

【农业经济】

气候变化、农业科研投入与农业全要素生产率

易福金¹,周甜甜¹,陈晓光²

(1.南京农业大学 经济管理学院,江苏 南京 210095;2.西南财经大学 经济与管理研究院,四川 成都 611130)

摘 要:本文将气候变化与农业科研投入纳入理论分析框架,在分析气候变化对农业全要素生产率作用基础上,探讨了农业科研投入在气候变化影响农业全要素生产率方面发挥的潜在作用。实证结果表明:全年气温均值对农业全要素生产率有显著的正向作用,而全年降水总量、降水密度及高温、低温对农业全要素生产率有显著的负向影响。这些气候因素对农业全要素生产率的影响在不同区域间呈现出显著的差异。农业科研投入对农业全要素生产率有显著的正向作用,但在应对气候变化影响农业全要素生产率方面,农业科研投入的作用在区域间也同样存在显著的差异。

关键词:农业全要素生产率;气候变化;农业科研投入

中图分类号:F323;S162 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-7465(2021)04-0155-13

一、引言

气候变化给人类赖以生存的农业发展可持续性带来了严峻挑战。我国地表的年平均温度正以每 10 年 0.23℃ 的速度上升,未来的气候变化还会持续改变气温和降水的时空分布,不断增加暴雨、洪水、干旱以及病虫害爆发等极端事件发生的频率和强度。与此同时,中国依靠高投入和高污染的农业发展模式实现了仅用占世界 8% 的土地养活 22% 的世界人口的成就,但也为此付出了巨大的资源环境代价。未来,中国农业需要向高效、资源节约及环境友好的可持续发展模式转变。保持农业经济持续增长的关键在于提升农业全要素生产率,通常使用农业总产出与全部要素投入比来衡量。但是,气候变化通过对农业产出及投入水平的影响给农业全要素生产率的提升增加了巨大的不确定性,因此如何应对气候变化带来的影响是亟待回答的问题。在应对气候变化方面,尽管小农户可以做出农业种植结构调整、增加灌溉、品种选择等一系列适应性行为,但是完全依赖农户采取适应性措施不足以应对不断加强的气候变化。因此,政府通过完善农业基础设施建设、加大农业科研投入等措施来应对气候变化,以提升农业全要素生产率,才有可能弥补小农户应对气候变化的局限性。

学术界围绕气候变化、农业全要素生产率及农业科研投入做了大量的研究。首先,现有文献关于气候变化对农业产出影响的研究较多,但在国内仅有少数学者进行了气候变化对农业全要素生产率影响的研究。气候变化对农业产量影响的文献占主导地位^[1-2],而且气候变化对农业产出的影响主要以负向结论为主。考虑到气候变化对农业生产的影响存在巨大的地域性差异,学术界就气候变化对农业产出的影响仍未达成一致的结论。同时,以单产为解释变量的模型可以研究气候变化对不同农作物产出的影响,但是缺乏对投入产出效率影响的整体把握。因此,以全要素生产率为对象的研究为气候变化与农业生产互动关系的探讨提供了新的视角。

收稿日期:2020-10-29
基金项目:国家社会科学基金重点项目“我国农业保险高质量发展研究”(19AZD011)
作者简介:易福金,男,南京农业大学经济管理学院教授,博士生导师;周甜甜,女,南京农业大学经济管理学院硕士生;陈晓光,男,西南财经大学经济与管理研究院教授,博士生导师。

Villavicencio 等^[3]研究了气候变化对美国农业全要素生产率的影响,结果表明年降水量对农业全要素生产率有显著的正向影响,但是降水密度对农业全要素生产率有显著的负向影响,而气温变化对大部分地区的农业全要素生产率影响不显著。Liang 等^[4]从季节及地区层面分析了气候变化对农业全要素生产率的影响,结果表明不同农业区域、不同季节的温度和降了解释了美国 1981—2010 年 70% 的农业全要素生产率的变化。一些学者进一步研究了气候变化对水稻全要素生产率的影响,Kunimitsu 等^[5]发现气候变化对日本北方地区的水稻全要素生产率有正向的促进作用,但对西部地区的水稻全要素生产率有负向作用。在国内,仅有少数学者进行了气候变化对农业全要素生产率的研究。Chen 和 Gong^[6]发现短期内,极端高温会对种植业全要素生产率造成负面影响,进而给土地产出带来更大的损失。尹朝静等^[7]的研究发现,气温、年降水量及降水密度对中国农业全要素生产率也有显著影响,其中气温对不同地区的农业全要素生产率影响程度不同。白秀广等^[8]的研究表明,气温、降水量和日照对苹果全要素生产率的影响在不同地区也存在差异。从以上研究可以看出,国内对气候变化对于农业全要素生产率影响的研究的讨论需要突破种植业的局限,在考虑地域和季节的差异性的基础上,识别未来采取适应性行为缓解气候变化影响的可行措施。

其次,在测算农业全要素生产率的研究中,现有文献用不同方法测算了不同阶段中国农业全要素生产率的变化,但因选取的投入产出指标及时间区间不同,测算结果存在一定差异。测算农业全要素生产率的方法主要包括参数方法和非参数方法。在参数方法使用方面,全炯振^[9]使用 1978—2007 年的省级面板数据测算出中国农业全要素生产率的年均增长率为 0.7%。赵文、程杰^[10]的结果表明,1978—1984 年的农业全要素生产率水平较高,而 1952—1977 年与 1985—2009 年的农业全要素生产率较低。在非参数方法方面,大多数研究使用数据包络分析(DEA)的 Malmquist 指数法测算农业全要素生产率,如陈卫平^[11]测算出 1990—2003 年中国农业全要素生产率年均增长 2.6%,这与高帆^[12]的结果非常接近。

另外,大量研究表明科研投入对农业全要素生产率增长具有显著的促进作用^[13-14],当然,科研投入提高农业全要素生产率的主要途径包括人力资本提升、农业信息化、促进劳动力转移,以及提供公共基础设施等^[15-17]。国外部分研究表明,气候变化对农业生产的影响取决于地区的经济发展状况,相对于发达国家,发展中国家的农业生产对气候变化更敏感^[18]。

总体来看,国内现有研究讨论了农业科研投入对农业全要素生产率的直接影响,但未见针对农业科研投入在缓解气候变化影响方面潜在作用的探讨。一般来说,科学技术进步对农业生产的积极作用可以弥补气候变化带来的负面影响,能积极应对气候变化。然而,仅有尹朝静等^[7]的研究分别考察了气候变化与农业科研投入各自对农业全要素生产率的影响,而科研投入是否能够缓解气候变化的作用仍有待验证。从长期来看,农业可持续发展必须依赖公共机构告知其有关长期气候变化对农业生产影响情况的信息,尤其依赖政府主导的新作物品种研发、农业新技术研究和推广以及基础设施建设的完善等系统性适应行为^[4]。农业科研投入在适应气候变化对农业生产影响方面的预期能发挥决定性作用,基于此,本文试图将同时考虑气候变化和农业科研投入对农业全要素生产率的影响,并分析农业科研投入在气候变化对农业全要素生产率影响方面发挥的潜在作用。这有助于了解国家科研投入资金的使用效率,为提高农业全要素生产率及合理使用科研投入以应对未来农业生产的重大自然风险提供决策依据。

二、理论框架和实证模型

(一) 气候变化、农业科研对农业全要素生产率的影响机制

1. 气候变化对农业全要素生产率的影响。气候变化通过影响农业产出及农业投入水平给

农业全要素生产率增长带来了不确定性。由于我国地域辽阔,气候变化对农业产出的影响在作物品种和空间上也表现出巨大差异。从微观机制来说,气候变化影响了农作物生长发育和结实过程,并最终影响农业种植结构。具体表现为气温升高可增加作物生长期内的有效积温,有利于扩大农作物的适种面积和复种指数,使喜温作物种植及多熟制的北界向北、向西移动。但气候变暖也影响了作物的生育期,如缩短了双季稻、春小麦和大豆等作物的生育期,其单产可能因此下降。此外,极端高温及干旱加快了土壤水分蒸发、有机质的分解和营养物质的流失速度,进而降低土地生产率。高温天气增加了农户患热相关创伤性损伤及慢性疾病的风险,可能会降低农户的劳动供给及劳动能力,进而影响劳动生产率,土地及劳动生产率的下降最终可能会导致农业产出的下降。同时,气候变化会影响动物饲料的产量和质量,动物的新陈代谢、饲料的摄入量、患病概率及死亡率,并最终影响畜产品的产量和品质。气候变暖导致的海洋和淡水系统温度升高、酸化、海平面升高、氧气的溶解度降低及污染物毒性增加等问题可能会增加物种入侵、疾病及藻类过度繁殖的可能性。此外,水温上升还会影响鱼类的成长及繁殖等生理功能,进而影响海洋和淡水系统的生产力,最终降低渔业产出^[19]。

农户面对气候变化会主动采取调整农业投入要素等一系列适应措施。例如,为了充分利用热量资源,农户会选育优良的作物品种,调整农业结构以保证农业产出。为了应对由此造成的土地质量下降问题,农户会选择增加化肥等化学用品的使用量,增大灌溉力度以及采取保护性耕作行为以维持土壤的生产能力和蓄水能力。另外,气温变暖和降雨量的增加容易促进农药中有效成分的分解和挥发,进而降低农药的活性及有效性。为了保护农作物,农户会更频繁地使用农药并增加农药的使用量^[20]。因此,为了降低极端气候带来的损害,农户会采取增加要素投入量、投资基础设施以及采取生产多元化等适应性行为以分散风险,但农业投入的增加会降低农业全要素生产率。

2. 农业科研在应对气候变化对农业全要素生产率影响方面的作用。理论上,农业科研能促进科学技术进步及农业生产结构的调整,进而有利于应对气候变化对农业全要素生产率的影响。科研投入缓解气候变化带来负面影响的观点成立所需要的前提条件是政策制定者可以准确无误地判断气候变化引起全要素生产率降低的原因,或者以提升农业全要素生产率为目标,但实际上由于政策目标差异、管理成本和信息不对称问题,做到这一点是极其困难的。具体表现为我国现有的农业科研投入系统可能在应对气候变化的整体目标性和协调性表现不足,不恰当的农业科研活动不但无法适应气候变化带来的影响,反而会降低农业产出,增加农业成本,进而阻碍农业全要素生产率的提升。具体来说,农业科研投入对农业全要素生产率的影响有两种路径:(1)农业生产结构是影响农业全要素生产率的重要因素。但总体来看,我国政府主导的科研活动在应对气候变化方面难以满足农业生产的实际需求。当前,为确保国家的粮食安全,农业科研投入主要集中于大宗的粮棉油作物,而园艺作物、特色经济作物、畜牧业和水产业领域的科研投资长期严重不足。我国每年省部级及以上的农业科研成果多达7000多项,但能转化为现实生产力的只有30%~40%,真正形成规模的不到20%,远低于发达国家的水平^[21]。(2)生产技术的提升同样会影响全要素生产率,但是地区差异性明显。例如,在干旱地区,如果农业科研推广技术需要不断提高土壤湿度,那么该技术必然会对气候变化带来的负面影响格外敏感。同时,以高产、高附加值作物推广为特征的农业专业化生产进一步加剧了区域性气候变化的敏感度^[22]。2014年安徽多地种植了一种通过国家审核的杂交水稻,但该品种无法适应持续低温连阴雨的天气,感染了稻瘟病,导致大面积减产、绝收。因此,农业科研投入在适应气候变化方面的作用仍存在很大的不确定性。

(二) 理论模型

根据以上对气候变化、农业科研投入与农业全要素生产率三者关系的梳理,本文提供了一

个简化的理论模型来表达气候变化对农业全要素生产率的影响,以及科研投入在其中所起的作用。假定农业生产满足经典的 Cobb-douglas 生产函数形式:

$$Y = A(\text{climate}, \text{tecstock}) K^{\alpha_1} L^{\alpha_2} T^{\alpha_3} \quad (1)$$

其中, Y 是农业产出; A 是农业全要素生产率, 并且是一个关于气候与农业科研投入的函数; K 、 L 和 T 分别是农业生产资本、劳动力以及耕地投入。 α_1 、 α_2 和 α_3 分别是对应要素在总产出中的占比, 且满足 $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$ 。

本文首先讨论气候因素对农业全要素生产率的影响, 通过式(2)来表示:

$$\frac{dA}{d\text{climate}} = \frac{\partial A}{\partial \text{climate}} + \frac{\partial A}{\partial \text{tecstock}} \cdot \frac{\partial \text{tecstock}}{\partial \text{climate}} \quad (2)$$

气候变化对农业全要素生产率的净影响取决于两个部分: 一个是式(2)右边的第一项气候对全要素生产率的直接影响, 另一个是式(2)右边的第二项气候变化通过影响科研投入在全要素生产率上的间接作用。当然, 从理论上来说科研投入可以提升农业全要素生产率 $\frac{\partial A}{\partial \text{tecstock}} > 0$ 。但是, 根据前文机制分析的介绍, 笔者无法判断气候变化对农业全要素生产率的净影响方向:

(1) 气候变化的直接效应 $\frac{\partial A}{\partial \text{climate}}$ 存在地区或者变化类型的巨大差异, 例如西北地区的降水增加会显著提高农业产出, 但是华南地区的降水增多反而会增加农业灾害发生的概率; (2) 科研投入政策制定者出于诸如粮食安全方面的考虑, 做不到对所有地区各类气候变化问题逐一制定最适合的科研投入水平, 导致 $\frac{\partial \text{tecstock}}{\partial \text{climate}}$ 的符号方向也不能确定。

进一步来说, 本文还考察了科研投入对缓解气候变化影响农业全要素生产率的作用。为回答这个问题, 可以对式(2)两边同时对科研投入求导, 得到式(3):

$$\frac{\partial^2 A}{\partial \text{climate} \partial \text{tecstock}} = \frac{\partial^2 A}{\partial \text{climate} \partial \text{tecstock}} + \frac{\partial^2 A}{\partial^2 \text{tecstock}} \cdot \frac{\partial \text{tecstock}}{\partial \text{climate}} \quad (3)$$

在这里, 本文假设 $\frac{\partial^2 \text{tecstock}}{\partial \text{climate} \partial \text{tecstock}} = 0$, 意味着科研投入不会改变政策制定者对气候变化的反应。式(3)的左边反映了利用科研投入来应对气候变化影响农业全要素生产率的水平, 并且可以分成科研投入的直接效应 $\frac{\partial^2 A}{\partial \text{climate} \partial \text{tecstock}}$ 与间接效应 $\frac{\partial^2 A}{\partial^2 \text{tecstock}} \cdot \frac{\partial \text{tecstock}}{\partial \text{climate}}$ 。同样, $\frac{\partial A}{\partial \text{climate}}$ 和

$\frac{\partial \text{tecstock}}{\partial \text{climate}}$ 的符号方向不能确定导致最终科研投入应对气候变化影响农业全要素生产率的方向也不能确定。综上所述, 气候变化对农业全要素生产率的影响以及农业科研投入的缓解作用将是一个具有明显地区差异性的实证问题。

(三) 实证模型与估计方法

在尹朝静等^[7]研究的基础上, 针对公式(2), 本文拟构建以下模型度量气候变化与农业科研投入对农业全要素生产率的影响:

$$\ln TFP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{climate}_{it} + \alpha_2 \text{tecstock}_{it} + \alpha_3 x_{it} + u_i + \omega_i + \mu_{it} \quad (4)$$

式(4)中, TFP_{it} 表示省份 i 在第 t 年的农业全要素生产率, climate_{it} 为省份 i 在第 t 年的气候变量, 包括全年气温均值、年降水量、降水密度、高温状况及低温状况; tecstock_{it} 为省份 i 在第 t 年的农业科技存量; x_{it} 为各省每年的社会经济变量, 包括农村公路密度、农业结构、灌溉面积占比及农村用电量。 α 为待估计的参数, u_i 和 ω_i 表示时间和各省份的固定效应, μ_{it} 是随机误差项。

在理论分析式(3)的基础上, 本研究将通过一系列的交互项设定形式考察气候变化、农业科研投入和地区差异对农业全要素生产率的交互影响。在上述模型中引入地域虚拟变量 D_g , 并用

其与气候变量的交互项来反映气候变化对区域 g 农业全要素生产率的影响。具体来说,笔者将研究涉及的 28 个省份分为七大地理区域,分别为华东、华北、华南、华中、西北、西南以及东北地区。同时,笔者将利用农业科技存量、气候变量与地域虚拟变量的交互项来考察农业科研投入在应对气候变化对某一区域农业全要素生产率方面的作用。实证模型中还将包括降水密度、高温和低温状况以反映极端气候对全要素生产率的影响。

由于本研究使用 1987—2015 年的省级面板数据建立以上实证分析模型,长面板数据模型的随机扰动项可能存在“组间异方差”“组内自相关”“组间同期相关”等问题。异方差和自相关问题的存在虽然不会改变参数估计的一致性,但会使参数估计量不再有效,相应的系数估计检验及模型的预测性也都不再有效。为应对以上潜在问题,本文分别使用 Greene Wald 检验、Wooldridge Wald 检验及 Pesaran 检验来确认模型的扰动项是否存在这 3 种问题。检验结果均在 0.1%统计水平上拒绝原假设,表明本文以上模型的随机扰动项同时存在上述 3 种问题。因此,本文使用可以同时解决上述 3 个问题的可行广义 FGLS 方法对模型进行估计。

三、变量与数据来源

(一) 变量说明

1. 农业全要素生产率。本文使用 1987—2015 年 28^① 个省级单位的面板数据,按照 1987 年不变价计算各地区农业全要素生产率。其中,产出指标为农林牧渔业总产值,投入指标采用各省的机械总动力、化肥折纯施用量、农村劳动力就业人数和农作物总播种面积。本文使用 MaxDEA Ultra 软件在规模报酬不变假设下测算出固定参比的 Malmquist 指数。固定参比指数由 Berg 等提出,与传统的 Malmquist 指数相比,由于固定参比 Malmquist 指数各期参考的前沿固定,其指数具有传递性并可以累乘^②。以此为依据,笔者将各期 Malmquist 指数转化为以 1986 年为基础的累积增长指数,取对数后作为本文的被解释变量。

2. 气候变量。气候变化对农业生产的影响主要体现在气温和降水方面。农学常用积温变量从温度和时间两个方面反映气温对粮食作物生长和发育的影响^[23],但本文关注的是包括农林牧渔在内全行业的农业全要素生产率,因此用气温均值变量来衡量气温对农业全要素生产率的影响相对来说更稳妥。此外,本文构建了高温和低温变量以及降水密度等极端天气对农业全要素生产率的影响,同时采用温度箱的方式测度了气温对农业全要素生产率的非线性作用。

在高温变量构建方面,本文首先参考 Chen 和 Yang^[24] 的做法,使用温度箱作为温度变量以识别不同气温水平对农业全要素生产率的影响。结果表明,气温与农业全要素生产率之间整体上存在呈倒 U 型的非线性关系,尤其是关键阈值落在温度箱 [27℃, 30℃) 之间,简单来说温度过高会导致农业全要素生产率下降。因此,笔者采用该省内所有县域温度大于 30℃ 出现次数之和与所有县理论上最大可能频率的比例表示高温状况,其中用县域数量与全年天数的乘积来表示所有县理论上最大可能的频率。

在低温变量构建方面,笔者借鉴王树廷^[25] 采用的 5 日滑动平均法来确定气候生长期,将生长期总体定义为日均气温稳定超过 5℃ 的时期。采用该省内所有县域在生物生长期温度小于 0℃ 出现次数之和与所有县理论上最大可能频率的比例表示低温状况。从低温状况的地区分布特点来看,华中及西南地区的低温状况均值要远高于其他地区。降水密度为当年最大日降水量与全年降水总量的比值^[7],年降水量是该省内所有气象站点全年降水总量的平均值。

① 考虑到西藏特殊的资源禀赋以及统计数据不完整,本文实证分析中没有包括西藏。为保持统计口径一致,将 1987 年后海南的相关数据和 1997 年后重庆的相关数据分别并入广东和四川。

② 可累乘意味着 $M_{w_f}(t+1, t) \times M_{w_f}(t, t-1) = M_{w_f}(t+1, t-1)$, $t \geq 2$ 。

图 1 展示了全国 1987—2015 年全年气温均值和年降水量的变化趋势。可以看出,我国全年气温均值呈显著升高趋势,1987—2015 年间平均气温大约上升了 1.02℃。但是年平均降水量变化不明显。从地区间气温均值和降水量的标准差比较来看,各地区间气温均值差异相对比较稳定,但是 2003—2015 年的降水量在地区间的差异水平比 1987—2002 年的差异水平有所降低。考虑到我国东西部平均降水的差异,笔者有理由相信地区间降水量差距有缩小的趋势。

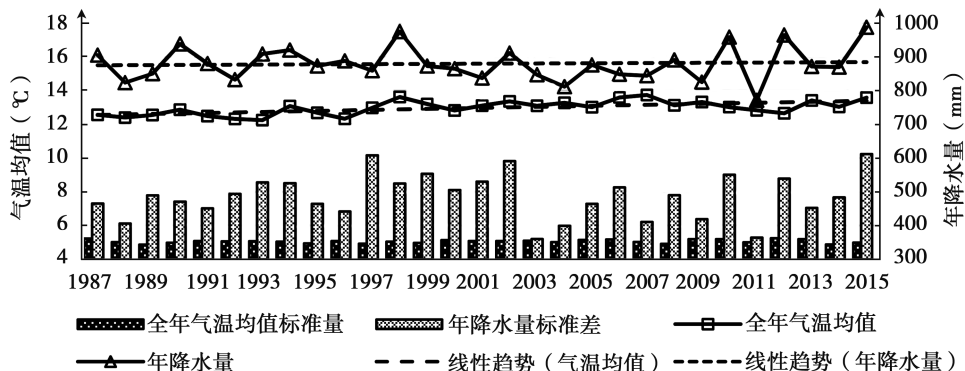


图 1 1987—2015 年气温均值和降水量的变化趋势

3. 农业科研投入。考虑到农业科研投入对农业生产的作用具有滞后性,且存在知识折旧等问题,本文用农业科技存量来衡量农业科研投入水平。因为无法获得与气候直接有关的科研投入资金水平,本文使用广义的农业科研投入作为代理变量。借鉴通常对农业科技存量的计算方法^[26],假定当年农业科技存量与滞后期的存量以及当期投入量存在以下关系:

$$R_t = E_{t-1} + (1 - \delta) R_{t-1} \tag{5}$$

其中, R_t 和 R_{t-1} 分别表示当期和前一期的农业科技存量, E_{t-1} 表示前一期的农业科研投入, δ 为折旧率。同时,本文沿用肖小勇、李秋萍^[26]和尹朝静等^[7]的做法,对农业科研投入用消费者价格指数和固定资产投资价格指数的简单平均值进行平减。同时,用 $R_0 = E_0 / (k + 15\%)$ 来估计基期农业科技存量,其中, E_0 为基期农业科研投入,折旧率 δ 为 15%, k 为 1987—2015 年农业科研投入的算术平均增长率。由图 2 可知,我国近 30 年农业全要素生产率累积指数及各地区的农业科技存量呈增加趋势,但农业科技存量在地域分布上具有显著差异,其中,华中、西北、西南和东北地区的农业科技存量占全国农业科技存量的比重远低于华北、华东和华南地区,且各个地区之间差距随着时间推移在逐步扩大。例如,1987 年华东地区科技存量是西北地区的 2.1 倍,这一差距在 2015 年上升到 3.8 倍。

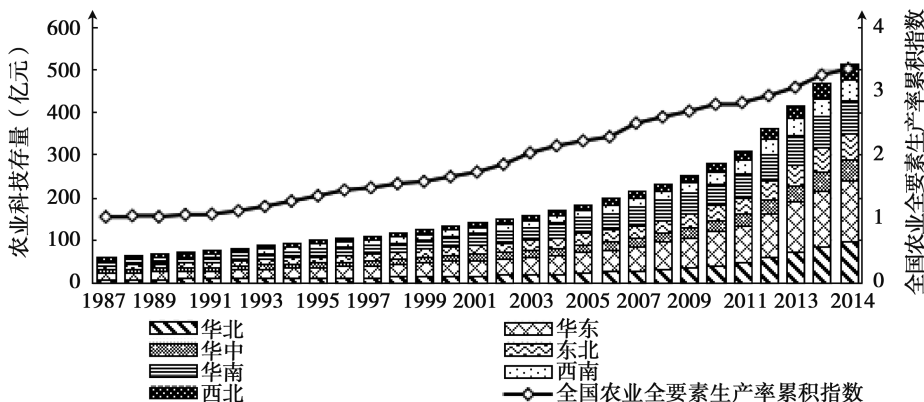


图 2 全国农业全要素生产率累积指数及各地区的农业科技存量变化

4. 社会经济变量。除气候变化及农业科研投入外,政策、市场与自然环境引致的农业区域布局变化,以及区域内部产品替代与技术替代、公共基础设施和服务体系等众多因素都有可能

影响农业全要素生产率,尤其是公共基础设施在应对气候变化及推广农业新技术方面都发挥着无可替代的作用。为避免遗漏变量,且基于现有数据的可获得性,在实证模型中控制了农业结构、农村公路密度、灌溉面积占比、农村电力设施等社会经济变量。

(1)农业结构。本文使用粮食作物播种面积占农作物总播种面积比重的变化情况来看表示农业结构调整的情况。若该比值减小,可以反映出各省份的种植结构朝着比较优势的方向发展^[12]。(2)农村公路密度。本文借鉴 Démurger^[27]的做法,用各省份的农村公路设施密度来衡量各省份的农村公路基础设施存量。农村公路密度为农村公路总里程与各省份土地面积的占比,其中农村公路总里程等于公路总里程减去高速公路和一级公路里程。(3)灌溉面积占比。灌溉面积占比为有效灌溉面积占农作物总播种面积的比重,在我国降水分布存在时空格局显著差异的背景下,灌溉面积占比越大说明水利条件越好。(4)农村电力设施。本文借鉴卓乐、毕福生^[17]的做法,采用农村用电量作为农村电力设施的代理变量。完善的电力设施是农村发展的重要保障之一,随着农业生产规模化、机械化及信息化的推进,电力设施为农业生产提供了相应的动力来源,可提高各类现有生产要素的利用效率。

(二)数据来源及描述性分析

机械总动力、农村劳动力就业人数、农林牧渔总产值数据来源于《中国统计年鉴》,化肥折纯施用量,农作物总播种面积数据来源于《中国农村统计年鉴》。针对上述年鉴中缺失的数据,用《新中国六十年统计资料汇编》以及各省统计年鉴的数据补充。农业科研经费数据来源于农业部科教司主编的 1987—2015 年《全国农业科技统计资料汇编》中各省农业科研机构的收入。价格指数来自《中国统计年鉴》及各省的统计年鉴,对于缺失的数据用《中国统计年鉴》中的零售价格指数补齐。气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网提供的中国地面气候资料年值数据集,通过插值计算得出每个县的气候变量,最后通过播种面积的权重调整计算省级行政地区的年度气候指标。播种面积、有效灌溉面积数据以及农村用电量数据来源于《中国统计年鉴》,1992—2015 年的农村公路数据来源于《中国统计年鉴》,1987—1992 年的农村公路数据来源于国家统计局,同时通过搜集各省份的农村公路建设信息来补齐部分缺失数据。表 1 列出了主要变量的描述性统计结果。

表 1 主要变量的描述性统计分析

变量名	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
TFP(Malmquist 指数)	812	1.925	1.190	0.690	9.472
全年平均气温(10℃)	812	1.297	0.506	0.181	2.311
年降水量(10dm)	812	0.879	0.491	0.103	2.211
降水密度(%)	812	5.183	2.681	1.687	18.067
高温状况(%)	812	2.519	4.482	0.000	21.493
低温状况(%)	812	0.170	0.362	0.000	2.421
科技存量(亿元)	812	6.547	7.111	0.631	57.159
农业结构(%)	812	69.503	11.474	32.815	95.699
农村公路密度(%)	812	44.128	35.743	1.535	157.095
灌溉面积占比(%)	812	38.115	15.838	8.983	95.913
农村用电量(百亿千瓦时)	812	1.327	2.441	0.011	18.362

四、实证结果讨论

对应模型设定部分,本文将实证结果分成 3 个部分进行讨论:首先,依据式(4)从整体上分

析气候变量与农业科研投入对农业全要素生产率的影响;其次,在式(4)的基础上用气候变量与地区虚拟变量的交互项来分析气候变化对各地区农业全要素生产率影响的差异性;最后,在式(4)的基础上用农业科技存量、气候变量及地区虚拟变量的交互项来考察各地区农业科研投入在应对气候变化对农业全要素生产率影响方面的作用。

(一)气候变化对农业全要素生产率的整体影响

表2汇报了气候变化对农业全要素生产率影响的主要结果。第(1)列的回归结果显示,全年气温均值的回归系数在1%统计水平上显著为正,年降水量的回归系数显著为负,这与Chen等^[28]基于中国农户层面的研究结论一致。第(2)列的回归中加入了极端气候变量,回归系数表明全年气温均值及年降水量对农业全要素生产率的影响方向与第(1)列的结果一致。降水密度、高温及低温状况均对农业全要素生产率有显著的负向作用,这与陈帅等^[1]、Villavicencio等^[3]农作物产量和农业全要素生产率研究领域的结论一致。第(3)列的回归结果中,加入了农业科技存量及其他社会经济变量。相较于第(2)列的回归结果,气候变量的回归系数变大了,但其方向和显著性没有变化。结果表明,农业科技存量及其他社会经济变量实际上削弱了气候变量对农业全要素生产率的影响,如果保持这些社会经济因素不变,气候变量对农业全要素生产率的影响本应更大。具体来说,当平均温度上升1℃^①时,农业全要素生产率会提高0.12%;当年降水量每增加1000mm时,农业全要素生产率会下降1.68%;当降水密度、高温及低温状况上升1%时,农业全要素生产率分别会下降0.27%、0.12%及1.05%。1987—2015年间全年气温均值大约上升了1.02℃,这个阶段的温度上升使农业全要素生产率上升了0.12%;年降水量大约上升了82.7mm,使农业全要素生产率下降了0.14%;降水密度大约下降了5.13%,使农业全要素生产率上升了1.39%。因此从整体影响来看,气候变化对农业全要素生产率的影响主要体现在降水密度上。在具有代表性的国内研究中,尹朝静等^[7]的研究中,气候变化对农业全要素生产率影响的系数只是参照华中地区的相对值,因此本文的回归结果无法与之直接进行比较。与Villavicencio等^[3]针对气候变化影响美国农业全要素生产率的研究相比,本文的估计系数数量级与其基本在同一水平。从绝对水平来看,气候变化对我国农业全要素生产率的影响整体大约相当于其对美国影响的1/5,主要原因可能是我国总体的光热资源和降水条件都较美国好。在第(4)列的回归中,笔者进一步分析了气候变化对农业全要素生产率影响的季节性差异,结果表明春、夏季气温均值的回归系数显著为负,秋、冬季气温均值的回归系数显著为正,中国的气候变化主要表现为秋冬季变暖,此估计结果也意味着未来的温度变暖将有利于农业全要素生产率,与全年气温均值的回归结果一致。春、夏、冬季的降水量对农业全要素生产率有显著的负向影响,秋季降水量的回归系数显著为正。

同时,农业科技存量的回归系数表明,农业科研投入对农业全要素生产率的增长有显著的正向促进作用,这与现有的大多数研究的结论也一致。其他社会经济变量的影响方向与预期一致,例如,农业结构的回归系数表明,粮食作物的播种面积占农作物总播种面积比例对农业全要素生产率有显著的负向影响。本文用农村公路密度、灌溉面积占比与农村用电量变量来衡量农村的基础设施情况,回归系数表明农村基础设施对农业全要素生产率有显著的正向影响。总的来说,基础设施一方面通过便利的交通条件促进农业产品、农业信息、生产技术的流通,通过农村电力设施促进农业机械的使用,提升农民生活质量等以降低农业生产成本,另一方面通过灌溉设施建设提高农业综合生产能力和农业技术效率,增强农业生产中抵抗自然灾害的能力,并最终增加农业产出^[17]。

① 回归结果中气温均值的单位是10℃,但基于历年气温变化的幅度,正文中仅汇报当全年气温均值变化1℃时的结果。

表 2 气候变化对农业全要素生产率的整体影响

解释变量	被解释变量 =lnTFP				解释变量	被解释变量 =lnTFP			
	(1)	(2)	(3)	(4)		(1)	(2)	(3)	(4)
全年气温均值	0.0058***	0.0158***	0.0122***		夏季降水量				-0.0072***
(10℃)	(0.0004)	(0.0041)	(0.0031)		(10dm)				(0.0009)
年降水量	-0.0080***	-0.0126***	-0.0168***		秋季降水量				0.0186***
(10dm)	(0.0001)	(0.0010)	(0.0003)		(10dm)				(0.0022)
降水密度(%)		-0.0026***	-0.0027***		冬季降水量				-0.0456***
		(0.0001)	(0.0000)		(10dm)				(0.0040)
高温状况(%)		-0.0007***	-0.0012***		农业科技存			0.0115***	0.0125***
		(0.0003)	(0.0001)		量(亿元)			(0.0002)	(0.0003)
低温状况(%)		-0.0092***	-0.0105***		农业结构(%)			-0.0042***	-0.0043***
		(0.0007)	(0.0003)					(0.0001)	(0.0001)
春季气温均值			-0.0256***		农村公路密			0.0008***	0.0007***
(10℃)			(0.0020)		度(%)			(0.0000)	(0.0000)
夏季气温均值			-0.0106***		灌溉面积占			0.0016***	0.0017***
(10℃)			(0.0021)		比(%)			(0.0001)	(0.0001)
秋季气温均值			0.0503***		农村用电量			0.0025***	0.0042***
(10℃)			(0.0028)		(百亿千瓦时)			(0.0007)	(0.0006)
冬季气温均值			0.0105***		常数项	0.0616	0.0792	0.2322*	0.0234
(10℃)			(0.0021)			(0.1098)	(0.0724)	(0.1271)	(0.1747)
春季降水量			-0.0115***		观测值数量	812	812	812	812
(10dm)			(0.0018)						

注:①括号内数值为标准误;②*、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平上显著;③Greene Wald 检验、Wooldridge Wald 检验及Pesaran 检验结果的p值均为0;④所有模型都已控制地区固定效应和时间固定效应。表3同。

(二) 气候变化对各地区农业全要素生产率的影响差异性

气候变化对农业全要素生产率的影响具有显著的地域性差异^①。具体来看,除华南地区全年气温均值对农业全要素生产率有显著的负向作用及东北地区影响不显著之外,其他地区的全年气温均值都对农业全要素生产率有正向影响。除华北地区的高温状况及西北地区的低温状况的回归系数不显著之外,其他地区高温、低温状况对农业全要素生产率的影响都显著为负。从系数大小来看,华中地区的全年气温均值上升1℃时,农业全要素生产率会提高3.58%。而西北地区的全年气温均值上升1℃时,农业全要素生产率仅提高0.45%,远小于华中地区。当东北地区的高温状况增加1%时,农业全要素生产率会下降16.65%;而华中地区的高温、低温状况上升1%时,农业全要素生产率都仅下降0.45%左右。由此可以看出气温变化对农业全要素生产率的影响在不同区域间呈现出显著差异,因此也造成前文测算的整体影响较小。由于华东、华南地区生物生长期平均气温未出现低于0℃的情况,其低温状况的回归系数被省略了。近些年来,气温升高增加了各地的热量资源,促进了多熟制的北界向北、向西移动,有利于提高复种指数和扩大播种面积,进而在一定程度上提高了农作物的产量。但是,对于热量已经非常充足的地区来说,气候变暖反而会缩短生长期较短作物的生育期,导致单产下降。如华南地区的高温超过了水稻生长发育的适宜温度,容易使水稻灌浆不足,导致减产。尹朝静等^[29]也发现气温均值对水稻的农业全要素生产率有显著的负向影响。

华北、东北、西北的年降水量对农业全要素生产率有正向作用,而华东、华南、西南和华中地区的年降水量对农业全要素生产率有负向作用。就降水密度而言,除西北地区的降水密度对农业全要素生产率的影响不显著外,其他地区的降水密度对农业全要素生产率的影响都显著为负。从系数大小来看,当华北、东北及西北地区的年降水量增加1000mm时,其全要素生产率分

① 限于篇幅,回归结果在此不作详细列出,如果需要和作者联系。

别可提升 3.10%、8.92% 及 12.27%。当华东、华南、西南及华中地区的降水量增加 1000mm 时,其全要素生产率分别下降 4.57%、2.71%、4.45% 及 1.02%,可以看出其系数大小具有显著的地域差异。近些年来,华北、东北、西北地区的干旱情况日趋严重,水资源压力越来越大,如华北地区的实际降水量远小于冬小麦生长期内的实际需水量,且近年来华北地区发生干旱的事件越发频繁。因此年降水量的增加有利于改善这些地区水资源缺乏的现状,进而提高农业生产力。而华东、华南和华中地区的水资源较充沛,年降水量、降水密度及频率的增加容易带来洪涝灾害,不利于农林牧渔业生产,这与尹朝静等^[29]的研究结论也是一致的。

(三) 农业科研投入的效果

总体而言,我国当前农业科研投入缓解了年降水总量水平变化及极端气候带来的影响,但在平均温度上升的应对上略显不足(表 3)。在不考虑其他社会经济变量影响的情况下(表 3 第(1)列),农业科技存量与全年气温均值及年降水量的交互项系数均为负。在第(2)列及第(3)列的回归中依次加入了极端气候变量及社会经济变量。结果表明,我国近 30 年的农业科研使平均温度对农业全要素生产率的边际正向影响降低了 48.31%,使年降水量对农业全要素生产率的边际负向影响降低了 8.69%。在应对极端气候对农业全要素生产率的影响方面,农业科研投入降低了降水密度、高温及低温状况对农业全要素生产率的负面影响。具体来说,使降水密度、高温及低温状况对全要素生产率的边际负向影响分别降低了 40.08%、22.58% 及 10%。

表 3 农业科研投入应对气候变化的整体效果(N=812)

解释变量	被解释变量=lnTFP		
	(1)	(2)	(3)
全年气温均值(10℃)	0.0237*** (0.0030)	0.0315*** (0.0075)	0.0664*** (0.0049)
年降水量(10dm)	-0.0053*** (0.0008)	-0.0198*** (0.0022)	-0.0226*** (0.0014)
降水密度(%)		-0.0041*** (0.0002)	-0.0049*** (0.0001)
高温状况(%)		-0.0016*** (0.0003)	-0.0029*** (0.0001)
低温状况(%)		-0.0034*** (0.0013)	-0.0131*** (0.0009)
农业科技存量(亿元)	0.0147*** (0.0003)	0.0104*** (0.0008)	0.0151*** (0.0005)
农业科技存量×全年气温均值	-0.0016*** (0.0001)	-0.0006(0.0005)	-0.0049*** (0.0003)
农业科技存量×年降水量	-0.0004*** (0.0001)	0.0005*(0.0003)	0.0003*(0.0002)
农业科技存量×降水密度		0.0003*** (0.0000)	0.0003*** (0.0000)
农业科技存量×高温状况		0.0000(0.0000)	0.0001*** (0.0000)
农业科技存量×低温状况		-0.0007*** (0.0002)	0.0002(0.0002)
常数项	0.0753(0.0997)	0.1170(0.0893)	0.0844(0.0893)
控制变量	是	是	是

图 3 表明农业科研投入应对气候变化对农业全要素生产率影响同样具有显著的地域差异^①。具体来看,华北、东北以及华南地区的农业科研改善了气温变化对农业全要素生产率的影响。但是,华东、西南、华中和西北地区的农业科研并没有适应气温变化对农业全要素生产率的影响,反而减弱了气温变化对农业全要素生产率的有利影响。华东及西北地区的农业科研改善了降水量对农业全要素生产率的影响,而在华北、东北、华南地区,农业科研未能缓解降水量对农业全要素生产率的负面影响。在应对极端气候对农业全要素生产率影响方面,农业科研改善了大多数地区降水密度、高温及低温状况对农业全要素生产率的不利影响。

由于缺乏农业科研投入领域的分类数据,本文仅对以上各个地区农业科研投入在适应气候变化影响时无效甚至是起反作用的原因作以下几个方面的推测:首先,我国政府对各农业科研机构的科研投入严重不足且对各农业科研部门的财政拨款比例不同,具体表现为财政拨款集中

① 限于篇幅,极端气候变量的回归结果在此不作详细列出,如果需要和作者联系。

在种植业,而畜牧业和渔业部门的拨款严重不足。近些年来,政府在种植业上的科研投入大约是畜牧业和渔业等养殖业的 3 倍^[30],最终导致种植业科研成果占 3 种产业科研成果总数的 75% 以上,远大于畜牧业和渔业科研成果的比例,而这样的科研成果无法适应国内外市场对种植业、渔业及畜牧业农产品的消费和需求情况,更无法应对气候变化的巨大挑战。其次,“粮安天下,种筑基石”,种子研发是我国农业科研的工作重点,但多年来品种核定标准以产量为量纲,忽视了品种的抗性、品质、耐密性等特征。研发的新品种对气候变化的适应性低,农产品产量虽高,但是品质不优,且多数研发的品种需要投入更多的生产要素,使我国的农产品缺乏竞争力,农民收益不增反减。此外,农业科研机构更加重视可商业化领域(如杂交育种)的科研投资,挤占科研时间去进行销售活动,并最终影响农业科研投资的效率。

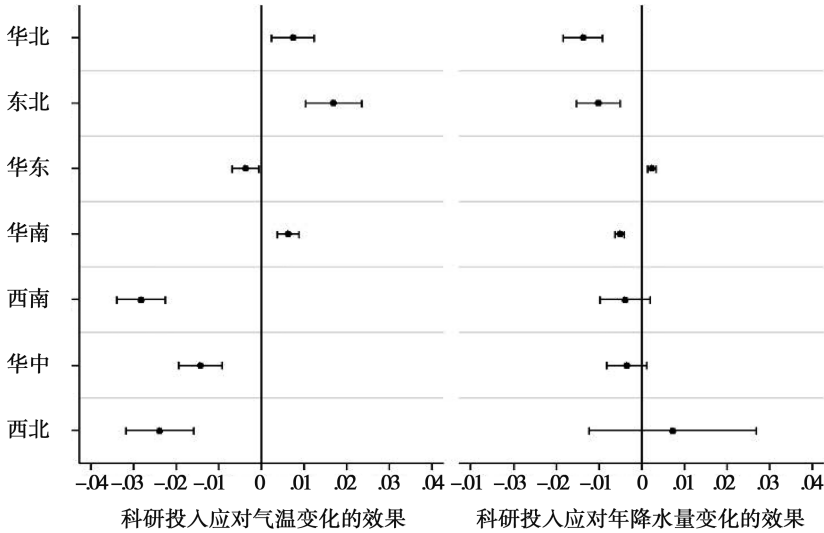


图 3 农业科研投入应对气候变化的效果(分地区)

注:图中的点为各地区气候变量的回归系数,横线为回归系数 95% 置信区间。

五、结论与政策启示

测度气候因素对农业全要素生产率的作用有助于全面把握气候变化对我国农业生产的长期影响,在此基础上进一步探讨农业科研投入对缓解气候变化影响的作用,有助于今后采取相应措施,以缓解因气候变化带来的长期挑战。

实证分析结果表明:第一,农业科研及农业基础设施对农业全要素生产率增长有显著的正向影响;第二,全年气温均值与年降水量对农业全要素生产率的影响在区域上存在差异,除对部分地区的农业全要素生产率影响不显著外,降水密度、高温及低温状况对大多数地区的农业全要素生产率具有显著的负向作用。第三,农业科研投入可以影响气候变化对农业全要素生产率的作用,但这种影响在空间区域上也存在明显的差异。例如,华北及东北地区的农业科研投入很好地应对了气温以及降水密度对农业全要素生产率的影响,却未适应年降水量变化对农业全要素生产率的影响。

基于上述结论,本文得出如下启示:第一,政府在制定气候变化适应性政策时需要正确认识气候变化对农业全要素生产率的影响具有显著的地域差异性。第二,我国应该加大对西北、西南、东北及华中地区的农业科研投入力度。第三,各地区农业发展在适应气候变化方面,应该厘清实际需求,“对症下药”以不断提升农业科研投资领域与效率。例如,华东、西南、西北及华中地区还需要加强农业应对气温变化方面的科研投入,而华北、东北、华南及西南地区应该加大应对年降水总量变化方面的科研投入。

受制于有限的数据库,本研究仍存在一些不足:第一,农业技术推广体系是农业科学研究体系与实践应用体系之间的纽带,与农业科研投入密切相关的科技推广是其发挥应对气候变化的重要途径,例如,一项有效的农业技术产生可能会在更大的范围内进行推广,如果没有考虑农业推广的推动作用,可能会低估农业科研投入在适应气候变化方面的能力。第二,技术创新具有外部性,在农业生产领域,邻近地区在气候、地形、土壤等自然因素方面的相似性会使其他地区的技术进步对本省农业全要素生产率存在显著的正向空间溢出效应。总体来看,农业科研投入的溢出效应或多或少存在于本文的实证研究中,但是笔者缺乏更具体的科研投入数据,因此无法识别农业科研投入的溢出效应。

参考文献:

- [1] 陈帅,徐晋涛,张海鹏.气候变化对中国粮食生产的影响——基于县级面板数据的实证分析[J].中国农村经济,2016(5):2-15.
- [2] Xie W, Huang J K, Wang J X, et al. Climate Change Impacts on China's Agriculture: The Responses from Market and Trade[J]. China Economic Review, 2020, 62: 101256.
- [3] Villavicencio X, McCarl B A, Wu X M, et al. Climate Change Influences on Agricultural Research Productivity[J]. Climatic Change, 2013, 119(3-4):815-824.
- [4] Liang X Z, Wu Y, Chambers R G, et al. Determining Climate Effects on US Total Agricultural Productivity[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017, 114(12):E2285-E2292.
- [5] Kunimitsu Y, Kudo R, Lizumi T, et al. Technological Spillover in Japanese Rice Productivity under Long-term Climate Change: Evidence from the Spatial Econometric Model[J]. Paddy and Water Environment, 2016, 14(1):131-144.
- [6] Chen S, Gong B. Response and Adaptation of Agriculture to Climate Change: Evidence from China[J]. Journal of Development Economics, 2020, 148.
- [7] 尹朝静,李谷成,范丽霞,等.气候变化、科技存量与农业生产率增长[J].中国农村经济,2016(5):16-28.
- [8] 白秀广,陈晓楠,霍学喜.气候变化对苹果主产区单产及全要素生产率增长的影响研究[J].农业技术经济,2015(8):98-111.
- [9] 全炯振.中国农业全要素生产率增长的实证分析:1978—2007年——基于随机前沿分析(SFA)方法[J].中国农村经济,2009(9):36-47.
- [10] 赵文,程杰.中国农业全要素生产率的重新考察——对基础数据的修正和两种方法的比较[J].中国农村经济,2011(10):4-15,35.
- [11] 陈卫平.中国农业生产率增长、技术进步与效率变化:1990—2003年[J].中国农村观察,2006(1):18-23,38,80.
- [12] 高帆.我国区域农业全要素生产率的演变趋势与影响因素——基于省际面板数据的实证分析[J].数量经济技术经济研究,2015,32(5):3-19,53.
- [13] Andersen M A. Public Investment in US Agricultural R&D and the Economic Benefits[J]. Food Policy, 2015, 51:38-43.
- [14] 徐红,赵金伟.研发投入的绿色技术进步效应——基于城市层面技术进步方向的视角[J].中国人口·资源与环境,2020,30(2):121-128.
- [15] 方师乐,史新杰,高叙文.非农就业、农机投资和农机服务利用[J].南京农业大学学报(社会科学版),2020,20(1):139-149.
- [16] 武宵旭,葛鹏飞,徐璋勇.城镇化与农业全要素生产率提升:异质性与空间效应[J].中国人口·资源与环境,2019,29(5):149-156.
- [17] 卓乐,曾福生.农村基础设施对粮食全要素生产率的影响[J].农业技术经济,2018(11):92-101.
- [18] Mendelsohn R, Dinar A, Sanghi A. The Effect of Development on the Climate Sensitivity of Agriculture[J]. Environment and Development Economics, 2001, 6(1):85-101.

- [19] 蔡榕硕,刘克修,谭红建.气候变化对中国海洋和海岸带的影响、风险与适应对策[J].中国人口·资源与环境,2020,30(9):1-8.
- [20] 展进涛,张慧仪,陈超.果农施用农药的效率测度与减少错配的驱动力量——基于中国桃主产区 524 个种植户的实证分析[J].南京农业大学学报(社会科学版),2020,20(6):148-156.
- [21] 曹丹丘,宦梅丽.我国农业科技成果转化中存在的问题及对策研究[J].天津农业科学,2016,22(10):145-147.
- [22] Ortiz-Bobea A, Knippenberg E, Chambers R G. Growing Climatic Sensitivity of US Agriculture Linked to Technological Change and Regional Specialization[J].Science Advances,2018,4(12).
- [23] Yi F J, Feng J A, Wang Y J, et al.Influence of Surface Ozone on Crop Yield of Maize in China[J].Journal of Integrative Agriculture,2020, 19(2):578-589.
- [24] Chen X G, Yang L. Temperature and Industrial Output: Firm-level Evidence from China[J]. Journal of Environmental Economics and Management,2019,95:257-274.
- [25] 王树廷.关于日平均气温稳定通过各级界限温度初终日期的统计方法[J].气象,1982(6):29-30.
- [26] 肖小勇,李秋萍.农业生产:科技存量与空间溢出——基于 1986—2010 年空间面板数据的分析[J].中国经济问题,2013(1):43-50.
- [27] Démurger S. Infrastructure Development and Economic Growth: An Explanation for Regional Disparities in China? [J]. Journal of Comparative Economics,2001,29(1):95-117.
- [28] Chen Y F, Wu Z G, Zhu T H. Agricultural Policy, Climate Factors and Grain Output: Evidence from Household Survey Data in Rural China[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2013,12(1):169-183.
- [29] 尹朝静,李谷成,高雪.气候因素对水稻单产影响的实证分析——基于湖北农户层面的分层模型[J].自然资源学报,2017,32(8):1433-1444.
- [30] 胡瑞法,黄季焜.中国农业科研体系发展与改革:政策评估与建议[J].科学与社会,2011,1(3):34-40,16.

(责任编辑:蒋玮)

Climate Change, Agricultural Research Investment and Agricultural Total Factor Productivity

YI Fujin, ZHOU Tiantian, CHEN Xiaoguang

Abstract: This paper incorporates climate change and agricultural research investment into the theoretical analysis framework. Based on the analysis of the impact of climate change on agricultural total factor productivity, this paper discusses the direct impact of agricultural research investment on agricultural total factor productivity and the potential role of agricultural research investment in the impact of climate change on agricultural total factor productivity. The empirical results show that the annual average temperature has a significant positive impact on the agricultural total factor productivity, but the annual total precipitation, precipitation density, high temperature and low temperature condition have a significant negative effect on the agricultural total factor productivity. Of course, the impact of these climatic factors on agricultural total factor productivity varies significantly across regions and in seasons. This paper finds that agricultural research investment has a significant positive impact on agricultural total factor productivity, but in terms of the impact of climate change on agricultural total factor productivity, the impact of agricultural research investment also has significant differences between regions.

Keywords: Agricultural Total Factor Productivity; Climate Change; Agricultural Research Investment