of urban heat island correspond to impervious surface changes: A case study in Wuhan, China [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, 16(20): 3865.
- [28] Yang Zhiwei, Chen Yingbiao, Qian Qinglan, et al. The coupling relationship between construction land expansion and high-temperature area expansion in China's three major urban agglomerations [J]. International Journal of Remote Sensing, 2019, 40(17): 6680-6699.
- [29] Anselin L. Local indicators of spatial association-LISA [J]. Geographical Analysis, 2010, 27(2): 93-115.
- [30] 徐冬,黄震方,黄睿.基于空间面板计量模型的雾霾对中国城市旅游流影响的空间效应[J].地理学报,2019,74(4):814-830.