

张余, 姜博, 赵映慧. 基于 VAR 模型的广东省土地利用碳排放影响因素研究 [J]. 福建农业学报, 2022, 37 (8): 1100–1108.  
ZHANG Y, JIANG B, ZHAO Y H. VAR Analysis on Factors Affecting Carbon Emissions from Land Use in Guangdong [J]. Fujian Journal of Agricultural Sciences, 2022, 37 (8): 1100–1108.

## 基于 VAR 模型的广东省土地利用 碳排放影响因素研究

张 余, 姜 博<sup>\*</sup>, 赵映慧

(东北农业大学公共管理与法学院, 黑龙江 哈尔滨 150000)

**摘要:**【目的】分析广东省土地利用碳排放的影响因素, 为广东省碳排放管理提供一定的科学依据。【方法】基于广东省1996—2017年的土地利用现状及社会经济统计数据, 构建VAR(向量自回归模型), 通过格兰杰因果分析、脉冲响应和方差分解, 对广东省土地利用碳排放影响因素进行定量分析。【结果】近20年来, 广东省土地利用碳排放整体上呈上升趋势; 人均GDP, 土地利用强度和能源强度与土地利用碳排放呈正相关, 土地利用结构和产业结构与土地利用碳排放呈负相关; 影响因子贡献率由大到小分别为: 土地利用强度>产业结构>能源强度>人均GDP>土地利用结构。【结论】调整产业结构, 推动能源结构转变, 优化土地利用结构是目前广东省实现碳减排的关键。

**关键词:** 土地利用强度; 碳排放; 经济增长; VAR模型; 广东省

中图分类号: X 24; F 301.24; F 127

文献标志码: A

文章编号: 1008-0384 (2022) 08-1100-09

## VAR Analysis on Factors Affecting Carbon Emissions from Land Use in Guangdong

ZHANG Yu, JIANG Bo<sup>\*</sup>, ZHAO Yinghui

(School of Public Administration and Law, Northeast Agricultural University, Harbin, Heilongjiang 150030, China)

**Abstract:**【Objective】Factors that affected the carbon emissions from land use in Guangdong Province were analyzed for improved environmental management. 【Methods】Based on the 1996-2017 statistics, a vector autoregression (VAR) model was constructed for the carbon emissions in Guangdong. Using Granger causality analysis, impulse response, and variance decomposition, the impact of land uses on the carbon emission in the province was quantitatively analyzed. 【Results】In the past two decades, the overall carbon emission from varied land uses in the province was on an upward trend. The per capita GDP, land use intensity, and energy intensity positively, but the structures of land use and industry negatively, correlated with the carbon emission. The contribution rates of those factor ranked by magnitude were land use intensity>industrial structure>energy intensity>per capita GDP>land use structure. 【Conclusion】It appeared that fostering transformation on energy structure and optimizing structure of land uses were the key maneuvers the province needs to consider in order to realize substantial reduction on carbon emission.

**Key words:** Land use intensity; carbon emissions; economic growth; VAR; Guangdong Province

## 0 引言

**【研究意义】**随着温室效应引起的全球变暖、极端天气等环境问题的日益严峻, 控制和减少碳排放是世界各国促进生态平衡和实现经济可持续发展的重要举措<sup>[1]</sup>。《“十四五”规划和2035年远景目标

纲要》提出要积极应对气候变化, 加快推动绿色低碳发展, 并制定2030年前碳排放达峰行动方案, 采取更加强有力的措施和政策, 努力争取到2060年实现碳中和。而广东省作为连续32年领跑全国GDP总量的第一经济大省和碳排放大省, 以“牺牲”环境来发展经济的方式导致经济发展与环境保护矛盾日益

收稿日期: 2021-10-23 初稿; 2022-03-30 修改稿

作者简介: 张余(1996-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 土地利用与区域经济(E-mail: Zy245656558@163.com)

\*通信作者: 姜博(1979-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 城市与区域发展(E-mail: jiangbo\_1979@163.com)

基金项目: 东北农业大学国土空间规划与管理学科团队项目(54940512); 黑龙江省自然科学基金(G2018003)

尖锐，在经济新常态的背景下，如何在保持经济快速增长的同时走低碳发展道路，是目前广东省碳减排工作面临的巨大挑战。在此背景下，探究广东省土地利用碳排放的影响因素及其影响方向与程度，对广东省制定科学碳减排措施具有重要的现实意义。【前人研究进展】已有研究表明，土地利用变化改变了地表覆被成为造成温室气体排放的重要来源之一<sup>[2]</sup>，在过去几十年，大气中约有 45% 的二氧化碳排放来源于化石燃料和土地利用变化<sup>[3]</sup>。因此，对土地利用碳排放相关研究成为了热点话题。国外有关土地利用碳排放的研究要早于我国，研究主要集中在土地利用碳排放机理及其核算方面<sup>[4-7]</sup>。而国内土地利用碳排放起步较晚，主要集中在土地利用碳排放核算及效应研究<sup>[8-10]</sup>；土地利用碳排放影响因素研究<sup>[11-13]</sup>；经济发展与土地利用碳排放关系研究<sup>[14-15]</sup>等方面。这些研究大多数是在不同土地利用方式碳排放核算结果的基础上进一步的深化和拓展。影响因素研究方法多基于 KAYA 恒等式，或者改进 KAYA 恒等式进行因素分解，常用的分解模型有 LMDI 模型和 STIRPAT 模型<sup>[16-17]</sup>。还有学者利用向量自回归模型（VAR）探究经济发展、能源消费、技术进步等因子对碳排放的影响<sup>[18-22]</sup>，为环境领域影响因素研究方法提供了新思路。国内外相关文献资料丰富且各具特色，总体上呈现研究尺度多元化、研究方法模型多样化等特点。【本研究切入点】目前基于 VAR 模型研究多集中在能源消费碳排放领域，且对碳排放的影响集中某些特定因素<sup>[15]</sup>，同时对广东省土地利用碳排放研究多集中在土地利用碳排放特征及其空间分异<sup>[21-22]</sup>、经济发展与碳排放脱钩关系<sup>[23]</sup>，对广东省土地利用碳排放影响因素选取不够全面。利用 VAR 模型多维度分析广东省土地利用碳排放影响程度及方向，能更全面地呈现广东省土地利用碳排放影响因素，为广东省科学制定土地利用碳减排政策提供一些参考。【拟解决的关键问题】基于现有研究基础上，本研究通过构建 VAR 模型，综合分析广东省土地利用碳排放与影响因素之间的关系，探究其影响程度及方向，以期为广东省碳排放管理提供科学依据。

## 1 研究方法和指标选取

### 1.1 研究方法

#### （1）土地利用碳排放测算

包括直接碳排放和间接碳排放测算。本文的直接碳排放主要是指耕地、园地、林地、草地的碳排放。根据以往的研究成果<sup>[10,24]</sup>，碳排放系数分别为：0.422 tC·hm<sup>-2</sup>、0.21 tC·hm<sup>-2</sup>、-0.644 tC·hm<sup>-2</sup>、-0.022

tC·hm<sup>-2</sup>，负值代表碳吸收。公式如下：

$$CE_a = \sum \alpha_i \times S_i$$

其中， $CE_a$ 是耕地、园地、林地、草地的碳排放总量， $\alpha_i$ 是指第  $i$  种地类的碳排放系数， $S_i$ 是第  $i$  种地类的面积。

本文建设用地碳排放的测算选择广东省的主要的使用能源进行间接估算。其标准煤折算系数及碳排放系数见表 1，公式如下：

$$CE_b = \sum \beta_j \times A_j \times R_j$$

其中， $CE_b$ 是建设用地碳排放量， $\beta_j$ 是第  $j$  种化石能源的碳排放系数， $A_j$ 是指第  $j$  种化石能源消费量， $R_j$ 是第  $j$  种能源的标准煤折算系数。

表 1 能源标准煤折算系数与碳排放系数

Table 1 Conversion coefficients of energy standard coal and carbon emission

能源种类 Energy type	标准煤折算系数 Standard coal conversion factor/tec	碳排放系数 Carbon emission factor/ (tC·tec <sup>-1</sup> )
原煤 Raw coal/t	0.7143	0.7559
焦煤 Coking coal/t	0.9714	0.8550
原油 Crude oil/t	1.4286	0.5857
汽油 Gas oil/t	1.4714	0.5538
煤油 Kerosene/t	1.4714	0.5714
柴油 Diesel/t	1.4571	0.5921
燃料油 Fuel oil/t	1.4286	0.6185
液化石油气 LPG/t	1.7143	0.5042
炼厂干气 Refinery dry gas/t	1.5714	0.4602
其他石油制品 Other petroleum products/t	1.2000	0.5857
天然气 Natural gas/(10 <sup>3</sup> ·m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	12.1430	0.4483

能源标准煤折算系数与碳排放系数分别参考《中国能源统计年鉴》和 IPCC《国家温室气体排放清单指南》（2006年）。Conversion calculations according to China Energy Statistical Yearbook and IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Emission Inventory (2006).

#### （2）VAR 模型

向量自回归模型（Vector Auto-regression Model, VAR）由 Christopher Sims 提出，可以通过不同时间序列的当期数据与往期数据之间建立回归方程，估计各个变量之间的动态影响<sup>[20]</sup>。本文选取土地利强度、人均 GDP 的对数作为解释变量，地均土地利用碳排放的对数作为被解释变量引入模型，从而分析土地利用强度、经济发展对土地碳排放的动态影响，其基本模型如下：

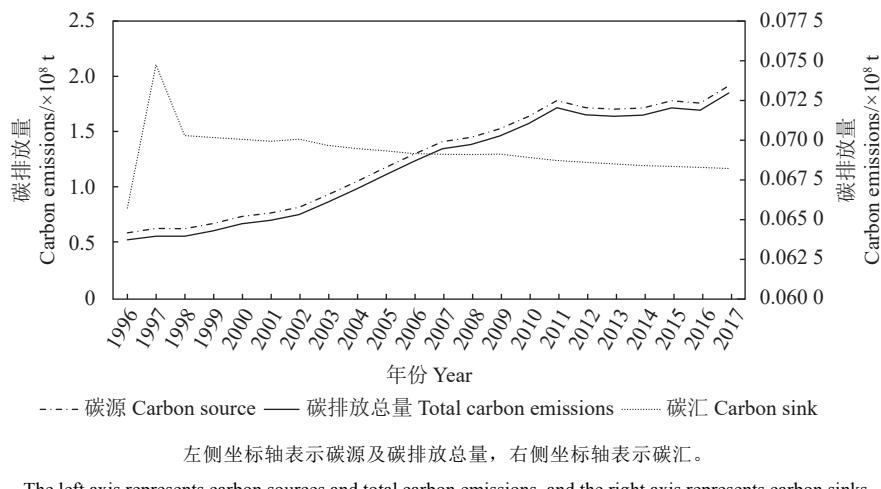
$$Y_t = \lambda_1 Y_{t-1} + \lambda_2 Y_{t-2} + \dots + \lambda_p Y_{t-p} + \varepsilon$$

其中,  $Y_t = (\ln LCE_t, \ln LAt, \ln GDP_t)$ ,  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_p$  是  $3 \times 3$  维的系数矩阵;  $E_t$  是  $3 \times 1$  维的向量, 代表随机误差项。 $t=1, 2, 3, \dots, 22$ 。

## 1.2 指标选取

本文参考文献 [24–25], 从土地利用和经济社会发展视角, 结合广东省实际情况和数据的可获取性, 选取了土地利用强度 (LA)、土地利用结构 (LUS)、人均 GDP (GDP)、能源强度 (EGDP) 和产业结构 (IS) 等指标。人均 GDP 可以体现一个地区经济发展状况, 反映其经济发展实力, 经济发展越好, 所要消耗的资源与能源越多, 必然会引起土地利用碳排放的增长, 为了消除通货膨胀的影响, 人均 GDP 按 1978 年不变价进行平减; 土地利用

综合程度指数来表征土地利用强度, 土地利用强度越高, 说明区域土地开发与利用越多, 各地类间转换明显, 对碳排放的影响也越大; 由于建设用地为最主要的碳源, 建设用地在土地总面积中比例强度越大, 造成的碳排放越多, 因此土地利用结构用建设用地与土地总面积的比值来表征; 单位 GDP 能耗表征能源强度, 能源强度越大, 说明生产一单位 GDP 所需的能源消耗就越大, 从而导致碳排放的增加; 产业结构为第二产业与第三产业占比。第二产业发展需要消耗大量的能源, 将产生大量的能源消耗碳排放, 第二产业比重较高, 说明能源消耗碳排放就越高。地均碳排放 LCE 为  $CE_a, CE_b$  之和除以土地总面积。各变量情况见图 1、表 2。



The left axis represents carbon sources and total carbon emissions, and the right axis represents carbon sinks.

图 1 1996—2017 年广东省土地利用碳排放

Fig. 1 Carbon emissions from land use in Guangdong from 1996 to 2017

表 2 变量土地利用强度、经济发展与土地碳排放描述性统计  
Table 2 Descriptive statistics of variable land use intensity, economic development, and land carbon emissions

变量 Variable	均值 Mean	最大值 Max	最小值 Min	标准差 Standard deviation
地均碳排放 $LCE / (t \cdot hm^{-2})$	8672.39	9209.81	7818.10	509.91
人均 GDP $GDP/yuan$	27442.80	55028.41	9157.00	14948.34
能源强度 $EGDP / (t \text{ standard coal}/10000 \text{ yuan})$	2.13	2.94	1.51	0.42
产业结构 $IS$	0.43	0.52	0.34	0.05
土地利用结构 $LUS$	0.09	0.11	0.06	0.01
土地利用强度 $LA$	213.96	219.81	190.29	6.99

从广东省土地利用碳排放核算结果来看, 1996—2017 年土地利用碳排放总量经历上升、下降再上升的变化过程, 整体上呈上升趋势; 碳源排放变动趋势基本与碳排放总量一致; 碳汇排放整体上呈下降的趋势, 但变动幅度较小。在碳源排放中, 建设用地碳排放是主要来源, 逐渐增加的碳源排放没有相

应多的碳汇去抵消, 容易导致碳平衡失衡, 碳排放总量增加。因此, 广东省节能减排工作已经刻不容缓。

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

广东省地处中国大陆最南部。全省土地总面积

17.98 万 km<sup>2</sup>, 约占全国陆地面积的 1.85%; 其中全省农用地面积为 14.94 万 km<sup>2</sup>, 占土地总面积的 83.09%; 建设用地面积为 1.72 万 km<sup>2</sup>, 占土地总面积的 9.54%, 未利用地 1.32 万 km<sup>2</sup>, 占土地总面积的 7.34%。1996-2005 年期间, 广东省耕地面积年均减少 0.034 万 km<sup>2</sup>, 建设用地增加 0.29 万 km<sup>2</sup>。广东是中国国内人多地少的省份之一, 2017 年广东省地区生产总值为 89 705.23 亿元, 与 1996 年相比增长了 82 857 亿元, 年均增长率约为 13%; 2017 年人均地区生产总值为 80 932 元, 与 1996 年相比增长了 71 775 元, 年均增长率约为 10.9%。

## 2.2 数据来源

广东省 1996-2017 年的土地利用现状、经济发展、能源消费等数据来源于广东省自然资源厅官网以及《广东省国土资源统计年鉴》《广东统计年鉴》《中国能源统计年鉴》。

## 3 实证分析

### 3.1 ADF 单位根检验

由于建立 VAR 模型需要变量都是平稳变量, 且时间序列的非平稳性会导致后期建模产生虚假回归现象, 因此, 在建模之前, 需要对广东省土地利用各指标取对数之后进行 ADF 单位根检验。从表 3 可以看出, 所有变量对数在一阶差分之后是平稳的, 因此可以构建 VAR 模型。

### 3.2 协整方程建立

在建立协整方程之前, 增强参数的解释性, 要确定最佳滞后阶数和检验模型的稳定。本文采用似然比统计量 (LR)、最终预测误差统计量 (FPE)、赤池信息准则统计量 (AIC)、施瓦茨信息统计量 (SC)、汉南—奎因信息准则统计量 (HQ) 来确定模型的最佳滞后阶数, 从表 4 中可以看出, 各准则选出的滞后阶数中 2 阶的个数最多, 因此能够建立最佳滞后阶数为 2 的 VAR (2), 根据特征根检验结果 (图 2) 可以看出, 全部的点都在单位圆内, 说明 VAR (2) 模型是稳定的。

由于所有变量都是一阶单整, 因此可以建立协整检验。从表 5 可以看出, 给定 5% 显著性水平, 变量间存在 6 个协整关系, 通过 Eviews 软件, 得到标准化的协整方程:

$$\begin{aligned} \text{LnLCE} = & 0.1513 \text{LnGDP} + 0.1518 \text{LnLA} - \\ & 0.1935 \text{LnLUS} - 0.0808 \text{LnIS} + \\ & 0.0304 \text{LnEGDP} + 6.3131 \end{aligned}$$

从协整方程可以看出, 人均 GDP, 土地利用强度和能源强度与地均利用碳排放呈正相关, 土地利

表 3 单位根检验结果

Table 3 Unit root test results

序列 Sequence	ADF 检验 ADF test	1% 临界值 1% threshold	5% 临界值 5% threshold	10% 临界值 10% threshold	结果 Result
LnLCE	-1.852 3	-3.7880	-3.0124	-2.6461	非平稳
LnGDP	-1.544 1	-4.4983	-3.6584	-3.2690	非平稳
LnLA	-3.198 0	-4.4983	-3.6584	-3.2690	非平稳
LnLUS	-1.701 2	-4.4983	-3.6584	-3.2690	非平稳
LnIS	-3.016 4	-4.4983	-3.6584	-3.2690	非平稳
LnEGDP	-2.813 4	-4.5716	-3.6908	-3.2869	非平稳
ΔLnLCE	-3.894 1	-4.4983	-3.6584	-3.2690	** 平稳
ΔLnGDP	-4.385 9	-4.6679	-3.7332	-3.3103	** 平稳
ΔLnLA	-12.009 0	-4.4983	-3.6584	-3.2690	** 平稳
ΔLnLUS	-5.721 8	-4.4983	-3.6584	-3.2690	** 平稳
ΔLnIS	-2.052 8	-2.6857	-1.9591	-1.6075	** 平稳
ΔLnEGDP	-6.370 4	-4.4983	-3.6584	-3.2690	** 平稳

\* 表示 1% 显著水平; \*\* 表示 5% 显著水平; \*\*\* 表示 10% 显著水平。

\* at 1% significant level; \*\* at 5% significant level; \*\*\* at 10% significant level.

表 4 最佳滞后阶数的选择

Table 4 Selection of optimal lag order

滞后阶数 Lag order	LOGL	LR	FPE	AIC	SC	HQ
0	220.9553	NA	0.0000	-21.4955	-21.1968	-21.4372
1	384.6752	212.8358	0.0000	-34.2675	-32.1765	-33.8593
2	470.3642	59.9823*	1.6e-24*	-39.2364*	-35.3531*	-38.4784*

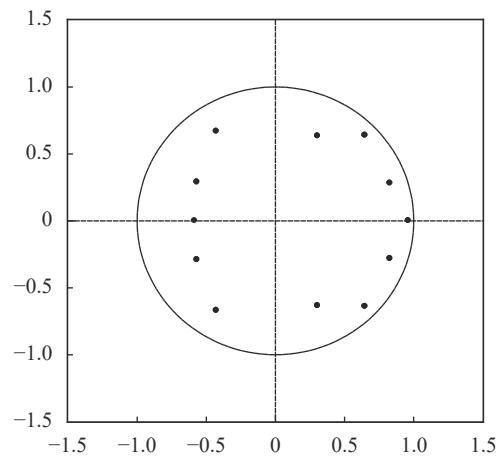


图 2 VAR 模型的 AR 根检验

Fig. 2 AR root test of VAR model

用结构和产业结构与地均利用碳排放呈负相关。其中, 人均 GDP 与土地利用强度对地均土地利用碳排放的影响相当, 土地利用结构对地均土地利用碳排

表 5 Johansen 协整检验结果  
Table 5 Johansen cointegration test results

假定协整数量 Assumed cointegration number	迹统计量 Trace statistics	5%临界值 5% threshold	最大特征值统计量 Largest eigenvalue statistic	5%临界值 5% threshold
无 Nothing	245.6617	103.8473	78.0065	40.9568
最多一个 At most one	167.6552	76.9728	54.9164	34.8059
最多二个 Up to two	112.7388	54.0790	43.419	28.5881
最多三个 Up to three	69.3269	35.1928	35.9915	22.2996
最多四个 Up to four	33.3354	20.2618	23.1432	15.8921
最多五个 Up to five	10.1923	9.1645	10.1923	9.1645

放的影响最大，而能源结构影响相对较小。

### 3.3 格兰杰因果关系检验

为了探究进一步变量之间的关系，对 VAR 模型进行因果关系检验，检验结果见表 6。

从检验结果可以看出，给定 10% 显著性水平，LNLA、LNLUS、LNIS 均与 LNLCE 的互为因果关系，而 LNGDP 和 LNEGDP 并非 LNLCE 的格兰杰原因。但从间接角度看，LNGDP 是 LNLUS、LNIS 的格兰杰原因，且 LNEGDP 是 LNLA、LNLUS、LNIS 的格兰杰原因，因此可以看出 LNGDP 和 LNEGDP 对 LNLCE 有着间接的因果关系。这说明，经济发展与能源强度通过土地利用强度、土地利用结构和产业结构间接对土地利用碳排放产生影响。

土地利用强度和结构以及产业结构都以经济发展为前提，经济发展带动城市化、工业化进程加快，而土地一直是生产生活活动的载体，一方面经济发展带来土地利用强度的增加，也就意味着人类对土地的劳动和资本投入越多，建设用地占比越高，对碳排放的影响也将加大；另一方面经济快速发展使得能源强度不断增强，第二产业比重不断加大，加快了能源消耗碳排放速率。

### 3.4 脉冲响应

在构建 VAR 模型的基础上，选取 15 期为滞后期，利用脉冲响应函数分析变量对土地利用碳排放的动态影响。脉冲响应果如图 3 所示。其中横坐标表示冲击后的滞后期数，纵坐标表示变量对冲击的响应程度，中间曲线表示脉冲响应函数，两边表示两倍标准差范围。

从图 3 可以看出，当受人均 GDP 一单位的标准差冲击，地均土地利用碳排放受到的影响多为正向冲击，且反应迅速，在第 3 期左右上升为正向最大，随后开始下降，并在第 9 期左右转变为负向并趋于平缓，这说明随着经济发展到一定阶段之后，经济发展将有利于抑制土地利用碳排放的增长，证明广东省人均 GDP 与地均土地利用碳排放存在 ECK

现象，与已有结论<sup>[26]</sup>一致。

从图 4 可以看出，受土地利用强度一单位的标准差冲击后，地均土地利用碳排放受到的影响短期为负，长期为正。这说明在土地利用初期，土地利用强度较小，利用过程中产生的能源消耗较小，因此对土地利用碳排放的影响相对较小，但从长期来看，随着土地利用强度的不断加大，意味着对土地投入的资本与资源越多，从而促进土地利用碳排放的增长。

从图 5 可以看出，受土地利用结构一单位的标准差冲击，地均土地利用碳排放受到的影响多为负向冲击，且负向冲击反应较慢并呈现逐渐降低最后平稳的趋势。从长期来看，随着土地利用结构中建设用地比例的不断上升，意味着其建设过程中资源、能源消耗也在不断上升，从而导致土地利用碳排放增长。

从图 6 可以看出：受产业结构一单位的标准差冲击，地均土地利用碳排放受到的影响短期为负，中期为正，长期有着负向趋势。初期，经济迅速发展，第二产业占比不断上升，导致能源消耗不断增长，进而促进土地利用碳排放量上升，从长期来看，随着产业结构的不断优化，第三产业占比逐渐上升，高耗能产业占比下降，从而有利于抑制土地利用碳排放的增加。

从图 7 可以看出，受能源强度一单位的标准差冲击，地均土地利用受到的影响短期为正，长期为负。经济发展初期，经济发展方式粗放，能源强度高，且高碳排放能源使用率高，因此将促进土地利用碳排放的增长，但随着能源供给侧改革，清洁能源等低碳资源使用强度的上升，开始减少土地利用碳排放，长期将抑制土地利用碳排放的增长。

### 3.5 方差分解

方差分解是通过把变量冲击进行方差分解来研究各个变量冲击的相对比例，从而可以将不同变量的影响程度和贡献度进行排名与比较。方差分解结果图 8 可知，各影响因子变化程度可以分为三个阶

表6 格兰杰因果检验结果  
Table 6 Granger Causality test results

变量关系 Variable relationship	原假设 Null hypothesis	F统计量 F statistic	Prob	结论 Conclusion
LnLCE与各影响因子间的因果关系检验 The causal relationship test between LnLCE and various influencing factors	LnGDP不是LnLCE的格兰杰原因 LnGDP is not the Granger reason for LnLCE	1.3502	0.2604	Accept
	LnLCE不是LnGDP的格兰杰原因 LnLCE is not the Granger reason for LnGDP	13.8457	0.0016	***Reject
	LnLA不是LnLCE的格兰杰原因 LnLA is not the Granger reason for LnLCE	20.3356	0.0003	***Reject
	LnLCE不是LnLA的格兰杰原因 LnLCE is not the Granger reason for LnLA	5.03462	0.0377	***Reject
	LnLUS不是LnLCE的格兰杰原因 LnLUS is not the Granger reason for LnLCE	11.1064	0.0037	***Reject
	LnLCE不是LnLUS的格兰杰原因 LnLCE is not the Granger reason for LnLUS	9.36186	0.0067	***Reject
	LnIS不是LnLCE的格兰杰原因 LnIS is not the Granger reason for LnLCE	3.53485	0.0552	***Reject
	LnLCE不是LnIS的格兰杰原因 LnLCE is not the Granger reason for LnIS	3.0075	0.0797	***Reject
	LnEGDP不是LnLCE的格兰杰原因 LnEGDP is not the Granger reason for LnLCE	0.0396	0.8444	Accept
	LnLCE不是LnEGDP的格兰杰原因 LnLCE is not the Granger reason for LnEGDP	0.9078	0.3533	Accept
LnGDP、LnEGDP对其他因子的因果关系检验 The causal relationship test of LnGDP and LnEGDP to other factors	LnGDP不是LnLA的格兰杰原因 LnGDP is not the Granger reason for LnLA	0.2407	0.7891	Accept
	LnGDP不是LnLUS的格兰杰原因 LnGDP is not the Granger reason for LnLUS	13.5481	0.0004	***Reject
	LnGDP不是LnIS的格兰杰原因 LnGDP is not the Granger reason for LnIS	5.8825	0.0130	***Reject
	LnEGDP不是LnLA的格兰杰原因 LnEGDP is not the Granger reason for LnLA	9.9247	0.0055	***Reject
	LnEGDP不是LnLUS的格兰杰原因 LnEGDP is not the Granger reason for LnLUS	5.3968	0.0321	***Reject
	LnEGDP不是LnIS的格兰杰原因 LnEGDP is not the Granger reason for LnIS	6.5393	0.0198	***Reject

\*表示1%显著水平；\*\*表示5%显著水平；\*\*\*表示10%显著水平。

\* means 1% significant level; \*\* means 5% significant level; \*\*\* means 10% significant level.

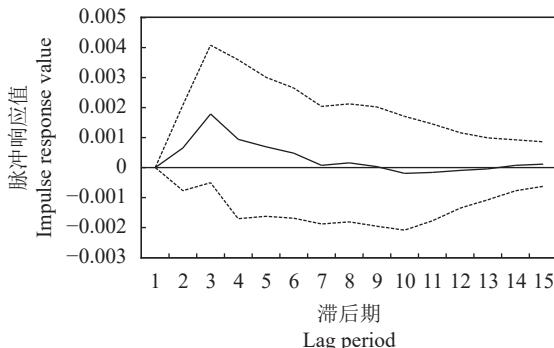


图3 地均土地利用碳排放对人均GDP的脉冲响应

Fig. 3 Impulse response of LNLCE to LNGDP

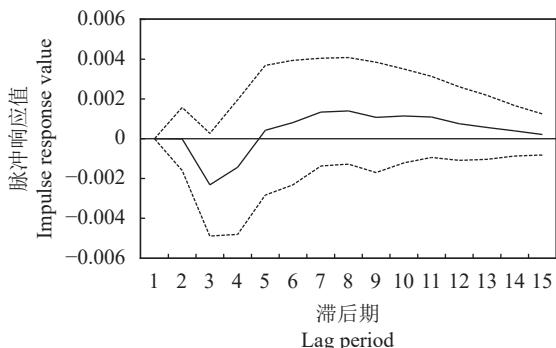


图4 地均土地利用碳排放对土地利用强度的脉冲响应

Fig. 4 Impulse response of LNLCE to LNLA

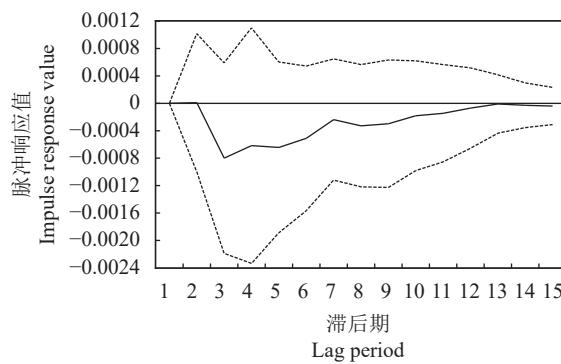


图5 地均土地利用碳排放对土地利用结构的脉冲响应

Fig. 5 Impulse response of LNLCE to LNLUS

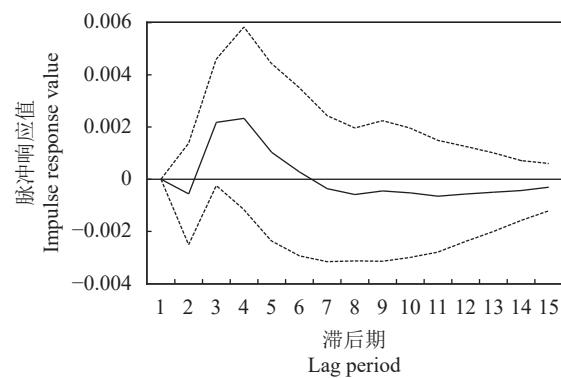


图6 地均土地利用碳排放对产业结构的脉冲响应

Fig. 6 Impulse response of LNLCE to LNIS

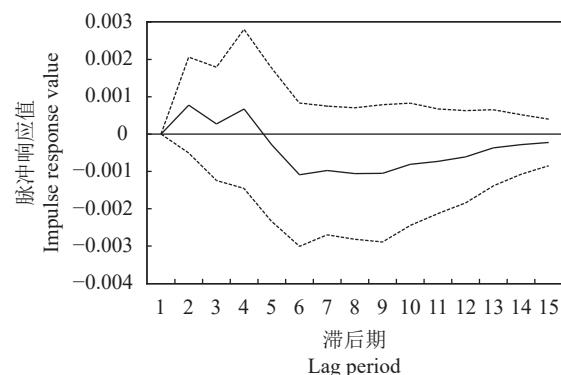


图7 地均土地利用碳排放对能源强度的脉冲响应

Fig. 7 Impulse response of LNLCE to LNEGDP

段，首先，从第二期来看，对地均土地利用碳排放贡献最大的是能源强度，其次是人均 GDP 与产业结构，土地利用强度与土地利用结构对地均土地利用碳排放的贡献较小；从第 2—9 期来看，各影响因子贡献程度出现变化，产业结构、人均 GDP 和土地利用结构贡献率不断上升，土地利用强度和能源强度贡献率出现短暂下降后上升，产业结构成为主要影响因素；滞后期到第 9 期之后，各影响因子方差贡献率趋于平稳，整体上对地均土地利用碳排放的影响从大到小依次为土地利用强度、产业结构、能源

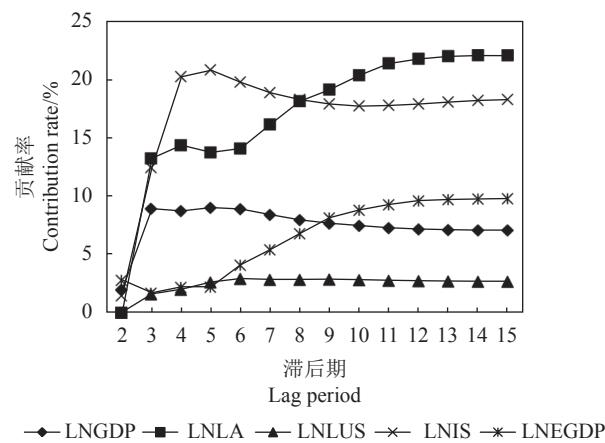


图8 地均土地利用碳排放的方差分解

Fig. 8 Variance decomposition of LNLCE

强度、人均 GDP 和土地利用结构。

## 4 结论与展望

### 4.1 结论

本文在测算出 1996-2017 年广东省土地利用碳排放的基础之上，利用 VAR 模型对 1996-2017 年广东省土地利用碳排放影响因子进行实证分析，结果表明：

(1) 1996-2017 年广东省土地利用碳排放总量整体上呈上升趋势，建设用地是主要碳源，碳源排放远高于碳汇排放，导致广东省碳平衡失衡，节能减排工作任务艰巨。

(2) 从格兰杰因果检验来看，广东省土地利用强度、土地利用结构、产业结构与地均土地利用碳排放互为因果关系，而人均 GDP 和能源强度对地均土地利用碳排放有着间接的因果关系。

(3) 从脉冲响应结果来看，土地利用强度的增长意味着对土地利用投入的资本与资源的增长，使得土地利用碳排放也不断增长；而人均 GDP 与土地利用碳排放呈正相关，人均 GDP 对土地利用碳排放影响最后稳定在 7% 左右；能源强度则与土地利用碳排放呈现正相关，但如果在能源利用中提升清洁能源的强度，将有利于抑制土地利用碳排放的增长；产业结构不断优化，提高第三产业比重，充分发挥第三产业在节能减排中的优势，将利于土地利用碳排放减少；土地利用结构与地均土地利用碳排放呈负相关，但其贡献程度相对较小。

(4) 从方差分解结果来看，对土地利用碳排放影响贡献程度从大到小依次为：土地利用强度>产业结构>能源强度>人均 GDP>土地利用结构。

### 4.2 展望

本文通过构建 VAR 模型来全面分析广东省土地利用碳排放影响因素，所得的有关结论有利于为广

东省碳排放管理以及“十四五”减排目标实现提供一定的科学依据，但是本文选用的样本区间是1996-2017年，对于时间序列数据来说属于是小样本，且在研究过程中仅针对广东省整体情况进行研究，未考虑广东省各个地级市情况，不能很好地展现广东省各地级市碳排放主要影响因素的具体情况。因此，未来研究可以在拓宽数据样本的同时，深入考虑各个地级市的实际情况，分析各地级市影响土地利用碳排放变化的因素，并进行横向比较或是差异性分析，从而有针对性地提出一些碳减排措施，为广东省分区制定科学的碳排放管理措施提供理论依据。

#### 参考文献：

- [1] 李键,毛德华,蒋子良,等.长株潭城市群土地利用碳排放因素分解及脱钩效应研究 [J].生态经济,2019,35 (8) : 28-34,66.
- [2] LI J, MAO D H, JIANG Z L, et al. Research on factors decomposition and decoupling effects of land use carbon emissions in Chang-Zhu-tan urban agglomeration [J]. *Ecological Economy*, 2019, 35 (8) : 28-34,66. (in Chinese)
- [3] STUIVER M. Atmospheric carbon dioxide and carbon reservoir changes [J]. *Science*, 1978, 199 (4326) : 253-258.
- [4] HOUGHTON R A. Magnitude, distribution and causes of terrestrial carbon sinks and some implications for policy [J]. *Climate Policy*, 2002, 2 (1) : 71-88.
- [5] ALI G, PUMIJUNNONG N, CUI S H. Valuation and validation of carbon sources and sinks through land cover/use change analysis: The case of Bangkok metropolitan area [J]. *Land Use Policy*, 2018, 70: 471-478.
- [6] CAO W, YUAN X. Region-County characteristic of spatial-temporal evolution and influencing factor on land use-related CO<sub>2</sub> emissions in Chongqing of China, 1997-2015 [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 231: 619-632.
- [7] 方精云,郭兆迪,朴世龙,等.1981—2000年中国陆地植被碳汇的估算 [J].中国科学(D辑:地球科学),2007,37 (6) : 804-812.
- [8] FANG J Y, GUO Z D, PIAO S L, et al. Estimation of carbon sink of Terrestrial vegetation in China from 1981 to 2000 [J]. *Science in China (Series D:Earth Sciences)*, 2007, 37 (6) : 804-812. (in Chinese)
- [9] KAUPPI P E, AUSUBEL J H, FANG J Y, et al. Returning forests analyzed with the forest identity [J]. *PNAS*, 2006, 103 (46) : 17574-17579.
- [10] 李颖,黄贤金,甄峰.江苏省区域不同土地利用方式的碳排放效应分析 [J].农业工程学报,2008,24 (S2) : 102-107.
- [11] LI Y, HUANG X J, ZHEN F. Effects of land use patterns on carbon emission in Jiangsu Province [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2008, 24 (S2) : 102-107. (in Chinese)
- [12] 潘岳,朱继业,叶懿安.江苏省碳排放影响驱动因素分析:基于STIRPAT模型 [J].*环境污染与防治*,2014,36 (12) : 104-109.
- [13] PAN Y, ZHU J Y, YE Y A. Analysis of the driving influence factors of carbon emission in Jiangsu Province based on STIRPAT model [J]. *Environmental Pollution & Control*, 2014, 36 (12) : 104-109. (in Chinese)
- [14] 李建豹,黄贤金,揣小伟,等.长三角地区碳排放效率时空特征及影响因素分析 [J].长江流域资源与环境,2020,29 (7) : 1486-1496.
- [15] LI J B, HUANG X J, CHUAI X W, et al. Spatio-temporal characteristics and influencing factors of carbon emissions efficiency in the Yangtze River Delta region [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29 (7) : 1486-1496. (in Chinese)
- [16] 吴长兰,王东,苏彦涛.广东省市域碳排放时空分异特征及影响因素:基于EDGAR数据的分析 [J].*地域研究与开发*,2020,39 (1) : 127-132,151.
- [17] WU Z L, WANG D, SU Y T. Study on spatial-temporal variation and influencing factors of urban carbon emissions in Guangdong Province based on EDGAR data [J]. *Areal Research and Development*, 2020, 39 (1) : 127-132,151. (in Chinese)
- [18] 刘伟玲,张林波,龚斌,等.深圳市土地利用碳排放环境库兹涅茨曲线协整分析 [J].水土保持研究,2013,20 (4) : 172-178,2.
- [19] LIU W L, ZHANG L B, GONG B, et al. Co-integration analysis-based environmental kuznets curve of carbon emission from land use in Shenzhen City [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20 (4) : 172-178,2. (in Chinese)
- [20] 赵哲,陈建成,白羽萍,等.二氧化碳排放与经济增长关系的实证分析 [J].*中国环境科学*,2018,38 (7) : 2785-2793.
- [21] ZHAO Z, CHEN J C, BAI Y P, et al. The empirical analysis of the relationship between carbon dioxide emissions and economic growth [J]. *China Environmental Science*, 2018, 38 (7) : 2785-2793. (in Chinese)
- [22] WU Y Z, SHEN J H, ZHANG X L, et al. The impact of urbanization on carbon emissions in developing countries: A Chinese study based on the U-Kaya method [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, 135: 589-603.
- [23] 田中华,杨泽亮,蔡睿贤.广东省能源消费碳排放分析及碳排放强度影响因素研究 [J].*中国环境科学*,2015,35 (6) : 1885-1891.
- [24] TIAN Z H, YANG Z L, CAI R X. Analysis of Guangdong carbon emissions from energy consumption and the driving factors of its intensity change [J]. *China Environmental Science*, 2015, 35 (6) : 1885-1891. (in Chinese)
- [25] 周纳,董璐,陈黎明.碳排放、经济增长与可持续发展关系的实

- 证 [J]. 统计与决策, 2019, 35 (18) : 130–134.
- ZHOU N, DONG L, CHEN L M. Empirical study on the relationship between carbon emission, economic growth and sustainable development [J]. *Statistics & Decision*, 2019, 35 (18) : 130–134. (in Chinese)
- [19] 王仲瑀. 京津冀地区能源消费、碳排放与经济增长关系实证研究 [J]. *工业技术经济*, 2017, 36 (1) : 82–92.
- WANG Z Y. The empirical study on the relationship between energy consumption, carbon emissions and economic growth in Beijing-Tianjin-Hebei [J]. *Journal of Industrial Technological & Economics*, 2017, 36 (1) : 82–92. (in Chinese)
- [20] 师应来, 胡晟明. 技术进步、经济增长对二氧化碳排放的动态分析 [J]. 统计与决策, 2017 (16) : 149–151.
- SHI Y L, HU S M. Dynamic analysis of technological progress and economic growth on carbon dioxide emission [J]. *Statistics and Decision*, 2017 (16) : 149–151. (in Chinese)
- [21] 杨国清, 朱文锐, 文雅, 等. 20年来广东省土地利用碳排放强度与效率空间分异研究 [J]. 生态环境学报, 2019, 28 (2) : 332–340.
- YANG G Q, ZHU W R, WEN Y, et al. Spatial differentiation in the intensity and efficiency of carbon emission from land use in Guangdong Province in past two decades [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2019, 28 (2) : 332–340. (in Chinese)
- [22] 卢敏, 严会超, 胡武贤, 等. 广东省不同土地利用方式与碳排放规律分析 [J]. *广东农业科学*, 2012, 39 (7) : 1–5, 9.
- LU M, YAN H C, HU W X, et al. Analyze on the rule of carbon emission of different land use patterns in Guangdong Province [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2012, 39 (7) : 1–5, 9. (in Chinese)
- Chinese)
- [23] 陈芷君, 刘毅华, 林华荣. 广东省土地利用碳排放与经济增长之间的脱钩分析 [J]. 生态经济, 2018, 34 (5) : 26–32.
- CHEN Z J, LIU Y H, LIN H R. Decoupling analysis of land-use carbon emissions and economic development in Guangdong Province [J]. *Ecological Economy*, 2018, 34 (5) : 26–32. (in Chinese)
- [24] 李玉玲, 李世平, 邱静静. 陕西省土地利用碳排放影响因素及脱钩效应分析 [J]. 水土保持研究, 2018, 25 (1) : 382–390.
- LI Y L, LI S P, QI J J. Influencing factors on carbon emissions of land uses and analysis of their decoupling effects in Shaanxi Province [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2018, 25 (1) : 382–390. (in Chinese)
- [25] 张苗, 陈银蓉, 程道平, 等. 土地利用结构和强度变化对碳排放影响分析 [J]. *资源开发与市场*, 2018, 34 (5) : 624–628, 675.
- ZHANG M, CHEN Y R, CHENG D P, et al. Research on influences of land use structure and intensity change on carbon emissions [J]. *Resource Development & Market*, 2018, 34 (5) : 624–628, 675. (in Chinese)
- [26] 樊高源, 杨俊孝. 土地利用结构、经济发展与土地碳排放影响效应研究: 以乌鲁木齐市为例 [J]. *中国农业资源与区划*, 2017, 38 (10) : 177–184.
- FAN G Y, YANG J X. Study on effect of land use structure, economic development and land carbon emission—a case study of Urumqi [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38 (10) : 177–184. (in Chinese)

(责任编辑: 于洪杰)