

温度变化对中国工业生产的 影响及其机制分析

杨 璐 史京晔 陈晓光^{*}

摘要 本文利用 1998—2007 年中国工业企业微观数据，结合同时期天气数据，考察了温度变化对工业生产的影响及其作用机制。研究发现，工业产出与温度变化之间存在非线性关系：夏季温度升高显著降低了工业产出，而冬季温度升高则会增加工业产出；日均温度低于或高于 [12℃, 15℃) 均会负向影响工业产出。此外，温度的季节性波动也会给工业产出带来不利影响。进一步的影响机制检验结果表明，高温会通过降低工业企业的全要素生产率、固定资产总值、投资以及创新能力而间接影响其产出。从分样本的估计结果来看，夏季温度升高对工业产出的负向影响会因企业所处行业和所有权的不同而存在差异。最后，本文预测未来气候变暖将导致我国工业产出在中期下降约 3.0%—14.6%，在长期下降约 5.9%—20.0%。

关键词 温度变化，工业生产，机制分析

DOI: 10.13821/j.cnki.ceq.2020.04.16

一、引 言

全球气候变暖是人类社会普遍关注的问题。2015 年 11 月第 21 届联合国气候变化大会的召开更是将人类社会对全球气候变暖的关注推向了一个新的阶段。根据联合国政府间气候变化专门委员会 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 第五次评估报告，从 1880 年到 2012 年，全球地表平均温度升高了约 0.85℃。我国近 60 年气温上升尤为明显，每 10 年约升高 0.23℃，几乎是同时期全球气温升幅的两倍。在日益严峻的全球气候变暖大背景之下，研究气候变化与经济发展的关系已成为当下政治学界、社会学界以及各国政府讨论的热点问题，原因在于全球气候变暖不仅危害了人类健康，

^{*} 杨璐，南京财经大学会计学院；史京晔、陈晓光，西南财经大学经济与管理研究院。通信作者及地址：陈晓光，四川省成都市光华村街 55 号西南财经大学经济与管理研究院，610074；电话：(028) 87099164；E-mail：cxg@swufe.edu.cn。本文得到国家自然科学基金优秀青年科学基金 (71822302)、国家自然科学基金面上项目 (71673224)、国家自然科学基金青年项目 (71804152) 以及江苏高校哲学社会科学研究一般项目 (2019SJA0260) 的资助。感谢两名匿名审稿人和主编提出的宝贵意见和建议，文责自负。

还严重影响了人类社会的工业和农业生产 (Dell *et al.*, 2014)。

本文研究温度变化对我国工业生产的影响，并探讨可能的影响渠道。目前，关于气候变化影响的文献侧重于定量分析高温对农业部门的影响，原因在于天气是影响农业产出最重要的投入要素之一。例如，Schlenker and Roberts (2009) 利用美国 1950—2005 年县级面板数据，研究了温度变化对玉米、大豆以及棉花等农作物单产的影响。研究发现，这些农作物的单产与温度之间均存在非线性关系。基于我国 2000—2009 年县级面板数据，Chen *et al.* (2016) 也发现玉米和大豆的单产与温度之间存在非线性关系，并进一步指出，未来气候变化可能会导致我国玉米和大豆的单产在 21 世纪末分别下降 3%—12% 和 7%—19%。

与农业相比，工业在世界许多国家的 GDP 中占有更大的比重，但是目前研究气候变化对工业影响的文献相对较少，并且集中在宏观层面上，缺乏微观层面的实证分析。例如，Hsiang (2010) 利用 28 个加勒比海国家 1970—2006 年的行业产出数据，研究了温度变化对农业和工业部门产出的影响。结果表明，温度升高显著降低了该地区农业和工业部门的产出，但是对工业部门的冲击更大。具体而言，夏季温度每上升 1℃，加勒比海国家农业和工业部门的产出将分别减少 0.1% 和 2.4%。Dell *et al.* (2012) 利用全球 125 个国家 1950—2003 年的面板数据进行研究，他们发现，温度升高显著降低了贫穷国家的工业产出水平 ($-2\% / +1^\circ\text{C}$)，但对富裕国家的产出没有影响。相比较而言，使用微观数据研究温度变化对工业产出影响的文献却寥寥无几。在为数不多的文献中，Chen and Yang (2019) 和 Zhang *et al.* (2018) 利用 1998—2007 年中国工业企业数据库，实证检验了温度变化对我国工业产出的影响。他们的研究表明，温度与工业产出之间呈倒 U 形关系，工业产出会随着温度的上升而增加，直到达到一个最优温度区间，工业产出会随着温度的进一步上升而急剧下降。

然而，温度变化是通过什么渠道影响了工业产出呢？现有文献对这方面的研究比较薄弱。利用印度制造业的微观数据，Somanathan *et al.* (2015) 的研究表明，温度升高显著降低了劳动生产率，增加旷工人数，导致工业产出下降。Zivin and Neidell (2014) 利用美国 2003—2006 年的微观数据，考察了温度变化对劳动者工作时间的影响。研究发现，当日均温度超过 29℃ 时，户外劳动者会减少当天的工作时间。Zhang *et al.* (2018) 的研究发现，温度升高主要是通过降低工业企业的全要素生产率 (TFP) 而间接影响工业产出。以上文献探讨了温度变化影响工业产出的一种或几种渠道，但是没有对所有可能的影响渠道进行全面考察。

在 Chen and Yang (2019) 和 Zhang *et al.* (2018) 的研究基础上，本文利用 1998—2007 年中国工业企业数据库和中国气象局气象数据共享平台发布的日值天气数据，重点研究温度变化通过何种渠道影响工业产出？为了回答

这个问题，本文首先通过一个理论模型阐明了温度变化影响工业产出的作用机制，然后实证检验了理论模型的预测。我们的研究结果显示，夏季温度升高会显著降低工业产出，并且该负向影响具有滞后性。相对于温度区间 $[12^{\circ}\text{C}, 15^{\circ}\text{C}]$ 来说，日均温度处于较高或较低的区间均会负向影响企业的工业增加值。我们还发现，除春季外，其他季节温度波动幅度的增加也会降低工业企业的产出。

与 Zhang *et al.* (2018) 的研究结果类似，我们发现温度变化会通过影响工业企业的 TFP 而间接影响工业产出。不同于 Zhang *et al.* (2018)，我们的研究结果表明，温度变化也会通过影响固定资产总值、投资以及新产品比值而间接影响工业产出。此外，从分样本的估计结果来看，夏季温度升高对工业产出的负向影响会因企业所有权属性的不同而存在差异。具体地，夏季温度升高对国有及外资企业的产出没有显著的影响，但是会显著降低集体企业和私营企业的产出，并且对私营企业的冲击更大。最后，利用 21 世纪中期 (2040—2069 年) 和长期 (2070—2099 年) 的温度数据，本文预测了未来全球变暖对我国工业产出的潜在影响。结果显示，在其他因素不变的前提下，未来全球变暖可能会导致我国工业产出在中期下降约 3.0%—14.6%，在长期下降约 5.9%—20.0%。

本文的贡献主要体现在以下几个方面。第一，在研究视角上，本文较为全面地考察了温度变化影响工业产出的作用机制。少数文献，如 Chen and Yang (2019)，使用微观数据定量分析了温度变化对工业产出的影响，并没有对其中的影响渠道进行考察。部分文献，包括 Somanathan *et al.* (2015)、Zivin and Neidell (2014) 和 Zhang *et al.* (2018)，围绕一种或几种渠道探讨了温度变化对工业产出的影响，但对影响渠道的考察并不全面。第二，在研究方法上，不同于大多数现有文献，本文在实证分析中使用两种办法构造温度变量（分别用平均季节温度和温度区间作为温度变量），不仅可以检验温度变化对工业产出的影响是否存在季节性差异，也可以估计不同温度区间对工业产出的边际影响。第三，现有文献考察温度变化对工业产出的影响时，仅考虑了温度平均水平变化 (level) 的影响，忽略了温度波动幅度变化 (variability) 的影响。不同于已有研究，本文不仅考虑了温度平均水平变化，也考虑了温度波动幅度变化对工业产出的影响。

本文剩余部分的安排如下：第二部分阐述理论模型，第三部分是计量模型设定及变量说明，第四部分对使用的数据进行描述，第五部分报告估计结果并进行分析，第六部分是扩展性分析，第七部分预测未来气候变暖对我国工业产出的影响，最后是本文的结论及政策含义。

二、理论模型

本部分通过一个简单的理论模型来阐明温度变化是通过哪些渠道影响了工业企业的产出。考虑一个标准的 Cobb-Douglas 生产函数：

$$Y_t = A_t L_t^\alpha K_t^\beta, \quad (1)$$

其中, Y_t 代表企业第 t 期的产出, L_t 和 K_t 分别代表企业第 t 期的劳动和资本投入。 A_t 为企业的 TFP, 反映了资本和劳动力等投入要素的综合产出效率(鲁晓东和连玉君, 2012)。 α 和 β 分别代表劳动和资本的产出弹性。从式(1)中可以看出, 当企业的 TFP、劳动和资本投入中的任何一个要素发生变化时, 企业的产出也会随之发生变化。

当温度超过人体最适应的温度区间时, 温度继续上升(或下降)会导致劳动者出现身体不适, 疲劳甚至生病的症状, 从而负面影响劳动者的生产效率(González-Alonso *et al.*, 1999; Adhvaryu *et al.*, 2014; Somanathan *et al.*, 2015; 张景钢等, 2015)。与此同时, 温度变化也会直接影响资本的生产效率(Mostafavi and Agnew, 1996; Lilja, 2000)。因此, 当温度超过一定的水平时, 过高或过低的温度都会导致劳动和资本的生产效率下降, 从而负面影响 TFP, 导致企业的产出下降。¹

此外, 温度变化也可能会通过影响企业的劳动和资本而间接影响企业的产出。首先, 人们可能会通过减少工作时间来缓解高温带来的负面影响(Somanathan *et al.*, 2015; Zivin and Neidell, 2014)。当劳动投入减少时, 企业的产出会随之下降。其次, 高温会加剧资本的磨损, 导致企业的资本存量下降(Moore and Delavane, 2015)。当企业的资本存量下降时, 其产出也会随之下降。

温度通过 TFP、劳动和资本这三个渠道间接影响企业的产出是显而易见的, 但是温度会不会通过影响企业的投资而间接影响企业的产出呢? 根据宏观资本存量的核算方法:

$$K_t = K_{t-1} + I_t - \delta K_{t-1}, \quad (2)$$

其中, K_t 代表企业第 t 期末的资本存量, K_{t-1} 代表企业第 $t-1$ 期末的资本存量, I_t 代表企业第 t 期的固定资本投资, δ 代表资本的折旧率。已有文献表明, 温度变化会通过影响投资者情绪而间接影响投资者的投资行为(Cao and Wei, 2005)。从方程(2)中, 我们可以看到, 企业第 t 期的固定资本投资(I_t)会影响企业当期的资本存量(K_t), 而企业资本存量的变化又会对企业的产出造成影响。因此, 温度变化也可能会通过影响企业的投资行为而间接

¹ 过高和过低的温度都会负面影响劳动和资本的生产效率。为了便于阐述, 在下面的理论分析中, 我们只阐述高温对产出的影响以及可能的影响渠道。

影响企业的资本存量，从而给企业的产出带来影响。

最后，已有研究表明，高温会降低人们的认知能力（Hancock *et al.*, 2007; Zivin *et al.*, 2018）。同时，如果企业采取应对全球变暖的适应性行为，则会减少企业的研发资金，降低企业开发新产品的能力，给企业的总产出带来负面影响。因此，不同于 Zhang *et al.* (2018)，本文不仅将 TFP、劳动和资本投入作为温度变化影响工业产出的渠道，也将考察温度变化是否会通过影响企业的投资和创新而间接影响产出。

此外，其他政策或突发因素也会影响工业企业产出，这些均不能在理论模型中体现出来。比如，在高温酷暑期间，持续高温天气会造成生产设备运行异常和作业人员身心疲惫，极易诱发各类安全事故。为了保护劳动者生命健康，预防极端高温天气引发的生产安全事故，当温度超过一定水平时，政府会要求企业停止生产经营活动。除此之外，在夏季持续高温期间，为了防止用电量超负荷，确保医院、学校优先用电的原则，部分地区会采取错峰、避峰甚至拉闸限电等措施。这些措施和政府性行为都会给企业产出带来不利影响。然而，由于相关数据不可得，在下面的实证分析中我们不会将这些措施和政府性行为作为温度变化影响企业产出的渠道加以分析。

三、模型设定及变量说明

为了检验温度变化对工业产出的影响及其影响机制，本文采用如下计量模型设定：

$$\ln y_{i,t} = \alpha_0 Temp_{i,t} + \alpha_1 Temp_{i,t-1} + \beta_0 W_{i,t} + \beta_1 W_{i,t-1} + \gamma \Psi_t^j + \delta \Phi_t^r + c_i + \varepsilon_{i,t}, \quad (3)$$

其中，下标 i 代表企业， t 代表年份， j 代表制造业行业， r 代表按中国地理区域划分的六大地区。被解释变量 $\ln y_{i,t}$ 既包括工业产出的自然对数值 ($\ln (Output)$)，由企业工业增加值的自然对数值来衡量，也包括理论模型所阐述的各种“渠道变量”。这些“渠道变量”包括：企业全要素生产率的自然对数值 ($\ln (TFP)$)，这里我们采用扩展的 OP 方法来估算企业的 TFP；企业劳动投入的自然对数值 ($\ln (Labor)$)，由企业从业人数的自然对数值来衡量；企业资本投入的自然对数值 ($\ln (Capital)$)，由企业固定资产总值的自然对数值来衡量；企业投资的自然对数值 ($\ln (Investment)$)，用企业当年和上一年固定资产总值之差再加上企业当年折旧并取自然对数来表示；企业的创新能力，由企业新产品产值与企业工业总产值的比值来表示 ($New\ product\ ratio$)。

$Temp_{i,t}$ 代表温度变量，借鉴 Hsiang (2010) 的方法，这里使用季节平均温度 ($Temp^{spring}$ 、 $Temp^{summer}$ 、 $Temp^{fall}$ 和 $Temp^{winter}$) 来衡量。除温度变量外，本文在模型中还控制了与温度相关的其他天气变量 $W_{i,t}$ ，包括季节总降水量、总日照时数、平均大气压力、平均相对湿度和平均风速。此外，为了检

验天气变量对各种经济变量的影响是否存在滞后性，我们还在模型中加入了这些天气变量的滞后项 $Temp_{i,t-1}$ 和 $W_{i,t-1}$ 。

本文将其他没有控制的可能影响工业产出的部分归入误差项。这些误差项主要包括四个部分：①不可观测的不随时间变化的企业异质性 c_i ，如企业的地理位置；②行业和时间固定效应 Ψ_i^j ，如特定行业的技术进步、受到的价格冲击和政策变化；③地区和时间固定效应 Φ_i^t ，如特定地区的环境变化和政策冲击，这里我们按照地理区划将中国分成了华北、东北、华东、中南、西南、西北六大区域；④其他不可观测的随机扰动项 ϵ_{it} 。此外，在回归分析中，我们还控制了残差项的异方差、自相关和空间相关性。

与 Zhang *et al.* (2018) 的实证策略不同，我们在实证分析中使用两种办法构造温度变量，分别用平均季节温度和温度区间作为温度变量²。因此，我们不仅可以检验温度变化对工业产出的影响是否存在季节性差异，也可以估计不同温度区间对工业产出的边际影响。

四、数据来源及描述性统计

本文的实证分析使用了两组微观数据。第一组数据来源于 1998—2007 年中国工业企业数据库，该数据库涵盖了中国所有国有企业以及非国有企业中的“规模以上”（即主营业务收入超过 500 万元）企业。样本统计数量从 1998 年的大约 16 万家逐年递增到 2007 年的大约 33 万家。这些企业贡献了我国 85% 的工业产出 (Jefferson *et al.*, 2003)，因此可以较好地代表全国工业企业的总体水平。数据库包括来自企业资产负债表、利润表及现金流量表中的八十多个变量，并提供了关于企业身份、所有制、工业增加值、就业人数、固定资产总值、折旧以及新产品产值等方面的信息。利用该数据库，我们计算了企业的 TFP。在处理数据的过程中，参照 Cai and Liu (2009)，我们删除了符合以下任何一项条件的观测值：①关键指标（例如，总资产、职工人数、工业总产值、固定资产净值和销售额）存在缺失的观测值；②不满足“规模以上”标准的观测值，即销售额低于 1 000 万元，或职工人数少于 8 人的观测值；③存在一些明显不符合会计原则的观测值，例如总资产小于流动资产，总资产小于固定资产净值，或者累计折旧小于当期折旧的观测值；④剔除了关键指标（包括工业增加值、销售收入和工业总产值）的极端值（前后各 0.5%）。

第二组数据来源于中国气象局气象数据共享平台，该平台记录了 1998—2007 年中国 820 个气象站的日平均温度、降雨量、日照时间、大气压力、相对湿度以及风速等天气变量。该数据库还包含了每个气象站的详细坐标信息。

² 第六部分的扩展性分析讨论了以温度区间为温度变量的结果。

基于此，我们将天气数据与中国县界进行匹配，得到了县级层面的天气数据。在样本的2811个区县中，对于有多个气象站的区县，我们使用各个气象站数据的均值来构建其天气数据。对于没有气象站的区县，我们使用其邻近县的天气信息来构建天气数据。根据该数据库提供的天气数据，我们可以计算出1998—2007年中国各个区县春夏秋冬四个季节的天气变量。

将上述工业企业数据与天气数据合并后，我们的最终样本为约180万观测值的非平衡面板。表1给出了主要变量的描述性统计³。

表1 主要变量统计特征

变量名	变量含义	样本数	均值	标准差	最小值	最大值
ln (Output)	工业增加值的自然对数值	1 803 482	8.6233	1.3014	4.7449	12.4772
ln (Labor)	从业人数的自然对数值	1 803 482	4.8013	1.0820	2.0794	11.9823
ln (Capital)	固定资产总值的自然对数值	1 799 402	8.4543	1.6511	0.0000	16.4471
ln (TFP)	TFP的自然对数值	1 801 322	3.1281	1.0276	-3.7805	10.0428
ln (Investment)	投资的自然对数值	983 330	6.9060	1.9093	-7.1634	15.6322
New products ratio	新产品比值	1 567 431	0.0296	0.1377	0.0000	1.0000
Temp ^{spring}	春季平均温度(℃)	1 803 482	16.0323	3.7237	-6.2435	27.8217
Temp ^{summer}	夏季平均温度(℃)	1 803 482	26.3717	2.3915	4.8435	32.7565
Temp ^{fall}	秋季平均温度(℃)	1 803 482	17.5138	4.5235	-6.5077	27.6363
Temp ^{winter}	冬季平均温度(℃)	1 803 482	4.9121	6.7872	-28.7890	23.5678
Tsdv ^{spring}	春季温度标准差(℃)	1 795 839	5.8782	1.1443	1.5949	13.2471
Tsdv ^{summer}	夏季温度标准差(℃)	1 795 839	2.7420	0.6452	0.7558	6.6549
Tsdv ^{fall}	秋季温度标准差(℃)	1 795 839	5.6911	1.4867	1.3770	15.4902
Tsdv ^{winter}	冬季温度标准差(℃)	1 795 839	3.8337	0.8613	1.2790	9.4573

五、估计结果与分析

(一) 温度变化对工业产出的影响

1. 基准结果

本文首先考察了温度变化对工业产出的影响，回归结果见表2。第(1)列结果只控制了当期天气变量，结果显示，工业企业的产出与夏季温度呈显著的负相关关系，其参数估计值为-0.0591。这表明，在控制其他解释变量不变的情况下，夏季温度每升高1℃，企业的工业增加值将减少5.91%，并

³ 限于篇幅，我们没有报告其他天气变量的描述性统计。

且该负向影响在 1% 的水平上显著。与此相反，工业企业的产出与冬季温度呈显著的正相关关系，其参数估计值为 0.0181。这表明，在控制其他解释变量不变的情况下，冬季温度每升高 1℃，工业企业的产出将增加 1.81%，该正向影响在 1% 的水平上也是显著的。其他季节温度变化对工业企业产出没有显著的影响。

为了检验温度变化对工业产出的影响是否存在滞后性，我们在模型中进一步控制了滞后一期的天气变量。从表 2 第 (2) 列中可以看出，在添加了滞后一期天气变量为解释变量后，夏季温度与工业产出的负相关关系以及冬季温度与工业产出的正相关关系仍然存在，参数估计值分别为 -0.0565 和 0.0140。此外，上一年夏季温度升高也会显著降低企业当年的工业产出，但是与当期影响相比，滞后一期的影响略微变小，系数为 -0.0358。此外，我们发现，当期和滞后一期夏季温度每上升 1℃，企业当期的工业产出将减少 9.23%。

表 2 温度变化对工业产出的影响 (基准结果)

	ln (Output)	
	(1)	(2)
$Temp^{spring}$	-0.0029 (0.0090)	-0.0056 (0.0087)
$Temp^{summer}$	-0.0591*** (0.0088)	-0.0565*** (0.0090)
$Temp^{fall}$	-0.0007 (0.0079)	0.0132 (0.0087)
$Temp^{winter}$	0.0181*** (0.0067)	0.0140** (0.0068)
L. $Temp^{spring}$		0.0084 (0.0083)
L. $Temp^{summer}$		-0.0358*** (0.0094)
L. $Temp^{fall}$		0.0187** (0.0081)
L. $Temp^{winter}$		-0.0042 (0.0075)
Sum of $Temp^{spring}$		0.0028 (0.0134)

(续表)

	ln (Output)	
	(1)	(2)
Sum of $Temp^{\text{summer}}$		-0.0923*** (0.0139)
Sum of $Temp^{\text{fall}}$		0.0319** (0.0135)
Sum of $Temp^{\text{winter}}$		0.0098 (0.0109)
其他天气变量	是	是
行业×年份固定效应	是	是
地理区域×年份固定效应	是	是
观测值	1 803 482	1 801 581
R^2	0.7998	0.8001

注：括号中为稳健标准差。***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

2. 稳健性检验

为了考察上述结果的可靠性，我们从 4 个方面进行稳健性检验。限于篇幅，稳健性检验只报告夏季温度变量的估计系数。

首先，在基准回归中，我们将样本按“城市一年份”分组，允许组间具有相互独立性，并据此对残差的协方差矩阵进行调整。这里我们将样本按“区县一年份”重新分组并进行聚类分析，结果报告在表 3 第（1）列。其次，在前文的研究中，地区划分是按照地理区划将中国分成了六大区域。作为第二种稳健性检验，我们采用经济区划，将中国分成东北、东部、中部、西部四大区域，构建了新的地区×年份固定效应，并重新对模型进行估计，回归结果报告在表 3 第（2）列。再次，在第三种稳健性检验中，我们在模型中用城市固定效应×时间趋势替代了基准模型中的地区×年份固定效应，回归结果报告在表 3 第（3）列。最后，前文在考察温度变化对工业产出的影响时均未考虑周末和法定节假日的影响。在中国，大部分工业生产活动都发生在工作日。因此，在最后一个稳健性检验中，我们剔除了周末和法定节假日的天气信息并重新构建了天气变量，然后重新对模型进行估计。表 3 的最后一列报告了回归结果。从这些结果中可以看出，本文的核心结论具有较好的稳健性。

表 3 温度变化对工业产出的影响 (稳健性检验)

	在区县一年份 层面上聚类分析	控制经济区域× 年份固定效应	控制城市固定 效应×时间趋势	使用工作日的 天气信息构建 天气变量
	(1)	(2)	(3)	(4)
$Temp^{\text{summer}}$	-0.0565*** (0.0061)	-0.0337*** (0.0095)	-0.0288*** (0.0067)	-0.0555*** (0.0088)
$L. Temp^{\text{summer}}$	-0.0358*** (0.0064)	-0.0178 * (0.0096)	-0.0124 (0.0077)	-0.0293*** (0.0085)
Sum of $Temp^{\text{summer}}$	-0.0923*** (0.0095)	-0.0515*** (0.0139)	-0.0411*** (0.0106)	-0.0848*** (0.0129)
其他天气变量	是	是	是	是
行业×年份固定效应	是	是	是	是
地理区域×年份固定效应	是	否	否	是
经济区域×年份固定效应	否	是	否	否
城市固定效应×时间趋势	否	否	是	否
观测值	1 801 581	1 801 581	1 801 581	1 801 581
R^2	0.8001	0.7999	0.8032	0.8001

注：括号中为稳健标准差。***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

(二) 温度变化影响工业产出的作用机制

为了探讨温度变化通过哪些渠道影响了工业企业的产出，结合本文第二部分的理论分析，我们选择全要素生产率、从业人数、固定资产总值、投资以及新产品比值作为渠道变量，将渠道变量分别作为式(3)的被解释变量进行回归。由于夏季温度升高对工业产出有较大的负向影响，我们这里只报告夏季温度变量的估计系数。

为了简单起见，我们在模型中只控制了当期天气变量。表 4 的第(1)—(5)列分别汇报了将上述 5 个渠道变量作为被解释变量的估计结果。结果显示，除了从业人数外，夏季温度与工业企业的 TFP、固定资产总值、投资以及新产品比值都呈显著的负相关关系。具体而言，在控制其他解释变量不变的情况下，夏季温度每升高 1℃，工业企业的 TFP、固定资产总值、投资以及新产品比值将分别下降 4.06%、2.78%、7.33% 和 0.21%。

表4 温度变化影响工业产出的渠道分析

	ln (TFP)	ln (Labor)	ln (Capital)	ln (Investment)	New product ratio
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Temp ^{summer}	-0.0406*** (0.0081)	-0.0033 (0.0050)	-0.0278*** (0.0068)	-0.0733*** (0.0176)	-0.0021* (0.0012)
其他天气变量	是	是	是	是	是
行业×年份固定效应	是	是	是	是	是
地理区域×年份固定效应	是	是	是	是	是
观测值	1 801 322	1 803 482	1 799 402	983 330	1 567 431
R ²	0.7039	0.8914	0.8889	0.6903	0.6236

注：括号中为稳健标准差。***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

这里，需要强调的是，Zhang *et al.* (2018) 研究发现，温度变化影响工业产出的主要渠道是企业 TFP，而温度变化对企业固定资产总值没有显著的影响。我们的分析则表明，温度变化不仅会影响企业的 TFP，也会通过影响企业的固定资产总值、投资以及新产品比值而间接影响工业产出。下面几个方面的因素可能造成了 Zhang *et al.* (2018) 和我们研究结论的不同。第一，温度变量的构建不同。Zhang *et al.* (2018) 使用温度箱为温度变量，而我们这里报告的结果则是以季节平均温度为温度变量。⁴ 第二，天气数据的来源不同。Zhang *et al.* (2018) 的天气数据来自美国海洋和大气管理局，而我们的数据来自中国气象局气象数据共享平台。第三，除了 TFP、劳动和资本投入外，Zhang *et al.* (2018) 的分析没有考虑其他可能的影响渠道。与之不同，我们的实证研究进行了更为全面的渠道分析。

(三) 温度变化与工业产出：企业的所有制类型重要吗？

表5 报告了分所有制的回归结果。结果显示，夏季温度升高对国有以及外资企业的产出均没有显著的影响。但是较高的温度会导致私营企业和集体企业的产出下降，并且对私营企业的冲击更大。具体而言，在控制其他解释变量不变的情况下，夏季温度每上升 1℃，私营企业和集体企业的产出将分别下降 10.81% 和 9.62%，并且该负向影响在 1% 的水平上显著。我们认为出现上述现象的原因可能在于：在我国，相比于私营企业和集体企业，国有企业

⁴ 在本文第六部分扩展性分析中，我们也以温度箱为温度变量，对温度变化影响工业产出的渠道进行了分析，主要研究结论没有发生变化。

和外资企业的劳工制度更加完善，执行各项国家规定更加严格，融资环境也更为宽松。我国国有企业和外资企业可以凭借其制度和资本优势，采取一系列的适应性措施，如在高温工作环境下设立休息场所，配备空调等防暑降温设备等来缓解高温对其产出的负向影响。私营企业和集体企业的规模较小，技术水平较低，同时面临较大的融资约束，从而应对全球气候变暖的能力也较弱。

表 5 温度变化对不同所有制企业产出的影响

	State-Owned (1)	Collective (2)	Private (3)	Foreign (4)
<i>Temp</i> ^{summer}	-0.0138 (0.0092)	-0.0689*** (0.0134)	-0.0653*** (0.0111)	-0.0173 (0.0149)
L. <i>Temp</i> ^{summer}	0.0006 (0.0100)	-0.0273** (0.0120)	-0.0428*** (0.0125)	-0.0077 (0.0149)
Sum of <i>Temp</i> ^{summer}	-0.0133 (0.0154)	-0.0962*** (0.0196)	-0.1081*** (0.0177)	-0.0249 (0.0229)
其他天气变量	是	是	是	是
行业×年份固定效应	是	是	是	是
地理区域×年份固定效应	是	是	是	是
观测值	233 368	252 815	807 494	339 807
R ²	0.8870	0.7949	0.7882	0.7727

注：括号中为稳健标准差。***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

(四) 高温对工业产出的负向影响是否存在行业异质性？

为了分析温度变化对工业产出的影响是否存在行业异质性，我们按照行业二位码对不同行业的产出分别进行回归，所有分行业的回归模型中均控制了当期和滞后一期天气变量。

图 1 是分行业的估计结果，其中点估计系数是当期和滞后一期夏季温度变化对各个行业产出的加总影响。可以看到，在 39 个工业行业中，有 18 个行业的产出受到了高温的负向影响，这些行业既包括劳动密集型行业，也包括资本密集型行业。其中，“家具制造业”、“橡胶制品业”和“电气机械及器材制造业”是受高温影响最大的三个行业。夏季温度每升高 1℃，这三个行业的产出将分别下降 23.13%、21.25% 和 18.88%。

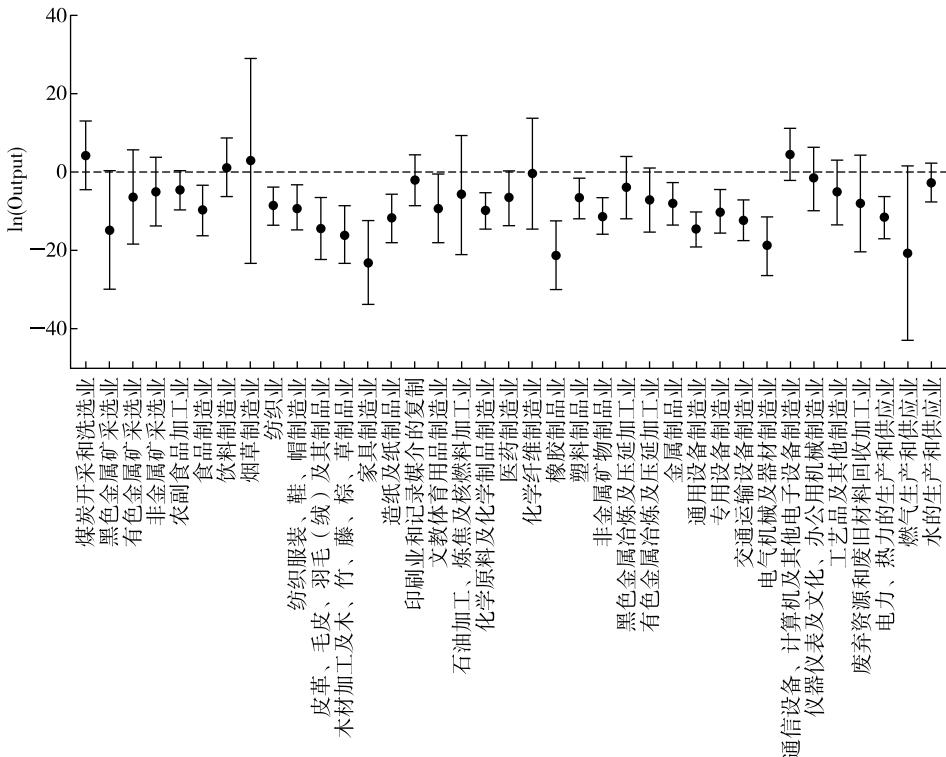


图1 夏季温度变化对不同行业产出的影响(%)

六、扩展性分析

(一) 扩展 I：温度波动幅度变化是否会影响工业产出？

前述研究只考虑了平均温度变化对工业企业的影晌，忽略了温度波动幅度变化的影响。温度波动幅度的变化是否会影响工业企业的产出呢？其内在机制又是什么？对该问题的深入考察不仅有益于更加全面系统地评估温度变化对我国工业企业产出的影响，同时也具有重要的现实意义。

为了检验温度波动幅度变化对工业产出的影响，我们采用如下计量模型设定：

$$\ln y_{i,t} = \alpha_0 Temp_{i,t} + \rho_1 Tsdv_{i,t} + \beta_0 W_{i,t} + \gamma \Psi_i^j + \delta \Phi_i^r + c_i + \epsilon_{i,t}, \quad (4)$$

其中， $Tsdv_{i,t}$ 代表温度的波动幅度，用春、夏、秋、冬四个季节温度的标准差来衡量。每个季节温度标准差的计算方法如下所述：首先，我们计算出样本期内每个县的季节平均温度；然后，我们将每个县每一年某个季节的日均温度减去相应季节的平均温度再进行平方并加总得到离差平方和；最后，我们求离差平方和的平均值并开根号得到每个县不同年份季节温度的标准差。式

(4) 中其他天气变量和固定效应的构建方法与式 (3) 保持一致。为了简单起见, 模型中没有控制滞后期的天气变量。

表 6 报告了回归结果。限于篇幅, 我们只报告温度标准差变量的估计系数。首先, 我们将工业产出作为被解释变量进行回归, 回归结果见表 6 第 (1) 列。结果显示, 除了春季温度外, 其他季节温度的标准差与工业企业产出之间均呈显著的负相关关系。具体而言, 夏季温度、秋季温度和冬季温度的波动幅度每增加一个单位, 工业企业的产出将分别下降 2.31%、2.63% 和 1.62%。

接下来, 我们进一步分析温度波动幅度变化通过哪些渠道影响了工业企业产出, 我们再次将前文所述的各种渠道变量分别作为被解释变量进行回归分析, 估计结果见表 6 第 (2) — (6) 列。结果显示, 夏季温度波动幅度每增加一个单位, 工业企业的 TFP 将下降 4.01%。与此相反, 夏季温度标准差与新产品比值之间存在正相关关系, 其原因可能在于, 为了减少温度波动幅度增大给产出带来的负向影响, 企业可能增加了研发投入。

秋季温度标准差与工业企业的 TFP、固定资产总值以及投资之间均呈显著的负相关关系, 系数分别为 -0.0173、-0.0164 和 -0.0379, 并在 5% 和 1% 的水平上显著。冬季温度标准差与工业企业的 TFP 以及投资之间也存在显著的负相关关系。

综上所述, 夏季温度波动幅度增大会通过企业的 TFP 和新产品比值这两个渠道来间接影响工业产出, 秋季温度波动幅度增大则会通过降低企业的 TFP、固定资产总值和投资而导致工业产出下降, 而冬季温度波动幅度增大则会通过降低企业的 TFP 和投资而负向影响工业产出。

表 6 温度波动幅度变化对工业产出的影响及影响渠道

	$\ln(\text{Output})$	$\ln(\text{TFP})$	$\ln(\text{Labor})$	$\ln(\text{Capital})$	$\ln(\text{Investment})$	$\frac{\text{New product}}{\text{ratio}}$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
$Tsdv^{\text{spring}}$	0.0015 (0.0090)	0.0095 (0.0083)	-0.0020 (0.0048)	-0.0107 (0.0073)	-0.0158 (0.0181)	-0.0024** (0.0010)
$Tsdv^{\text{summer}}$	-0.0231** (0.0098)	-0.0401*** (0.0090)	0.0125 (0.0079)	0.0109 (0.0080)	0.0325 * (0.0167)	0.0026** (0.0012)
$Tsdv^{\text{fall}}$	-0.0263*** (0.0076)	-0.0173** (0.0067)	0.0038 (0.0058)	-0.0164*** (0.0055)	-0.0379*** (0.0135)	0.0006 (0.0008)
$Tsdv^{\text{winter}}$	-0.0162** (0.0077)	-0.0168** (0.0073)	0.0027 (0.0068)	-0.0042 (0.0058)	-0.0357** (0.0161)	0.0013 (0.0009)

(续表)

	ln (Output)	ln (TFP)	ln (Labor)	ln (Capital)	ln (Investment)	New product ratio
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
其他天气变量	是	是	是	是	是	是
行业×年份固定效应	是	是	是	是	是	是
地理区域×年份固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	1 803 482	1 801 322	1 803 482	1 799 402	983 330	1 567 431
R ²	0.7999	0.7040	0.8914	0.8890	0.6904	0.6237

注：括号中为稳健标准差。***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

(二) 扩展 II：构建温度区间为温度变量

这里，我们使用温度区间作为温度变量，以检验结果的稳健性。具体模型设定如下：

$$\ln y_{i,t} = \sum_m \alpha^m Tbin_{i,t}^m + \beta W_{i,t} + \gamma \Psi_t^i + \delta \Phi_t^i + c_i + \epsilon_{i,t}, \quad (5)$$

其中， $Tbin_{i,t}^m$ 表示企业 i 所在地区第 t 年日均温度落入第 m 个温度区间的天数。我们将日均温度分为 12 个区间，每个温度区间的跨度为 3°C 。这里依次定义 $Tbin_{i,t}^1$ = 企业 i 所在地区第 t 年日均温度落入区间 $(-\infty, 0^\circ\text{C})$ 的天数； $Tbin_{i,t}^2$ = 企业 i 所在地区第 t 年日均温度落入区间 $[0^\circ\text{C}, 3^\circ\text{C})$ 的天数。以此类推， $Tbin_{i,t}^{12}$ = 企业 i 所在地区第 t 年日均温度落入区间 $[30^\circ\text{C}, +\infty)$ 的天数。其他天气变量和固定效应的构建方法与式 (3) 保持一致。此外，由于所有温度区间的天数加总为 365，为了避免多重共线性，我们在回归中去掉了第 6 个温度区间 $[12^\circ\text{C}, 15^\circ\text{C}]$ 。⁵ 因此，回归系数 α^m 衡量，相对于温度区间 $[12^\circ\text{C}, 15^\circ\text{C}]$ ，日均温度落入区间 m 的天数每增加一天对工业产出的边际影响。我们选择 $[12^\circ\text{C}, 15^\circ\text{C}]$ 作为参照区间，是因为它处于所有温度区间的中间位置。我们的回归结果不会因选择其他参照温度区间而发生变化。

我们将工业产出作为被解释变量进行回归，回归结果见表 7 第 (1) 列。首先，温度与工业产出之间存在非线性关系。具体而言，当温度低于 $[12^\circ\text{C}, 15^\circ\text{C}]$ 时，温度对工业产出有轻微的负向影响，并且大部分低温区间的估计系数不显著。当温度超过 $[12^\circ\text{C}, 15^\circ\text{C}]$ 时，工业产出会随着温度的进一步上升而下降，并且下降幅度逐渐变大。日均温度落入 $[27^\circ\text{C}, 30^\circ\text{C}]$ 和 $[30^\circ\text{C}, +\infty)$ 的天数每增加一天，工业企业的产出将分别减少 0.30% 和 0.43%，并且该负向影响在 1% 的水平上显著，该发现与 Zhang et al. (2018)

⁵ 为了保证样本期间内不同年份所有温度区间加总之和为 365，我们剔除了样本中 2 月 29 日的天气信息。

的结论类似。

接下来,为了进一步分析前文所述的各种渠道变量与温度之间是否也存在上述非线性关系,我们将上述5个渠道变量分别作为被解释变量进行回归,回归结果见表7第(2)—(6)列。表7的第(2)列结果显示,温度与工业企业TFP之间也存在同样的非线性关系。当温度低于[12°C, 15°C]时,温度对工业企业TFP有轻微的负向影响;当温度超过[12°C, 15°C]时,温度对TFP的负向影响会随着温度的升高逐渐变大,该发现与Zhang et al. (2018)的研究结论类似。

表7的第(3)列和第(4)列分别报告了不同温度区间对企业从业人数和固定资产总值的估计结果。表7的第(3)列显示,相对于温度区间[12°C, 15°C],日均温度落入[24°C, 27°C]和[27°C, 30°C]的天数每增加一天,工业企业的从业人数将分别减少0.1%和0.13%。表7的第(4)列显示,当温度较低时,温度对工业企业固定资产总值没有显著的影响;当日均温度超过18°C时,温度继续上升会导致工业企业的固定资产总值下降,并且下降幅度会随着温度的升高而逐渐变大。上述发现与Zhang et al. (2018)的研究结论不同,他们发现大部分温度区间变化对工业企业的劳动和资本均没有显著的影响。天气数据的来源不同是造成Zhang et al. (2018)与我们研究发现不同的主要原因。⁶

表7的第(5)列汇报了不同温度区间对企业投资的估计结果。结果显示,温度过高或过低对工业企业投资都有显著的负向影响。表7的最后一列汇报了不同温度区间对企业新产品比值的估计结果。与季节温度作为温度变量的估计结果类似,温度变化对工业企业新产品比值的负向影响较小。

表7 不同温度区间对工业产出的边际影响及影响渠道

	ln (Output)	ln (TFP)	ln (Labor)	ln (Capital)	ln (Investment)	New product ratio
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
<0°C	-0.0013 (0.0009)	-0.0010 (0.0008)	0.0009* (0.0005)	-0.0007 (0.0007)	-0.0059*** (0.0017)	0.0001 (0.0001)
[0°C, 3°C]	-0.0001 (0.0007)	0.0001 (0.0007)	0.0007* (0.0004)	-0.0006 (0.0005)	-0.0055*** (0.0014)	0.0000 (0.0001)

⁶ Zhang et al. (2018) 对温度区间的构造也与我们不同。为了检验温度区间的构造不同是否是导致研究结论出现差异的原因之一,我们按照Zhang et al. (2018)的方法重新构建了温度区间,并使用了与Zhang et al. (2018)相同的模型设定,但研究结论的差异仍然存在。因此,我们认为天气数据的来源不同是导致研究结论出现差异的最主要原因。

(续表)

	$\ln(\text{Output})$	$\ln(\text{TFP})$	$\ln(\text{Labor})$	$\ln(\text{Capital})$	$\ln(\text{Investment})$	<i>New product ratio</i>
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
[3°C, 6°C]	-0.0014** (0.0006)	-0.0011** (0.0006)	0.0008** (0.0004)	-0.0005 (0.0005)	-0.0034*** (0.0011)	-0.0000 (0.0001)
[6°C, 9°C]	0.0005 (0.0006)	0.0004 (0.0005)	0.0005 (0.0003)	0.0001 (0.0005)	-0.0028** (0.0011)	-0.0001 (0.0001)
[9°C, 12°C]	-0.0005 (0.0005)	-0.0009* (0.0005)	0.0005 (0.0003)	0.0001 (0.0004)	-0.0017* (0.0010)	0.0000 (0.0001)
[12°C, 15°C]	—	—	—	—	—	—
[15°C, 18°C]	-0.0013** (0.0005)	-0.0016*** (0.0005)	0.0001 (0.0004)	-0.0003 (0.0004)	0.0007 (0.0009)	-0.0001 (0.0001)
[18°C, 21°C]	-0.0009 (0.0006)	-0.0006 (0.0005)	-0.0002 (0.0004)	-0.0012** (0.0005)	-0.0012 (0.0011)	-0.0001* (0.0001)
[21°C, 24°C]	-0.0004 (0.0007)	-0.0002 (0.0007)	-0.0006 (0.0005)	-0.0012** (0.0005)	-0.0002 (0.0012)	-0.0003** (0.0001)
[24°C, 27°C]	-0.0020** (0.0008)	-0.0011 (0.0007)	-0.0010** (0.0004)	-0.0015*** (0.0006)	-0.0031*** (0.0012)	-0.0003*** (0.0001)
[27°C, 30°C]	-0.0030*** (0.0009)	-0.0018** (0.0008)	-0.0013*** (0.0005)	-0.0021*** (0.0007)	-0.0046*** (0.0015)	-0.0003** (0.0001)
≥ 30°C	-0.0043*** (0.0010)	-0.0033*** (0.0009)	-0.0005 (0.0006)	-0.0025*** (0.0008)	-0.0057*** (0.0017)	-0.0003** (0.0001)
其他天气变量	是	是	是	是	是	是
行业×年份固定效应	是	是	是	是	是	是
地理区域×年份固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	1 803 482	1 801 322	1 803 482	1 799 402	983 330	1 567 431
R ²	0.7998	0.7040	0.8914	0.8889	0.6904	0.6236

注：括号中为稳健标准差。***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

(三) 扩展 III：扩展样本

在本节，我们将样本从 1998—2007 年扩展到 1998—2013 年。然而，如王永钦等（2018）和陈林（2018）所述，2008—2013 年工业企业数据存在严重的指标缺失问题，包括①没有统计工业增加值，而工业中间投入指标也全部缺失，

因此无法计算 2008—2013 年工业增加值和估计 TFP；②数据库中折旧、新产品产值等指标局部缺失，导致无法计算投资和创新作为渠道变量。因此，基于 2008—2013 年数据存在的上述问题，我们在本节选择使用工业总产出作为工业增加值的代理变量，并检验温度变化对劳动和资本这两个渠道变量的影响。

首先，我们对 1998—2007 年工业总产出进行回归，回归结果报告在表 8 第（1）列，结果显示，与前文表 2 报告的温度变化对工业增加值的估计结果相比，当期和滞后一期夏季温度系数的大小和显著性水平基本没有发生明显变化。具体地，当期和滞后一期夏季温度每上升 1℃，企业工业增加值和工业总产出将分别减少 9.23% 和 9.32%（夏季温度升高对企业工业增加值的结果见表 2 第（2）列），并且该负向影响在 1% 的水平上显著。因此，温度变化对工业总产出和工业增加值的影响较为接近。

其次，表 8 第（2）列报告了使用 1998—2013 年数据，夏季温度升高对工业总产出的估计结果。⁷与第（1）列 1998—2007 年的估计结果相比，当期和滞后一期夏季温度的系数明显变小，但是其对工业总产出的加总影响仍然为负且通过了 1% 水平的显著性检验。当期和滞后一期夏季温度每上升 1℃，企业工业总产出将下降 2.64%，并且该负向影响在 1% 的水平上显著。该结果说明企业在长期处于高温的情况下，有可能采取一系列的适应性措施来缓解高温对其产出的负向影响。

最后，表 8 第（3）列和第（4）列分别报告了使用 1998—2013 年数据，温度变化对从业人数和资本的估计结果。为了简单起见，在第（3）和（4）列的回归中，我们只控制了当期天气变量。我们发现，一方面，夏季温度升高对企业从业人数没有显著的负向影响，这与前文 1998—2007 年的估计结果类似。另一方面，与前文 1998—2007 的估计结果相反，夏季温度升高对企业固定资产有显著的正向影响，这说明企业可能会通过增加资本存量来缓解高温对其产出的负向影响。

表 8 温度变化对工业产出的影响及影响渠道（1998—2013）

	ln (工业总产出)		ln (Labor)		ln (Capital)	
	1998—2007		1998—2013		1998—2013	
	(1)	(2)	(3)	(4)		
Temp ^{summer}	-0.0536*** (0.0073)	-0.0117** (0.0059)	0.0027 (0.0045)	0.0391*** (0.0090)		
L. Temp ^{summer}	-0.0396*** (0.0078)	-0.0147** (0.0057)				

⁷ 2010 年数据存在较大的质量问题，资本结构异常，工业总产出等重要变量全部缺失，因此，我们没有纳入 2010 年的数据进行回归分析。

(续表)

	ln (工业总产出)		ln (Labor)		ln (Capital)	
	1998—2007		1998—2013		1998—2013	
	(1)	(2)	(3)	(4)		
Sum of $Temp^{\text{summer}}$	-0.0932*** (0.0117)	-0.0264*** (0.0087)				
其他天气变量	是	是	是	是	是	是
行业×年份固定效应	是	是	是	是	是	是
地理区域×年份固定效应	是	是	是	是	是	是
观测值	1 801 581	3 214 428	3 217 274	3 194 100		
R ²	0.8661	0.8584	0.8462	0.8704		

注：括号中为稳健标准差。***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

七、全球气候变化的未来影响

利用基准模型式(3) (平均季节温度作为温度变量) 得到的估计系数, 我们预测未来气候变化对我国工业产出的潜在影响。本文使用的未来温度数据来源于 Climate Wizard。该网站提供了基于不同全球气候变化模型预测得到的中期 (2040—2069 年) 和长期 (2070—2099 年) 温度数据, 包括月度平均温度和季节平均温度。这些温度数据的预测是基于 A2、A1B 以及 B1 三种可能的社会经济发展状况, 分别对应高、中、低三种温室气体排放情景。⁸ 参照 Schlenker and Roberts (2009), 我们利用 UKMO-HadCM3 气候变化模型预测得到的温度数据进行下面的分析。

我们首先根据未来温度数据和 1998—2007 年的平均温度, 计算出了我国各个区县春、夏、秋、冬季节温度的中期和长期变化值。然后, 结合前文基准模型 (表 2) 和稳健性检验 (表 3) 的估计系数, 我们预测了未来温度变化对我国工业产出的中期和长期影响。结果显示, 在 A2、A1B 和 B1 三种情景下, UKMO-HadCM3 模型预测, 我国工业产出在中期将下降 3.04%—14.64%。与中期相比, 长期温度变化对我国工业产出的负向冲击更大。具体而言, 在 A2、A1B 和 B1 三种情景下, UKMO-HadCM3 模型预测, 我国工业产出在长期将下降 5.87%—19.99%。

⁸ 这三种情景的主要区别在于对人口增长、经济发展、技术进步以及能源来源和利用效率所做的假设不同。

八、结论与政策含义

本文利用中国工业企业数据库和日值天气数据，探讨了温度变化对工业产出的影响及其内在影响机制。我们发现：第一，工业产出与温度变化之间存在非线性关系。具体地，夏季温度升高显著降低了工业产出，而冬季温度升高则会增加工业产出。相对于温度区间 $[12^{\circ}\text{C}, 15^{\circ}\text{C}]$ 来说，日均温度处于较高或较低的区间均会负向影响工业产出。第二，温度的季节性波动也会给工业产出带来不利影响。第三，高温会通过降低工业企业的 TFP、固定资产总值、投资以及创新能力而间接影响其产出。第四，夏季温度升高对工业产出的负向影响存在行业异质性和所有制异质性。最后，本文预测未来温度变化将会导致我国工业产出在中期下降约 $3.0\%—14.6\%$ ，在长期下降约 $5.9\%—20.0\%$ 。

本文研究结论的理论和现实意义明确。一方面，本文是对现有气候变化相关研究的有益补充。国内外现有文献更多地关注气候变化对农业产出以及工业产出的影响，对于其内在影响机制的研究相对较少。另一方面，本文的研究结论凸显了解决全球气候变暖问题的重要性和紧迫性。尽管我国工业企业已经采取措施适应气候变化和减少全球变暖带来的不利影响，但是鉴于全球气候变暖对中国工业部门已经和即将产生的不利影响，政府有必要制定相关政策来应对和适应全球气候变暖，如征收碳关税、发展清洁能源、加大对气候变化适应性技术的研发等。此外，本文指出由于各种不完善的规章制度和资金劣势，私营企业和集体企业在高温天气中遭受了较大的经济损失。因此，我国政府应该进一步完善私营企业和集体企业的各项制度，增加对它们的资金投入，改善它们的融资环境，以保证其健康稳定地发展。

参 考 文 献

- [1] Adhvaryu, A., N. kala, and A. Nyshadham, “The Light and the Heat: Productivity Co-benefits of Energy-saving Technology”, Working Paper, 2014.
- [2] Burke, M., S. M. Hsiang, and E. Miguel, “Global Non-Linear Effect of Temperature on Economic Production”, *Nature*, 2015, 527 (7577), 235-239.
- [3] Cao, M., and J. Wei, “Stock Market Returns: A Note on Temperature Anomaly”, *Journal of Banking and Finance*, 2005, 29 (6), 1559-1573.
- [4] Cai, H., and Q. Liu, “Competition and Corporate Tax Avoidance: Evidence from Chinese Industrial Firms”, *Economic Journal*, 2009, 119 (537), 764-795.
- [5] Chen, S., X. Chen, and J. Xu, “Impacts of Climate Change on Agriculture: Evidence from China”, *Journal of Environmental Economics and Management*, 2016, 76, 105-124.
- [6] 陈林，“中国工业企业数据库的使用问题再探”，《经济评论》，2018年第6期，第140—153页。

- [7] Chen, X., and L. Yang, "Temperature and Industrial Output: Firm-level Evidence from China", *Journal of Environmental Economics and Management*, 2019, 95, 257-274.
- [8] Dell, M., B. F. Jones, and B. A. Olken, "Temperature Shocks and Economic Growth Evidence from the Last Half Century", *Journal of Economic Literature: Macroeconomics*, 2012, 4 (3), 66-95.
- [9] Dell, M., B. F. Jones, and B. A. Olken, "What Do We Learn from the Weather? The New Climate-Economy Literature", *Journal of Economic Literature*, 2014, 52 (3), 740-798.
- [10] González-Alonso, J., C. Teller, S. L. Andersen, F. B. Jensen, T. Hyldig, and B. Nielsen, "Influence of Body Temperature on the Development of Fatigue During Prolonged Exercise in the Heat", *Journal of Applied Physiology*, 1999, 86 (3), 1032-1039.
- [11] Hancock, P. A., J. M. Ross, and J. L. Szalma, "A Meta-Analysis of Performance Response under Thermal Stressors", *Human Factors*, 2007, 49 (5), 851-877.
- [12] Hsiang, S. M., "Temperatures and Cyclones Strongly Associated with Economic Production in the Caribbean and Central America", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107 (35), 15367-15372.
- [13] Jefferson, G., A. Hu, X. Guan, and X. Yu, "Ownership, Performance, and Innovation in China's Industrial Enterprise Sector", *China Economic Review*, 2003, 14 (1), 89-113.
- [14] Lilja, D. J., *Measuring Computer Performance: A Practitioner's Guide*. London: Cambridge University Press, 2000.
- [15] 鲁晓东、连玉君, "中国工业企业全要素生产率估计: 1999—2007",《经济学》(季刊), 2012年第11卷第2期, 第542—558页。
- [16] Mostafavi, M., and B. Agnew, "The Impact of Ambient Temperature on Lithium-Bromide/Water Absorption Machine Performance", *Applied Thermal Engineering*, 1996, 16 (6), 515-522.
- [17] Moore, F. C., and D. B. Diaz, "Temperature Impacts on Economic Growth Warrant Stringent Mitigation Policy", *Nature Climate Change*, 2015, 5 (2), 127-131.
- [18] Olley, G. S., and A. Pakes, "The Dynamics of Productivity in the Telecommunications Equipment Industry", *Econometrica*, 1996, 64 (6), 1263-1297.
- [19] Schlenker, E., and M. J. Roberts, "Nonlinear Temperature Effects Indicate Severe Damages to U.S. Crop Yields under Climate Change", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2009, 106 (37), 15594-15598.
- [20] Somanathan, E., R. Somanathan, A. Sudarshan, and M. Tewari, "The Impact of Temperature on Productivity and Labor Supply: Evidence from Indian Manufacturing", Working Paper, 2015.
- [21] 王永钦、李蔚、戴芸, "僵尸企业如何影响了企业创新? ——来自中国工业企业的证据",《经济研究》, 2018年第11期, 第99—114页。
- [22] Zivin, J. G., and M. Neidell, "Temperature and the Allocation of Time: Implications for Climate Change", *Journal of Labor Economics*, 2014, 32 (1), 1-26.
- [23] Zivin, J. G., S. M. Hsiang, and M. Neidell, "Temperature and Human Capital in the Short-and Long-Run", *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 2018, 5 (1), 77-105.
- [24] 张景钢、杨诗涵、索诚宇, "高温高湿环境对矿工生理心理影响试验研究",《中国安全科学学报》, 2015年第1期, 第23—28页。
- [25] Zhang, P., O. Deschenes, K. Meng, and J. Zhang, "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.

The Effect of Temperature Changes on China's Industrial Production and Mechanism Analysis

LU YANG

(*Nanjing University of Finance and Economics*)

JINGYE SHI XIAOGUANG CHEN*

(*Southwestern University of Finance and Economics*)

Abstract We use Chinese industrial enterprises database and daily weather data from 1998 to 2007 to study the effect of temperature changes on industrial production and investigate the channels through which temperature affects industrial production. We find a nonlinear relationship between industrial output and temperature: Output responds negatively to elevated summer temperatures and positively to higher winter temperatures; Relative to a day at $[12^{\circ}\text{C}, 15^{\circ}\text{C}]$, one additional day at other temperature ranges reduces output. We also find that increased temperature variability is harmful to industrial output. Further analysis indicates that high temperatures reduce output by negatively influencing firm TFP, capital stock, investment and innovation. We find that these temperature effects differ considerably across industries and ownerships. We project that industrial output in China is expected to decrease by 3.0%-14.6% by 2070 and 5.9%-20.0% by 2100.

Key Words temperature changes, industrial production, mechanism analysis

JEL Classification Q50, Q51, Q54

* Corresponding Author: Xiaoguang Chen, Southwestern University of Finance and Economics, Research Institute of Economics and Management, 55 Guanghuacun Street, Chengdu, Sichuan, 610074, China; Tel: 86-28-87099164; E-mail: cxg@swufe.edu.cn.