

我国农业碳排放强度与农业经济空间相关性研究

韩会庆¹, 王世尧², 马庚¹, 张新鼎¹, 白玉梅¹

(1. 贵州理工学院 建筑与城市规划学院, 贵阳 550003; 2. 贵州财经大学 公共管理学院, 贵阳 550025)

摘要:为探究我国农业碳排放强度与农业经济之间的空间相关性,选取化肥、农药、农膜、农用柴油、灌溉和翻耕作为农业碳排放源和农民人均纯收入、单位耕地面积农业 GDP 和谷物单产作为农业经济指标,利用空间自相关分析法,分析了我国农业碳排放强度与农业经济各指标之间的空间相关性。结果显示:2001 年、2015 年我国农业碳排放强度与农民人均纯收入、单位耕地面积农业 GDP 和谷物单产之间均为空间正相关关系。高一高和低一低聚集区较多,而低一高和高一低聚集区较少。2001—2015 年农业碳排放强度变化与农民人均纯收入变化、谷物单产变化之间为空间负相关关系,与单位耕地面积农业 GDP 变化之间为空间正相关关系。农业碳排放强度变化与农业经济各指标变化之间 LISA 聚集区空间异质性突出。

关键词:空间相关性; 农业碳排放强度; 农业经济; 中国

中图分类号:F323

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2018)05-0269-06

Analysis on Spatial Correlation Between Agricultural Carbon Emission Densities and Rural Economy in China

HAN Huiqing¹, WANG Shiyao², MA Geng¹, ZHANG Xinding¹, BAI Yumei¹

(1. College of Architecture and Urban Planning, Guizhou Institute of Technology, Guiyang 550003, China;

2. College of Public Management, Guizhou University of Finance of Economics, Guiyang 550025, China)

Abstract: In order to explore spatial correlation between agricultural carbon emissions density and rural economy in China, we selected chemical fertilizers, pesticides, agricultural films, agricultural diesel, irrigation and ploughing as carbon sources, and set per capita net income of farmers, agricultural GDP and grain yield per unit of arable land as agricultural economic indicators. The spatial correlation between agricultural carbon emission intensities and agricultural economic indexes were analyzed by the method of spatial autocorrelation analysis. The results showed that there was spatial positive correlation between agricultural carbon emission intensities and agricultural economic indexes such as per capita net income of farmers, agricultural GDP and grain yield per unit of arable land in China. High—high and low—low concentration areas were relatively more, while low—high and high—low concentrations areas were less; there was a spatial negative correlation between agricultural carbon intensity changes and per capita net income changes of farmers as well as grain yield changes per unit of arable lands in China while the spatial positive correlation could be found between agricultural carbon intensity changes and agricultural GDP changes per unit of arable land in China from 2001 to 2015. There was spatial heterogeneity in LISA aggregation area between agricultural carbon emission intensity change and agricultural economy index change.

Keywords: spatial correlation; agricultural carbon emissions density; rural economy; China

随着世界人口的快速增长, 全球各地日益重视农业生产。近几十年来, 为提高农业生产水平, 全球化肥、农药、地膜等使用量大幅增加, 这使得农业碳排放量快速增加^[1-2]。已有研究发现农业经济增长可能促进农业碳减排, 也可能加快农业碳排放^[3]。如何实现农业经济发展与农业碳减排成为当前亟需解决的问题, 这对全球农业可持续发展具有重要意义。

目前, 农业碳排放与农业经济之间关系研究多集中于农业碳排放与农业经济脱钩分析^[4]、农业碳排放与农业经济增长关系实证研究^[5]、经济增长对农业碳排放作用强度^[6]等方面。研究范围涉及全国^[7-8]、省域^[4,9]、地区^[10-11]等尺度。农业碳排放与农业经济脱钩分析主要利用脱钩指标模型^[12], 农业碳排放与经济增长关系实证研究多利用环境库兹涅茨曲线(EKC)模型^[5]和协整模

型^[3],经济增长对农业碳排放作用强度研究多利用 Kaya 因素分解法^[6]。然而,农业碳排放与经济之间空间相关性还鲜有关注。空间自相关分析法可以揭示空间变量在不同位置上的相关性^[13],用于测量和检验空间上分布邻近的物体及其某一属性具有相似或相反的取值及其趋势特点(空间正相关或空间负相关),判断它的分布特征^[14],该方法已广泛应用于区域经济、疾病传播、土壤学、人口学等领域^[15]。因此,本研究利用 GeoDA 空间分析软件,通过空间自相关分析法分析农业碳排放与农业经济的空间的相关性。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

2001 年和 2015 年农业碳排放数据涉及化肥使用量、农药使用量、地膜使用量、农用柴油使用量、翻耕面积、灌溉面积 6 个方面数据,主要来源于 2002 年和 2016

年《中国农村统计年鉴》。2001 年、2015 年农业经济数据涉及农民人均纯收入、单位耕地面积农业 GDP、谷物单产 3 个方面数据,主要来源于 2002 年和 2016 年《中国统计年鉴》。2001—2015 年农业碳排放和农业经济变化数据等于 2015 年数据与 2001 年数据的差值。

1.2 研究方法

1.2.1 碳排放强度计算 一般认为农业碳排放来源于化肥、农药、农膜、农用柴油、翻耕和灌溉 6 个方面。农业碳排放强度表示单位耕地面积碳排放量,等于各类农业碳源排放量乘以各类碳排系数,再除以耕地面积,计算公式为:

$$C = E/A = \frac{\sum E_i \times F_i}{A} \quad (1)$$

式中: C 为农业碳排放强度(t/km^2); E 为农业碳排放总量(t); A 为耕地面积(km^2); E_i 为各类农业碳源排放量(t); F_i 为各类农业碳源碳排放系数(表 1)。

表 1 农业碳排放源及其系数^[7,16-19]

种类	化肥/ ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	农药/ ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	农膜/ ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	柴油/ ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	翻耕/ ($\text{kg} \cdot \text{km}^{-2}$)	灌溉/ ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)
系数	0.8956	4.9341	5.18	0.5927	312.6	20.476

1.2.2 全局空间自相关 全局空间自相关是对变量的观测值在整个区域空间特征的描述,检验空间现象在整个区域上是否具有聚集效应^[20]。常用全局 Moran's I 指数表达,它表示空间邻接或空间邻近区域单元属性值的相似程度^[21],其计算公式为^[22]

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

式中: I 为 Moran's I 指数; x_i 为变量在 i 处的数值; \bar{x} 为平均值; $W_{i,j}$ 为空间权重。如 Moran's $I > 0$,表示空间单位之间存在正相关,如 Moran's $I < 0$,表示空间单位之间存在负相关。

1.2.3 局域空间自相关 局域空间自相关分析可以准确地把握空间要素的异质性特性,推算出聚集地的空间位置和范围。常用 LISA 聚集图表示,它表示区域单元在区域内的聚集或离散状况^[14]。LISA 聚集图计算依据局部 Moran's I 指数表示,其计算公式为:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \times \sum_{j=1}^n W_{i,j} (x_j - \bar{x}) \quad (3)$$

式中: I 为 Moran's I 指数; x_i 为变量在 i 处的数值; \bar{x} 为平均值; W_{ij} 为空间权重。LISA 聚集图分为高一高、低一低、高一低、低一高、不显著 5 种类型^[23-24]。

2 结果与分析

2.1 我国农业碳排放与农业经济时空变化

2001 年我国农业碳排放强度呈现东部地区较

高,西部地区较低的特点,其中,东部地区的山东、江苏、浙江、福建、广东的碳排放强度较高,西部的内蒙古、甘肃、宁夏、陕西、青海、西藏、云南、贵州等碳排放强度较低。2015 年我国东部和中部地区碳排放强度较高,西部地区碳排放强度较低,其中,东部沿海的天津、北京、河北、山东、江苏、浙江、福建、广东、海南以及中部地区的河南、湖北、湖南碳排放强度较高,西部地区内蒙古、青海、西藏、贵州碳排放强度较低。2001—2015 年,我国农业碳排放强度整体呈增加趋势,其中,我国南方和西北地区碳排放强度增加较大,如海南、广东、福建、广西、湖南、江西、浙江、陕西、新疆、内蒙古、甘肃等。东北、华北部分地区、西南部分地区碳排放增加较小,如黑龙江、吉林、辽宁、北京、山东、江苏、安徽、西藏、四川、重庆、贵州等(图 1)。

2001 年和 2015 年我国农民人均纯收入和单位耕地面积农业 GDP 呈现东高西低的特点。谷物单产呈现东部、东南、华中、东北地区较高,西北部、西南部较低的特点。2001—2015 年,我国农民人均纯收入、单位耕地面积农业 GDP 和谷物单产均呈增加趋势,其中,我国农民人均纯收入增加较大地区集中在我国东部和中部地区,西部地区农民人均纯收入增加较小。单位耕地面积农业 GDP 增加较大地区主要分布在华北、华南和东南沿海,东北、西北、西南部分地区单位耕地面积农业 GDP 增加幅度较小。谷物单产增加较大地区集中在东北、西北地区,而南方地区、西南地区、西北部分地区谷物单产增加幅度较小(图 2)。

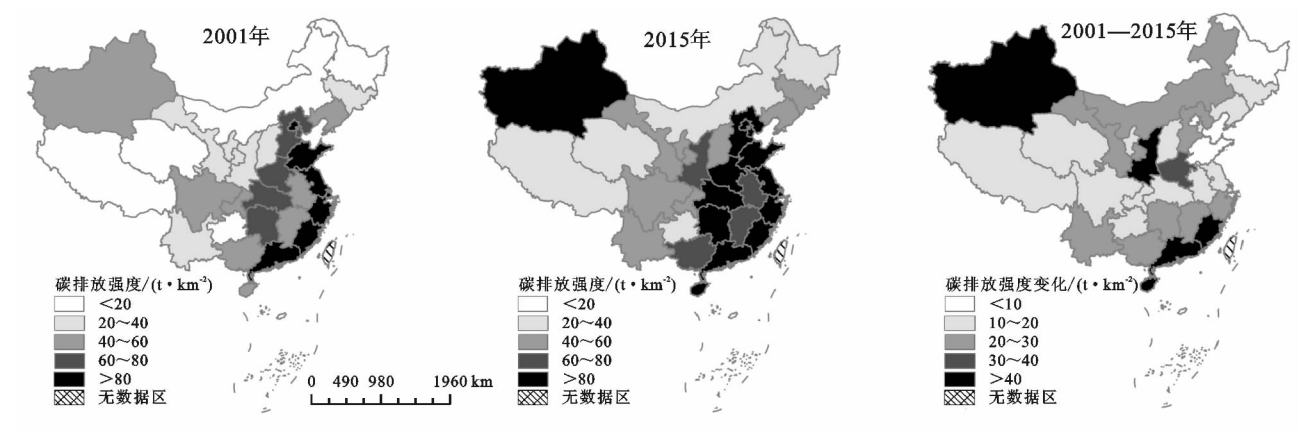


图 1 2001—2015 年我国农业碳排放强度时空变化

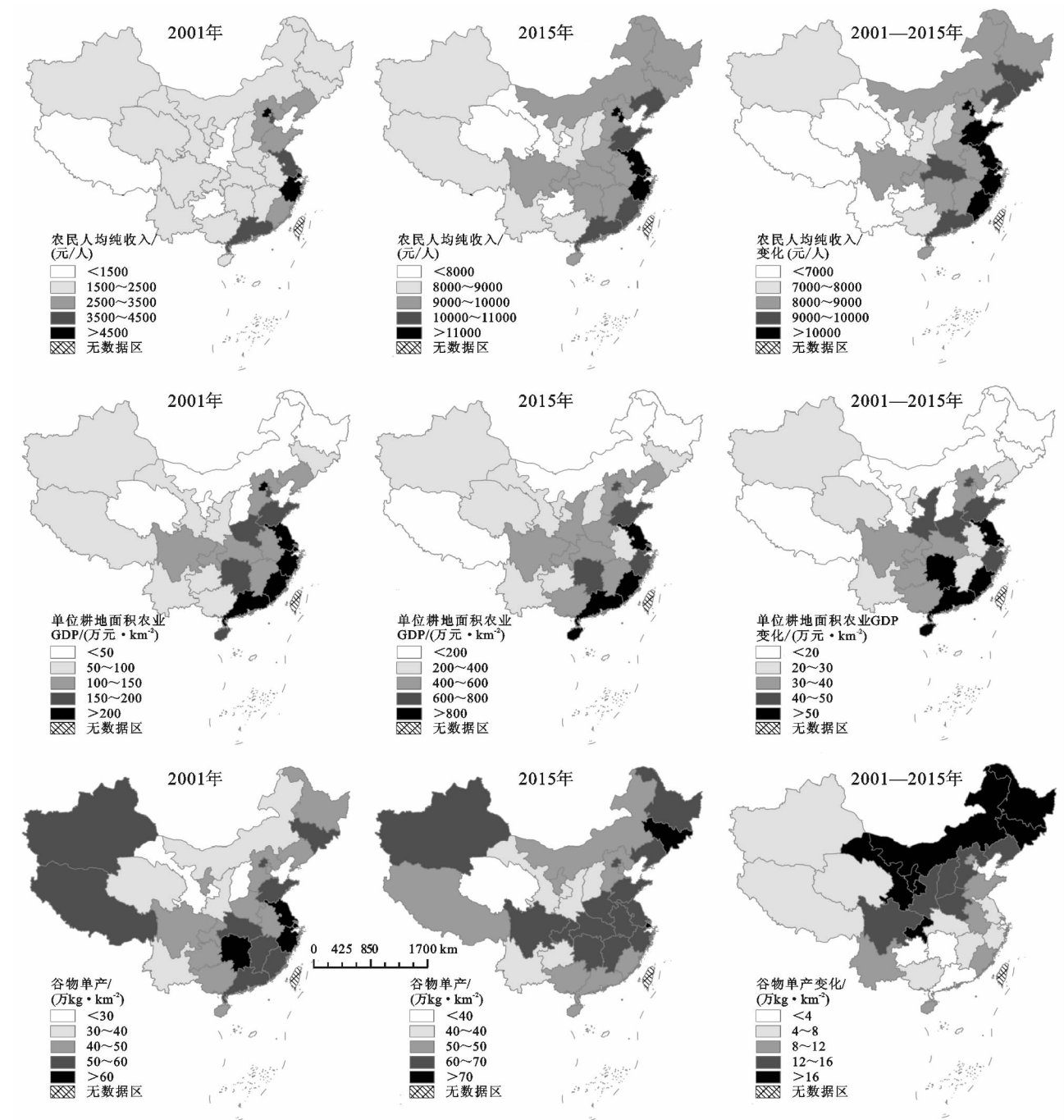


图 2 2001—2015 年我国农业经济时空变化

2.2 我国农业碳排放与农业经济空间相关性分析

2001 年和 2015 年我国农业碳排放强度与农民人均纯收入、单位耕地面积农业 GDP 和谷物单产的 Moran's *I* 指数均大于 0, 这说明农业碳排放强度与农业经济各指标之间均存在空间正相关关系, 其中, 农业碳排放强度与单位耕地面积农业 GDP 空间正相关性较强, 与谷物单产空间正相关性较弱。与 2001

年相比, 2015 年农业碳排放强度与农民人均纯收入、单位耕地面积农业 GDP 和谷物单产的 Moran's *I* 指数较低, 说明受粮食增产压力增大和国家粮食生产重视加强的影响, 全国各地化肥、农药、农膜、农用柴油等使用量均迅速增加, 碳排放强度空间格局差异缩小, 进而降低了碳排放强度空间与农业经济空间相关性(图 3)。

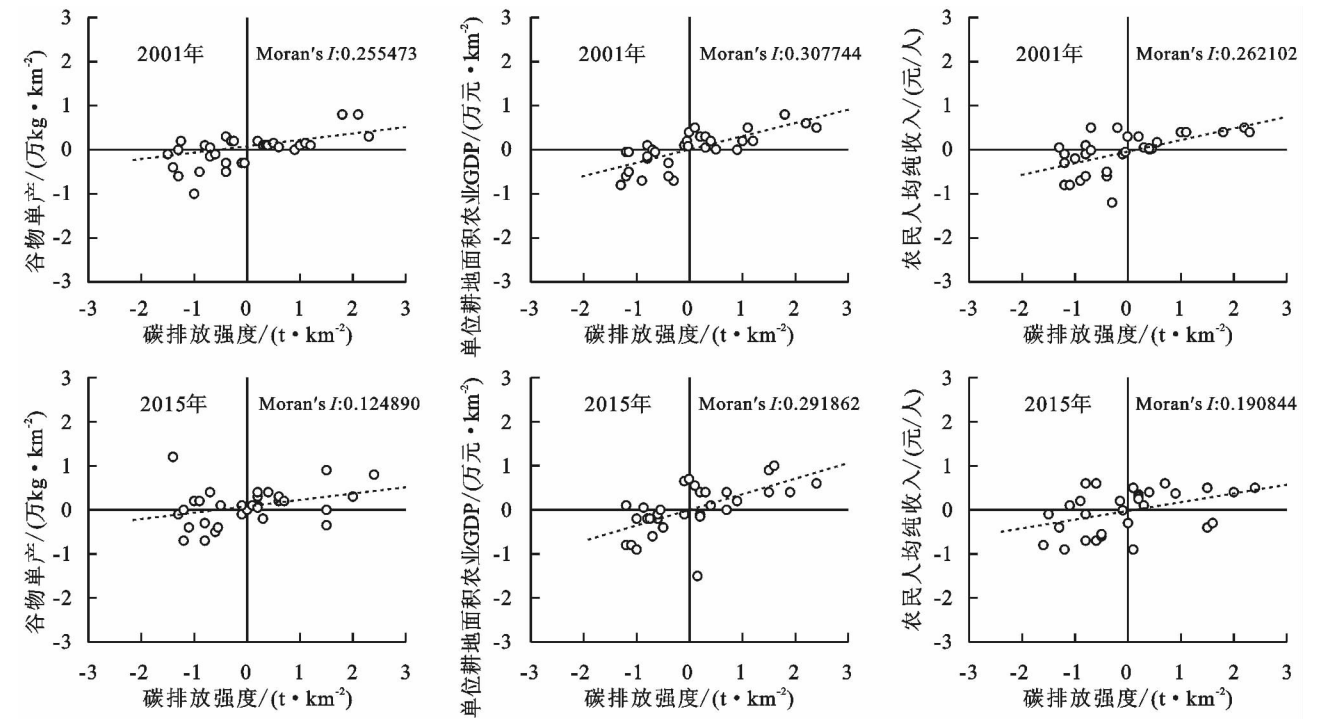


图 3 2001 年和 2015 年我国农业碳排放强度与农业经济全局空间自相关指数

2001—2015 年, 农业碳排放强度变化与农民人均纯收入变化、谷物单产变化的 Moran's *I* 指数小于 0, 与单位耕地面积农业 GDP 变化的 Moran's *I* 指数大于 0, 这说明农业碳排放强度变化与农民人均纯收入变化、谷物单产变化之间为空间负相关关系,

农业碳排放强度变化与单位耕地面积农业 GDP 变化之间为空间正相关关系, 其中, 农业碳排放强度变化与谷物单产变化的空间负相关性较强, 农业碳排放强度变化与农民人均纯收入变化的空间负相关性较弱(图 4)。

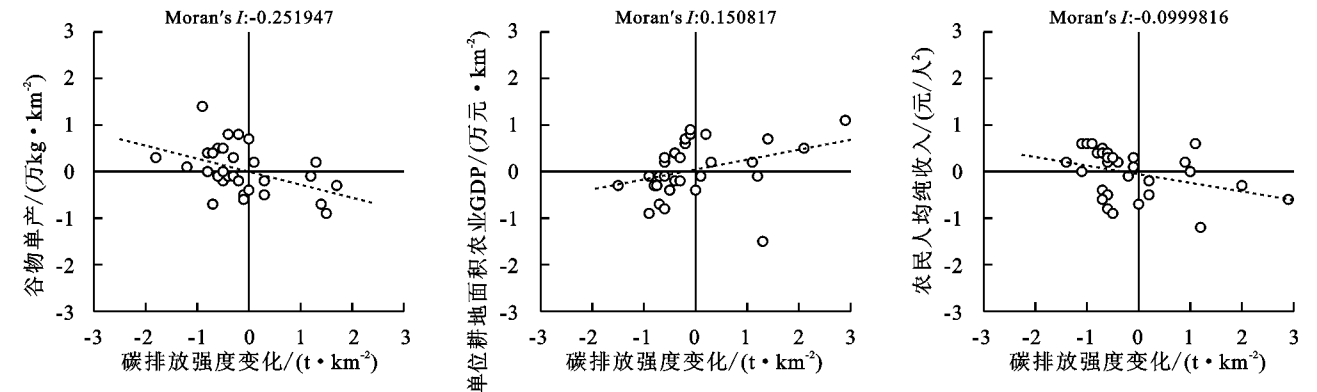


图 4 2001—2015 年我国农业碳排放强度变化与农业经济变化全局空间自相关指数

2001 年农业碳排放强度与农民人均纯收入呈高一高相关的地区为山东、河南、湖北、安徽、江苏、上海、浙江和福建, 呈低—低相关的地区为新疆、青海、

甘肃、四川、重庆和青海, 呈低—高相关的地区为辽宁, 无高一低相关地区。农业碳排放强度与单位耕地面积农业 GDP 呈高一高相关的地区为河南、湖北、湖

南、安徽、江苏、浙江、福建和上海,呈低—低相关的地区为甘肃和四川,呈低—高相关的地区为江西,无高一低相关地区。农业碳排放强度与谷物单产呈高一高相关的地区为江苏、安徽、上海、浙江和福建,呈低—低相关的地区为宁夏、甘肃和四川,呈低—高相关的地区为江西,无高一低相关地区。2015年农业碳排放强度与农民人均纯收入呈高一高相关的地区为河北、河南、山东、湖北、安徽、江苏、上海、浙江和福建,呈低—低相关的地区为甘肃、青海、四川、重庆

和贵州,呈低—高相关的地区为辽宁,无高一低相关地区。农业碳排放强度与单位耕地面积农业GDP呈高一高相关的地区为河南、安徽、江苏、湖北、湖南、上海、浙江和福建,无低—低相关地区,呈低—高相关的地区为广西和江西,呈高一低相关的地区为新疆。农业碳排放强度与谷物单产呈高一高相关的地区为福建和浙江,呈低—低相关的地区为甘肃、宁夏、四川和重庆,呈低—高相关的地区为黑龙江和辽宁,无高一低相关地区(图5)。

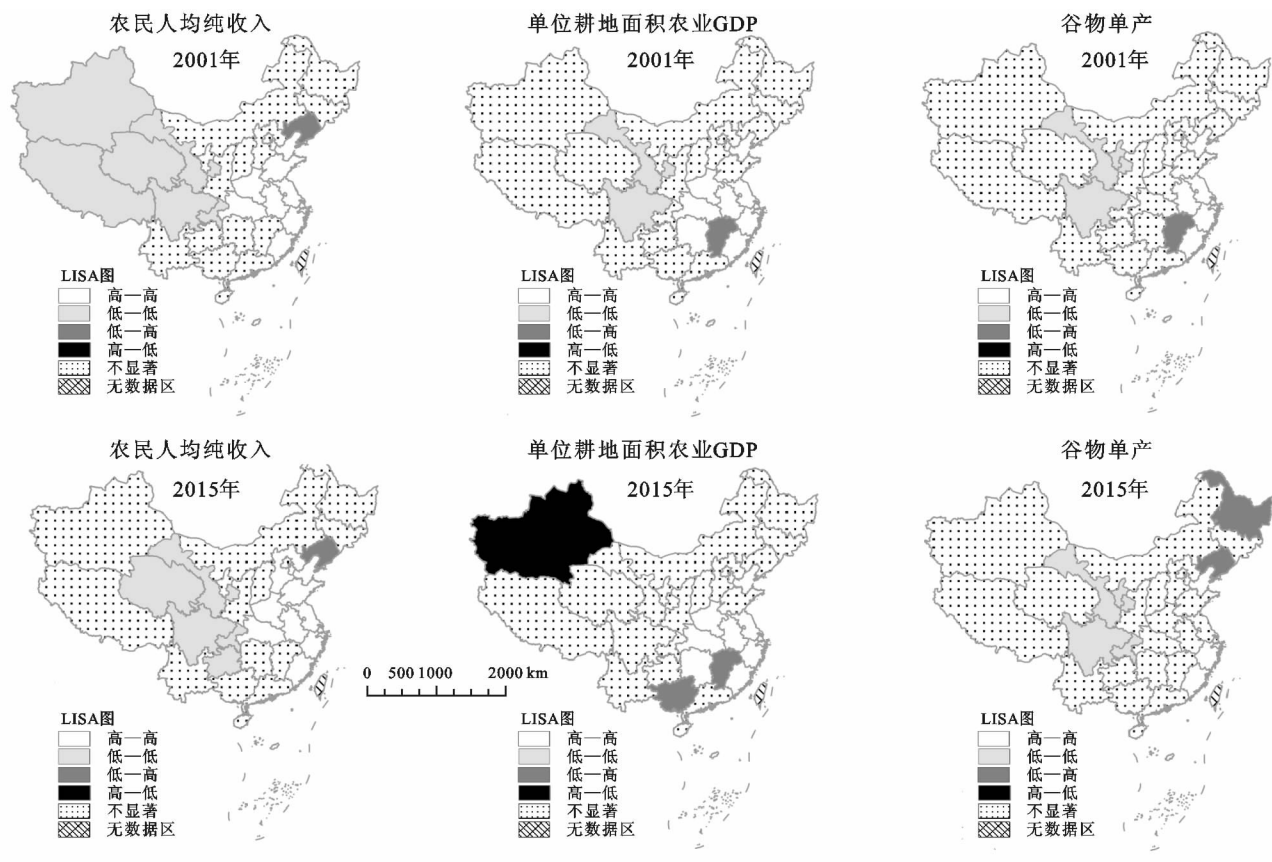


图5 2001年和2015年我国农业碳排放强度与农业经济双变量LISA聚集图

2001—2015年,农业碳排放变化与农民人均纯收入变化呈高一高相关的地区为河北、河南和福建,呈低—低相关的地区为青海、四川、重庆和贵州,呈低—高相关的地区为辽宁、山东、安徽、江苏、湖北、上海和浙江,呈高一低相关的地区为甘肃。农业碳排放变化与单位耕地面积农业GDP变化呈高一高相关的地区为河南、广西、广东、海南和福建,无低—低相关地区,呈低—高相关的地区为安徽、江苏、湖南、湖北、江西、上海和浙江,呈高一低相关的地区为新疆。农业碳排放变化与谷物单产变化呈高一高相关的地区为甘肃,呈低—低相关的地区为安徽、湖南、湖北、江西和浙江,呈低—高相关的地区为内蒙古、黑龙江和吉林,呈高一低相关的地区为福建和海南(图6)。

3 讨论与结论

3.1 讨论

本研究发现2001年和2015年农业碳排放强度与农民人均纯收入、单位耕地面积农业GDP和谷物单产均为空间正相关关系,这与庞丽的研究结果较为一致^[25]。农业碳排放及变化与农业经济及变化的空间相关性,与两者的空间格局是否一致有关,如2001—2015年,我国农业碳排放增加高值区多集中在南方和西北地区,增加低值区多位于东北地区 and 西南地区。而我国谷物单产增加高值区多为东北地区、华北地区和西北部分地区,增加低值区多位于南方地区和西部地区,这就造成农业碳排放和谷物单产增加高值区和低值区的空间不一致,进而导致两者之间出现空间负相关关系。

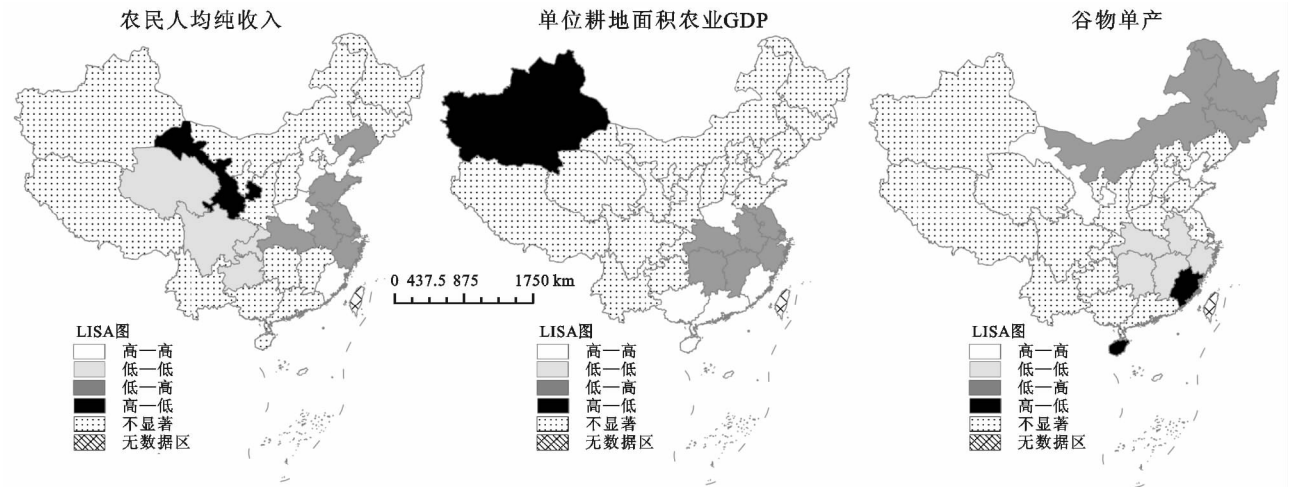


图 6 2001—2015 年我国农业碳排放强度变化与农业经济变化双变量 LISA 聚集图

农业经济水平、农业效率、农业结构和劳动力是影响农业碳排放的重要因素^[26]。本研究选取农民人均纯收入、单位耕地面积农业 GDP 和谷物单产作为农业经济指标,分析了农业经济水平与农业碳排放强度的空间相关性,这将对区域农业经济发展战略制定和环境保护具有一定的指导意义。然而,本研究还未对农业效率、农业结构和劳动力因素与农业碳排放空间相关性进行分析,这将是本研究未来努力的方向。

3.2 结论

(1) 2001 年和 2015 年我国农业碳排放强度、农民人均纯收入和单位耕地面积农业 GDP 呈现东部高、西部低的特点,谷物单产呈现东部、东南、华中、东北较高,西北部、西南部较低的特点。2001—2015 年,我国农业碳排放强度、农民人均纯收入、单位耕地面积农业 GDP 和谷物单产均呈增加趋势,变化区域空间差异较大。

(2) 2001 年和 2015 年我国农业碳排放强度与农民人均纯收入、单位耕地面积农业 GDP 和谷物单产存在空间正相关关系。农业碳排放强度与单位耕地面积农业 GDP 空间正相关性较强,与谷物单产空间正相关性较弱。2001—2015 年,农业碳排放强度变化与农民人均纯收入变化、谷物单产变化存在空间负相关关系,与单位耕地面积农业 GDP 变化存在空间正相关关系。

(3) 2001 年和 2015 年农业碳排放强度与农业经济各指标 LISA 图中,高一高和低一低聚集区占主导地位,高一高聚集区多集中在华北和东南地区,低一低聚集区主要分布在我国西部地区。2001—2015 年,农业碳排放强度变化与农民人均纯收入变化和单位耕地面积农业 GDP 变化 LISA 图中,低一高聚集区较多,主要集中在华北、华中和东南地区。农业碳排放强度变化与谷物单产变化 LISA 图中,低一低聚集区较多,主要分布在华北和华中地区。

参考文献:

- [1] 田云,张俊飏. 农业碳排放国内外研究进展[J]. 中国农业大学学报,2013,18(3):203-208.
- [2] 洪业应. 农业碳排放与经济增长的脱钩效应分析:以重庆市为例[J]. 福建农林大学学报:哲学社会科学版,2014,17(6):38-42.
- [3] 李波. 经济增长与农业碳排放关系的实证研究[J]. 生态环境学报,2012,21(2):220-224.
- [4] 李玉波,许清涛,高标,等. 吉林省农业碳排放与经济增长脱钩关系实证分析[J]. 中国农机化学报,2017,38(2):130-134.
- [5] 高标,房骄,卢晓玲,等. 区域农业碳排放与经济增长演进关系及其减排潜力研究[J]. 干旱区资源与环境,2017,31(1):13-18.
- [6] 李国志,李宗植,周明. 碳排放与农业经济增长关系实证分析[J]. 农业经济与管理,2011,8(4):32-39.
- [7] 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.
- [8] 董明涛. 我国农业碳排放与产业结构的关联研究[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(10):7-12.
- [9] 洪业应. 农业碳排放与经济增长关系的实证研究:基于环境库兹涅茨曲线的检验[J]. 浙江农业学报,2015,27(9):1664-1669.
- [10] 李立,周灿,李二玲,等. 基于投入视角的黄淮海平原农业碳排放与经济发展脱钩研究[J]. 生态与农村环境学报,2013,29(5):551-558.
- [11] 任辉滨,李建民. 燕山—太行山片区农村经济发展与农业碳排放 EKC 曲线研究[J]. 湖北农业科学,2014,53(19):4757-4761.
- [12] 张小平,王龙飞. 甘肃省农业碳排放与经济增长的脱钩研究[J]. 资源开发与市场,2014,30(10):1226-1231.
- [13] 李慧,王云鹏,李岩,等. 珠江三角洲土地利用变化空间自相关分析[J]. 生态环境学报,2011,20(12):1879-1885.

[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(2): 111-120.

[8] 薛德升, 曾献君. 中国人口城镇化质量评价及省际差异分析[J]. 地理学报, 2016, 71(2): 194-204.

[9] 李茂森, 王继军, 陈超, 等. 基于 GIS 的安塞县县南沟流域农用地生态适宜性评价[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 237-242.

[10] 谢高地, 李士美, 肖玉, 等. 碳汇价值的形成和评价[J]. 自然资源学报, 2011, 26(1): 1-10.

[11] 周萍, 刘国彬. 黄土丘陵区流域生物量和气体调节服务功能价值动态变化及评价[J]. 生态经济: 中文版, 2008(3): 26-31.

[12] 国家林业局. 《森林生态系统服务功能评估规范 (LY/T 1721—2008)》[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[13] 李克让. 土地利用变化和温室气体净排放与陆地生态系统碳循环[M]. 北京气象出版社, 2002.

[14] 王正淑, 王继军. 县南沟流域种植业生态价值的测算与分析: 基于碳汇视角[J]. 水土保持研究, 2015, 22(6): 261-266.

[15] Wu T, Yi W, Yu C, et al. Carbon Sequestration by Fruit Trees-Chinese Apple Orchards as an Example [J]. Plos One, 2012, 7(6): e38883.

[16] 国家林业局应对气候变化和节能减排工作领导小组办公室. 造林项目碳汇计量与监测指南[M]. 北京: 中国林业出版社, 2008.

[17] 王正淑, 王继军, 刘佳. 基于碳汇的县南沟流域退耕林地补偿标准研究[J]. 自然资源学报, 2016, 31(5): 779-788.

[18] 程积民, 程杰, 杨晓梅, 等. 黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征[J]. 生态学报, 2012, 32(1): 226-237.

[19] 国家发展改革委应对气候变化司. 2005 中国温室气体清单研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.

[20] 孔正红, 张新时. 安塞纸坊沟流域草地资源利用空间结构及其畜牧业发展潜力[J]. 草地学报, 2004, 12(3): 246-250.

[21] 黄志霖, 傅伯杰, 陈利顶. 黄土丘陵区不同坡度、土地利用类型与降水变化的水土流失分异[J]. 中国水土保持科学, 2005, 3(4): 11-18.

[22] 傅伯杰, 邱扬, 王军, 等. 黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响[J]. 地理学报, 2002, 57(6): 717-722.

[23] 谷树忠, 胡咏君, 周洪. 生态文明建设的科学内涵与基本路径[J]. 资源科学, 2013, 35(1): 2-13.

[24] 许广月. 中国低碳农业发展研究[J]. 经济学家, 2010(10): 72-78.

(上接第 274)

[14] 严凤霞, 张玲玲. 江苏省区域水平与用水效率的空间关联性分析[J]. 华东经济管理, 2015, 29(9): 30-34.

[15] 任家强, 汪景宽, 孔凡文. 基于空间自相关与主成分分析的城市土地集约利用空间差异研究: 以辽宁省为例[J]. 沈阳农业大学学报, 2012, 43(1): 39-43.

[16] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture Ecosystems and Environment, 2002, 91: 217-232.

[17] 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.

[18] Mosier A R, Duxbury J M, Frenney J R, et al. Mitigation Agricultural Emission of Methane[J]. Climatic Change, 1998, 40: 39-80.

[19] 智静, 高吉喜. 中国城乡居民食品消费碳排放对比分析[J]. 地理科学进展, 2009, 28(3): 429-434.

[20] 王文秀, 匡耀求, 黄宁生. 广东省能源消费碳排放空间自相关分析[J]. 环境科学与技术, 2014, 37(3): 180-187.

[21] 官冬杰, 谭静, 张梦婕, 等. 重庆市人口与经济发展空间耦合分布研究[J]. 人文地理, 2017, 32(2): 122-128.

[22] 冯仲科, 毛海颖, 李虹. 环首都圈植被分布与可吸入颗粒物的空间相关性[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 220-227.

[23] 韩会庆, 李松, 俞洪燕. 贵州省贫困发生率与生境退化程度相关性分析[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2017, 40(3): 15-20.

[24] 邵红娟, 蔡广鹏, 韩会庆, 等. 贵州省贫困发生率与生态系统服务价值相关性分析[J]. 水土保持研究, 2016, 23(5): 274-277.

[25] 庞丽. 我国农业碳排放的区域差异与影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(12): 1-7.

[26] 李琦, 韩亚芬. 安徽省农业碳排放的脱钩效应及影响因素研究[J]. 安徽农业大学学报: 社会科学版, 2016, 25(2): 29-35.