

基于超越对数生产函数的气象条件变化对京津冀地区行业产出的影响研究

王子忠^{1,2} 潘志华¹ 宋玉¹ 黄娜¹ 龙步菊¹ 伦飞¹

(1 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193; 2 山西省气象台, 太原 030006)

摘要: 全球气候变化对经济系统及其各个部门产生了重要影响, 定量辨识气象条件变化对经济系统的影响是研究经济系统适应气候变化的迫切需要。利用京津冀地区工业、建筑业等五个行业的生产总值、资本存量等经济数据和气象数据, 采用超越对数生产函数探究京津冀地区气象条件变化对行业产出的影响, 定量揭示不同行业对气象条件变化的敏感性。结果表明, 采暖度日(每增加1%)对建筑业、交通运输仓储邮政业、工业、批发零售业以及农业的边际产出弹性分别为-0.1501%、0.6197%、0.9309%、0.4473%以及-0.7311%, 降温度日(每增加1%)对五个经济部门的边际产出弹性分别为0.0274%、-0.0208%、-0.0709%、-0.1028%以及0.0282%, 降水距平百分率对五个部门的边际影响分别为-0.1643%、-0.1365%、-0.0005%、-0.0407%以及0.0407%。气候变暖对经济系统的负面影响逐渐增强, 特别是对工业、交通运输仓储邮政业和批发零售业的影响更大, 短期来看对建筑业和农业有利; 降水对除农业以外的其他部门都为负面影响, 对建筑业和交通运输业的负面影响最大。研究结果对探究气候变化对社会经济的影响规律, 增强社会经济对气候变化的适应能力具有一定的参考意义。

关键词: 超越对数生产函数, 气象条件, 行业生产总值, 敏感性, 京津冀地区

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.05.002

The Influence of Meteorological Condition Changes on Industrial Output in Beijing-Tianjin-Hebei Region Based on Translog Production Function

Wang Zizhong^{1,2}, Pan Zhihua¹, Song Yu¹, Huang Na¹, Long Bujun¹, Lun Fei¹

(1 College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193; 2 Shanxi Meteorological Observatory, Taiyuan 030006)

Abstract: Global climate change has important impacts on economic systems and their various sectors. And therefore, to study the adaptation of economic systems to climate change, it is urgent to identify the quantitative impacts of changes in meteorological conditions on economic systems. Here, based on the economic data including total output value and capital stock of five sectors as well as the meteorological data in Beijing-Tianjin-Hebei region, the impact of meteorological condition changes on the total output value was explored using a translog production function, and the sensitivity of different industries to meteorological condition changes were quantitatively revealed. The results show that the marginal output elasticities of heating degree days (every 1% increase) for construction, transportation, warehousing and postal services, industry, wholesale and retail trade, and agriculture are -0.1501%, 0.6197%, 0.9309%, 0.4473% and -0.7311% respectively, and the marginal output elasticities of cooling degree days (every 1% increase) for the five sectors are 0.0274%, -0.0208%, -0.0709%, -0.1028%, and 0.0282% respectively. Meanwhile, the marginal impacts of precipitation anomalies on the five sectors are -0.1643%, -0.1365%, -0.0005%, -0.0407%, and 0.0407% respectively. The negative impact of climate warming on economic systems has been gradually increasing, especially for industry, transportation, warehousing and postal services, and wholesale and retail trade. In the short term, the climate warming is beneficial to construction industry and agriculture. Precipitation has a negative impact on all sectors except agriculture, with the largest negative impact on construction and transport. This study has implications for exploring the impact of

climate change on socio-economic development and enhancing socio-economic adaptability to climate change.

Keywords: translog production function, meteorological condition, total output value of an industry, sensitivity, Beijing-Tianjin-Hebei region

收稿日期: 2022年3月20日; 修回日期: 2022年10月27日
第一作者: 王子忠(1993—), Email: 1401740959@qq.com
通信作者: 潘志华(1969—), Email: panzhihua@cau.edu.cn
资助信息: 国家重点研发计划(2018YFA0606303)

0 引言

气象条件作为经济发展的重要环境要素，几乎时刻都在制约或者促进经济的发展^[1]。伴随着现代社会生产力水平的突飞猛进和产业结构的日益完善，人类逐渐降低气象条件变化带来的影响，但是仍然无法避免气象灾害与气候波动带来的短期和长期影响。美国学者Dutton^[2]曾指出，美国1/3的国内生产总值受到气象条件的影响，约3万亿美元的年收入有一定程度的天气和气候风险。虽然依靠的是主观定性分析，但是这个观点被广泛引用。迄今，国内外基于计量经济学方法围绕气象条件与经济发展之间开展了很多研究。Richard^[3]利用多元回归分析方法，分析了天气变化对荷兰国际旅游的影响，发现上一年适宜的夏季气温有利于下一年度假人数的增长。Dell等^[4]分析了近半个世纪各个国家温度冲击和经济增长之间的关系，气温上升对穷国不利，对富裕国家影响不明显。Naem^[5]在生产函数的基础上进行拓展，以GDP增长率为因变量，以城市化率、人口增长率为控制变量，添加气温和降水因子，建立了亚洲国家面板数据模型，结果表明气温、降水与GDP增长率之间存在负相关关系。Roy等^[6]利用建立的时间序列回归模型表明孟加拉国年平均气温每升高1℃，GDP增长率平均下降0.44%。Larsen^[7]基于生产函数，在劳动力、资本以及能源生产要素基础上，引入气温和降水要素研究了美国各州11个经济部门对气候的敏感性，结果表明不同地区、不同行业的气候敏感性存在差异，其中对西部地区影响最大。也有研究认为气候与生产之间是非线性关系，Marshall等^[8]认为几乎所有国家的整体生产率与气温之间是非线性的。Zhang等^[9]基于工业企业数据与气温建立的面板模型，证实气温与工业生产率之间存在倒“U”型关系。中国在这方面的研究虽然起步较晚，但仍有很多有意义的研究，并且对多种研究方法进行了探索。巩在武^[10]利用灰色关联法，以苏皖豫为研究区域，分析了气温、降水与三大产业存在相关性。吴息等^[11]利用简单的回归统计方法，建立了气象条件与工业、能源的相关关系，表明夏季升温对工业生产不利。罗慧等^[12]利用相关性分析方法分析了陕西省气象要素与经济行业之间的相关关系，结果表明国民经济与气象条件存在明显相关性。丑洁明等^[13]认为应该将生产活动与气候变化研究结合起来，在Cobb-Dougllass生产函数（简称C-D生产函数）中加入了气象要素，通过评价气候变化对粮食产量的影响，验证了其假设合理性。罗慧等^[14]基于C-D生产函数研究表明中国省域行业经济对气象条件的敏感性总体上北方大于南方，

西部大于东部，且农业与建筑行业对气象条件变化最为敏感。

综合来看，衡量气候和气象条件变化对经济的影响，目前主要有两种方法：一种是利用综合评估模型，是现阶段用于模拟不同气候变化情景下造成的可能经济影响和计算减缓气候变化成本的主流工具^[15]，在IPCC第六次评估报告中得到了广泛应用，最新的预估表明，减少排放不仅能降低平均预期损害，还能降低灾难性事件的风险^[16]，但综合评估模型始终具有很大的不确定性^[17]；另一种方法是本文主要讨论的，即基于计量经济学的实证研究方法，比如C-D生产函数^[18-23]、协整理论^[24]、灰色关联分析^[10]以及相关分析方法^[12]等都是度量气象条件和气候变化对社会经济影响的有益尝试，从实证角度证明气候波动与经济生产之间的关系，弥补了气候变化综合评估模型经验证据不足的缺陷^[25]。其中，基于C-D生产函数的研究应用最为广泛，在生产函数中加入气象要素说明研究者已经开始逐步重视气象条件与经济产出的关系，但是却忽略了气象条件对生产要素的影响，实际上气象条件不仅影响最后的产出，而且对于投入要素也会产生影响，并且生产要素与产出之间具有非线性关系。为此，本文拓展应用生产函数，以京津冀地区为例，建立超越对数生产函数定量研究不同行业对气象条件变化的敏感性，以期为制定气候变化适应对策提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 生产函数

C-D生产函数的一般形式为：

$$Q = AL^{\alpha}K^{\beta}, \quad (1)$$

式中， Q 为行业产值； L 为劳动投入量； K 为资本投入量； A 表示技术水平，且 $A > 0$ ； α 为劳动力产出的弹性系数， β 为资本产出的弹性系数。

C-D生产函数具有经济学家所关心的许多性质，同时具有参数求取方便等特点。随着经济理论不断完善，人们不断尝试将更多的生产要素纳入到生产函数中^[23]。其推广形式可以将需要讨论的诸多因子引入模型进行分析，这为改进模型提供了理论基础^[13]。将上式改写为传统的生产函数形式：

$$Q = A(t)K^{\beta_K}L^{\beta_L}W^{\beta_W}, \quad (2)$$

式中， β_K 、 β_L 、 β_W 分别代表各个投入要素的产出弹性； $A(t) = Ae^{t\delta}$ ，借鉴Fraser的处理方法，在本文中技术变化的影响表述为一个时间趋势函数^[7, 26]；气象要素 W 的选取，可以有多种指标，如温度、降水或者极端气象条件等，这些指标均可当成投入要素加入函数进行

分析^[13]。

1.2 超越对数生产函数

将单个或者多个气象要素作为生产要素引入模型，这种方法在一定程度上固然可以揭示气象条件变化对某部门的影响，但是却忽略了各个因子之间的相互作用。考虑到各个因子之间的相互作用，同时也考虑到经济生产与各个影响因子之间的非线性关系，超越对数生产函数引入了生产要素的交叉项和平方项，可以解释要素之间的相互影响^[23, 27]。本文尝试将气象要素引入超越对数生产函数，来研究气象要素对部门经济产出的影响。引入气象要素后，其变化不仅影响最终产出，且对其他投入要素也会同时产生影响，比如某一年发生了较大的气候波动，不仅会影响最终产

$$\begin{aligned} \ln(Q) = & \beta_K \ln(K) + \beta_L \ln(L) + \beta_H \ln(H) + \beta_C \ln(C) + \beta_P \ln(P) + \beta_{KK} \ln(K) \ln(K) + \beta_{LL} \ln(L) \ln(L) + \\ & \beta_{KL} \ln(K) \ln(L) + \beta_{HH} \ln(H) \ln(H) + \beta_{CC} \ln(C) \ln(C) + \beta_{PP} \ln(P) \ln(P) + \beta_{HP} \ln(H) \ln(P) + \\ & \beta_{CP} \ln(C) \ln(P) + \beta_{KH} \ln(K) \ln(H) + \beta_{KC} \ln(K) \ln(C) + \beta_{KP} \ln(K) \ln(P) + \beta_{LH} \ln(L) \ln(H) + \\ & \beta_{LC} \ln(L) \ln(C) + \beta_{LP} \ln(L) \ln(P) + \ln A + \delta t, \end{aligned} \quad (3)$$

式中， H 为采暖度日($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)； C 为降温度日($^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$)； P 为降水距平百分率(%)； K 为资本存量(亿元)； L 为劳动力数量(万人)； Q 为生产总值(亿元)； δ 、 β_k 等为系数。在此模型中引入了时间趋势变量 t ，利用其捕捉其他随时间变化的变量，如技术变化趋势、劳动者素质的提高等时间趋势变量。考虑到采暖度日和降温度日没有实质性的交叉影响，所以未引入其交叉项。

各要素的产出弹性不再简单的等同于其系数，包含了交叉项和平方项的信息^[7, 23]。基于上式，可以得出 H 对建筑业产出的边际产出弹性为：

$$\eta_{HDD} = \frac{d \ln Q}{d \ln H} = \beta_H + 2\beta_{HH} \ln(H) + \beta_{HP} \ln(P) + \beta_{KH} \ln(K) + \beta_{LH} \ln(L). \quad (4)$$

1.3 面板模型拟合方法的选择

面板模型在气候变化计量经济学领域得到了广泛的应用^[28]。在本研究中，利用京津冀地区三个省(市)各行业经济数据和气象数据组成面板数据模型，分析产出对气象因子的敏感性。采用双向固定效应模型，具有时间和个体两个维度的信息，即对于不同的时点、不同的个体都有不同截距的模型，可以在一定程度上减少随机误差项带来的异方差、自相关以及变量之间的共线性对估计的影响^[29]。其次，本文中所构建的面板模型，时间序列大于截面数量，为长面板。

$$Y_{it} = \alpha_i + \alpha_t + \sum_{k=2}^K \beta_k X_{it} + \varepsilon_{it}, \quad (5)$$

出，而且会对投资和劳动力投入产生影响。

超越对数生产函数允许输入不同变量之间的替代弹性，是一种易于估计且包容性很强的变弹性系数对数生产函数，可以很好地反映投入项的相互影响和平方项的非线性影响^[23]。所以本文采用超越对数生产函数的重要假设前提是，气象要素不仅影响经济部门的最终产值，即被解释变量，还影响模型中的其他生产要素。本文中假设气象条件作为生产要素，对劳动力投入和资本投入都会产生一定的影响。

本文拟在资本存量和劳动力的基础上，引入采暖度日、降温度日及降水距平三个气象要素，采用与面板模型相结合的拟合方式。以建筑业为例，建立如下模型：

式中， Y_{it} 为被解释变量； α_i 为个体(横截面)影响； α_t 为时点(时序)影响； ε_{it} 为残差； i 为个体， $i=1, 2, 3, \dots, N$ ； t 为时间， $t=1, 2, 3, \dots, T$ 。

表1中给出了面板数据模型样本，个体效应使用虚拟变量来控制，对于时间效应，为了避免损失较多的自由度，使用时间趋势量控制^[29]。

表1 面板数据模型样本数据示例

Table 1 Sample data example of panel data model

ID	年份	Y	X	ID1	ID2	ID3	t	
北京	1985	$\ln(Q)_{i,t}$	$\ln(K)_{i+1,t}$	...	1	0	0	1
北京	1986	$\ln(Q)_{i,t+1}$	$\ln(K)_{i+1,t+1}$	...	1	0	0	2
...
天津	1985	$\ln(Q)_{i,t}$	$\ln(K)_{i+1,t}$	...	0	1	0	1
天津	1986	$\ln(Q)_{i,t+1}$	$\ln(K)_{i+1,t+1}$	...	0	1	0	2
...
河北	1985	$\ln(Q)_{i,t}$	$\ln(K)_{i+1,t}$	...	0	0	1	1
河北	1986	$\ln(Q)_{i,t+1}$	$\ln(K)_{i+1,t+1}$	...	0	0	1	2
...

注： Y 为被解释变量； X 为解释变量；ID为城市或省份

1.4 数据来源

1.4.1 社会经济数据

社会经济统计资料主要来源于《中国统计年鉴》《北京统计年鉴》《天津统计年鉴》《河北经济年鉴》。经济部门选择具有代表性的农业、工业、建筑业、交通运输仓储邮政业、批发零售业。

本文选用年数据进行分析，时间为1985—2017年。具体计算时，使用GDP平减指数去除由于物价上

涨或者通货膨胀而增长的那一部分产值。固定资产折旧率为5%^[30]；劳动力数据采用年末劳动力人数。

1.4.2 气象数据

研究所用的气象数据来源于中国气象数据共享网 (<http://www.nmic.cn/>) 地面气候数据资料集, 包括京津冀地区27个气象观测点1961—2017年逐日气象数据。研究选取采暖度日、降温度日及年降水距平百分率作为气象指标。度日是指日平均温度与规定阈值温度的离差, 可以在一定程度上反映人生活最舒适的环境温度^[31]。结合中国《节能设计标准》和在多数研究中使用的阈值^[32-33], 选取18 °C和26 °C作为基础温度, 计算方法如下:

$$H = \sum_{i=1}^n (18 - T_i), \quad (6)$$

$$C = \sum_{i=1}^n (Z_i - 26), \quad (7)$$

式中, T_i 为日平均气温小于18 °C的当天气温(°C); Z_i 为日平均气温高于26 °C的当天气温(°C)。

降水指标选取降水距平百分率, 表示在一定时段内降水偏离多年平均状态的离差程度, 在一定程度上可以反映降水量的年际差异。由于需要将数据对数化,

降水距平难免有负值, 所以本文对所有值统一加50, 这并不会改变数据的波动特征, 仍然是有效的。

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{P_i - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\%, \quad (8)$$

式中, P 为降水距平百分率(%), P_i 为第*i*年年降水量(mm), \bar{P} 为1961—1990年平均降水量(mm)。

2 结果与分析

2.1 京津冀地区1985—2017年降温度日和采暖度日变化特征

图1为京津冀地区1985—2017年降温度日和采暖度日变化特征。可以看出, 1985年以来, 京津冀地区采暖度日不断减少, 每10年减少68.4 °C·d; 降温度日不断增加, 每10年增加13.2 °C·d, 且降温度日变化的显著性大于采暖度日。北京市采暖度日多年平均值为3175.43 °C·d, 气候倾向率为-85.8 °C·d/10 a; 降温度日波动上升趋势明显, 气候倾向率为15.4 °C·d/10 a。天津市多年平均采暖度日为2819.68 °C·d, 呈波动下降趋势; 降温度日上升趋势更明显, 气候倾向率为16.32 °C·d/10 a, 多年平均值为80.25 °C·d。河北省采暖度日也呈明显的下降趋势, 多年平均值为3407.53 °C·d,

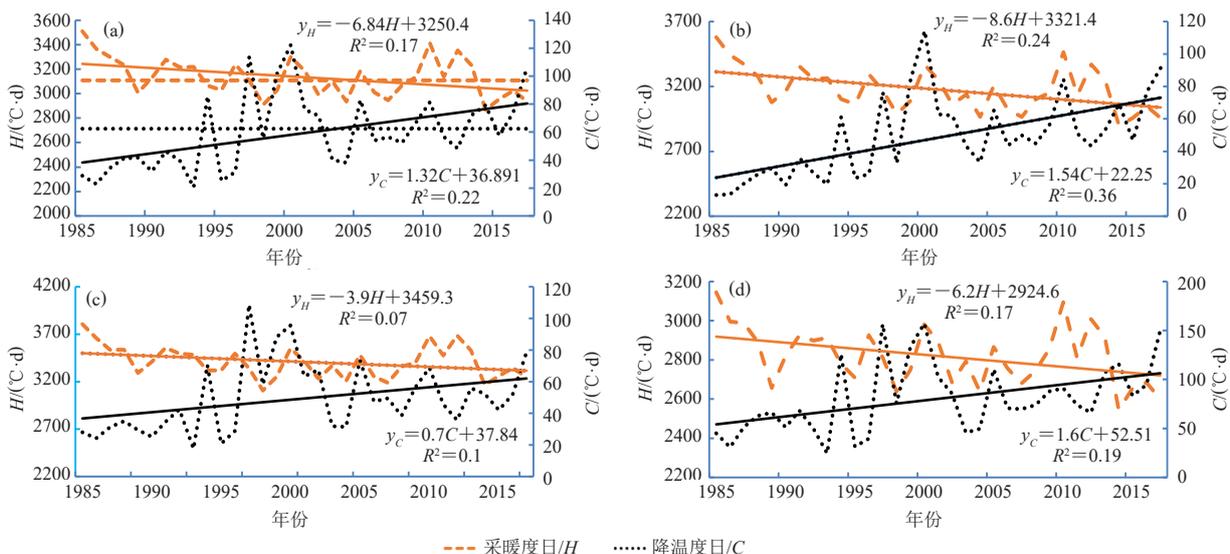


图1 1985—2017年京津冀地区降温度日和采暖度日变化特征

(a) 京津冀地区; (b) 北京市; (c) 河北省; (d) 天津市

Fig. 1 Variation characteristics of cooling degree days and heating degree days in Beijing-Tianjin-Hebei region from 1985 to 2017

(a) Beijing-Tianjin-Hebei region; (b) Beijing; (c) Hebei; (d) Tianjin

降温度日多年平均值为49.36 °C·d, 气候倾向率为7.9 °C·d/10 a。三个省(市)采暖度日、降温度日表现出相近的年际变化特征, 京津冀地区升温趋势非常显著, 其中, 北京市度日趋势变化最为显著, 且三个省(市)的降温度日变化显著性大于采暖度日。

2.2 京津冀地区1985—2017年经济变化特征

图2为京津冀地区分省(市)主要经济变量随时间的变化特征。GDP为实际GDP, 即去除了通货膨胀的影响。图2a1—2a3为北京市主要经济变量随时间变化趋势图。可以看出, 北京市工业和批发零售业产值增

长速度最快，特别是工业产值。批发零售业增长迅速与北京市人口的迅速增长关系密切。建筑业和交通运输仓储邮政业产值增长水平近乎持平。农业在1985—2017年，产值保持较为稳定，增幅较小。工业和交通运输仓储邮政业资本存量最为庞大，其余三个部门资本存量逐年增长。工业部门劳动力数量呈下降趋势，批发零售业上升趋势明显，其余部门基本保持在一定范围，每年略有波动，与每年各部门对劳动力的需求有关。图2b1—2b3为天津市五个行业主要经济变量随时间变化趋势图。可以看出，各部门生产总值和资本存量在2001年后都迅速增长，部门生产总值在有的年份有小幅下降，但是基本上都呈现为逐年上升趋势。

其次批发零售业的上升趋势也很显著。工业行业的劳动力数量最多，在2001年，劳动力大幅度下降，之后稳步回升，但在2013年后又呈下降趋势。除农业行业劳动力数量呈下降趋势外，其他行业都呈稳步上升趋势。图2c1—2c3为河北省五个行业经济变量的时间变化趋势图。可以看出，工业产值占的比重最大，1991年为214亿，到2017年增长到了2300多亿，增长了10倍左右。对应的资本存量也迅速积累，1991年资本存量为313亿，到2017年达到接近17000亿的资本存量，可见工业行业在1991年之后几乎是爆发式增长，对应着工业劳动力数量也达到了1000万。其他行业产值、资本存量以及劳动力数量也是稳步上升。

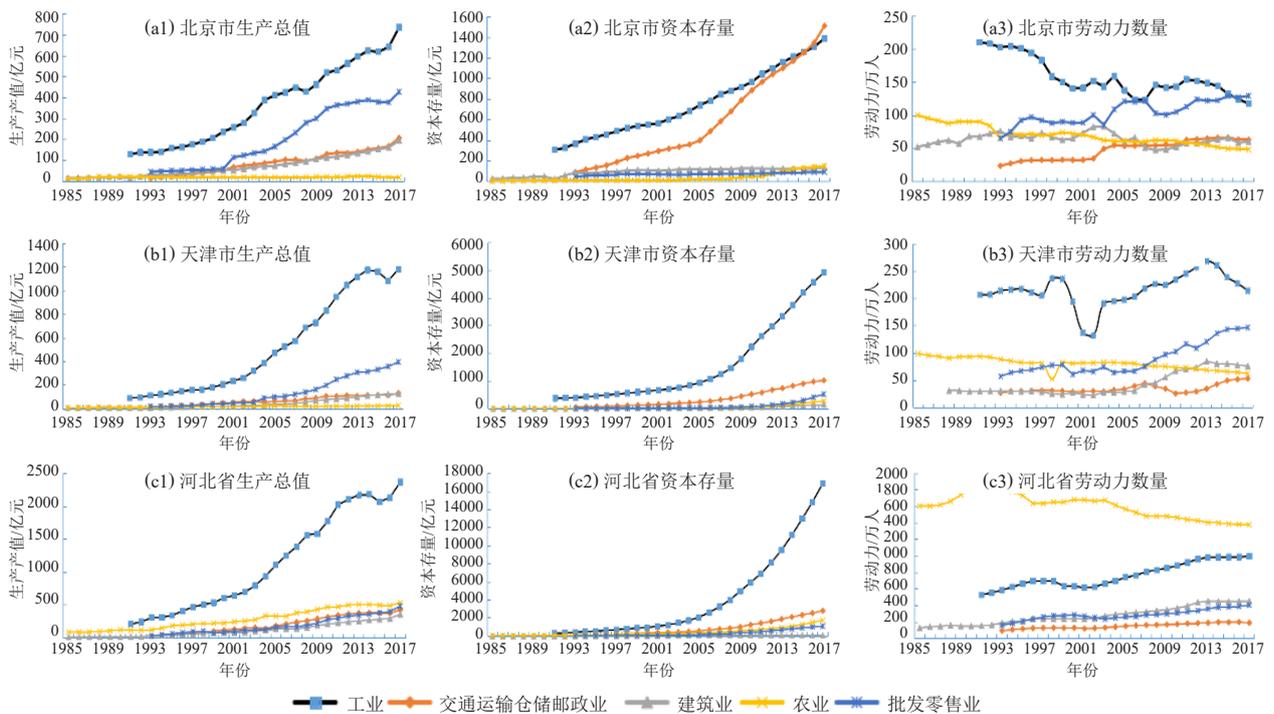


图2 京津冀地区1985—2017年社会经济变化特征

Fig. 2 Characteristics of socioeconomic changes in Beijing-Tianjin-Hebei region from 1985 to 2017

2.3 基于超越对数生产函数的行业敏感性分析

表2为各行业的超越对数生产函数系数。采用最小二乘虚拟变量法(LSDV)做回归估计，最大程度减少异方差、自回归及截面相关的影响。以面板数据为基础，利用双向固定效应模型(公式(5))得出各部门超越对数生产函数系数，再将系数以及各省(市)的气象要素和经济变量序列数据代入公式(4)，即可得出采暖度日、降温度日以及降水距平对分行业产出的敏感性数值，通过取其多年平均值得到京津冀地区气象要素的边际产出弹性系数。

图3为气象要素对部门产出的边际产出弹性，可以看出，采暖度日对建筑业、交通运输仓储邮政

业、工业、批发零售业以及农业的边际产出弹性分别为-0.1501%、0.6197%、0.9309%、0.4473%以及-0.7311%，除了建筑业和农业之外，都表现为正向影响；降温度日对五个经济行业的边际产出弹性分别为0.0274%、-0.0208%、-0.0709%、-0.1028%以及0.0282%，对建筑业和农业具有微弱的正向作用；降水距平对五个部门的边际影响分别为-0.1643%、-0.1365%、-0.0005%、-0.0817%以及0.0407%，除农业之外，都表现为负向影响。

上述结果符合实际情况。采暖度日对建筑业表现为负向影响，即采暖度日每增加1%，则建筑业产出下降0.15%，建筑业主要包括建筑工程和建筑安装工程，

表2 各部门的超越对数生产函数系数
Table 2 Coefficients of translog production function for each sector

系数	建筑业	交通运输仓储邮政业	工业	批发零售业	农业
β_K	-6.833(-2.7**)	6.848(2.3**)	12.247(4.1**)	-9.091(-3.1**)	-3.678(-2.2*)
β_L	7.168(2.2**)	-9.082(2.7**)	-9.124(-2.3**)	11.424(1.4)	2.3(1)
β_{KK}	-0.037(-2.4**)	-0.076(-2.9**)	-0.162(-6.5**)	0.193(4.3**)	-0.032(-2.8**)
β_{LL}	0.113(3.4**)	0.005(0.1)	0.202(1.7*)	0.731(4.5**)	-0.177(-2.6**)
β_{KL}	-0.037(-1.1)	-0.031(-0.5)	0.02(0.2)	-0.960(-6.5**)	0.281(10**)
β_H	24.274(0.9)	62.905(6.3**)	-5.142(-0.2)	39.514(0.9)	-30.451(-0.8)
β_C	-0.417(-1.3)	2.358(2.5**)	-0.157(-0.2)	-0.119(-0.16)	0.097(0.1)
β_P	0.794(0.3)	-1.543(-0.3)	1.854(0.7)	-20.076(-4.1**)	3.237(0.9)
β_{HH}	-1.494(-0.9)	-4.638(-1.5)	0.666(0.4)	-2.962(-1)	1.906(0.8)
β_{KH}	0.928(3**)	1.008(2.7**)	-1.153(-3**)	1.558(4.1**)	0.378(1.7*)
β_{KC}	-0.004(-0.1)	-0.041(-1.2)	-0.022(-0.5)	-0.06(-1.3)	-0.04(-0.8)
β_{KP}	-0.011(-0.4)	-0.06(-1.6*)	-0.049(-1.4)	-0.009(-0.2)	-0.012(-0.4)
β_{LH}	-0.942(-2.3**)	1.132(2.7**)	0.790(1.9*)	-1.726(-1.6*)	-0.181(-0.7)
β_{LC}	-0.013(-0.4)	0.013(0.2)	0.081(1.2)	0.05(0.5)	0.038(0.8)
β_{LP}	0.006(0.2)	0.02(0.5)	0.088(1.7*)	-0.206(-1.7*)	0.025(0.7)
β_{CC}	0.025(0.8)	-0.185(-1.9*)	-0.035(-0.7)	-0.043(0.5)	0.024(0.3)
β_{PP}	0.051(1.3)	-0.105(-1.7*)	-0.003(-0.06)	-0.235(-3.3**)	0.017(0.2)
β_{HP}	-0.182(-0.5)	0.397(0.7)	-0.26(-0.7)	2.777(4.2**)	-0.383(-0.8)
β_{CP}	0.083(2.1**)	-0.197(-2.2**)	0.018(0.4)	0.107(1.2)	-0.084(-0.8)
δ	0.073(26.9**)	0.115(2.3**)	0.043(4**)	0.109(16.4**)	0.005(0.6)
常数	-94.993(-0.9)	-213.62(-1.2)	-0.578(-0.1)	-127.821(-0.8)	122.1(0.9)
R^2	0.99	0.98	0.98	0.93	0.99
F统计量	625.81	393.39	569.73	361.8	904.33
模拟误差/%	1.38	1.54	1.19	1.80	2.55

注：括号内为t值；*表示90%置信水平；**表示95%置信水平

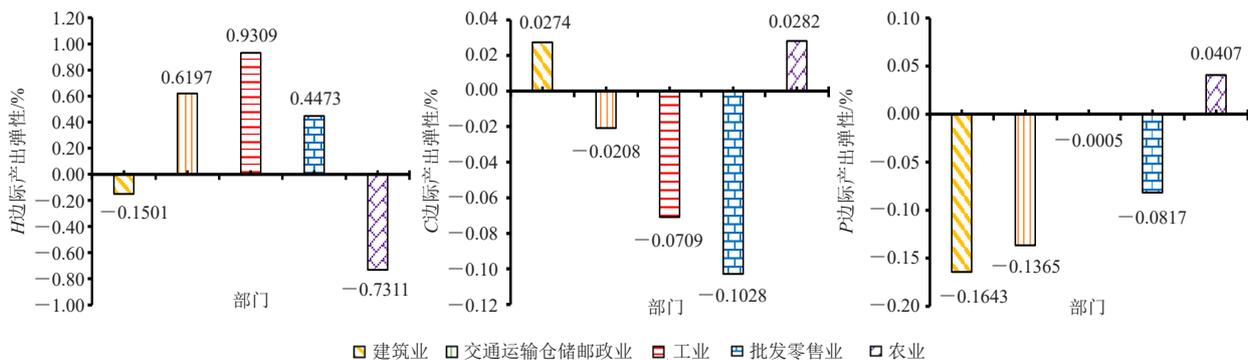


图3 气象要素对五个部门的边际产出弹性的影响

Fig. 3 The impact of meteorological factors on the marginal output elasticity of five sectors

以户外劳动为主。采暖度日的增加，意味着冷日数的增加，不利于户外劳动作业，且混凝土易受冻破坏结构。北方冬季建筑业有冬歇期，变暖可延长施工期，但是目前采暖度日是减少的，所以采暖度日的减少对建筑业是有利的。采暖度日对交通运输仓储邮政业、工业以及批发零售业为正向影响。目前，工业生产大多为室内生产，气温降低对其影响并不是很明显。从经验解释角度看，冷日数的增加会增加对交通运输的

需求，特别是在北方地区，供暖季的燃料运输是刚性需求。气象要素对批发零售业的影响，一般是通过天气变化影响消费者的行为，进而影响产值。

对比采暖度日边际产出弹性和降温度日边际产出弹性，发现了截然相反的情况，降温度日对建筑业为正向影响，虽然降温度日的增加可能意味着高温日数的上升，对户外生产不利，但是目前采暖度日的大幅减少有利于户外劳动时间的延长，对建筑业生产有

利, 所以很有可能采暖度日的有利影响抵消了降温度日带来的不利影响。降温度日增加对工业生产不利, Zhang等^[9]的研究表明, 气温与工业生产率之间存在倒“U”型关系, 并且表现出对高温的敏感性; 高温天气环境下会降低工人的生产积极性, 也会导致工业机械故障率增加, 从而降低生产效率, 并且在高温天气下降温需求增加, 也会增加工业生产成本。降温度日增加对交通运输仓储业和批发零售业不利, 一方面是高温天气对交通设施和司机驾驶状态都会造成负面影响, 同时也影响消费者的消费欲望。在炎热的天气下, 人们外出购物的想法明显会受到影响。随着全球气候变暖, 高温热浪天气不断增加, 并且不断刷新着记录, 所以务必要预防高温天气带来的负面影响。

降水对多数部门都为负向影响(除了农业), 对建筑业影响最为明显, 这与孙鉴锋等^[21]的研究表明降水对大多数部门为负向产出效应的结果一致。通常认为降水对户外劳动影响是显著的, 降水天气下一般无法开展户外劳动, 以户外劳动为主的建筑业一般都会停工。降水对交通运输业和批发零售业也有着较大的负向影响, 降水对交通不利, 容易引发交通堵塞和交通事故, 强降水甚至可能会导致交通瘫痪。北京市2012年7·21特大暴雨, 导致全市道路以及桥梁多处损毁, 多条铁路线临时停运, 直接经济损失达116.4亿元。与交通运输仓储业联系紧密的批发零售业同样也会受到影响。

总体来看, 交通运输仓储邮政业、工业以及批发零售业对采暖度日的敏感性大于降温度日, 且采暖度日多为正向敏感性。但是分析1985—2017年的度日变化特征, 可以发现, 京津冀地区降温度日的气候倾向率为 $13.2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{ a}$, 采暖度日的气候倾向率为 $-68.4\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}/10\text{ a}$, 但是采暖度日的多年平均值为 $3108.5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 10 a 的下降率只占到了2.2%, 而降温度日多年平均值为 $62.36\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{d}$, 10 a 的增加值占到了21.2%, 即降温度日的增加速率大于采暖度日的减少速率, 所以综合来看, 降温度日对这三个行业的产出影响迅速增大, 且降温度日每年波动比较大, 其带来的负面影响具有很大的不确定性。经济系统是复杂的, 降温度日的迅速增加在一定程度上反映了高温热浪天气的增多, 随着全球气候变暖趋势加剧, 对这三个行业的负面影响也不断加强。对于建筑业和农业, 从目前来看, 增暖对其是有利的, 特别是建筑业, 以户外劳动为主, 暖日数增加的同时, 也增加了可作业时长, 但是不能认为气候变暖对其是持续有利的, 很多研究认为气候变暖与经济之间是非线性的关系, 当

气候变暖到一定程度, 负面效应将会占据主导作用。随着变暖趋势增强, 对经济发展是否会产生抑制作用, 仍需进一步研究。

气象条件的变化和经济生产之间的关系非常复杂, 可能简单的线性关系和交互关系无法完整的定量分析它们之间的关系, 但是, 从生产函数的角度去探究, 也是可行的, 气象要素的加入提高了方程的拟合能力。五个部门的 R^2 都在90%以上, 并且利用超越对数生产函数去拟合各行业最终产值, 误差位于1%~3%。

3 结论与讨论

3.1 结论与建议

本文利用京津冀地区工业、建筑业等五个行业的生产总值、资本存量等经济数据和气象数据, 采用超越对数生产函数探究了气象条件变化对京津冀地区行业的影响, 主要结论如下。

1) 采暖度日对建筑业、交通运输仓储邮政业、工业、批发零售业以及农业的边际产出弹性分别为 -0.1501% 、 0.6197% 、 0.9309% 、 0.4473% 以及 -0.7311% , 除了建筑业和农业之外, 都表现为正向影响。降温度日对五个经济部门的边际产出弹性分别为 0.0274% 、 -0.0208% 、 -0.0709% 、 -0.1028% 以及 0.0282% , 对建筑业和农业具有微弱的正向作用。降水距平对五个部门的边际影响分别为 -0.1643% 、 -0.1365% 、 -0.0005% 、 -0.0407% 以及 0.0407% , 除农业之外, 都表现为负向影响。

2) 气候变暖的负面效应逐渐增强。对于交通运输仓储邮政业、工业以及批发零售业, 采暖度日对其影响为正向效应, 但当前采暖度日为减少趋势, 所以在全球变暖的背景下, 采暖度日对这三个行业的影响为负面影响; 降温度日对这三个行业的影响为负面影响。当前降温度日的增加速率大于采暖度日的减少速率, 所以降温度日对这三个行业的产出影响增长迅速。尽管建筑业和农业从目前来看, 增暖对其有利的, 但是随着变暖趋势增强, 对其是否会产生抑制作用, 仍需进一步关注。

3) 降水对除农业以外的其他部门都为负面影响。降水对建筑业和交通运输业的影响最为明显, 这两个行业都以户外活动为主, 在降水天气下, 对这两个行业的抑制效应最为明显。对批发零售业的负面影响是考虑到降水天气下, 对人们的外出购物影响非常大。

主动适应气候变化是减少其带来的风险的主要行动。在交通、建筑和工业行业, 可以提前升级和改造基础设施, 提高防御高温和极端降水带来的破坏能

力。在批发零售行业，可以提高对月、季及年的气候预测能力，提前通过贸易等方式去规避可能带来的气候风险。在农业行业，干旱和洪涝是造成农业减产的重要因素，培育适合地区气候特征的良好和兴修水利设施，提高农业生产者的气候风险意识，可以有效地减少气候变化带来的风险。

3.2 讨论

本文将气象要素作为一种生产要素引入到超越对数生产函数中，充分考虑了气象要素不仅影响产出而且还会影响其他投入要素，并在面板数据模型的基础上进行拟合，尽量减少数据异方差、共线性等带来的拟合偏差，得到了一些比较有意义的结果。但是本文受到统计数据较为粗糙的限制，改进的空间还非常大。而且经济生产活动具有很强的适应能力，很多生产活动会在下一个季度弥补上个季度由于天气影响而带来的损失，但由于部门产值等指标只在年度水平上统计，所以会对研究天气与生产之间的关系带来很多的不利影响。在当今时代，生产过程非常复杂，存在着很多的影响因素，很多因素很难量化，本文将其他未知因素利用时间变量代替，可能欠妥，今后要对生产函数进一步完善。

由于部门数据在地级市难以收集到，只能采用省级数据，可能区域大小不对等，河北省相对北京、天津面积大很多，且经济活动过于分散，气候差异也较大，所以本文尽量采用城市站点的气象数据。经济活动大多数集中于城市，但是仍可能抹平了区域内部的差异，所以在今后研究中要缩小“点”研究区域和扩大整个“面”研究区域。

本文只是从研究框架和方法进行了一些探索，在未来的研究中要注重对高敏感性行业的深入研究，并结合未来气候变化情景和社会经济情景，增强研究的预见性，从而能够有效适应和减缓气候变化带来的影响。

参考文献：

- [1] Colls K. Assessing the impact of weather and climate in Australia. *Climatic Change*, 1993, 25(3): 225-245.
- [2] Dutton J A. Opportunities and priorities in a new Era for weather and climate services. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2002, 83(9): 1303-1311.
- [3] Richard S J. Weather impacts on natural, social, and economic systems in the Netherlands. Amsterdam: Institute for Environmental Studies, 2000.
- [4] Dell M, Jones B F, Olken B A. Temperature shocks and economic growth: evidence from the last half century. *American Economic Journal*, 2012, 4(3): 66-95.
- [5] Naeem A. Is climate change indering economic growth of Asian economies. *Asia-Pacific Development Journal*, 2012, 19(2).
- [6] Roy A, Haider M Z. Stern review on the economics of climate change: implications for Bangladesh. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 2018, 11(1): 100-117.
- [7] Larsen P H. An evaluation of the sensitivity of U.S. economic sectors to weather. Ithaca: Cornell University, 2006.
- [8] Marshall B, Hsiang S M, Miguel E. Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature*, 2015, 527(7577): 235-239.
- [9] Zhang P, Olivier D, Kyle M, et al. Temperature effects on productivity and factor reallocation: evidence from a half million Chinese manufacturing plants. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2018(88): 1-17.
- [10] 巩在武. 苏豫皖三省气象敏感性行业研究. 第26届中国气象学会年会公共气象服务与灾害管理分会场论文集, 2009: 66-74.
- [11] 吴息, 缪启龙, 顾显跃. 气候变化对长江三角洲地区工业及能源的影响分析. *南京气象学院学报*, 1999(S1): 541-546.
- [12] 罗慧, 李良序, 章国材, 等. 陕西气象条件与经济发展的相关性分析. *自然灾害学报*, 2008, 17(3): 36-40.
- [13] 丑洁明, 董文杰, 叶笃正. 一个经济——气候新模型的构建. *科学通报*, 2006, 51(14): 1735-1736.
- [14] 罗慧, 许小峰, 章国材. 中国经济行业产出对气象条件变化的敏感性影响分析. *自然资源学报*, 2010, 25(1): 112-120.
- [15] 张海玲, 刘昌新, 王铮. 气候变化综合评估模型的损失函数研究进展. *气候变化研究进展*, 2018, 14(1): 40-48.
- [16] Interagency Working Group on Social Cost of Greenhouse Gases. Technical support document: social cost of carbon, methane, and nitrous oxide. Interim 32 Estimates under Executive Order 13990. Washington D.C., 2021.
- [17] Burke M, Tanutama V. Climatic constraints on aggregate economic output. Technical report. New York, National Bureau of Economic Research, 2019.
- [18] 戴洋, 刘赫男, 纪翠玲, 等. 我国气象经济敏感性分析 I: 生产函数法介绍和气象因子构建. *气象软科学*, 2008(4): 55-59.
- [19] 戴洋, 骆海英. 我国气象经济敏感性分析 II: 应用生产函数法建模和初步模拟结果分析. *气象软科学*, 2008(4): 60-69.
- [20] 马云占, 冯鹏, 高庆先, 等. 华北地区能源及交通行业对极端天气的敏感性分析. *环境科学研究*, 2015, 28(4): 495-502.
- [21] 孙鉴锋, 王冀, 何桂梅, 等. 北京市行业经济产出对气象变化的敏感性分析. *资源科学*, 2017, 39(6): 1212-1223.
- [22] 芮珏, 刘寿东, 谢宏佐, 等. 江苏省行业气象敏感性分析. *阅江学刊*, 2011, 3(4): 95-100.
- [23] 孙宁. 气候变化对制造业的经济影响研究. 南京: 南京信息工程大学, 2011.
- [24] 孙宁, 李廉水, 严明良. 基于协整理论的气温变化对南京市主要行业的影响研究. *气象*, 2008, 34(9): 97-103.
- [25] Kalkuhl M, Wenz L. The impact of climate conditions on economic production. Evidence from a global panel of regions. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2020, 103: 102360.
- [26] 董晓花, 王欣, 陈利. 柯布——道格拉斯生产函数理论综述. *生产力研究*, 2008(3): 148-150.
- [27] 吴卢荣, 梁方方, 施志楷. 中国交通事故损失的超越对数生产函数模型. *数学的实践与认识*, 2010, 40(22): 56-61.
- [28] 刘昌义, 何为. 气候变化与经济增长的关系研究. *天津大学学报(社会科学版)*, 2016(5): 424-431.
- [29] 陈强. 高级计量经济学及stata运用. 北京: 高等教育出版社, 2014.
- [30] 王小鲁. 改革20年和今后20年: 投资对经济增长的贡献. *国家行政学院学报*, 2001(4): 56-61.
- [31] 袁顺全, 千怀遂. 气候对能源消费影响的测度指标及计算方法. *资源科学*, 2004, 26(6): 125-130.
- [32] 中华人民共和国建设部. 民用建筑节能设计标准(JGJ26-95). 北京: 中国建筑工业出版社, 1996.
- [33] 曹洁, 邱梁, 刘焕彬, 等. 山东省采暖与降温度日数时空分布规律研究. *气象*, 2013, 39(1): 94-100.