

# 纳入气候因素的中国农业全要素生产率再测算

尹朝静<sup>1</sup> 高雪<sup>2</sup>

(1. 西南大学经济管理学院, 重庆 400715; 2. 东北大学秦皇岛分校经济学院, 河北 秦皇岛 066004)

**摘要:**在全球变暖背景下,干旱等极端事件频发对农业生产造成巨大影响和威胁。本文将气温、降水量与干旱因素纳入农业全要素生产率(TFP)评估体系,采用序列MSBM-DEA模型测算了1978~2018年中国28个省(市、区)农业TFP及其分解的变动情况,并对比分析不同情形下农业TFP的测算和分解结果。研究发现:在未纳入气候因素情形下,中国农业TFP增长率明显被高估,气候因素特别是干旱事件对中国农业TFP增长造成负面影响;从农业TFP增长的分解结果看,无论是否考虑气候因素,农业技术进步都是推动农业TFP增长的主要驱动力,而农业技术效率对农业TFP增长的贡献有限;无论是否考虑气候因素,中国农业TFP增长均呈现“东高西低”的空间不均衡性,并且不同省份农业TFP增长存在明显差异。

**关键词:**气候变化;干旱;农业全要素生产率;序列MSBM-DEA模型

**中图分类号:**F323.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-5230(2022)01-0110-13

## 一、引言

气候变化问题是学术界和各国政府关注的热点话题之一。2019年是有完整气象观测记录以来的第二暖年,全球平均温度高出工业化前的水平约1.1℃,而2015~2019年更成为有完整气象观测记录以来最暖的五个年份。随着全球气候持续变暖,干旱、高温热浪等极端天气发生的频次和强度明显上升,不仅直接威胁人类健康与生命安全,更对自然、生态系统和社会经济发展带来巨大影响和威胁<sup>[1][2][3]</sup>。

农业是社会各部门中最易遭受气候影响、最脆弱的产业之一,特别是发展中国家的农业<sup>[4][5]</sup>。作为发展中的农业大国,气候变化对中国农业的影响有利有弊,但以不利影响为主<sup>[6]</sup>。气候变暖虽然改善了中国农业热量资源,使得水稻、玉米等粮食作物种植范围北扩,但随着气候变暖,干旱等极端事件的发生频率、强度和范围有所增加,农业病虫害发生率也因气候变暖而有所提高<sup>[7][8][9][10]</sup>。极端气候

**收稿日期:**2021-09-06

**基金项目:**国家自然科学基金青年项目“气候变化对我国农业生产的经济影响评估:基于全要素生产率视角”(71903162);中央高校基本科研业务专项“中国农业高质量发展的测度、动态演进及其影响因素研究”(SWU2109213);河北省高等学校科学研究项目“产业结构调整对河北经济质量发展的影响研究——基于全要素生产率的视角”(SQ2021171)

**作者简介:**尹朝静(1989—),男,四川资中人,西南大学经济管理学院副教授;

高雪(1991—),女,河北秦皇岛人,东北大学秦皇岛分校经济学院讲师,本文通讯作者。

频发对中国农业发展和粮食供给造成了严重影响。据中国水旱灾害公报统计,2008~2018年全国年均因旱受灾面积达1282.43万公顷,全国粮食每年因旱损失260.99亿公斤。可以预见,气候变化将使我国农业生产面临更大的风险和不确定性<sup>[11][12]</sup>。在这种情形下,要突破资源环境等多方约束,实现农业现代化,就必须提高农业创新力、竞争力和全要素生产率(Total Factor Productivity, TFP)。因此,探讨气候变化特别是干旱等极端气候事件对农业TFP的影响则显得尤为紧迫而重要。

鉴于此,本文将气候因素(气温、降水量与干旱)纳入农业TFP评估体系,采用序列MSBM-DEA模型,对气候变化下中国农业TFP变动情况进行测算和分解,并与未考虑气候因素的中国农业TFP进行对比分析,阐述纳入气候因素后产生差异的特征性事实。考虑到干旱对我国农业生产造成重大影响,论文还将干旱这一气候因素单独纳入TFP评估体系进行比较分析。这些研究对于重新认识中国及不同区域农业TFP的历史变迁,分析中国及不同区域气候变化对农业TFP的影响,合理制定相关的农业政策,维护中国粮食安全和实现农业现代化至关重要。

## 二、文献综述

自诺贝尔奖得主丁伯根创造性地提出全要素生产率(TFP)以来,TFP的研究体系无论是在理论还是实证方面均得到深化和推广。在农业领域中,TFP一直是学术界研究的热点。Headey等采用FAO数据,使用DEA和SFA方法测算了1970~2001年88个国家的农业TFP增长率,研究发现如果农业投入产出数据误差较大,使用SFA方法更为适宜<sup>[13]</sup>。Darku等对1940~2009年加拿大各省的农作物和牲畜养殖业的TFP增长进行核算,结果发现加拿大种植业的TFP增长在1990~2009年间已经放缓<sup>[14]</sup>。关于中国的研究多采用省级面板数据展开,多数学者认为改革开放以来中国农业TFP经历了快速增长、停滞、重新快速增长、增长放慢和再次快速增长的演变历程,这一增长主要由技术进步推动,技术效率的作用有限<sup>[15][16][17]</sup>。

随着研究深入,学者们开始探讨气候变化与农业TFP的关系。在国家层面,Salim等采用时间序列数据探讨了农业科研投入和气候变化对西澳大利亚农业生产的影响,发现科研投入和降水量增多对农业TFP增长有长期正向影响<sup>[18]</sup>。Villavicencio等发现降水量和降水密度对美国农业TFP增长影响显著,但温度的影响不明显<sup>[19]</sup>。Mohan等对加纳进行了研究,发现农业TFP增长与年降水量关系密切,农业科研支出对农业TFP增长具有正向影响<sup>[20]</sup>。具体到中国,尹朝静等采用Global Malmquist指数测算了农业TFP,并进一步讨论气候变化、科技存量对中国农业TFP的影响,发现降水量对农业TFP增长的作用不明显,而气温对农业TFP增长的影响具有显著的区域差异<sup>[21]</sup>。高鸣使用Window Malmquist指数模型估算了中国传统农业TFP和纳入气候因素(降水量、气温和日照时数)的农业TFP变化情况,发现传统农业TFP在绝大多数年份被高估,纳入气候因素的农业TFP比传统农业TFP更为稳定<sup>[22]</sup>。此外,Sheng等以极端干旱事件为例探讨了气候变化对农业TFP的冲击,发现极端干旱事件对农业TFP具有显著负向影响<sup>[23]</sup>。Chen等基于中国县级面板数据评估了全球变暖对农业TFP的影响,发现短期内极端高温会对农业TFP产生负面影响,但长期适应抵消了气候变化对TFP短期冲击的37.9%<sup>[24]</sup>。

上述文献对于进一步探讨气候变化对农业TFP增长的影响具有重要的理论价值与启发。同时,目前这一领域仍存在进一步深入研究的空间:第一,多数学者未将气候因素作为要素投入纳入TFP分析框架,而是将其作为外在条件,有意无意地忽视了气候因素的重要影响力。由于气候变化对农业生产具有重要影响,传统的农业TFP已经不足以准确反映中国农业发展的真实水平。第二,已有研究主要集中在评估温度和降水平均变化对农业TFP的影响,也有少数研究探讨了极端天气事件对农业TFP的冲击,但没有测度“极端气候”变量特别是构造干旱指数并将其纳入农业TFP评估体系,从而全面考察气候因素对农业TFP的影响。实际上,极端气候事件往往难以预测,经常对农业生产造成灾害性影响。其中,干旱是我国最常见、分布最广、影响最大的气候灾害。据统计,1949~2015年间我国旱灾依然频发,平均每年超过2000万公顷农田因旱受灾,达到各类灾害影响面积的60%以

上<sup>[25]</sup>。第三,已有研究多采用传统当期 DEA 模型对农业 TFP 进行测度,不能很好地解决技术退步问题,并且不能处理产出或投入指标中包含负数的情况,也就很难考虑极端气候的负面影响。

基于此,本文尝试纳入气候因素对农业 TFP 进行再测算,即利用 1978~2018 年中国 28 个省(市、区)<sup>①</sup>的面板数据,在构建干旱指数的基础上,将气温、降水量和干旱等气候因素纳入农业 TFP 评估指标体系,进而使用序列 MSBM-DEA 模型对中国农业 TFP 进行再测算和分解,并对比分析不同情形下农业 TFP 的测算和分解结果,这对于合理评价和分析气候变化下中国农业生产率增长状况具有重要的理论价值和实践意义。与已有研究相比,本文可能的创新主要体现在:第一,区别于已有研究测度农业 TFP 时未纳入极端气候变量,本文在考虑气温和降水量两个因素基础上,进一步将干旱纳入农业 TFP 评估体系展开研究。第二,构建区域动态气象干旱强度指数(Regional Dynamic Intensity Index of Meteorological, RDI)测度极端干旱事件。具体而言,本文借鉴“时间—面积”函数的概念,构建 RDI 指数对中国不同省份的干旱强度进行测度,在此基础上将干旱因素纳入农业 TFP 评估体系展开研究。第三,采用序列 MSBM-DEA 模型准确测算了农业 TFP 增长。已有研究多采用传统当期 DEA 方法进行估计,容易出现技术退步悖论,并且传统 DEA 方法不能处理投入指标为负值的情况。本文通过序列 MSBM-DEA 模型可以妥善处理技术退步、干旱指数为负的问题,从而更为准确地测度气候变化下中国农业 TFP 的增长情况。

### 三、理论、方法和变量

#### (一)纳入气候因素的农业全要素生产率理论探讨

经济学研究在分析生产要素时,多讨论劳动力、资本等传统要素,往往将自然要素作为外在给定条件,很少考虑与农业生产息息相关的气候因素,例如平均温度、降水量以及干旱等极端事件。在气候变化背景下,相对于劳动或资本,气候因素尤其是干旱等极端气候,不仅不可忽略,而且是有重要影响的要素。这就意味着,在生产率和效率分析中需要更多关注气候因素的重要作用。但是,传统农业 TFP<sup>②</sup>测算,并没有考虑气候因素,只考虑了劳动力、资本和土地等要素,这会扭曲对农业生产效率和效益的评价,导致政策建议出现偏误<sup>[26]</sup>。

农业 TFP 指农业产出与农业生产要素投入之间的比值。也就是说,农业 TFP 的衡量需要农业产出和要素投入两类指标。因此,气候因素对农业 TFP 的影响可以从两个角度进行分析。一是基于投入角度。气候因素本身包括农作物生长所必需的水分、热量等主要条件,这些均是农业生产过程中重要的生产投入要素。另外,气候改变也会对农业其他生产投入带来影响,例如气候变暖会影响肥效,有助于昆虫越冬,导致病虫害增加,从而使得化肥、农药等生产投入增加,造成农业生产成本上升,不利于农业 TFP 增长。可见,气候因素不仅可直接被视为投入要素,还会对其他农业生产投入造成影响。因此,在对农业 TFP 进行测算时,投入指标中理应纳入气候因素。

二是基于产出角度。干旱等气象具有灾害性、不确定性及突发性等特点,一旦发生便会带来严重的农业经济损失,造成粮食产量大幅下降。干旱不仅会对种植业产生负面作用,也会对畜牧业、渔业等产业造成不利影响,例如发生干旱、极端高温的年份,动物病死率会明显提高。可见,极端气象灾害会对农业产出造成严重后果,进而对农业 TFP 增长带来负面影响。

总之,气候变化会导致农业生产环境改变,不仅影响农业生产投入,而且影响农业的有效产出。因而,气候因素会对农业 TFP 增长造成很大影响,本文将气候因素视为农业生产投入要素,将其纳入农业 TFP 测算指标体系。从这个角度来看,本文纳入气候因素的农业 TFP 增长是指剔除劳动、化肥、机械投入以及气候要素等以外所有其他因素所带来的农业产出增长。

#### (二)纳入气候因素的农业 TFP 测度方法

##### 1. 序列 DEA 和 MSBM 模型

本文采用序列(Sequential)DEA 方法测算 1978~2018 年中国 28 个省(市、区)农业 TFP 及其分解的变动情况。首先,假设第  $k$  ( $=1, 2, \dots, K$ ) 个生产决策单元(Decision Making Unit, DMU)在第

$t(=1,2,\dots,T)$ 时期使用  $n(=1,2,\dots,N)$ 种投入  $x_{k,n}^t$ ,生产出  $m(=1,2,\dots,M)$ 种产出  $y_{k,m}^t$ 。其中,本文将气候因素纳入生产投入指标体系, $N$ 种投入中包括气温、降水量和干旱等气候因素。接着,采用 Shestalova 提出的序列 DEA 方法<sup>[27]</sup>,通过引入以前所有时期的技术,定义规模报酬可变(Variable Returns to Scale, VRS)下的参考技术为:

$$P^t(x^t) = \left\{ \begin{array}{l} y : y_{km}^t \leq \sum_{i=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^i y_{km}^i, \forall m; x_{kn}^t \leq \sum_{i=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^i x_{kn}^i, \forall n; \\ \sum_{i=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^i = 1, z_k^i \geq 0, \forall k \end{array} \right\} \quad (1)$$

式(1)中, $t$ 为时期( $t=1,2,\dots,T$ ); $x^t$ 和 $y^t$ 分别表示所有 DMU 的投入、产出向量; $z^t$ 为 $t$ 时期各观测值的权重。

接着,为了刻画极端干旱事件的不利影响,本文对各省区的 RDI 指数取负值,从而导致农业投入要素中存在负数。为解决上述问题,本文采用 Sharp 等提出的 MSBM(Modified Slack Based Measure)模型<sup>③</sup>进行估计<sup>[28]</sup>,该模型可表示为:

$$\begin{aligned} \min \rho &= \frac{1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (s_i^- / R_{ik})}{1 + \frac{1}{m} \sum_{r=1}^m (s_r^+ / R_{rk})} \\ \text{s. t. } X\lambda + s^- &= x_k \\ Y\lambda - s^+ &= y_k \\ e\lambda &= 1 \\ \lambda, s^-, s^+ &\geq 0 \\ R_{ik} &= x_{ik} - \min(x_i) \\ R_{rk} &= \max(y_r) - y_{rk} \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中, $\rho$ 表示目标效率值, $s_i^-$ 表示第 $i$ 种投入的冗余值, $s_r^+$ 表示第 $r$ 种产出的不足值, $\lambda$ 表示权重向量, $X\lambda$ 表示前沿上的投入量, $Y\lambda$ 表示前沿上的产出量。

最后,参考 Caves 等的做法构造出序列 Malmquist 生产率指数<sup>[29]</sup>:

$$\begin{aligned} M(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) &= \left[ \left( \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \right) \times \left( \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{1/2} \\ &= \frac{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \left[ \left( \frac{D^t(x^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \right) \times \left( \frac{D^t(x^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right) \right]^{1/2} = \text{TEC} \times \text{TC} \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中,技术效率变动指数(Technology Efficiency Change, TEC)指从 $t$ 期到 $t+1$ 期各省区对最佳生产者的追赶程度;技术进步指数(Technology Change, TC)指技术前沿从 $t$ 期到 $t+1$ 期之间的移动。由此,论文将气候因素纳入农业 TFP 测算指标体系,使用序列 MSBM-DEA 模型,对中国农业 TFP 进行估算和分解。

## 2. 区域动态气象干旱强度指数

为将干旱因素纳入农业 TFP 评估体系,需要对干旱进行准确测度,本文利用气象观测站逐日气候资料,首先测算单个气象观测站的气象干旱综合指数(Meteorological Drought Composite Index, MCI),该指数综合考虑了前期不同时间段降水和蒸散量对干旱的影响,计算公式如下:

$$\text{MCI} = a \times \text{SPIW}_{60} + b \times \text{MI}_{30} + c \times \text{SPI}_{90} + d \times \text{SPI}_{150} \quad (4)$$

式(4)中, $\text{SPIW}_{60}$ 、 $\text{SPI}_{90}$ 和 $\text{SPI}_{150}$ 分别指近 60 天内的有效降水、90 天内的标准化降水指数和 150 天内的标准化降水指数, $\text{MI}_{30}$ 指近 30 天内的蒸散量(相对湿润度指数), $a$ 、 $b$ 、 $c$ 和 $d$ 为权重系数,(4)式中 $\text{SPIW}_{60}$ 、 $\text{SPI}_{90}$ 、 $\text{SPI}_{150}$ 、 $\text{MI}_{30}$ 以及权重系数的取值参考国标《气象干旱等级》。根据《气象干旱等级》中的相关内容,气象干旱综合指数等级划分如表 1 所示:

表 1

气象干旱综合指数等级划分表

干旱等级	无旱	轻旱	中旱	重旱	特旱
MCI 范围	$MCI > -0.5$	$-1.0 < MCI \leq -0.5$	$-1.5 < MCI \leq -1.0$	$-2.0 < MCI \leq -1.5$	$MCI \leq -2.0$

根据《气象干旱等级》以及秦鹏程等对干旱过程和事件的相关设定,本研究将干旱过程定义如下:当 MCI 指数连续十天为轻旱以上等级,则确定为发生 1 次干旱过程。干旱发生第 1 天是 MCI 指数达到轻旱以上等级的日期,但当 MCI 指数连续 10 天为无旱等级时,认定为干旱过程结束,结束日期为最后 1 次 MCI 指数达到无旱等级的日期<sup>[30]</sup>。干旱过程从开始到结束期间的的时间为干旱持续时间。由此,将干旱事件定义为:评价某时段是否发生干旱的依据是,该时段必须出现不少于一次干旱过程,并且累计干旱持续时间大于所评价时段的 1/4,则认为该时段发生干旱事件。

干旱的发生是区域事件,具有时间和空间的双重属性,由此,需要对某一区域内的各个气象观测站的气象干旱综合指数进行整合。与此同时,为了匹配省级农业生产投入产出数据,需要测算出各省区的干旱发生情况及其程度。对此,本文借鉴秦鹏程等的做法,采用“时间—面积函数”的形式综合衡量不同省份的干旱发生程度<sup>[30]</sup>,具体表达式如下:

$$RDI(t) = \sum_{i=1}^n S_i \sum_{j=0}^t |DI_{i,j}| \quad (5)$$

式(5)中,RDI 为区域动态气象干旱强度指数;t 表示年份; $S_i$ 表示第 i 个观测站的面积,利用泰森多边形对区域进行分割<sup>④</sup>;n 表示研究区域内观察站的个数; $DI_{i,j}$ 表示第 i 个气象观测站在干旱发生期间的逐日干旱综合指数值,每个观测站在 t 年里可能会发生 j 次干旱。

### 3. 变量选取与数据来源

本文参考已有研究,结合农业具体资源禀赋特征和数据可获得性,并对相关数据进行质量调整,选择合适和逻辑一致的农业 TFP 测算指标(见表 2)。产出变量选取农林牧渔业总产值,投入变量包括化肥施用量、有效灌溉面积、农业机械动力、播种面积、劳动力数量、大牲畜数量和气候变量(平均气温、降水量与 RDI 干旱强度指数)<sup>⑤</sup>。本文将对比分析气候变化下的农业生产率和传统农业生产率的增长差异。需要指出的是,传统农业生产率和气候变化下的农业生产率测算指标体系的区别是,气候变化下的农业生产率的投入变量在传统农业生产率的投入变量基础上增加了平均气温、降水量及 RDI 干旱强度指数,而农业产出变量没有区别。

关于数据来源及处理,农业投入产出数据来自《中国统计年鉴》(1979~2019 年)。气温和降水量等气象数据为中国气象数据网提供的 1978~2018 年中国 1225 个基准气象观测站逐日气候资料。论文将分散的 1225 个基站按照所在省份进行归纳,气温和降水量以省份平均值来衡量;RDI 干旱强度指数通过公式(4)(5)计算得到,以各省份的泰森多边形面积为权重。

表 2 农业全要素生产率测算指标的描述性统计

指标	观测数	单位	均值	标准差	最小值	最大值
农林牧渔业总产值	1148	亿元	194.51	187.80	4.58	1022.25
农作物播种面积	1148	千公顷	5462.83	3580.46	103.79	14902.72
农业劳动力	1148	万人	1128.63	862.78	37.09	4321.30
农业机械动力	1148	万千瓦	1899.35	2206.61	52.88	13353.02
农用化肥施用量	1148	万吨	141.92	122.88	5.30	716.09
有效灌溉面积	1148	千公顷	1884.63	1376.35	109.67	6119.57
大牲畜年底头数	1148	万头	430.14	323.47	1.23	1508.80
RDI 指数	1148	—	1735.39	1985.52	0.00	16791.90
降水量	1148	毫米	885.16	495.73	92.24	2346.61
平均气温	1148	摄氏度	12.67	5.34	0.01	23.69

图 1 为全国及不同地区气候因素的变化情况。由图 1 可知:第一,全国及东中西部地区的降水量均呈波动增长的趋势。全国降水量由 1978 年的 791.11mm 增加到 2018 年的 929.70mm,东部、中部和西部的降水量也均有不同程度的增加。第二,全国及不同地区的平均气温明显增加。1978 年全国平均气温为 12.25℃,2018 年增加到 13.27℃,增温超过 1℃。其中,省区中增温最多的是吉林省,从 1978 年的 3.91℃增加到 2018 年的 5.72℃,增长近 2℃。第三,全国干旱灾害比较严重,发生强度和频率均明显增加。全国干旱灾害最为严重的年份是 2001 年,干旱强度指数达到 3108.33。另外,多地发生严重的极端干旱事件,如云南省 1979 年和 2010 年干旱强度指数分别达到 8551.69 和 8354.70,对农业生产造成巨大损失。

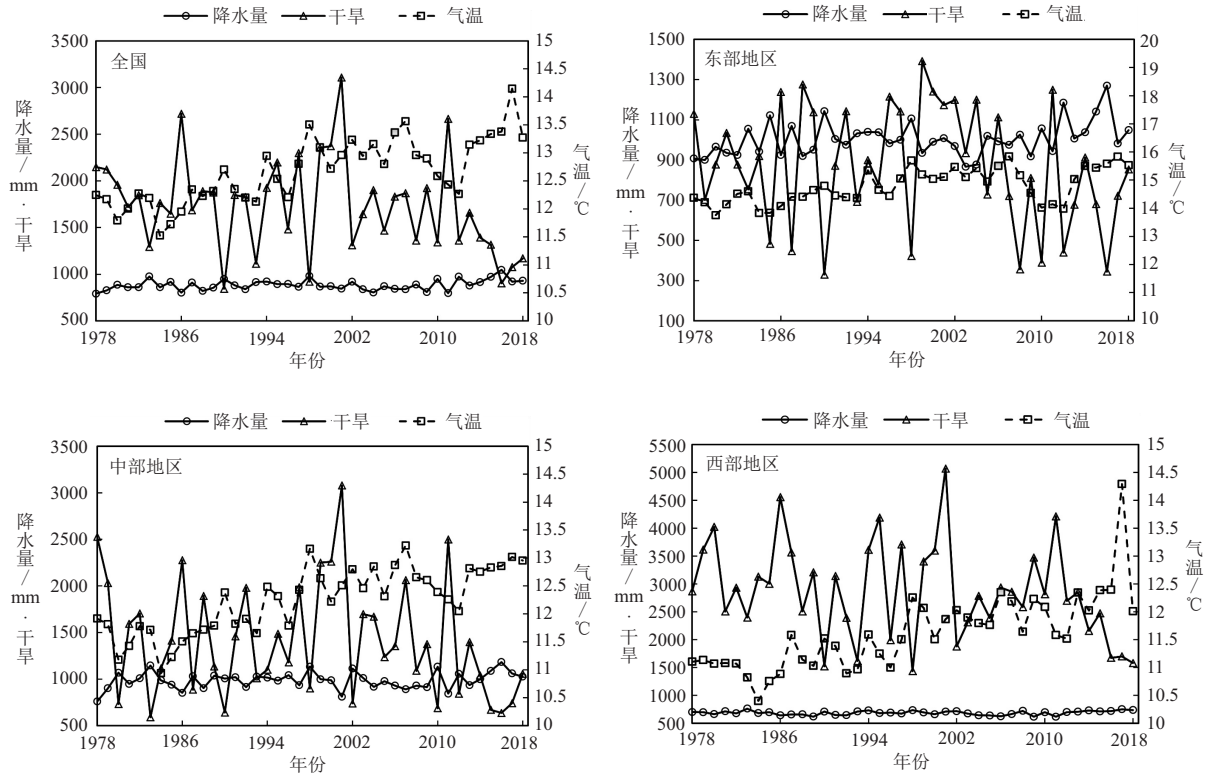


图 1 全国及不同地区气候变化情况

#### 四、农业全要素生产率的测算与分解

基于 1978~2018 年中国 28 个省(市、区)的面板数据,将气候因素(平均气温、降水量与 RDI 干旱强度指标)纳入农业 TFP 的测算指标体系,使用序列 MSBM-DEA 方法测算了中国及各地区的 Malmquist 生产率指数及其分解,并与未考虑气候因素的 Malmquist 生产率指数进行比较,以更加准确地反映中国农业生产效益和要素投入效率。同时,为考察干旱对中国农业 TFP 增长的影响,本文还单独将 RDI 干旱强度指标纳入农业 TFP 测算指标体系,从而对农业 TFP 进行再估算和比较分析。

##### (一)纳入与未纳入气候因素的中国农业 TFP 比较

以平均气温升高和干旱等极端天气事件增多变强为特征的气候变化会对农业生产造成直接影响,本部分将综合考察气候变化对中国农业 TFP 的影响,采用气温、降水量以及干旱衡量气候因素,将它们纳入农业 TFP 的测算指标体系中,对考虑与未考虑气候因素的中国农业 TFP 进行再估算和比较分析,核算结果见表 3。由表 3 可知,在不考虑气候变化的情形下,1978~2018 年中国传统农业 TFP 年均增长率为 3.45%,农业技术效率年均增长率为-0.83%,农业技术进步年均增长率为 4.32%。纳入气候因素到农业 TFP 的测算指标体系中进行再估算可得,中国农业 TFP 年均增长率为 1.03%,



农业技术进步年均增长率为 1.27%，农业技术效率年均增长率为-0.23%。通过比较这两种情形下的中国农业 TFP 核算结果发现，与传统农业 TFP 估算结果相比，纳入气候因素的中国农业 TFP 年均增长率下降了 2.42%，农业技术进步年均增长率下降了 3.05%，农业技术效率仍为负增长。由此可知，总体上气候变化对中国农业 TFP 增长产生了不利影响。

表 3 代表性年份和不同阶段中国农业 TFP 增长及其分解变化

年份	不考虑气候因素			考虑气候因素		
	技术效率变化	技术进步变化	TFP 指数变化	技术效率变化	技术进步变化	TFP 指数变化
1978~1979	0.9718	1.0334	1.0042	0.9920	1.0077	0.9996
1979~1980	0.9681	1.0117	0.9794	0.9789	1.0115	0.9901
1984~1985	0.9702	1.0303	0.9996	1.0015	1.0049	1.0064
1989~1990	1.0008	1.0350	1.0358	0.9977	1.0021	0.9998
1994~1995	1.0074	1.0370	1.0447	1.0083	1.0180	1.0265
1999~2000	0.9535	1.0575	1.0083	0.9974	1.0029	1.0003
2004~2005	1.0905	1.0383	1.1323	0.9962	1.0089	1.0051
2009~2010	0.9874	1.0330	1.0200	0.9889	1.0075	0.9963
2014~2015	1.0029	1.0287	1.0317	1.0082	1.0069	1.0152
2015~2016	1.0215	1.0303	1.0525	0.9900	1.0189	1.0087
2016~2017	1.0120	1.0446	1.0572	1.0100	1.0204	1.0306
2017~2018	0.9962	1.0609	1.0568	1.0147	1.0149	1.0298
1978~1984	0.9975	1.0351	1.0325	0.9991	1.0130	1.0121
1984~1991	0.9741	1.0298	1.0032	0.9940	1.0070	1.0009
1991~1997	0.9918	1.0572	1.0486	1.0029	1.0163	1.0193
1997~2000	0.9743	1.0473	1.0203	0.9852	1.0093	0.9944
2000~2018	0.9996	1.0458	1.0453	0.9990	1.0141	1.0131
总平均	0.9917	1.0432	1.0345	0.9977	1.0127	1.0103

注：表中数值为所在年份全部省(市、区)生产率的几何平均数，如需全部年份数据可向作者索取。

## (二) 纳入与未纳入气候因素的中国农业 TFP 增长的空间特征

将气候因素(气温、降水量和干旱)纳入农业 TFP 的测算指标体系中，中国各省(市、区)农业 Malmquist 生产率指数及其分解结果见表 4。由表 4 可知，无论是否考虑气候因素，中国农业 TFP 增长依旧呈现“东高西低”的格局。当纳入气候因素时，东、中及西部地区的农业 TFP 年均增长率分别为 1.50%、1.31%和 0.16%，而且三大区域农业技术进步的年均增长率明显高于农业技术效率年均增长率，表明农业 TFP 增长主要由农业技术进步推动，而农业技术效率对农业 TFP 增长的贡献有限。此外，不同省区间气候变化下农业 TFP 增长差异明显，1978~2018 年间农业 TFP 年均增长率最高的省份是河南省，达到 8.43%，而安徽、湖南、广西、贵州、云南和宁夏的农业 TFP 出现了负增长。将两种情形下的农业 TFP 对比发现，几乎所有省份气候变化下的农业 TFP 年均增长率都小于传统农业 TFP，表明气候变化对农业 TFP 具有一定程度的不利影响。

## (三) 纳入与未纳入干旱因素的中国农业 TFP 比较

考虑到干旱带来的影响更为严重，接下来单独将干旱纳入农业 TFP 评估体系进行比较分析。纳入与未纳入干旱因素的中国农业 TFP 变化和差异情况见图 2。由图 2 可得出以下结论：

第一，不论是没有纳入干旱因素的传统农业 TFP 指数，还是纳入干旱因素的农业 TFP 指数，二者大于 1 的次数都占绝大多数，分别达 35 次和 29 次，这表明中国农业 TFP 在这 40 年间有了较大增长。但值得注意的是，相较于传统农业 TFP，纳入干旱因素的农业 TFP 波动幅度更小，意味着将干旱因素考虑在内，中国农业 TFP 增长表现得更为稳定。

表 4

中国分省农业 TFP 增长及其分解变化(1978~2018 年)

省份	不考虑气候因素			考虑气候因素		
	技术效率变化	技术进步变化	TFP 指数变化	技术效率变化	技术进步变化	TFP 指数变化
北京	1.0000	1.0061	1.0061	1.0000	1.0002	1.0002
天津	0.9799	1.0903	1.0684	0.9977	1.0100	1.0076
河北	0.9960	1.0429	1.0387	1.0014	1.0340	1.0355
山西	0.9900	1.0409	1.0305	1.0022	1.0047	1.0069
内蒙古	0.9829	1.0436	1.0258	0.9975	1.0032	1.0007
辽宁	0.9981	1.0550	1.0530	1.0018	1.0104	1.0123
吉林	0.9997	1.0445	1.0441	1.0007	1.0039	1.0046
黑龙江	0.9921	1.0500	1.0417	1.0000	1.0015	1.0015
上海	1.0000	1.0121	1.0121	1.0000	1.0006	1.0006
江苏	1.0000	1.0710	1.0710	1.0000	1.0150	1.0150
浙江	1.0000	1.0519	1.0519	1.0000	1.0090	1.0090
安徽	0.9888	1.0350	1.0234	0.9877	1.0100	0.9976
福建	1.0000	1.0400	1.0400	1.0000	1.0093	1.0093
江西	0.9934	1.0298	1.0230	0.9963	1.0093	1.0056
山东	1.0000	1.0549	1.0549	1.0000	1.0542	1.0542
河南	0.9993	1.0421	1.0414	0.9973	1.0873	1.0843
湖北	0.9910	1.0398	1.0305	0.9915	1.0166	1.0080
湖南	0.9874	1.0342	1.0212	0.9895	1.0100	0.9994
广东	1.0000	1.0591	1.0591	1.0000	1.0250	1.0250
广西	0.9909	1.0272	1.0179	0.9914	1.0031	0.9945
四川	0.9895	1.0398	1.0289	0.9929	1.0225	1.0153
贵州	0.9838	1.0316	1.0149	0.9950	1.0026	0.9976
云南	0.9868	1.0333	1.0196	0.9911	1.0036	0.9947
陕西	0.9983	1.0370	1.0352	1.0035	1.0027	1.0062
甘肃	1.0058	1.0357	1.0417	0.9990	1.0081	1.0071
青海	0.9621	1.0855	1.0444	1.0000	1.0001	1.0001
宁夏	0.9638	1.0375	0.9999	0.9980	1.0007	0.9988
新疆	0.9895	1.0424	1.0314	1.0000	1.0012	1.0012
东部地区	0.9974	1.0481	1.0453	0.9990	1.0161	1.0150
中部地区	0.9927	1.0395	1.0319	0.9956	1.0176	1.0131
西部地区	0.9853	1.0412	1.0259	0.9969	1.0048	1.0016
全国平均	0.9917	1.0432	1.0345	0.9977	1.0127	1.0103

注:表中数值为各省(市、区)历年生产率指数的几何平均数。按照一般经济意义的区划进行划分,东部地区包括北京、天津、广东、江苏、浙江、上海、山东、福建、河北和辽宁等 10 个省(市、区),中部地区包括安徽、江西、河南、湖北、湖南、山西、吉林和黑龙江等 8 个省区,西部地区包括四川、贵州、云南、内蒙古、陕西、甘肃、青海、广西、宁夏和新疆等 10 个省区。

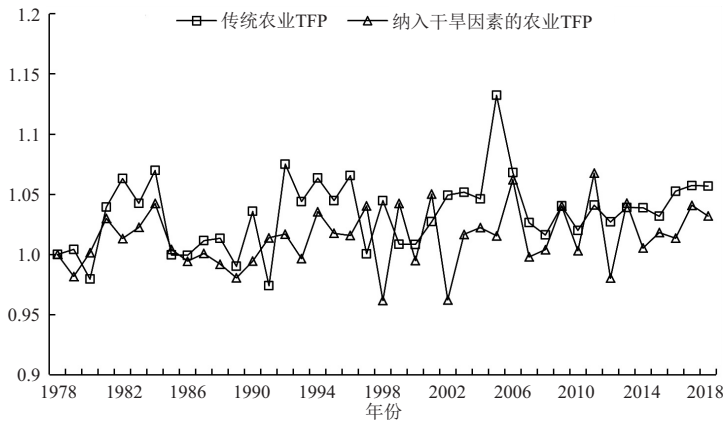


图 2 纳入与未纳入干旱因素的农业 TFP 变化和差异情况



第二,1978~2018年中有32年未纳入干旱因素的农业TFP指数大于纳入干旱因素的农业TFP指数,约占80%;有8年未纳入干旱因素的农业TFP指数小于纳入干旱因素的农业TFP指数,约占20%。这表明极端干旱事件对农业TFP的影响以负面作用为主。造成这一结果的主要原因是,气候变暖加速了干旱、高温等极端事件发生的频率和强度,而这给农业产出带来了严重的不利影响<sup>[24]</sup>。

第三,两种情形下的中国农业TFP增长速度表现出明显的阶段性特征。根据两种情形下农业TFP增长率的高低,整个考察期大致可划分为5个阶段:1978~1984年、1985~1991年、1992~1997年、1998~2000年以及2001~2018年。结合图2和表5可知,不同阶段农业TFP的增长速度存在明显差异。其中,1978~1984年农业TFP大幅提高,这取决于期间的农村家庭联产承包责任制改革,这一改革的推行解决了“搭便车”和“剩余控制权”问题,使农业生产活力得到极大释放,农民应对干旱等不利气候条件的积极性也相应地有所提高。然而,1998~2000年农业增长减缓,抑制了农业TFP增长,这与20世纪90年代后期出现亚洲金融危机、通货紧缩等问题密切相关,经济发展大幅减缓不利于应对极端天气技术的开发与推广。

表5为1978~2018年纳入干旱因素的中国农业TFP增长及其分解变化情况。在不考虑干旱因素的情形下,1978~2018年中国传统农业TFP年均增长率为3.45%,农业技术效率年均增长率为-0.83%,农业技术进步年均增长率为4.32%(见表3),表明农业技术进步是推动农业TFP增长的主要动力,而农业技术效率对农业TFP增长的贡献有限。这也反映出中国农业发展对资源和技术潜力的挖掘还不够充分,特别是农业生产过程中投入要素的利用效率存在很大的提升空间。由表5可知,当考虑极端干旱事件的冲击时,纳入干旱因素的中国农业TFP年均增长率为1.39%,农业技术进步年均增长率为1.86%,农业技术效率年均增长率为-0.46%。通过比较这两种情形下的中国农业TFP核算结果发现,与传统农业TFP估算结果相比,纳入干旱因素的中国农业TFP年均增长率下降了2.06%,农业技术进步年均增长率下降了2.46%,农业技术效率仍为负增长。由此可知,极端干旱事件对中国农业生产率的测算产生了较大影响,如果不考虑干旱及其影响,1978~2018年的中国农业TFP年均增长率将被高估。

结合表3和表5的结果可知,气候变化对中国农业TFP增长的不利影响主要体现在干早上,这是因为与传统农业TFP相比,纳入气候因素(包括气温、降水量和干旱)的中国农业TFP年均增长率下降了2.42%,纳入干旱因素的农业TFP年均增长率下降了2.06%,这一下降比率约占气候因素所导致的中国农业TFP增长率下降水平的85%;纳入气候因素的农业技术进步年均增长率下降了3.05%,纳入干旱因素的农业技术进步年均增长率下降了2.46%,约为气候因素所导致的农业技术进步年均增长率下降水平的81%。

表6列出了1978~2018年农业产出、传统要素与TFP及其分解的增长率,Y、L、F、M分别代表农业总产值、劳动力、化肥和农机总动力。结合表5和表6可知,1978~2018年,农业产值年均增长率为5.22%,未考虑干旱因素的农业TFP年均增长率为3.45%,这种情形下的农业TFP增长对中国农业产出增长的贡献率达到66.09%。另外,考虑干旱因素的中国农业TFP每年以1.39%的速度增长,这种情形下农业TFP增长对我国农业产出增长的贡献率约为26.63%。对比两种情形下的结果,前者没有分离极端干旱事件对农业增长的影响,农业TFP增长率被高估,从而使农业TFP对农业产出增长的贡献被夸大。同时,两种情形下的结果均表明农业TFP已经成为我国农业发展的重要动力。进一步通过表6可知,化肥和农机总动力投入仍保持较高增长率,分别为3.79%和5.22%,这表明当前农业物质消耗(资本)投入增长依然是我国农业产出增长的主要驱动力,我国农业发展模式仍未能实现由粗放型向集约型增长模式的转变。因此,关注极端干旱事件对农业的不利影响,采取应对措施,进一步提升农业TFP,对于保障粮食安全、促进我国农业现代化具有重要意义。

表 5 纳入干旱因素的中国农业 TFP 增长及其分解变化(1978~2018 年)

年份	技术效率变化	技术进步变化	TFP 指数变化	年份	技术效率变化	技术进步变化	TFP 指数变化
1978~1979	0.9477	1.0358	0.9816	1999~2000	0.9853	1.0097	0.9949
1979~1980	1.0051	0.9963	1.0015	2000~2001	1.0328	1.0168	1.0501
1980~1981	1.0189	1.0108	1.0299	2001~2002	0.9282	1.0366	0.9622
1981~1982	0.9895	1.0240	1.0132	2002~2003	0.9899	1.0271	1.0167
1982~1983	1.0244	0.9981	1.0225	2003~2004	0.9894	1.0333	1.0223
1983~1984	1.0039	1.0384	1.0424	2004~2005	1.0000	1.0154	1.0154
1984~1985	0.9919	1.0124	1.0042	2005~2006	1.0266	1.0346	1.0621
1985~1986	0.9854	1.0090	0.9943	2006~2007	0.9936	1.0043	0.9979
1986~1987	1.0014	0.9994	1.0008	2007~2008	0.9962	1.0078	1.0039
1987~1988	0.9848	1.0072	0.9918	2008~2009	1.0041	1.0360	1.0403
1988~1989	0.9728	1.0079	0.9805	2009~2010	0.9821	1.0212	1.0030
1989~1990	0.9810	1.0137	0.9944	2010~2011	1.0236	1.0429	1.0675
1990~1991	0.9988	1.0151	1.0138	2011~2012	0.9777	1.0027	0.9803
1991~1992	0.9897	1.0275	1.0168	2012~2013	1.0162	1.0261	1.0427
1992~1993	0.9990	0.9975	0.9965	2013~2014	0.9704	1.0360	1.0053
1993~1994	1.0217	1.0135	1.0355	2014~2015	1.0019	1.0162	1.0182
1994~1995	1.0119	1.0055	1.0175	2015~2016	0.9969	1.0167	1.0135
1995~1996	0.9795	1.0370	1.0158	2016~2017	1.0223	1.0182	1.0408
1996~1997	1.0187	1.0212	1.0403	2017~2018	0.9881	1.0444	1.0319
1997~1998	0.9642	0.9974	0.9617	总平均	0.9954	1.0186	1.0139
1998~1999	1.0083	1.0340	1.0425				

注:表中数值为所在年份全部省(市、区)生产率的几何平均数,如需全部年份数据可向作者索取。

表 6 1978~2018 年农业产出、传统要素投入、纳入干旱因素的 TFP 及分解的增长率 单位:%

年份	Y	L	F	M	TFP	TFP 贡献率	技术效率	技术进步
1978~2018	5.22	-0.32	3.79	5.22	1.39	26.63	-0.23	1.27

#### (四)纳入与未纳入干旱因素的农业 TFP 增长的空间特征

表 7 为纳入干旱因素的中国分省农业生产率增长及其分解变化情况。通过表 4 和表 7 可知, 无论是否考虑干旱因素, 中国农业 TFP 增长都具有空间非均衡性特征, 呈现“东高西低”的格局。同时, 东、中、西三大区域农业 TFP 增长主要由农业技术进步推动, 而农业技术效率对农业 TFP 增长的贡献有限, 并且三大区域农业技术进步的年均增长率明显高于农业技术效率的年均增长率。具体而言, 未考虑干旱因素的情形下, 东、中和西部地区农业 TFP 年均增长率分别为 4.53%、3.19%和 2.59%(见表 4); 考虑干旱因素的情形下, 东、中部地区农业 TFP 年均增长率分别为 2.58%、1.20%, 西部地区没有出现增长。此外, 不同省区间农业 TFP 增长差异明显, 不考虑干旱因素的情形下(见表 4), 1978~2018 年间农业 TFP 年均增长率最高的省份是江苏省, 达到 7.1%; 年均增长率最低的省区是宁夏, 为 -0.01%, 即在 1978~2018 年间, 除了宁夏外中国所有省区的农业 TFP 都在正增长。而在考虑干旱因素的情形下, 1978~2018 年间农业 TFP 年均增长率最高的省份是山东省, 达到 7.18%, 而安徽、湖南、广西、贵州、云南和宁夏的农业 TFP 出现了负增长。将两种情形下的农业 TFP 对比发现, 几乎所有省份的传统农业 TFP 都大于考虑干旱因素情形下的农业 TFP, 这与上文的分析结果一致。

表 7 纳入干旱因素的中国分省农业 TFP 增长及其分解变化(1978~2018 年)

省份	技术效率变化	技术进步变化	TFP 指数变化	省份	技术效率变化	技术进步变化	TFP 指数变化
北京	1.0000	1.0006	1.0006	湖北	0.9880	1.0205	1.0083
天津	0.9977	1.0095	1.0072	湖南	0.9881	1.0066	0.9945
河北	0.9950	1.0324	1.0273	广东	1.0000	1.0310	1.0310
山西	0.9988	1.0009	0.9997	广西	0.9915	1.0031	0.9946
内蒙古	0.9909	1.0091	0.9999	四川	0.9877	1.0277	1.0150
辽宁	0.9993	1.0270	1.0263	贵州	0.9950	1.0026	0.9976
吉林	0.9986	1.0156	1.0141	云南	0.9891	1.0048	0.9938
黑龙江	0.9917	1.0203	1.0118	陕西	0.9997	1.0009	1.0006
上海	1.0000	1.0008	1.0008	甘肃	0.9967	1.0056	1.0022
江苏	1.0000	1.0280	1.0280	青海	0.9977	1.0050	1.0027
浙江	1.0000	1.0096	1.0096	宁夏	0.9958	1.0001	0.9960
安徽	0.9874	1.0038	0.9911	新疆	0.9942	1.0061	1.0002
福建	1.0000	1.0094	1.0094	东部地区	0.9981	1.0277	1.0258
江西	0.9963	1.0093	1.0055	中部地区	0.9920	1.0200	1.0120
山东	0.9911	1.0815	1.0718	西部地区	0.9940	1.0060	1.0000
河南	0.9911	1.0815	1.0718	全国平均	0.9954	1.0186	1.0139

注:表中数值为各省(市、区)历年生产率指数的几何平均数。

## 五、结论与启示

为更加充分地反映气候变化对中国农业 TFP 的影响,本文采用平均气温、降水量以及干旱强度指数衡量气候因素,再将气候因素纳入农业 TFP 的测算指标体系中进行农业 TFP 的估算和比较分析,探讨气候变化下中国农业 TFP 增长的时空特征及其对农业增长的贡献。在此基础上,重点考察了干旱因素对中国农业 TFP 增长的影响。通过实证分析,得到以下结论:

第一,气候因素特别是干旱对中国农业 TFP 增长造成了负面影响。若不考虑气候因素,近 40 年的中国农业 TFP 增长率会被高估。具体而言,与传统农业 TFP 估算结果相比,纳入气候因素(气温、降水量与干旱)的中国农业 TFP 年均增长率下降了 2.42%;只纳入干旱因素的中国农业 TFP 年均增长率下降了 2.06%。农业对气候变化的反应非常敏感和脆弱,任何程度的气候变化都会对农业生产及其相关过程产生潜在或显著的影响,特别是干旱等极端天气往往会给农业生产带来巨大损失,危及粮食安全和农业可持续发展。

第二,农业技术进步是推动农业 TFP 增长的主要驱动力,而农业技术效率对农业生产力增长的贡献有限。近 40 年间,中国传统农业 TFP 年均增长率为 3.45%,农业技术进步年均增长率为 4.32%,农业技术效率年均增长率为-0.83%。纳入气候因素的情形下,农业 TFP 年均增长率为 1.03%,农业技术进步年均增长率为 1.27%,农业技术效率年均增长率为-0.23%。只考虑干旱因素情形下,农业 TFP 年均增长率为 1.39%,农业技术进步年均增长率为 1.86%,农业技术效率年均增长率为-0.46%。这些结果表明,长期以来,中国农业 TFP 增长基本都是技术推进的“单驱动”模式,很少出现技术推进和效率驱动的“双驱动”模式。

第三,无论是否考虑气候因素,中国农业 TFP 增长都呈现“东高西低”的空间不均衡性,并且不同省份农业 TFP 增长存在明显差异。一般而言,东部地区农业 TFP 增长率最高,其次为中部地区,西部地区最低。具体到省份差异,纳入气候因素的情形下,1978~2018 年间河南省农业 TFP 年均增长率最高,安徽、湖南、广西、贵州、云南和宁夏的农业 TFP 出现了负增长。只考虑干旱因素情形下,山东省农业 TFP 年均增长率最高,安徽、湖南、广西、贵州、云南和宁夏的农业 TFP 出现负增长。

据此,本文提出以下政策建议:第一,政府层面在关注农业 TFP 增长时,不应忽略气候因素对农业生产率的重要影响,考虑气候因素的农业 TFP 测算方法能更加准确地反映出不同地区农业发展的真实绩效水平。第二,推动农业生产由传统粗放型向现代集约型转变,依靠技术推进和效率驱动的

“双驱动”模式提升农业全要素生产率。因此,在开展农业“卡脖子”技术攻关的同时,应加强对农村劳动力教育的投入,推进农田水利设施建设,积极发展适度规模经营,提升农业技术效率。第三,各地区应结合当地实际情况,发展现代灌溉农业及旱地特色农业,推动高效节水灌溉技术的研发和应用,积极应对气候变化对农业生产带来的不利影响。

#### 注释:

①考虑数据可得性等,本研究没有包括中国台湾、中国香港和中国澳门地区,这仅限于学术处理。另外,由于西藏统计数据缺失较为严重,故研究也未将其包括在内。另外,为保持统计口径一致,将1988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文中传统农业全要素生产率是指没有考虑气候因素采用常规测算法得到的农业全要素生产率。另外,文中提及农业生产率时,就是指农业全要素生产率。

③为了刻画干旱的不利影响,将RDI指数取负数引入MSBM模型。MSBM是由Sharp等提出的一种SBM模型的变种,与SBM模型相比,其优势在于允许投入和产出指标中包含负数。

④各省区泰森多边形面积通过Mapinfo软件计算而得。限于篇幅,没有列出各省区站点分布及泰森多边形面积。如有需求,可向作者索取。

⑤DEA不要求投入指标或产出指标之间不存在高度相关性(共线性),共线性的存在不会导致错误的分析结果。因此,即使投入指标间存在相关性(例如农业机械动力和劳动力数量、干旱和降水量等要素投入之间可能存在相关性),也不会对农业TFP测算结果的准确性产生影响。

#### 参考文献:

[1] Hernandez, E. A. The Emerging Threats of Climate Change on Tropical Coastal Ecosystem Services, Public Health, Local Economies and Livelihood Sustainability of Small Islands; Cumulative Impacts and Synergies[J]. Marine Pollution Bulletin, 2015, 101(1): 5—28.

[2] Yuan, W., Cai, W., Chen, Y., et al. Severe Summer Heatwave and Drought Strongly Reduced Carbon Uptake in Southern China[J]. Scientific Reports, 2016, 6(1): 18813.

[3] Pecl, G. T., Araujo, M. B., Bell, J. D., et al. Biodiversity Redistribution under Climate Change: Impacts on Ecosystems and Human Well-being[J]. Science, 2017, 355(6332): 1389—1398.

[4] 刘立涛,刘晓洁,伦飞,等.全球气候变化下的中国粮食安全问题研究[J].自然资源学报,2018(6): 927—939.

[5] 罗良文,茹雪,赵凡.气候变化的经济影响研究进展[J].经济动态,2018(10): 116—130.

[6] 吴绍洪,黄季焜,刘燕华,等.气候变化对中国的影响利弊[J].中国人口·资源与环境,2014(1): 7—13.

[7] 李祎君,王春乙.气候变化对中国农作物种植结构的影响[J].气候变化研究进展,2010(2): 123—129.

[8] 潘根兴,高民,胡国华,等.气候变化对中国农业生产的影响[J].农业环境科学学报,2011(9): 1698—1706.

[9] 周曙东,周文魁,林光华,等.未来气候变化对中国粮食安全的影响[J].南京农业大学学报(社会科学版),2013(1): 56—65.

[10] 付雨晴,丑洁明,董文杰.气候变化对中国农作物宜播种面积的影响[J].气候变化研究进展,2014(2): 110—117.

[11] 周洁红,唐利群,陈凯.应对气候变化的农业生产转型研究进展[J].中国农村观察,2015(3): 74—86.

[12] 汪阳洁,仇焕广,陈晓红.气候变化对农业影响的经济学方法研究进展[J].中国农村经济,2015(9): 4—16.

[13] Headey, D., Alauddin, M., Rao, D. S. P. Explaining Agricultural Productivity Growth: An International Perspective[J]. Agricultural Economics, 2010(41): 1—14.

[14] Darku, A. B., Malla, S., Trank, K. C. Sources and Measurement of Agricultural Productivity and Efficiency in Canadian Provinces: Crops and Livestock[J]. Canadian Journal of Agricultural Economics, 2016, 64(1): 49—70.

[15] Gong, B. L. Agricultural Reforms and Production in China: Changes in Provincial Production Function and Productivity in 1978—2015[J]. Journal of Development Economics, 2018(132): 18—31.

[16] Chen, P. C., Yu, M. M., Chang, C. C., et al. Total Factor Productivity Growth in China's Agricultural Sector[J]. China Economic Review, 2008(19): 580—593.

[17] Lambert, D. K., Parker, E. Productivity in Chinese Provincial Agriculture[J]. Journal of Agricultural Economics, 1998, 49(3): 378—392.

[18] Salim, R., Aislam, N. Exploring the Impact of R&D and Climate Change on Agricultural Productivity Growth: The Case of Western Australia[J]. Australian Journal of Agricultural Resource Economics, 2010, 54(4): 561—582.

- [19] Villavicencio, X., McCarl, B. A., Wu, X. M., et al. Huffman Climate Change Influences on Agricultural Research Productivity[J]. *Climatic Change*, 2013, 119(3—4): 815—824.
- [20] Mohan, G. Effects of Research and Development Expenditure and Climate Variability on Agricultural Productivity Growth in Ghana[J]. *Journal of Disaster Research*, 2014, 9(4): 443—451.
- [21] 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.
- [22] 高鸣.气候变化下的农业生产率再估计[J].*中国软科学*,2018(9): 26—39.
- [23] Sheng, Y., Xu, X. P. The Productivity Impact of Climate Change: Evidence from Australia's Millennium Drought[J]. *Economic Modelling*, 2019(76): 182—191.
- [24] Chen, S., Gong, B. Response and Adaptation of Agriculture to Climate Change: Evidence from China[J]. *Journal of Development Economics*, 2020(9): 1—67.
- [25] 赵勇,翟家齐,蒋桂芹,等. 干旱驱动机制与模拟评估[M]. 北京:科学出版社,2017: 3.
- [26] Hailu, A., Veemant, T. S. Environmentally Sensitive Productivity Analysis of the Canadian Pulp and Paper Industry, 1959—1994: An Input Distance Function Approach[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2000(40): 251—274.
- [27] Shestalova, V. Sequential Malmquist Indices of Productivity Growth: An Application to OECD Industrial Activities[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2003, 19(2—3):211—226.
- [28] Sharp, J. A., Meng, W., Liu, W. A Modified Slacks-based Measure Model for Data Envelopment Analysis with Natural Negative Outputs and Inputs [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2007, 58 (12): 1672—1677.
- [29] Caves, D. W., Christensen, L. R., Diewert, W. E. The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity[J]. *Econometrica*, 1982, 50(6): 1393—1414.
- [30] 秦鹏程,刘敏.气象干旱诊断评估方法及其在长江中下游地区的应用[J].*长江流域资源与环境*,2015(11): 1969—1976.

## Recalculation of China's Agricultural Total Factor Productivity with Climatic Factors

YIN Chaojing<sup>1</sup> GAO Xue<sup>2</sup>

(1.College of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2.College of Economics, Northeast University at Qinhuangdao, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract:** Against the background of global warming, frequent extreme events such as droughts have caused huge impacts and threats on agricultural production. In this paper, the factors of temperature, precipitation and drought are included in the evaluation system of agricultural total factor productivity (TFP), and the changes in agricultural TFP and its decomposition of 28 provinces (cities, districts) in China from 1978 to 2018 are estimated using the sequential MSBM-DEA model. Then, compares and analyzes the results of calculation and decomposition of agricultural TFP calculation under different situations. The results show that China's agricultural TFP growth rate was overestimated without considering climatic factors. Climatic factors, especially drought events, have had negative impacts on the growth of China's agricultural TFP. Seen from the decomposition results of agricultural TFP growth, whether climatic factors are considered or not, agricultural technological progress is the main driving force to promote the growth of agricultural TFP, and the contribution of agricultural technological efficiency to the growth of agricultural TFP is limited. Whether climatic factors are considered or not, China's agricultural TFP has a spatial imbalance of "high in the Eastern region and low in the western region", and there are obvious differences in agricultural TFP growth in different provinces.

**Key words:** Climate Change; Drought; Agricultural Total Factor Productivity; Sequential MSBM-DEA Model

(责任编辑:易会文)