



# 农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊  
中文核心期刊  
中国科技核心期刊

## JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

中国农业技术进步是否偏向节约土地:基于农业投入偏向型技术进步的测度

韩海彬, 赵慧欣

引用本文:

韩海彬, 赵慧欣. 中国农业技术进步是否偏向节约土地:基于农业投入偏向型技术进步的测度[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(3): 705–715.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0722>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

粮食主产区农业绿色发展的影响因素、质量测度与动力分析——基于绿色全要素生产率视角

崔宁波, 生世玉

农业资源与环境学报. 2022, 39(3): 621–630 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0106>

中国省际农业生态效率评价及其改进路径分析

方永丽, 曾小龙

农业资源与环境学报. 2021, 38(1): 135–142 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0148>

流域尺度农业“水-土-经济”要素耦合机制与行为调控系统效应模拟

刘桂君, 刘宇, 张倩, 吴锋

农业资源与环境学报. 2022, 39(3): 631–642 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0112>

土地利用变化对农业文化遗产系统结构的影响——以浙江省德清县为例

杨晓, 焦雯璐, 闵庆文, 杨伦

农业资源与环境学报. 2022, 39(5): 885–893 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2022.0410>

地理探测器与Tobit模型在粤西地区粮食生产效率及影响因子分析中的比较应用

黄馨亿, 任向宁, 马涛, 胡月明, 李波, 张飞扬, 谢健文

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 818–828 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0482>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

韩海彬, 赵慧欣. 中国农业技术进步是否偏向节约土地: 基于农业投入偏向型技术进步的测度[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(3): 705–715.

HAN H B, ZHAO H X. Status of land conservation bias of agricultural technological progress in China: A measure based on agricultural input-biased technological progress[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(3): 705–715.

# 中国农业技术进步是否偏向节约土地： 基于农业投入偏向型技术进步的测度

韩海彬, 赵慧欣

(天津商业大学公共管理学院, 天津 300134)

**摘要:**为探究中国农业技术进步的偏向性特征,构建基于投入导向方向性距离函数的 Malmquist–Luenberger 生产率指数模型,在此基础上对 1997—2019 年中国 30 个省份农业投入偏向型技术进步进行测度,进而深入分析中国农业技术进步的节约土地时空演变特征。结果表明:中国农业全要素生产率整体上呈现增长趋势,年均增长 2.87%,技术进步是农业全要素生产率增长的重要因素。IBTC(投入偏向型技术进步)指数在各个年份均大于 1,农业技术进步具有投入偏向性并且整体上偏向节约土地。具体来说,虽然在土地与劳动力之间偏向节约劳动力,但在土地与农业机械、土地与化肥、土地与农药等投入要素之间均偏向节约土地。从时序特征来看,农业技术进步的土地节约偏向随时间推移逐渐减弱;从空间分布来看,农业技术进步在东部地区的土地节约偏向程度强于中部和西部地区。研究表明,未来应在进一步优化农业生产要素结构的同时,从强化农业技术创新与应用、制定差异化技术进步发展路径、完善农业要素市场等方面出发,深入推进农业土地节约集约利用,实现农业可持续发展。

**关键词:**农业全要素生产率;投入偏向型技术进步;Malmquist–Luenberger 生产率指数;土地

中图分类号:F323.3

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2023)03-0705-11

doi: 10.13254/j.jare.2022.0722

## Status of land conservation bias of agricultural technological progress in China: A measure based on agricultural input-biased technological progress

HAN Haibin, ZHAO Huixin

(School of Public Administration, Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

**Abstract:** To explore the bias characteristics of agricultural technological progress in China, the Malmquist–Luenberger productivity index based on the input-oriented directional distance function was used to measure agricultural input-biased technological progress in 30 Chinese provinces from 1997 to 2019, thus providing an in-depth analysis of the spatial and temporal evolutionary characteristics of the land-saving bias of agricultural technological progress in China. The study produced several interesting results: agricultural total factor productivity in China showed an overall growth trend with an average annual growth rate of 2.87%, and technological progress was an important source of agricultural total factor productivity growth. The IBTC index was greater than 1 in all years, and agricultural technological progress was input-biased with an overall bias toward land conservation. Specifically, although there was a bias toward saving labor between land and labor, there was a bias toward saving land between land and other input factors, such as agricultural machinery, fertilizers, and pesticides. An assessment of the temporal evolution characteristics revealed that the land-saving bias of agricultural technological progress gradually decreased over time. The spatial distribution showed that the degree of the land-saving bias of agricultural technological progress was stronger in eastern China than in central and western China. The study indicates that, in the future, while further optimizing the structure of production factors, we should further promote the economical and intensive use of agricultural land and achieve

收稿日期:2022-10-13 录用日期:2022-12-30

作者简介:韩海彬(1978—),男,河北满城人,博士,教授,主要从事农业资源环境经济研究。E-mail: hshore@126.com

基金项目:国家社会科学基金项目(14BTJ014)

Project supported: The National Social Science Foundation of China(14BTJ014)

<http://www.aed.org.cn>

sustainable agricultural development by strengthening agricultural technological innovation and application, formulating differentiated technological progress development paths, and improving agricultural factor markets.

**Keywords:** agricultural total factor productivity; input-biased technological progress; Malmquist-Luenberger productivity index; land

当前,中国经济已由高速增长阶段转向高质量发展阶段,农业经济增长方式也应加快由粗放型向集约型转变<sup>[1]</sup>。然而,近年来随着工业化和城镇化进程的快速推进,大量耕地被城乡建设占用,部分已征而未用(闲置、撂荒)的耕地也被严重破坏,难以恢复使用<sup>[2]</sup>。另外,在农业生产过程中,化肥、农药等化学投入品的不当使用,在对生态环境造成严重污染的同时,也破坏了土壤结构,导致耕地流失,从而严重制约了中国农业可持续发展<sup>[3]</sup>。可见,处于转型期的中国农业正面临着土地资源流失和生态环境恶化等多重压力。偏向型技术进步是破解我国农业发展面临的多重困境、实现农业绿色转型发展的重要手段。根据要素稀缺诱致性技术创新理论,生产要素禀赋的相对稀缺程度及其变化会引起要素相对价格的变化,进而诱致节约稀缺要素的技术进步<sup>[4]</sup>。具体而言,当土地要素稀缺时会诱致土地节约偏向型技术进步,即技术进步通过改变土地与劳动力、农业机械、化肥、农药等投入要素之间的边际替代率而偏向节约土地要素。如果发生了节约土地的偏向型技术进步,则可在给定农业产出条件下使土地相对于其他投入要素有更大程度的节约。在人口地少、农业土地资源愈加稀缺、土地要素成本不断上涨的背景下,我国农业经济发展过程中是否发生了土地节约偏向型技术进步?我国农业技术进步的土地节约偏向具有何种变化趋势和空间分布特征?厘清这些问题对于促进农业全要素生产率增长、推动农业转型升级具有重要意义。

偏向型技术进步最早由Hicks<sup>[5]</sup>提出,该理论认为要素相对价格的变化使得技术创新偏向于节约昂贵的生产要素。从20世纪90年代开始,Romer<sup>[6]</sup>、Grossman等<sup>[7]</sup>、Acemoglu<sup>[8]</sup>先后对偏向型技术进步理论进行了拓展研究,从而使该理论得到进一步发展和完善。近年来,随着部分生产要素价格的持续上涨,越来越多的学者开始关注技术进步的要害偏向问题。

从测度方法来看,目前关于偏向型技术进步的测度主要分为参数法和非参数法两种。参数法一般以生产函数为基础,通过估算要素替代弹性判断技术进步的偏向性。但是,该方法需要对生产函数的形式和要素间的替代弹性进行严格假设,可能会出现理论假

设与现实不一致的情况,从而导致估算结果出现偏差<sup>[9]</sup>。而以数据包络分析(DEA)为代表的非参数法则不需要对生产函数作出严格假定,也无需考虑要素替代弹性的估算问题,并且还可以有效处理多投入多产出问题,因此受到广大学者的青睐。具体来说,现有相关研究主要通过对基于普通距离函数的Malmquist生产率指数进行分解的方式对偏向型技术进步进行测度。例如,王班班等<sup>[10]</sup>利用Malmquist生产率指数分解得到投入偏向型技术进步指数,在此基础上对我国工业技术进步的要素偏向问题进行分析,结果表明我国工业技术进步总体呈现节约能源的特征。杨冕等<sup>[11]</sup>基于径向距离函数的Malmquist生产率指数,并通过对其分解得到投入偏向型技术进步指数和产出偏向型技术进步指数,在此基础上对我国技术进步的要素偏向类型的时空特征进行了深入分析。然而,由于普通距离函数无法有效区分期望产出和非期望产出,从而导致相关研究不能考虑资源环境约束问题。方向性距离函数可以通过灵活设定各投入产出指标的方向向量,实现对期望产出与非期望产出的有效区分,从而将环境污染排放作为非期望产出纳入研究体系。因此,部分学者尝试构建基于方向性距离函数的Malmquist-Luenberger生产率指数模型,并通过对其进行多维分解实现对偏向型技术进步的测度。例如,丁黎黎等<sup>[12]</sup>在构建Malmquist-Luenberger生产率指数模型的基础上,对中国绿色技术进步的投入与产出偏向进行了分析。但是该研究仅建立了产出导向的Malmquist-Luenberger生产率指数模型,却忽略了投入导向的Malmquist-Luenberger生产率指数与投入偏向型技术进步之间的内在逻辑关系。

在农业领域,国内外学者对农业技术进步进行了广泛探讨,相关研究主要集中在农业技术进步的测度<sup>[13]</sup>、农业技术进步的驱动因素<sup>[14-15]</sup>以及农业技术进步的增收效应<sup>[16-17]</sup>等方面。然而,关于农业偏向型技术进步的测度研究刚刚展开,而且相关研究主要从农业资源禀赋特征出发探讨农业技术进步偏向与生产要素结构的匹配关系。例如,武舜臣等<sup>[18]</sup>结合各地区的资源禀赋特征对不同区域的农业技术进步偏向进行评价,研究发现全国层面的农业技术进步偏向于节约劳

动力,与资源禀赋优势发生了严重扭曲。薛超等<sup>[19]</sup>在对中国农业技术进步偏向进行测度的基础上,实证分析了中国农业技术进步偏向与农业生产要素禀赋之间的匹配关系,结果表明两者之间并非完全匹配。吴丽丽等<sup>[20]</sup>利用包含价格信息的超越对数成本函数,考察农业生产要素禀赋变化对短期要素替代和长期技术选择的诱致性作用,结果表明长期农业生产要素禀赋变化会影响农业技术进步偏向。

综上,本研究从以下三方面对现有研究作进一步拓展:第一,现有文献大多基于产出导向DEA模型构建投入偏向型技术进步指数,这将无法在产出既定的假设条件下揭示各投入要素可缩减程度,从而无法准确识别技术进步的要害偏向。鉴于此,本研究通过对基于投入导向方向性距离函数的Malmquist-Luenberger生产率指数进行多维分解,构建了投入偏向型技术进步测度体系和技术进步要素偏向的识别方法,从而厘清了投入导向Malmquist-Luenberger生产率指数与投入偏向型技术进步的内在逻辑关系;第二,本研究将农地利用过程中产生的碳排放和水稻种植所产生的CH<sub>4</sub>排放同时作为非期望产出纳入投入偏向型技术进步测度体系,能够全面衡量农业生产过程产生的大气污染排放,而且有助于对农业绿色技术进步进行有效监控,更符合农业可持续发展的要求;第三,本研究在对资源环境约束下中国农业投入偏向型技术进步进行测度的基础上,深入分析了农业技术进步对土地、劳动力、农业机械、化肥和农药5种投入要素的偏向特征,并重点对农业技术进步的土地节约偏向时空演变特征进行分析。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究方法

#### 1.1.1 投入偏向型技术进步的测度

现有相关研究通常采用基于产出导向距离函数构建Malmquist生产率指数方法测度偏向型技术进步。然而,该方法一方面无法有效区分期望产出和非期望产出,另一方面忽略了投入导向的Malmquist生产率指数与投入偏向型技术进步之间的内在逻辑关

系。因此,本研究采用可同时兼顾期望产出与非期望产出的投入导向方向性距离函数构建Malmquist-Luenberger生产率指数,并在此基础上对投入偏向型技术进步进行测度。

假定有 $k=1, \dots, K$ 个决策单元,每个决策单元在每一时期使用 $N$ 种投入 $x=(x_1, \dots, x_N) \in R_+^N$ ,得到 $M$ 种期望产出 $y=(y_1, \dots, y_M) \in R_+^M$ 和 $S$ 种非期望产出 $b=(b_1, \dots, b_S) \in R_+^S$ ,则生产活动所需投入集合为 $L(y, b)=\{x: x \text{ 可以生产 } (y, b)\}$ 。参照Caves等<sup>[21]</sup>的研究,基于投入导向距离函数的Malmquist( $M$ )生产率指数可定义为:

$$M = \sqrt{\frac{D_i^t(x^t, y^t, b^t)}{D_i^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \frac{D_i^{t+1}(x^t, y^t, b^t)}{D_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}} \quad (1)$$

根据Chambers等<sup>[22]</sup>的研究,当投入导向方向性距离函数的方向向量 $g_x=x$ 时,投入导向距离函数和方向性距离函数存在以下关系:

$$\frac{1}{D_i^t(x, y, b)} = 1 - \bar{D}_i^t(x, y, b; -g_x) \quad (2)$$

式中: $D_i^t(x, y, b)$ 表示投入导向距离函数; $\bar{D}_i^t(x, y, b; -g_x)$ 表示投入导向方向性距离函数。

根据公式(1)和公式(2)可构建基于投入导向方向性距离函数的Malmquist-Luenberger(ML)生产率指数( $M_L$ ),如公式(3)所示:

将 $M_L$ 进一步分解,可以得到技术效率变化(EC)

指数( $C_E$ ,公式5)和技术进步(TC)指数( $C_T$ ,公式6):

$$M_L = C_E \times C_T \quad (4)$$

$$C_E = \frac{1 - \bar{D}_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; -g_x)}{1 - \bar{D}_i^t(x^t, y^t, b^t; -g_x)} \quad (5)$$

式中: $C_E$ 是两个时期技术效率值的比值,度量了生产要素组合到生产前沿面之间距离的变化; $C_T$ 则测度了生产前沿面本身的变化。当 $M_L$ 、 $C_E$ 、 $C_T$ 三者均大于1(小于1)时,分别表示全要素生产率增长(下降)、技术效率提高(降低)、技术进步(退步)。

为揭示技术进步在投入要素和产出要素之间的偏向性,可以将 $C_T$ 进一步分解为投入偏向型技术进步(IBTC)指数( $C_{IBT}$ ,公式8)、产出偏向型技术进步(OBTC)指数( $C_{OBT}$ ,公式9)和技术规模变化(MATC)

$$M_L = \sqrt{\frac{1 - \bar{D}_i^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; -g_x)}{1 - \bar{D}_i^t(x^t, y^t, b^t; -g_x)} \times \frac{1 - \bar{D}_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; -g_x)}{1 - \bar{D}_i^{t+1}(x^t, y^t, b^t; -g_x)}} \quad (3)$$

$$C_T = \sqrt{\frac{1 - \bar{D}_i^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; -g_x)}{1 - \bar{D}_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; -g_x)} \times \frac{1 - \bar{D}_i^t(x^t, y^t, b^t; -g_x)}{1 - \bar{D}_i^{t+1}(x^t, y^t, b^t; -g_x)}} \quad (6)$$



$$C_{IBT} = \sqrt{\frac{1 - \overline{D}_i^{t+1}(x^t, y^t, b^t; -g_x)}{1 - \overline{D}_i^t(x^t, y^t, b^t; -g_x)}} \times \frac{1 - \overline{D}_i^t(x^{t+1}, y^t, b^t; -g_x)}{1 - \overline{D}_i^{t+1}(x^{t+1}, y^t, b^t; -g_x)} \quad (8)$$

$$C_{OBT} = \sqrt{\frac{1 - \overline{D}_i^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; -g_x)}{1 - \overline{D}_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; -g_x)}} \times \frac{1 - \overline{D}_i^{t+1}(x^{t+1}, y^t, b^t; -g_x)}{1 - \overline{D}_i^t(x^{t+1}, y^t, b^t; -g_x)} \quad (9)$$

指数( $C_{MAT}$ , 公式 10)<sup>[23]</sup>:

$$C_T = C_{IBT} \times C_{OBT} \times C_{MAT} \quad (7)$$

$$C_{MAT} = \frac{1 - \overline{D}_i^t(x^t, y^t, b^t; -g_x)}{1 - \overline{D}_i^{t+1}(x^t, y^t, b^t; -g_x)} \quad (10)$$

式中:  $C_{MAT}$  反映的是生产前沿面的平移, 即中性技术进步;  $C_{OBT}$  度量的是在投入既定时, 技术进步对不同产出要素比例的促进作用;  $C_{IBT}$  度量的是在产出既定时, 技术进步对不同投入要素边际替代率的改变。若  $C_{IBT} \neq 1$ , 表明存在更加节约或使用某一投入要素的投入偏向型技术进步; 若  $C_{IBT} > 1$ , 说明投入偏向型技术进步促进了全要素生产率增长, 反之则为抑制。

### 1.1.2 技术进步要素偏向的识别

IBTC 指数和 OBTC 指数可以度量技术进步在投入要素和产出要素之间的偏向程度及其对农业全要素生产率的影响, 但是无法确定技术进步的具体要素偏向。鉴于此, 本研究参照 Weber 等<sup>[24]</sup>的研究, 将各投入要素进行两两比较, 根据投入要素比例的跨时期变动和 IBTC 指数的变化来识别具体节约或增加使用哪种投入要素。

假设存在两种投入要素  $x_1$  和  $x_2$ , 并假定  $t$  时期到  $t+1$  时期发生了技术进步。如果  $x_1$  和  $x_2$  的比例发生变化, 使得  $x_2^{t+1}/x_1^{t+1} < x_2^t/x_1^t$ ,  $C_{IBT} = 1$  就意味着技术进步是 Hicks 中性;  $C_{IBT} > 1$  意味着技术进步偏向于使用  $x_1$  而节约  $x_2$ ;  $C_{IBT} < 1$  则意味着技术进步偏向于使用  $x_2$  而节约  $x_1$ 。如果  $x_2^{t+1}/x_1^{t+1} > x_2^t/x_1^t$ , 情况则相反。以上农业技术进步投入要素偏向的具体判别方法见表 1。

表 1 农业技术进步投入要素偏向的判别方法

Table 1 The discrimination method of biased input elements of agricultural technological progress

| 投入组合 Input mix                      | $C_{IBT} > 1$       | $C_{IBT} = 1$ | $C_{IBT} < 1$       |
|-------------------------------------|---------------------|---------------|---------------------|
| $x_2^{t+1}/x_1^{t+1} < x_2^t/x_1^t$ | 使用 $x_1$ , 节约 $x_2$ | 中性            | 使用 $x_2$ , 节约 $x_1$ |
| $x_2^{t+1}/x_1^{t+1} > x_2^t/x_1^t$ | 使用 $x_2$ , 节约 $x_1$ | 中性            | 使用 $x_1$ , 节约 $x_2$ |

## 1.2 指标选取及数据说明

### 1.2.1 理论分析及指标构建

构建科学合理的农业生产投入产出指标体系是测度农业偏向型技术进步的前提。传统的农业生产投入产出指标体系构建通常仅考虑土地、劳动力、资

本等要素投入对农业经济增长的影响, 而忽略了要素投入对生态环境造成的破坏, 这将难以反映农业发展的真实绩效, 从而误导政策建议。资源环境因素是农业发展的刚性约束, 直接影响农业可持续高质量发展。在当前资源环境约束日益趋紧的现实背景下, 应当将资源环境因素纳入农业生产投入产出指标体系, 以实现农业经济效益和生态效益的双赢, 从而更契合农业绿色发展理念。如何考虑资源环境约束, 现有研究通常存在两种思路: 一种是将农业环境污染治理费用作为要素投入, 但实证研究中用于污染治理和用于期望产出生产的要素投入很难区分; 另一种是将农业环境污染排放作为非期望产出, 与作为期望产出的农产品一并被生产出来, 该思路更符合农业生产实际<sup>[25]</sup>。鉴于此, 本研究在韩海彬<sup>[26]</sup>和肖琴等<sup>[27]</sup>的研究基础上, 构建农业生产投入产出指标体系。

#### (1) 投入指标

本研究选取土地、劳动力、农业机械、化肥和农药作为投入指标。①土地投入(LD): 为有效反映农业的复种休耕等情况, 选用农作物总播种面积表示土地投入; ②劳动力投入(L): 由于官方未直接公布从事种植业的劳动力数据, 故以农业总产值占农林牧渔业总产值的比例, 将第一产业从业人数折算为农业劳动力从业人数; ③农业机械投入(A): 由于农业机械投入无直接数据来源, 以农业总产值占农林牧渔业总产值的比例来估算农业机械投入; ④化肥投入(C): 选用化肥施用折纯量表示化肥投入; ⑤农药投入(P): 选用农药使用量表示农药投入。

#### (2) 产出指标

产出指标包含期望产出和非期望产出两个方面。①期望产出(Y): 选取农业总产值表示期望产出, 并以 1997 年为基准年份作不变价格处理。②非期望产出(B): 非期望产出以农业生产过程中产生的碳排放表示。本研究借鉴李波等<sup>[28]</sup>和田云等<sup>[29]</sup>的研究思路对中国各省份的农业碳排放量进行测度。需要说明的是, 本研究对农业碳排放进行测度时主要考虑两方面: 一是农地利用过程中产生的碳排放, 即化肥、农药、农膜、能源消耗以及土地翻耕等直接或间接产生的碳排放; 二是水稻种植过程中产生的碳排放, 即水

稻在其生长周期内向大气排放的 $\text{CH}_4$ 。

### 1.2.2 数据说明

本研究以狭义农业(种植业)为研究对象,基于1997—2019年我国30个省份(港澳台及西藏数据缺失)的面板数据对中国农业偏向型技术进步进行分析。同时,依据国家统计局划分方法,将30个省份划分为东部、中部、西部三个地区,东部地区包括11个省份,分别为河北、北京、天津、广东、江苏、辽宁、山东、上海、浙江、福建、海南;中部地区包括8个省份,分别为安徽、河南、黑龙江、吉林、湖北、湖南、江西、山西;西部地区包括11个省份,分别为内蒙古、广西、贵州、云南、四川、重庆、宁夏、青海、甘肃、陕西、新疆。本研究用基础数据主要来源于历年的《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国农业统计资料》以及各省份统计年鉴。

## 2 结果与分析

### 2.1 中国农业全要素生产率的测算及分解

图1展示了1997—2019年我国农业全要素生产率及其分解的变化趋势。由图1可知,除1999年和2005年外,考察期内ML指数均大于1且呈持续上涨趋势,年均增长2.87%,说明中国农业全要素生产率整体呈现增长态势。观察TC指数、EC指数与ML指数的变化特征发现,TC指数与ML指数的变化趋势较为相似,且年均增长3.36%;而EC指数的变化趋势则与ML指数、TC指数相差较大,且年均下降0.47%,表明中国农业全要素生产率增长的主要驱动力为农业技术进步,而农业技术效率则在一定程度上阻碍了农业全要素生产率增长。此外,EC指数的变化趋势几乎与TC指数相反,呈现出“此消彼长”的态势,可能的原因是尽管各省份通过加大农业财政投入等方式提

高农业生产技术水平,但由于农技推广体制机制不健全以及农技推广人员队伍建设缺失等原因,使得农业技术成果转化率偏低,从而导致农业技术进步与农业技术效率相背而行的情况。

通过对农业技术进步指数的进一步分解可以判断农业技术进步偏向性。由图1可知,MATC指数在大部分年份均大于1,并且与TC指数的变化趋势具有较强的趋同性,说明技术规模变化对当前中国农业全要素生产率增长作出了重要贡献;OBTC指数在0.996 2~1.004 6区间小幅度波动,说明产出要素结构的变化对农业全要素生产率增长的影响相对较小;IBTC指数在各个年份均大于1,波动幅度和速度相对平缓,表明考察期内存在投入偏向型技术进步,并且投入偏向型技术进步对农业全要素生产率增长起到了稳定的促进作用。

### 2.2 中国农业投入偏向型技术进步的趋势与分布

本研究从省际和区域两个维度探讨中国农业投入偏向型技术进步的变化趋势与分布特征。由表2可知,考察期内中国各省份投入偏向型技术进步指数均不等于1,说明中国各省份农业技术进步均存在投入偏向性。其中,北京、天津、上海、海南、陕西和新疆6个省份的农业技术进步投入偏向程度较强,即生产前沿面在跨期移动中发生了较明显的“偏转”;而山西、安徽、湖南、四川和甘肃5个省份的IBTC指数接近于1,说明这5个省份的农业技术进步投入偏向性不明显。

为准确把握各省份的投入偏向型技术进步在考察期内的动态变化特征,本研究将整个研究期分为1997—2008年和2009—2019年两个阶段。如表2所示,在第一阶段(1997—2008年),中国30个省份的农业技术进步均呈现出投入偏向性。其中,山西、江西、

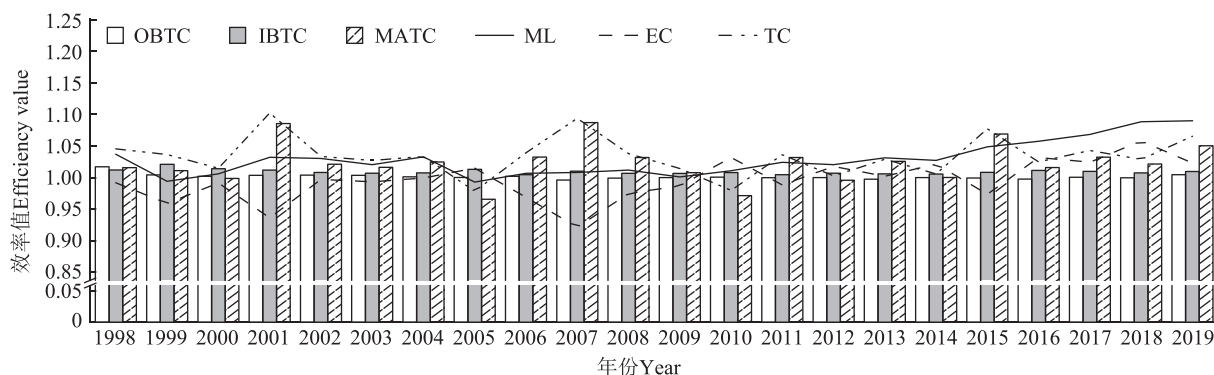


图1 中国农业全要素生产率及其分解的变化趋势

Figure 1 Change trend of agricultural total factor productivity and its decomposition in China

表2 1997—2019年各省份分阶段的IBTC指数

Table 2 The phased IBTC index of the various provinces during 1997—2019

| 省份 Province | 1997—2008 | 2009—2019 | 1997—2019 | 省份 Province | 1997—2008 | 2009—2019 | 1997—2019 |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| 北京          | 1.066 4   | 1.074 5   | 1.070 4   | 湖北          | 1.006 2   | 1.003 4   | 1.004 8   |
| 天津          | 1.035 3   | 1.025 9   | 1.030 6   | 湖南          | 1.001 2   | 0.999 7   | 1.000 4   |
| 河北          | 1.000 3   | 1.001 9   | 1.001 1   | 内蒙古         | 1.010 8   | 0.996 3   | 1.003 5   |
| 辽宁          | 1.011 5   | 1.008 8   | 1.010 2   | 广西          | 1.000 3   | 1.003 5   | 1.001 9   |
| 上海          | 1.062 3   | 1.040 3   | 1.051 3   | 重庆          | 1.000 2   | 0.998 8   | 0.999 5   |
| 江苏          | 1.000 3   | 0.998 2   | 0.999 2   | 四川          | 1.000 9   | 1.000 0   | 1.000 4   |
| 浙江          | 1.000 4   | 1.002 5   | 1.001 5   | 贵州          | 1.011 4   | 1.005 7   | 1.008 5   |
| 福建          | 1.001 5   | 1.001 4   | 1.001 5   | 云南          | 1.000 1   | 1.003 5   | 1.001 8   |
| 山东          | 1.004 7   | 0.999 9   | 1.002 3   | 陕西          | 1.010 6   | 1.032 5   | 1.021 5   |
| 广东          | 1.005 5   | 0.998 0   | 1.001 8   | 甘肃          | 0.999 4   | 1.000 0   | 0.999 7   |
| 海南          | 1.054 4   | 1.022 3   | 1.038 2   | 青海          | 0.997 7   | 1.003 6   | 1.000 6   |
| 山西          | 0.999 8   | 1.000 5   | 1.000 2   | 宁夏          | 1.001 2   | 1.000 8   | 1.001 0   |
| 吉林          | 1.005 7   | 0.998 9   | 1.002 3   | 新疆          | 1.033 1   | 1.006 0   | 1.019 5   |
| 黑龙江         | 1.001 7   | 0.999 5   | 1.000 6   | 东部          | 1.021 7   | 1.015 6   | 1.018 6   |
| 安徽          | 1.000 4   | 0.999 8   | 1.000 1   | 中部          | 1.001 5   | 1.001 2   | 1.001 2   |
| 江西          | 0.994 6   | 1.004 2   | 0.999 4   | 西部          | 1.014 4   | 1.004 6   | 1.005 2   |
| 河南          | 1.002 3   | 1.002 1   | 1.002 2   | 全国          | 1.010 5   | 1.007 6   | 1.009 1   |

甘肃和青海4个省份的IBTC指数小于1,其余26个省份的IBTC指数大于1。在第二阶段(2009—2019年),农业技术进步呈现投入偏向性的省份略有减少,且部分省份的IBTC指数出现下降趋势。具体来说,四川和甘肃的IBTC指数等于1,说明其技术进步是中性的,即该阶段生产前沿面发生了平移,而其余28个省份的生产前沿面均出现“偏转”现象,其中有19个省份的IBTC指数大于1,有9个省份的IBTC指数小于1。值得注意的是,第二阶段有20个省份的IBTC指数较第一阶段出现下降。从各省份分阶段的IBTC指数变化来看,虽然大部分省份的投入偏向型技术进步能够促进农业全要素生产率增长,但是这种正向促进作用

有减弱趋势。考察期内全国IBTC指数的变化特征进一步验证了该结论,这表明随着资源环境约束的加剧与环境政策的不断完善,农业生产要素结构与技术进步二者之间的错配问题开始显现,有必要进一步优化农业生产要素投入结构,提升农业资源配置能力。

从区域层面看,考察期内我国东、中、西部三大地区的农业投入偏向型技术进步表现出一定程度的异质性特征。如图2所示,东部地区的IBTC指数远高于中部和西部地区,并且明显高于全国平均水平,可能是因为东部地区优越的要素禀赋条件和较发达的经济水平,有效带动了农业科技创新和发展。此外,虽然东部地区的农业投入偏向型技术进步有效促进

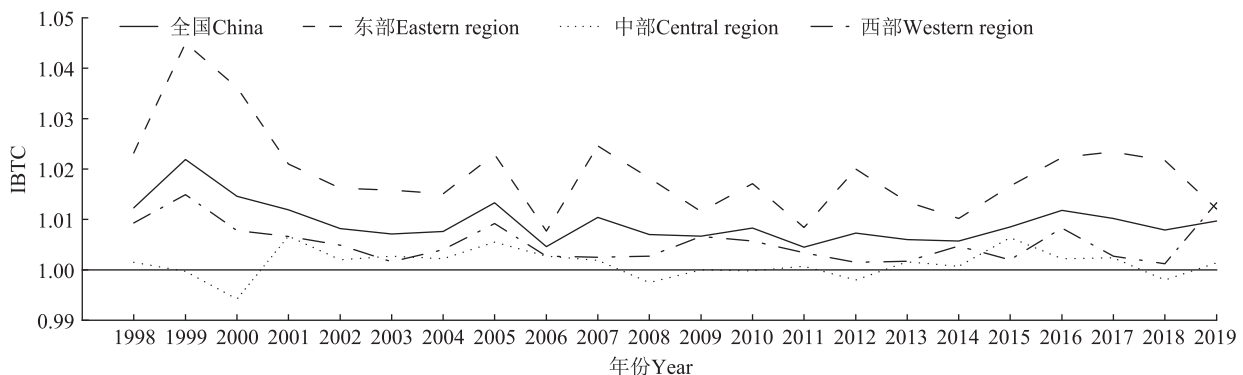


图2 全国及三大地区的IBTC指数变化趋势

Figure 2 Trend of IBTC index in China and the three major regions



了农业全要素生产率增长,但考察期内东部地区的IBTC指数仍有小范围的下降趋势且波动幅度较大,这说明东部地区的农业投入要素结构还需要进一步调整优化,从而使偏向型技术进步对农业可持续发展发挥有效而稳定的促进作用。考察期内西部地区的IBTC指数均大于1,并且变化幅度相对平缓,表明西部地区的农业投入偏向型技术进步对农业全要素生产率增长的促进作用较为稳定,但与东部地区相比,西部地区的农业投入偏向型技术进步对农业全要素生产率增长的贡献较小。与东部和西部地区相比,中部地区的IBTC指数最小,且中部地区的IBTC指数在部分年份小于1,表明中部地区的农业投入要素结构配置不当在一定程度上抑制了农业全要素生产率增长。可见,在资源环境约束趋紧的背景下,中部地区的农业投入要素结构与农业技术进步之间的错配问题愈发明显。因此,中部地区需要优化资源配置,促进农业生产要素合理流动以及优化组合,以提高农业投入偏向型技术进步。

### 2.3 中国农业技术进步的土地节约偏向时空演变

为进一步探究中国农业技术进步是否偏向节约土地,本研究利用考察期内IBTC指数的变化,并结合各组投入要素比例的跨时期变动来判断农业技术进步的具体要素偏向。根据研究需要,将本研究涉及的5种投入要素分为4组并进行两两比较,逐一分析农业技术进步在土地与劳动力(LD vs. L)、土地与农业机械(LD vs. A)、土地与化肥(LD vs. C)、土地与农药(LD vs. P)之间是否具有节约土地的特征。

表3展示了考察期内中国农业技术进步要素偏向的时序特征。总体而言,我国农业技术进步的要​​素偏向整体呈现节约土地的特征。具体来说,虽然在土地与劳动力要素组合中,农业技术进步偏向节约劳动力而使用土地,但在土地与农业机械、土地与化肥、土地与农药的三组要素组合中,农业技术进步总是偏向于节约更加稀缺的土地,而使用相对丰富的农业机械、化肥和农药。但需要注意的是,1997—2008年,农业技术进步总体呈现节约土地的特征,表现为在土地与农业机械、土地与化肥、土地与农药之间偏向节约土地;而2009—2019年,农业技术进步总体呈现使用土地而节约劳动力、化肥和农药的特征。这表明考察期内中国农业技术进步的土地节约偏向呈现逐渐减弱的趋势。

从农业技术进步要素偏向的时序变化来看,在土地与劳动力之间,除1999年和2007年之外均表现为

劳动力节约偏向;在土地与农业机械之间,除2016年之外均偏向于节约土地;在土地与化肥之间,2014年之前偏向节约土地,2014年之后大部分年份却偏向于节约化肥;在土地与农药之间,2012年之前大部分年份偏向节约土地,2012年之后几乎所有年份偏向节约农药。可能的原因是,进入21世纪以来,国家高度关注农业面源污染问题,在中央连续发布的多个“一号文件”中均明确提出了提高农产品质量、防治农业面源污染、推动农业绿色发展的目标。特别是在2015年,农业部制定并发布了《到2020年化肥使用量零增长行动方案》和《到2020年农药使用量零增长行动方案》,力求在促进农业增长和保障农产品安全的同时,改善化肥施用结构,有效控制农药使用量,实现农业的可持续发展。双“零增长”行动实施以来,全国化肥、农药的使用量实现历史性持续下降,减量趋势较为明显。

表4和图3分别从省际和区域两个层面刻画了中国农业技术进步要素偏向的空间分布特征。从省际层面上看,近一半省份的农业技术进步要素偏向特征与全国一致,即呈现出在土地与农业机械、土地与化肥、土地与农药之间偏向节约土地,而在土地与劳动力之间却偏向节约劳动力的特征(表4)。具体来说,从土地与劳动力之间的技术进步要素偏向来看,仅10个省份的农业技术进步偏向节约土地。但从土地与农业机械、土地与化肥、土地与农药之间的技术进步要素偏向来看,均有60%以上省份的农业技术进步偏向节约土地。究其原因,主要是由于在我国工业化、城镇化进程中,城乡收入差距的扩大导致农业劳动力流失加剧,劳动力成本迅速上涨,促使农业技术进步在劳动力和土地之间偏向节约相对稀缺且昂贵的劳动力要素。但是,我国可用耕地面积持续减少、耕地退化严重,导致农业土地资源愈加稀缺,使得农业技术进步在土地与相对丰富的农业机械、化肥和农药之间均偏向节约土地。

从区域层面上看,东、中、西部三大地区的农业技术进步均整体呈现出土地节约偏向,但区域间的土地节约偏向程度从东向西逐渐减弱。由图3可知,东部地区农业技术进步偏向节约土地的省份占比最多,可见与中部和西部地区相比,东部地区的农业技术进步更加偏向于节约土地。此外,东部地区的IBTC指数也明显高于全国平均水平,表明东部地区的农业技术进步较好地兼顾了土地资源节约和农业全要素生产率增长。对于中部和西部地区而言,农业技术进步的



表3 1997—2019年中国农业技术进步的要害偏向

Table 3 Factor bias of China's agricultural technological progress during 1997—2019

| 年份<br>Year | IBTC    | $\frac{(LD/L)^{y+1}}{(LD/L)^y}$ | $\frac{(LD/A)^{y+1}}{(LD/A)^y}$ | $\frac{(LD/C)^{y+1}}{(LD/C)^y}$ | $\frac{(LD/P)^{y+1}}{(LD/P)^y}$ | 农业技术进步的要害节约偏向<br>Factor saving bias of agricultural technological progress |          |          |          |
|------------|---------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
|            |         |                                 |                                 |                                 |                                 | LD vs. L                                                                   | LD vs. A | LD vs. C | LD vs. P |
| 1998       | 1.012 0 | 1.016 2                         | 0.948 5                         | 0.985 7                         | 0.981 4                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 1999       | 1.020 9 | 0.995 9                         | 0.932 3                         | 0.994 4                         | 0.936 1                         | LD                                                                         | LD       | LD       | LD       |
| 2000       | 1.014 0 | 1.014 5                         | 0.949 6                         | 0.994 2                         | 1.032 4                         | L                                                                          | LD       | LD       | P        |
| 2001       | 1.011 8 | 1.013 5                         | 0.955 1                         | 0.971 2                         | 0.999 8                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2002       | 1.008 1 | 1.019 6                         | 0.955 9                         | 0.973 5                         | 0.965 5                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2003       | 1.007 0 | 1.042 2                         | 0.978 2                         | 0.969 5                         | 0.975 2                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2004       | 1.007 4 | 1.017 1                         | 0.937 4                         | 0.958 7                         | 0.963 4                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2005       | 1.013 0 | 1.050 0                         | 0.961 5                         | 0.985 1                         | 0.961 3                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2006       | 1.004 5 | 1.032 0                         | 0.951 9                         | 0.976 8                         | 0.959 3                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2007       | 1.010 1 | 0.997 6                         | 0.924 7                         | 0.942 9                         | 0.925 7                         | LD                                                                         | LD       | LD       | LD       |
| 2008       | 1.006 8 | 1.038 5                         | 0.958 3                         | 0.992 7                         | 0.988 3                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2009       | 1.006 6 | 1.036 0                         | 0.964 9                         | 0.984 1                         | 0.993 2                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2010       | 1.007 9 | 1.029 8                         | 0.958 1                         | 0.984 2                         | 0.984 5                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2011       | 1.004 5 | 1.009 2                         | 0.948 8                         | 0.984 8                         | 0.994 3                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2012       | 1.007 0 | 1.030 5                         | 0.964 3                         | 0.983 8                         | 0.995 8                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2013       | 1.005 9 | 1.023 8                         | 0.986 3                         | 0.995 1                         | 1.009 8                         | L                                                                          | LD       | LD       | P        |
| 2014       | 1.005 6 | 1.016 2                         | 0.965 7                         | 0.990 8                         | 0.992 0                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2015       | 1.008 2 | 1.014 2                         | 0.964 6                         | 1.001 3                         | 1.029 6                         | L                                                                          | LD       | C        | P        |
| 2016       | 1.011 4 | 1.005 0                         | 1.150 9                         | 1.008 1                         | 1.026 1                         | L                                                                          | A        | C        | P        |
| 2017       | 1.009 8 | 1.016 4                         | 0.975 6                         | 1.019 3                         | 1.049 6                         | L                                                                          | LD       | C        | P        |
| 2018       | 1.007 5 | 1.024 5                         | 0.978 6                         | 1.033 6                         | 1.097 8                         | L                                                                          | LD       | C        | P        |
| 2019       | 1.009 6 | 1.014 9                         | 0.962 5                         | 1.046 4                         | 1.080 4                         | L                                                                          | LD       | C        | P        |
| 1997—2008  | 1.010 5 | 1.262 7                         | 0.570 2                         | 0.771 2                         | 0.725 7                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |
| 2009—2019  | 1.007 6 | 1.200 4                         | 0.851 8                         | 1.046 0                         | 1.284 2                         | L                                                                          | LD       | C        | P        |
| 1997—2019  | 1.009 1 | 1.570 3                         | 0.468 7                         | 0.793 9                         | 0.925 6                         | L                                                                          | LD       | LD       | LD       |

注:LD、L、A、C、P分别表示农业技术进步在要素组合中偏向节约土地、劳动力、农业机械、化肥、农药。下同。

Note: LD, L, A, C, and P respectively indicate that agricultural technological progress is biased towards saving land, labor, agricultural machinery, fertilizer, and pesticide, respectively in the factor combination. The same below.

土地节约偏向程度较为一致,具体表现为在土地与农业机械、土地与化肥、土地与农药之间偏向节约土地,而在土地与劳动力之间偏向节约劳动力。这可能是受到东部地区经济发展的“虹吸效应”影响,中部和西部地区的农业劳动力发生大规模流失和非农就业转移,促使劳动力的相对稀缺程度和劳动力成本提高,从而诱致中部和西部地区的农业经营主体加大对劳动力节约型技术进步的需求。

### 3 讨论

本研究结果表明,中国农业存在投入偏向型技术进步,并且技术进步整体呈现节约土地的特征,这对我国农业发展与耕地保护工作具有重要意义。但需要引起注意的是,投入偏向型技术进步对农业全要素

生产率的正向促进作用以及技术进步的土地节约偏向趋势均有所减弱,这就需要重新审视农业生产要素组合与农业技术进步偏向之间的匹配关系,因地制宜地进行生产要素结构的优化重组与协调升级。此外,研究发现农业技术进步是促进农业全要素生产率增长的主要驱动因素,而农业技术效率并未发挥显著作用。因此,政府部门需要在“补短板、扬优势”上下功夫。具体来说,一要补齐短板,提高农业技术效率。通过积极引导高校、科研院所、企业与新兴农业经营主体等多方合作,搭建多方联合创新的研发平台,实现“产学研用”深度融合,提高农业科学技术成果的转化和应用效率。二要夯实基础,强化农业技术创新。一方面通过设立专项基金、财政补贴等方式,加大农业技术创新的资金投入力度,鼓励科研院所、企业积

表4 不同地区农业技术进步的要​​素投入偏向分布

Table 4 Distribution of factor inputs bias in agricultural technological progress in different regions

| 东部 Eastern region |    |    |    |    | 中部 Central region |    |    |    |    | 西部 Western region |    |    |    |    |
|-------------------|----|----|----|----|-------------------|----|----|----|----|-------------------|----|----|----|----|
| 省份 Province       | ①  | ②  | ③  | ④  | 省份 Province       | ①  | ②  | ③  | ④  | 省份 Province       | ①  | ②  | ③  | ④  |
| 北京                | LD | LD | LD | LD | 山西                | LD | LD | LD | LD | 内蒙古               | L  | LD | LD | LD |
| 天津                | L  | A  | LD | P  | 吉林                | L  | LD | LD | LD | 广西                | L  | LD | LD | LD |
| 河北                | L  | LD | LD | P  | 黑龙江               | L  | LD | LD | LD | 重庆                | LD | A  | C  | P  |
| 辽宁                | L  | LD | LD | LD | 安徽                | L  | LD | LD | LD | 四川                | L  | LD | LD | P  |
| 上海                | LD | LD | LD | P  | 江西                | LD | A  | C  | P  | 贵州                | L  | LD | LD | LD |
| 江苏                | LD | A  | LD | LD | 河南                | L  | LD | LD | LD | 云南                | L  | LD | LD | LD |
| 浙江                | L  | LD | LD | LD | 湖北                | L  | LD | LD | P  | 陕西                | L  | LD | LD | LD |
| 福建                | LD | LD | LD | LD | 湖南                | L  | LD | LD | LD | 甘肃                | LD | A  | C  | P  |
| 山东                | L  | LD | LD | P  |                   |    |    |    |    | 青海                | L  | LD | C  | LD |
| 广东                | LD | LD | LD | LD |                   |    |    |    |    | 宁夏                | L  | LD | LD | LD |
| 海南                | LD | LD | LD | LD |                   |    |    |    |    | 新疆                | L  | LD | LD | P  |

注:①、②、③、④分别代表LD vs. L、LD vs. A、LD vs. C、LD vs. P四种要素组合。  
Note:①、②、③、and ④ represent the four factor combinations of LD vs. L, LD vs. A, LD vs. C, and LD vs. P, respectively.

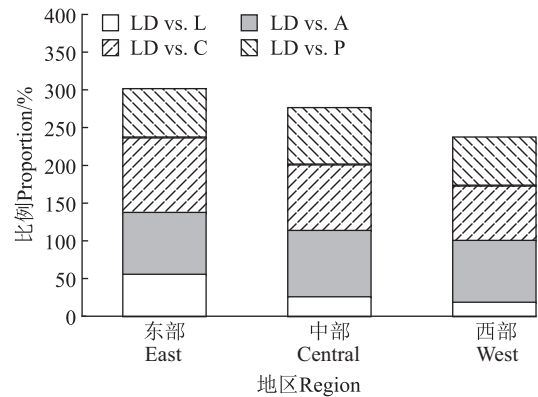


图3 三大地区农业技术进步偏向节约土地的比例  
Figure 3 The proportion of agricultural technological progress bias saving land in the three major regions

极开展农业科技基础研究以及关键核心技术创新;另一方面全方位引进、培养科研人才,打造青年科技人才后备军,为农业生产技术的发展提供科学指导和有力支撑。

农业技术进步的土地节约偏向时空演变分析发现,农业技术进步的土地节约偏向存在一定程度的区域异质性特征。因此,政府部门在制定相关政策时要避免“一刀切”,应因地制宜,弹性规划产业布局,鼓励各省份结合各地资源禀赋及发展基础动态调整和优化要素结构,探索差异化技术进步发展路径。对于土地节约偏向程度较强的省份及地区,应更注重减少土地资源浪费,提高土地集约利用水平。例如,进一步加强耕地占用税征收管理,减少非农建设占用农地而造成的资源浪费;推进土地综合整治工作,对荒地、损

毁的耕地开展复垦、修复,从而在一定程度上弥补土地资源的流失;尝试将适耕性较强的中低产田改造升级为稳产高产农田,不断提高土地综合生产能力,全面提升土地集约利用水平。对于土地节约偏向程度较低的省份,当地政府应加强组织宣传与引导,开展技术培训,提高农户耕地保护的主体责任意识和能力;通过完善农村基础设施建设、开拓农业生产经营新模式、建立返乡务农专项基金等措施,吸引农村劳动力回流至本地从事农业生产工作,从而加强劳动力对土地资源投入的替代效应。

此外,诱致性技术创新理论认为,要素价格的变化是决定技术进步偏向的关键,即要素的价格变化能够诱使技术进步偏向节约相对稀缺而昂贵的要素。因此,政府部门也应加快完善农业要素市场,促进农业要素投入结构优化升级。具体来说,可以从健全农村金融体制机制、深化土地制度改革等方面着手,加快完善农业要素市场机制,通过价格信号正确、及时反馈农业生产要素的稀缺性,从而提高要素配置效率,促进农业要素投入结构进一步优化升级。

4 结论

本研究通过对基于投入导向方向性距离函数的Malmquist-Luenberger生产率指数进行多维分解,构建了投入偏向型技术进步测度体系,在此基础上对1997—2019年中国30个省份农业投入偏向型技术进步进行评价,并系统考察了中国农业技术进步的土地节约偏向时空特征,主要结论如下:

(1)中国农业全要素生产率增长主要由农业技术进步驱动,农业技术效率则在一定程度上阻碍了农业全要素生产率增长。投入偏向型技术进步和中性技术进步对农业全要素生产率增长具有较强的推动作用,然而产出偏向型技术进步并未显著促进农业全要素生产率增长。

(2)虽然大部分省份的投入偏向型技术进步能够促进农业全要素生产率增长,但是这种正向促进作用呈现减弱趋势。分地区来看,东部和西部地区的农业投入偏向型技术进步均有效促进了农业全要素生产率增长,但与东部地区相比,西部地区的农业投入偏向型技术进步对农业全要素生产率增长的贡献较小。与东部和西部地区不同,中部地区的农业投入要素结构配置不合理,从而在一定程度上抑制了农业全要素生产率增长。

(3)中国农业技术进步整体上偏向节约土地。具体来说,在土地与劳动力之间偏向节约劳动力,而在土地与农业机械,土地与化肥,土地与农药之间均偏向节约土地。此外,中国农业技术进步的土地节约偏向时空演变特征明显:从时序演变来看,1997—2019年农业技术进步的土地节约偏向呈现逐渐减弱趋势;从空间分布来看,东部地区农业技术进步的土地节约偏向程度强于中部和西部地区。

#### 参考文献:

- [1] 龙少波, 张梦雪. 中国农业全要素生产率的再测算及影响因素——从传统迈向高质量发展[J]. 财经问题研究, 2021, 453(8): 40-51. LONG S B, ZHANG M X. Recalculation and influencing factors of China's agricultural total factor productivity: From tradition to high-quality development[J]. *Research on Financial and Economic Issues*, 2021, 453(8): 40-51.
- [2] 王景, 庄丽娟, 李胜文. 既定土地经营规模约束下劳动努力的农业高质量增长效应[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2021, 154(4): 89-99. WANG J, ZHUANG L J, LI S W. The labor effort effect on agricultural high-quality growth under the restriction of the household land holding[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2021, 154(4): 89-99.
- [3] 黄和平, 王智鹏. 农业土地资源利用效率评价及改善路径研究——以江西省11个设区市为例[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(5): 803-814. HUANG H P, WANG Z P. Evaluation and improvement of agricultural land resource utilization efficiency: A case study of Jiangxi Province[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(5): 803-814.
- [4] HAYAMI Y, RUTTAN V W. Agricultural development: An international perspective[M]. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1985.
- [5] HICKS J R. The theory of wages[M]. London: Macmillan, 1932.
- [6] ROMER P M. Endogenous technological change[J]. *Journal of Political Economy*, 1990, 98(5): 71-102.
- [7] GROSSMAN G M, HELPMAN E. Innovation and growth in the global economy[M]. Cambridge MA: MIT Press, 1993.
- [8] ACEMOGLU D. Why do new technologies complement skills? Directed technical change and wage inequality[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1998, 113(4): 1055-1089.
- [9] 张俊, 钟春平. 偏向型技术进步理论: 研究进展及争议[J]. 经济评论, 2014, 189(5): 148-160. ZHANG J, ZHONG C P. Biased technological change theory: Research progress and controversy[J]. *Economic Review*, 2014, 189(5): 148-160.
- [10] 王班班, 齐绍洲. 中国工业技术进步的偏向是否节约能源[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(7): 24-31. WANG B B, QI S Z. Does the bias of China's industrial technical change energy-saving[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(7): 24-31.
- [11] 杨冕, 杨福霞. 中国技术进步实现路径及其时空分异规律[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(11): 21-30. YANG M, YANG F X. Realizing path and spatial-temporal variation of China's technical progress[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27(11): 21-30.
- [12] 丁黎黎, 杨颖, 郑慧, 等. 中国省际绿色技术进步偏向异质性及影响因素研究——基于一种新的Malmquist-Luenberger多维分解指数[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(9): 84-92. DING L L, YANG Y, ZHENG H, et al. Heterogeneity and the influencing factors of provincial green-biased technological progress in China: Based on a novel Malmquist-Luenberger multidimensional[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30(9): 84-92.
- [13] 唐燕, 罗胤晨. 农业技术进步效率测度及区域差异研究[J]. 统计与决策, 2021, 37(16): 86-89. TANG Y, LUO Y C. A study on the measurement of efficiency of agricultural technological progress and regional differences[J]. *Statistics & Decision*, 2021, 37(16): 86-89.
- [14] 张园, 陈玉萍, 丁士军. 农村空心化对农业技术进步的影响——劳动节约型还是土地节约型[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(10): 237-249. ZHANG Y, CHEN Y P, DING S J. Impacts of rural hollowing on technological advance: Labor-saving technology or land-saving technology[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2021, 26(10): 237-249.
- [15] 陈径天, 温思美, 陈倩儿. 农村金融发展对农业技术进步的作用——兼论农业产出增长型和成本节约型技术进步[J]. 农村经济, 2018, 433(11): 88-93. CHEN J T, WEN S M, CHEN Q E. The role of rural financial development on agricultural technological progress: Also on output-growing and cost-saving technological progress in agriculture[J]. *Rural Economy*, 2018, 433(11): 88-93.
- [16] 廖开妍, 杨锦秀, 曾建霞. 农业技术进步、粮食安全与农民收入——基于中国31个省份的面板数据分析[J]. 农村经济, 2020, 450(4): 60-67. LIAO K Y, YANG J X, ZENG J X. Agricultural technological progress, food security and farmers' income[J]. *Rural Economy*, 2020, 450(4): 60-67.
- [17] 张志新, 林立, 黄海蓉. 农业技术进步的农民增收效应: 来自中国14个农业大省的证据[J]. 中国科技论坛, 2020, 292(8): 138-147. ZHANG Z X, LIN L, HUANG H R. Effects of agricultural technology



- progress on farmers' incomes: Evidence from 14 agricultural provinces in China[J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2020, 292(8):138-147.
- [18] 武舜臣,王静,王雪友.中国区域农业技术进步偏向与要素结构匹配研究[J].中国科技论坛,2016,242(6):148-154. WU S C, WANG J, WANG X Y. A study on biased technological progress in Chinese regional agriculture and matching difference in factor structure[J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2016, 242(6):148-154.
- [19] 薛超,周宏.中国农业技术进步方向与要素结构匹配度的区域差异分析[J].统计与决策,2019,35(5):136-140. XUE C, ZHOU H. Analysis of regional differences in the direction of agricultural technology progress and the matching of factor structure in China[J]. *Statistics & Decision*, 2019, 35(5):136-140.
- [20] 吴丽丽,连梦娇,邓灵璨.要素禀赋变化对农业生产要素投入与技术选择的影响[J].中国农机化学报,2021,42(6):223-230. WU L L, LIAN M J, DENG L C. Influence of factor endowment change on factor input and technology selection of agricultural production[J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2021, 42(6):223-230.
- [21] CAVES D, CHRISTENSEN L, DIEWERT W E. The economic theory of index numbers and measurement of input, output and productivity[J]. *Econometrica*, 1982, 50(6):1393-1414.
- [22] CHAMBERS R G, CHUNG Y H, FARE R. Profit, directional distance functions, and Nerlovian efficiency[J]. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 1998, 98(2):351-364.
- [23] FARE R, GRIFELL-TATJE E, GROSSKOPF S, et al. Biased technical change and the Malmquist productivity index[J]. *Scandinavian Journal of Economics*, 1997, 99(1):119-127.
- [24] WEBER W L, DOMAZLICKY B R. Total factor productivity growth in manufacturing: A regional approach using linear programming[J]. *Regional Science and Urban Economics*, 1999, 29(1):105-122.
- [25] 李谷成.中国农业的绿色生产率革命:1978—2008年[J].经济学(季刊),2014,13(2):537-558. LI G C. The green productivity revolution of agriculture in China from 1978 to 2008[J]. *China Economic Quarterly*, 2014, 13(2):537-558.
- [26] 韩海彬.“两型农业”全要素生产率增长研究[M].北京:中国社会科学出版社,2020. HAN H B. Research on total factor productivity growth of “two-oriented agriculture”[M]. Beijing: China Social Sciences Press, 2020.
- [27] 肖琴,周振亚,罗其友.长江经济带农业绿色生产效率及其时空分异特征研究[J].中国农业资源与区划,2020,41(10):15-24. XIAO Q, ZHOU Z Y, LUO Q Y. Study on agricultural green production efficiency and its spatial-temporal differentiation characteristics in the Yangtze River Economic Belt[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2020, 41(10):15-24.
- [28] 李波,张俊飏,李海鹏.中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J].中国人口·资源与环境,2011,21(8):80-86. LI B, ZHANG J B, LI H P. Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(8):80-86.
- [29] 田云,张俊飏.中国农业生产净碳效应分异研究[J].自然资源学报,2013,28(8):1298-1309. TIAN Y, ZHANG J B. Regional differentiation research on net carbon effect of agricultural production in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(8):1298-1309.