

新中国成立 70 年农业技术进步研究综述^{*}

龚斌磊 张书睿 王 硕 袁菱苒

(浙江大学中国农村发展研究院, 杭州, 310058)

摘 要: 农业技术进步在保障我国粮食安全、促进农业和国民经济长期可持续发展方面发挥了重要作用。技术进步理论最早可以追溯至斯密关于分工促进经济增长的思想。20 世纪 50 年代, 新古典增长理论开始对广义技术进步率进行量化和测算, 随后的内生增长理论又将技术进步内生化, 对技术进步率进行了更准确的测度。在农业领域, 诱致性技术创新理论、农业踏车理论、现代农业和人力资本理论以及农业发展阶段与资源互补论均试图从理论上解释技术进步与农业增长的关系。在农业技术进步测算方面, 主要有索洛余值和生产函数法、指数法、数据包络分析和随机前沿分析。新中国成立 70 年以来, 国内外学者基于不同方法对我国农业技术进步及其贡献率进行了大量实证研究, 总结了宝贵经验。然而, 相关实证研究存在与经济增长理论脱节、测量方法和投入产出变量选取不当等问题, 亟待改进和完善。

关键词: 农业技术进步; 经济增长理论; 农业生产函数; 农业生产率

一、引 言

农业技术进步不仅是农业增长的持久动力, 也是我国国民经济发展的关键保障。我国坚持粮食自给自足政策, 以粮食(安全)省长责任制为代表的制度设计, 要求确保谷物基本自给和口粮绝对安全。在此背景下, 我国经济活动需要优先保障农业生产。新中国成立 70 年来, 我国粮食生产实现了历史性跨越。1949 年我国粮食产量仅为 2264 亿斤, 人均粮食产量 209 公斤, 供给全面短缺, 无法满足温饱。经过土地改革和农业合作化, 粮食生产有了一定发展, 1978 年我国粮食产量为 6095 亿斤, 人均粮食产量提高到 317 公斤。改革开放后, 我国农村逐步建立起以家庭联产承包责任制为基础、统分结合的双层经营体制, 激发了广大农民的积极性, 粮食产量快速增长。党的十八大以来, 党中央

高度重视粮食安全, 我国粮食生产不断迈上新台阶, 2012 年粮食产量首次突破 12000 亿斤大关, 2018 年粮食产量 13158 亿斤, 是 1949 年的 5.8 倍, 年均增长 2.6%; 人均粮食产量 472 公斤, 是 1949 年的 2.3 倍, 真正实现了中国人把饭碗牢牢端在自己手中。

在确保粮食安全的前提下, 更快的农业技术进步意味着对土地、劳动力等生产要素更少的需求。因此, 农业技术进步水平直接影响我国可被用于制造业和服务业生产经营的生产要素数量, 进而影响我国整体经济的转型、升级和发展。多年来, 国家深入实施“藏粮于地、藏粮于技”战略, 建设高标准农田, 推进农业机械化, 加快农业科技创新成果转化。2018 年全国已累计建成旱涝保收、高产稳产

^{*} 项目来源: 国家自然科学基金项目(编号: 71903172), 教育部人文社会科学研究项目(编号: 18YJC790034), 浙江省软科学研究计划重点项目(编号: 2020C25020), 钱江人才计划(编号: QJC1902008), 之江青年学者课题, 龚斌磊为本文通讯作者。特别感谢朱希刚老师与顾焕章老师对本文的建议, 同时感谢 2019 年中国农林经济管理学术年会生产率专场马恒运老师、胡瑞法老师、金松青老师、于晓华老师、盛誉老师、王晓兵老师和李谷成老师对本文的建议

的高标准农田 6.4 亿亩,产能占全国粮食总产量的 57%,全国农业机械总动力达 10 亿千瓦,是 1952 年的 5435 倍,农作物耕种收综合机械化水平超过 67%,其中,主要粮食作物耕种收综合机械化率超过 80%。与此同时,2018 年我国农业科技进步贡献率提高到 58.3%,技术进步极大提升了生产力,在我国农业发展和经济增长中发挥的作用越来越显著^①。

21 世纪初,我国颁布《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》,明确将科技进步贡献率指标列入其中,并提出了具体发展目标。党的十九大报告强调科技创新的重要性,提出加快建设创新型国家。在农业领域,历年的中央“一号文件”均将农业科技创新作为实现农业现代化和农业强国梦的战略支撑,要求强化农业科技创新驱动,完善国家农业科技创新体系。2018 年发布的《中国农业农村科技发展报告(2012—2017 年)》中强调,我国农业农村科技工作要面向世界农业科技前沿、面向国家重大需求、面向现代农业建设主战场,不断提升农业农村自主创新能力和科技成果转化应用水平,力争到 2035 年,农业农村科技创新整体实力进入世界前列,全面支撑我国乡村振兴战略和农业农村科技现代化发展。

从概念上看,农业技术进步有“狭义”与“广义”之分。一般而言,狭义的农业技术进步指生产前沿面随时间提高,是农业硬技术的进步,即农业生产中机械技术、栽培技术、生物化学技术等实体化技术的进步。广义的农业技术进步把农业总产出变动中不能由实物生产要素数量变动所解释的产出变动归因于农业技术进步。因此,广义农业技术进步不仅包括生产前沿面的移动(狭义农业技术进步),还包括农业生产效率、农业经营管理技术、资源合理配置等非实体的软技术进步。怀谷(1992)和吴方卫(1996)都曾详细梳理过改革开放初期学者们对于农业技术进步内涵的理解,反映出当时学者对这一问题在观点和看法

上的不同。

改革开放初期,学者对农业技术进步的界定大都以“狭义”为主,认为技术进步主要表现在机械技术等硬技术的提高。到 20 世纪 80 年代后期,“广义”的农业技术进步逐渐成为主流,被大多数学者所接受。顾海英(1994)从技术本身辨析了“狭义”与“广义”农业技术进步的区别,并认为硬技术与软技术对经济增长的影响是相辅相成的,“狭义”的技术进步是不可能独立存在的,因此“广义”技术进步说更为合理。近年来,农业全要素生产率(TFP)日益受到重视。农业全要素生产率被定义为农业总产量与全部要素投入量之比,其增速是指全部生产要素(如资本、劳动力、土地)数量不变时生产量仍能增加的部分,本质上属于“广义”农业技术进步的范畴,因此部分文献中提到的农业技术进步即指广义农业技术进步,亦是全要素生产率增速。此外,还有一些计量方法(例如随机前沿分析和数据包络分析)可以将全要素生产率增速分解为技术进步和效率提升两部分,其中技术进步即指狭义农业技术进步,而效率提升则体现农业经营管理技术、资源合理配置等软技术的进步。

而在这一领域,国外学界对于技术进步的理论与实践的研究起步较早,在理论基础、实证研究等各方面都具有较高的学习价值和借鉴意义。因此,基于国际视角总结我国农业技术进步及其贡献率的研究成果,有助于社会各界准确把握当前我国农业技术水平和进步潜力,具有重要的社会意义和政策参考价值。本文第二部分是对经济学发展史中主流经济增长理论及其对技术进步观点的梳理,归纳涉及农业技术进步的理论与模型;第三部分比较分析国内外学界对农业技术进步贡献率的测算方法及最新进展;第四部分全面回顾并评析新中国成立 70 年来我国农业技术进步及其贡献率的相关研究;第五部分基于上述内容总结现有研究存在的问题,并提出可能的改进方法。

^① 数据来源:国家统计局·新中国成立 70 周年经济社会发展成就系列报告之十三,2019

二、农业技术进步的经济理论基础

技术进步* 的研究一直是经济增长研究领域的一个重要子课题(孙中才,1994)。本部分首先对主流经济增长理论中关于技术进步的观点进行梳理,再对涉及农业技术进步的相关理论和模型进行归纳。从亚当斯密开始,经济增长理论主要经历了古典增长理论、新古典增长理论和内生增长理论三个发展阶段。古典增长理论提出了技术进步促进经济增长的思想。20 世纪 50 年代,新古典增长理论开始对广义技术进步率进行量化和测算,随后的内生增长理论又将技术进步内生化,对技术进步的来源进行了解释,并对技术进步率进行了更准确的测度。在农业领域,古典经济学、马克思主义政治经济学、诱致性技术创新理论、农业踏车理论、现代农业和人力资本理论以及农业发展阶段与资源互补论均试图从理论上解释技术进步与农业增长的关系。

(一) 经济增长与技术进步理论

1. 古典经济增长理论中的技术进步。早期的经济思想已经认识到技术进步对于经济增长的重要意义,但都没有对技术进步率进行量化和测度。亚当斯密在《国富论》中提出“分工促进经济增长”理论(Smith,1776),该理论利用技术进步内生化来解释经济增长,认为劳动分工使技术创新(机器发明)成为可能,而新的发明又会引发新一轮的分工。在此过程中,专业化的工人通过“干中学”,利用经验不断改进工序,也可以产生微小的技术创新。此外,亚当斯密也提出国际贸易会导致更大范围内的劳动分工与技术转移,从而促进技术进步和技术溢出。马尔萨斯认为,人类需求诱致了发明创造,导致了技术进步,进而降低产品成本并扩大市场,这是经济增长的重要保障(Malthus,1836)。但是,马尔萨斯认为发明创造和技术进步导致的增长将低于人口的增长,因此经济最终将陷入贫困陷阱(“马尔萨斯陷阱”)(Malthus,1798)。阿伦杨格认为,劳动分工导致技术进步,进而产生网络外部性,导致边际收益递增,这将在其他要素边际收益递减

的情况下,保证经济的持续增长(Young,1928)。熊彼特首次提出技术创新理论,认为产品、工艺、市场、要素和组织等五方面的创新,能够带来技术进步,这是经济增长的核心与源泉(Schumpeter,1934)。与亚当斯密等其他早期古典经济增长代表人物不同,熊彼特放松了土地边际收益递减的假定,并且将研究重点放在企业家为代表的人力资本上,而非传统意义上的资本积累(任力,2014)。

2. 新古典经济增长理论中的技术进步。20 世纪 40 年代,在凯恩斯的影响下,哈罗德和多马构建了“哈罗德—多马模型”,首次明确提出了经济增长模型,并认为各国经济增长差异主要源自技术方面的差异(Harrod,1948; Domar,1957)。但是,该模型更多地强调资本形成对经济增长的贡献,技术进步并没有直接进入模型。20 世纪 50 年代,在“哈罗德—多马模型”的基础上,索洛和斯旺对增长核算做出了突破性贡献,在完全竞争且劳动、资本要素相互替代,以及生产函数规模报酬不变和中性技术进步的假定下推导出增长核算方程,该模型还假定技术进步随时间变化而发生,认为总产值中不能由资本、劳动力、土地等实物要素投入增加而解释的部分都是由于技术进步引起的,将其定义为“索洛余值”,并对美国 1909—1949 年的广义技术进步率进行了测算,实现了技术进步率这一指标的量化,奠定了新古典经济增长理论的基础(Solow,1956; Swan,1956)。米德在“索洛—斯旺模型”中引入了技术进步和时间因素,构建了“索洛—米德模型”,进一步强调了技术进步对经济增长的作用(Meade,1961)。卡斯和库普曼斯运用拉姆齐的思想对索洛模型进行改进,构建了“拉姆齐—卡斯—库普曼斯模型”,得到了人口增长和技术进步保障了经济长期增长的结论(Cass,1965; Koopmans,1965)。

新古典增长模型对经济增长来源的解释能力比以往模型前进了一大步,它能够清晰地度量技术进步对经济增长的作用。这激发了众多经济学家,

* 西方经济学文献中往往使用 Technical Change 或 Technological Progress,一般翻译为技术进步,也可译为科技进步,两者的经济学含义相似

特别是包括农业经济学家在内的应用经济学家的兴趣,使经济增长成为经济学的重要研究领域,也使技术进步贡献率成为研究经济增长的焦点。但是,新古典经济增长理论的缺陷也很明显。理论上,新古典经济增长理论虽然能够测算技术进步,但无法对其进行解释,而是将其视作外生变量,因此也被称为外生技术进步理论。实证上,新古典经济增长理论预测的生产率收敛与赶超现象并未实现,而且也无法对刺激经济增长和经济赶超提供可操作性的政策建议。

3. 内生增长理论中的技术进步。20世纪80年代,罗默和卢卡斯针对新古典模型的缺陷,开创了内生增长理论,其核心思想是认为技术外部性、人力和其他资本的溢出效应等因素能够内生地促进技术进步,保证经济不依赖外力也能实现持续增长(Romer,1986; Lucas,1988)。内生增长理论将内生的技术进步视为研究核心,明确提出人力资本、干中学、技术创新和国际贸易是技术进步的主要来源(Lucas,1988; Young,1993; Grossman等,1993)。针对早期内生增长理论的不足,不同经济学家从不同角度对其进行改进,主要有技术进步的路径依赖(Redding,2002)、资本积累和技术创新的关系(Howitt等,1998; Zeng,2003)、通用技术和特定技术的区别(Carlaw等,2006)等。

相比于新古典增长理论,内生增长理论一方面阐明了技术进步存在收益递增的现象,从而更好地解释发达国家良性发展,而落后国家迟迟无法实现赶超的现象;另一方面,内生增长理论提出干中学、人力资本、技术创新和国际贸易是技术进步的主要来源,进而给出保持经济长期增长的政策建议,包括职业技能培训政策、教育政策、技术创新政策和对外开放政策等(任力,2014)。

(二) 农业增长与技术进步理论

1. 古典经济学中农业技术进步的观点。休谟是较早阐述技术进步与农业增长关系的经济学家。英国在17世纪末开始农业革命,农业产出率和出口率迅速提高,因此英国被誉为“欧洲的粮仓”,并为工业革命提供了劳动力的保障。休谟认为,农业技术提高对农业增长具有显著的正向作用,越是技术发达的地区,农业物产越是丰富,进而促进劳动生产率的提高,并保障工商业发展所需的劳动力资

源(Hume,1752)。

李嘉图提出了农业增长的动态理论,他认为农业增长主要取决于土地肥力、资本积累、人口状况和农业上运用的技术、智力和工具。通过土壤改良和农业机械等技术创新方式可以促进农业增长。但是,在李嘉图看来,农业技术进步的采纳速度较慢,不足以弥补农业生产要素边际生产率递减的速度,因此农业总体呈现收益递减的趋势(Ricardo,1817)。

与李嘉图的观点类似,马歇尔认为,通过农业资本和农民知识的积累,农业生产技术的改良可以阻止土地要素生产率递减的趋势(Marshall,1890)。但是,他也指出农业技术进步产生的效益递增无法完全抵消生产要素边际效益递减的现象。因此,马歇尔并不认为技术进步能够促进农业长期可持续的增长。

2. 马克思主义政治经济学中农业技术进步的观点。在马克思主义政治经济学中,技术进步被视作资本主义社会经济发展的基石。马克思在《资本论》等著作中对于农业技术进步也有所阐述。首先,与李嘉图相似,马克思也认为,与其他产业相比,农业技术进步的速度较慢。究其原因,马克思在《资本论》中提到,农业技术涉及有机物与无机物世界,而农业经济再生产与自然再生产的特性,决定了农业技术进步的复杂性。其次,马克思强调生物学技术在农业生产中的重要性,为此他曾举例,通过照料方法的改变,可以使牲畜在较短时间成长起来。第三,马克思提出,土地肥力的程度,取决于农业化学的发展和农业机械的发展。由此可见,除了生物技术,马克思也强调了农业机械的重要性,而生物技术和农业机械恰恰是现代农业技术进步的主要表现(许经勇,2007)。

3. 诱致性技术创新(变迁)理论对于农业差异化发展路径的解释。诱致性技术创新理论将技术变革与资源禀赋结合到一起,认为不同地区资源禀赋的不同导致了技术创新和发展路径的差异。20世纪30年代,希克斯首次提出了诱致性发明这一概念,认为生产要素价格的变化能刺激发明,特别是直接节约相对昂贵要素的发明与技术(Hicks,1932)。萨缪尔森基于要素禀赋、相关价格和技术进步导致的要素份额变化构建了宏观模型(Sam-

uelson, 1965)。艾哈迈德在考虑劳动与资本两种投入要素的前提下, 引入创新可能性曲线, 首次构建了诱致性技术创新的理论分析框架 (Ahmad, 1966)。

与上述其他经济增长与技术进步理论不同的是, 农业经济学家对诱致性技术创新理论的发展起到了巨大的推动作用, 诱致性技术创新理论也成为分析农业技术进步和农业发展的最重要经济学理论工具。速水佑次郎和弗农拉坦提出了一个被广泛接受的农业诱致性技术创新理论 (Hayami 等, 1971), 该理论指出农业技术进步的具体形式分为以替代劳动力为主的机械技术进步和以替代土地为主的生物化学技术进步。他们认为, 技术创新的诱致机制是不同国家的资源禀赋不同, 导致生产要素的相对价格不同, 从而引导技术发明和采用的重点领域发生差异。他们还利用美国和日本的数据对该理论进行实证检验, 成功揭示了两国农业技术创新和农业发展路径的不同。一方面, 日本的资源禀赋表现为人多地少, 因此农业技术进步更多地产生于农药、化肥等生物化学技术方面。另一方面, 美国的资源禀赋表现为人少地多, 昂贵的人力成本导致农业机械技术的迅速发展和普及。Binswager (1974) 和 Nghiep (1979) 对“速水—拉坦”模型进行了改进, 分别对美国和日本进行实证研究, 都得出了与速水和拉坦类似的实证结果。

4. 其他农业增长与技术进步理论。科克伦的“农业踏车理论”认为, 新技术可使生产成本降低,

率先使用者因此获得超额利润, 并促使技术跟进者采纳这些技术, 从而导致总供给增加、价格下降、获利减少, 进而迫使其他生产者采用该技术, 完成新技术的普及, 如此形成的农业新技术引进在长期将往复循环 (Cochrane, 1958)。此后, Hayami 等 (1977)、Levins 等 (1996)、Whitmarsh (1998)、Röling (2003) 对“农业踏车理论”进行了模型修正和实证应用 (俞培果等, 2006)。

舒尔茨的“现代农业和人力资本理论”提出, 人力资本投资、技术引进与生产结构调整是发展中国家从传统农业向现代农业转变的关键。具体来说, 舒尔茨认为发展中国家应该研发和引进适应本国农业环境的先进技术和生产要素 (Schultz, 1964)。为了更好地利用这些先进技术和生产要素, 必须提高农业劳动者的知识与技能水平, 积累人力资本。但是, 该理论并未明确阐述新的有利的技术要素的种类和来源, 这在速水佑次郎和弗农拉坦的农业诱致性技术创新理论中得到了弥补。

梅勒提出的“农业发展阶段与资源互补论”将传统农业向现代农业转变过程划分为技术停滞、劳动密集型技术进步和资本密集型技术进步三个阶段, 并着重对第二个阶段进行研究, 提出了许多对发展中国家农业转型有启发性的结论 (Mellor, 1966)。但是, 该理论主要适用于农业劳动力相对丰富的国家。速水佑次郎和弗农拉坦的农业诱致性技术创新理论克服了“农业发展阶段与资源互补论”的部分缺陷, 更具有一般性和适用性。

三、农业技术进步率的测算方法

由前文梳理可得, 技术进步促进经济增长的思想早在古典经济学创立之时就已萌芽, 然而直到 20 世纪 50 年代经济学界才实现对技术进步率及其贡献率的量化和测算。时至今日, 如何对二者进行准确测算仍是国内外农业技术经济相关学者研究的重要课题。农业技术进步率是因技术进步而产生的总产值增长率 (朱希刚等, 1997), 农业技术进步贡献率是技术进步对农业总产值增长的贡献份额, 解释为农业总产值增长中由农业技术进步而导致的部分。

测算农业技术进步率及其贡献率, 首先要明确农业技术进步的内涵, 基于内涵的不同理解采用不

同的方法。从概念上看, 农业技术进步中“技术”即新古典经济学厂商理论中 Technology 的概念, 是基于生产前沿 (或边界) 而定义的。由于现实世界中真实的生产前沿不可知, 只能通过对不同时期引起产出观测值变动的来源进行假定, 进而对生产前沿进行推断。本文基于不同假定, 对农业技术进步率及其贡献率的内涵进行解释, 对国内外现有的 4 种主要测算方法进行梳理评析, 并简要介绍其最新研究进展。

(一) 索洛余值与生产函数法

索洛最早将技术进步率进行核算, 提出增长速度方程法, 即索洛余值法。索洛余值法假定总产值

随时间增加的部分中不能由资本、劳动力、土地等实物要素投入增加而解释的部分都是技术进步所导致的,并将技术进步率定义为“索洛余值”,即广义的农业技术进步。

首先,设定如下农业生产函数:

$$Y = A f(K, L, D) \quad (1)$$

其中, Y 为农业总产值; A 为技术水平因子; K 、 L 、 D 分别代表资本、劳动力和土地。对(1)式进行全微分并整理可得到农业技术进步率(索洛余值):

$$TP = \frac{A'}{A} = \frac{Y'}{Y} - \alpha_K \frac{K'}{K} - \alpha_L \frac{L'}{L} - \alpha_D \frac{D'}{D} \quad (2)$$

其中, α_K 、 α_L 、 α_D 分别表示资本、劳动力和土地的产出弹性。基于索洛余值法可得到农业技术进步贡献率如下:

$$TPCR = \frac{TP}{Y'/Y} \quad (3)$$

从上述公式可以看出,使用索洛余值法测算农业技术进步贡献率的关键在于准确计算各投入要素的产出弹性。早期的研究通常是依据已有文献或经验人为确定各要素弹性值,再带入到索洛余值公式中算出技术进步率,但这种方法的问题是主观性过大,缺乏科学性。因此,大部分学者通常建立生产函数模型,通过计量方法求出各要素弹性,进而得到技术进步率。

例如,柯布-道格拉斯生产函数形式(简称 C-D 生产函数)是测算农业技术进步率时较为常见的函数形式。C-D 生产函数的基本形式如下:

$$Y = A e^{\delta t} K^{\alpha_K} L^{\alpha_L} D^{\alpha_D} e^{\mu} \quad (4)$$

其中, A 为常数项; μ 为残差项; $e^{\delta t}$ 代表技术进步对第 t 年农业产出量的影响系数; δ 表示一定时期内农业技术进步的年平均变动率; 其余各项含义与(1)、(2)式相同。将(4)式对数化并使用最小二乘法回归,可得到资本、劳动力和土地三种投入要素的产出弹性,再带入索洛余值公式中求出农业技术进步率,最终农业技术进步贡献率为 δ 与农业总产值增长率 Y 的百分比,即代表技术进步在农业增长中的贡献份额。许多学者基于索洛余值与生产函数法测算农业技术进步及其贡献率(Lio 等, 2006; Bustos 等, 2016)。

然而,索洛余值与生产函数法存在以下两个问

题。首先,函数形式设定方面,C-D 函数虽然在实际操作时较为简便,但其假定技术进步中性,即要素替代弹性保持不变,这可能与实际生产状况不相符。因此许多学者构造了新的生产函数形式来测算农业技术进步贡献率,例如 Arrow 等(1961)构造的常替代弹性(CES)生产函数; Christensen 等(1973)构造的超越对数(Translog)生产函数。这些新的生产函数形式较好地考虑到了各种投入要素之间的相互影响,但同时也存在着估计参数太多、计算复杂等问题。其次,索洛余值与生产函数法对技术进步的内涵理解过于宽泛,将不能由实物生产要素投入增加而解释的总产出的增加都归因于技术进步,但索洛余值实际还可能包含了测量误差、生产无效率等其他非技术进步因素,因此使用该方法测算出的农业技术进步贡献无法剥离真正的技术进步和其他部分,导致测量结果与真实的农业技术进步之间可能存在偏差。

(二) 指数法

指数法在生产率领域主要用于测算全要素生产率变动指数(TFP 变动指数)。全要素生产率增速是指全部生产要素(如资本、劳动力、土地)数量不变时产出仍能增加的部分,因此指数法与索洛余值法对于技术进步内涵的理解相似,都采用广义的技术进步率,用全要素生产率的变动衡量技术进步。

测算全要素生产率的指数种类较多,如 HM 指数、Fisher 指数、Malmquist 指数、Tornquist 指数等,其中 Malmquist 指数法应用较为广泛。Malmquist 指数利用距离函数,通过在时期 s 和时期 t 所观测到的投入产出向量来测算 TFP 指数。如果生产技术呈现规模报酬不变时,反映在 Malmquist 指数中的生产率进步可能是技术效率进步和生产技术进步两者共同作用的结果。此时, Malmquist 指数可分解为两个成分,一是测算效率变化,二是测算技术变化,具体公式如下(两式均使用产出导向的距离函数表示):

$$\text{效率变化 } TEC = \frac{d_0^t(x_t, q_t)}{d_0^s(x_s, q_s)} \quad (5)$$

$$\text{技术变化 } TC = \left[\frac{d_0^t(x_s, q_s)}{d_0^s(x_s, q_s)} \times \frac{d_0^t(x_t, q_t)}{d_0^s(x_t, q_t)} \right]^{0.5} \quad (6)$$

传统的 Malmquist 指数只考虑效率变化和技术变化,如果生产技术呈现可变的规模报酬,除了效率变化与技术变化,生产率增长还有其他两个来源:一是通过改进规模效率(SE) 来改进生产率,二是通过变动投入组合与产出组合并利用产出混合效应(OME) 来改进生产率。综上,当通过指数法测算出上述四种来源的生产率变化,可以合在一起得出时期 s 到时期 t 的全要素生产率变化,即 TFP 变化=技术变化×技术效率变化×规模效率变化×产出混合效应。

实证方面,Rosegrant 等(1992) 利用 Tornquist-Theil(TT) 指数法分析了南亚国家水稻和小麦的生产率变化情况,并发现农业技术进步的贡献率为 1/3。Suhariyanto 等(2001) 利用连续前沿的 Malmquist 指数法,对 18 个亚洲国家 1965—1996 年的农业技术进步情况进行测算,结果显示亚洲农业技术进步的年均增速为 0.94%,其中东亚、东南亚和南亚地区分别为 1.23%、0.74% 和 0.58%。Alene(2010) 利用 Malmquist 指数法测算出 1970—2004 年 52 个非洲国家的农业生产率平均增速为每年 1.8%,并发现技术进步对生产率的贡献大于效率提升。

指数法在测算农业技术进步贡献率时的显著优势是只需要两个时期的观测值,所以在数据量非常有限时,指数法更为合适,但指数法也存在一定缺陷。首先,一些指数在计算时需要同时获得价格和数量信息,对数据质量要求较高。其次,指数法在本质上是一种自下而上的非参数方法,需要先确定生产率变化(技术进步) 的来源,然后构造全要素生产率增长的测量,而实际的技术进步不可观测,因此该方法的操作性有所欠缺,通常与其他方法(例如数据包络分析) 结合使用。

(三) 数据包络分析

数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA) 法由 Charnes 等(1978) 首先提出,他们认为生产过程并非总是有效率的,假定观测到的总产值变动除了技术进步因素之外,还存在生产效率的变动。数据包络分析本质上运用线性规划方法构建观测数据的非参数分段前沿面,然后,相对于这个前沿面来计算效率。该方法本身只能测算效率,与指数法结合后可以计算全要素生产率变动并且分

解其来源,得到广义和狭义的农业技术进步率。

假定有 I 个农户,每个农户有 N 种投入与 M 种产出。第 i 个农户的投入与产出分别用列向量 x_i 与 q_i 表示。 $N \times I$ 投入矩阵 X 与 $M \times I$ 产出矩阵 Q 代表所有 I 个厂商的数据。利用线性规划的对偶性,可推导出如下包络模型:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & st - q_i + Q\lambda \geq 0 \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

其中, θ 表示标量,而 λ 表示一个 $I \times 1$ 常数向量。求解得到的 θ 值将是第 i 个农户的效率值, θ 将满足 $\theta \leq 1$ 这个要求,如果某农户的 θ 值等于 1,则表明该农户位于前沿面上,因而是技术有效的。

(7) 式假设规模报酬不变,称为 CRS-DEA 模型。若放松该假设,变成规模报酬可变的 VRS-DEA 模型,可在(7) 式中添加凸性约束条件 $\mathbf{1}'\lambda = 1$,其中 $\mathbf{1}$ 表示元素为 1 的 $I \times 1$ 向量。在此基础上,VRS-DEA 模型可将 CRS 技术效率测量分解为“纯”技术效率与规模效率两个部分,即 $TE_{CRS} = TE_{VRS} \times SE$ 。

实证方面,由于缺乏可靠的生产要素价格信息,Coelli 等(2005) 在研究 1980—2000 年全球 93 个主要国家的农业生产率情况时,利用 DEA 的方法得出了 Malmquist 生产率指数。结果表明,这段时期内,全球农业生产率年均增速为 1.1%;其中农业技术进步速度为年均 0.6%,农业效率提升速度为 0.5%。Rezitis (2010) 利用基于 DEA 的 Malmquist 指数法分析了 1973—1993 年美国和 9 个欧洲国家的农业技术进步情况以及收敛情况。除了全球农业分析之外,许多学者也利用 DEA 方法测算某个国家或地区的某个农产品的农业技术进步情况。例如 Sharma 等(1997) 基于 DEA 的方法分析了夏威夷的生猪产业,而 Shafiq 等(2000) 利用 DEA 分析了巴基斯坦的棉花产业。

数据包络分析法自提出以来一直得到学者们的广泛使用,除了基本的 C^2R 模型和 C^2GS^2 模型,还演化出刻画生产规模和技术有效的 BCC 模型、含有偏好权重的 C^2WH 模型、评价无限多个决策单元的 C^2WY 模型等。与后文介绍的随机前沿分析法相比,数据包络分析法最大的优势是无需提前设

定投入与产出之间的生产函数关系,但其问题在于数据包络分析本质上只是一种非参数线性规划的方法,只能提供数值,不能进行具体的统计检验,且无法控制误差项。

(四) 随机前沿分析

随机前沿分析(Stochastic Frontier Analysis, SFA)法由 Aigner 等学者在 1977 年分别独立提出(Aigner 等,1977; Meeusen 等,1977)。该方法同样将全要素生产率变动视作技术进步率,在索洛余值法的基础上对生产函数进行改进,允许技术无效率的存在,认为生产过程并非完全有效,产量变动不仅来自技术进步,还来自效率水平的提高。与索洛余值法类似,该方法也属于增长核算体系的范畴,特别地,该方法还能将广义的农业技术进步率进一步分解成狭义农业技术进步和效率水平的提高。

随机前沿生产函数的基本形式如下:

$$y_{it} = f(x_{it}, t) \exp(v_{it} - u_{it}) \quad (8)$$

其中, y_{it} 为生产者 i 在第 t 年的产出; x_{it} 为与之相对应的投入向量; $f(\cdot)$ 代表生产技术; t 为时间趋势变量; v_{it} 是服从正态分布的随机扰动项; u_{it} 代表效率缺失项。

运用随机前沿分析的主要目的是预测无效率项 u_{it} , 进而测算技术效率。技术效率可以被定义为可观测产出与对应随机前沿产出(最大可能性产出)之比,即 $TE_{it} = \exp(-u_{it})$ 。在面板模型中,关于无效率项 u_{it} 的分布设定有多种假设,主要可分为两类:一是效率非时变模型 $u_{it} = u_i$, 即无效率项不随时间变化,具体可分为将 u_{it} 视为固定参数的 SS84 模型(Schmidt 等,1984),以及将 u_{it} 视为随机变量的 PL81 模型(Pitt 等,1981)。二是效率时变模型 $u_{it} = g(t) \times u_i$, 即无效率项随时间变化,不同模型之间的区别主要是对反映时间趋势的函数 $g(t)$ 的设定形

式不同,典型的有 CSS90 模型(Cornwell 等,1990)、Kumb90 模型(Kumbhakar, 1990)、BC92 模型(Battese 等,1992)、LS93 模型(Lee 等,1993)、BC95 模型(Battese 等,1995)等。与生产函数法类似,随机前沿分析也需要对函数形式进行设定,如柯布—道格拉斯形式(C-D)或超越对数形式(Translog),因此随机前沿分析也存在函数形式设定方面的缺陷。与数据包络分析法相比,随机前沿分析的问题在于具有较强的函数假设,而优点则是具有随机扰动项来控制测量误差和不确定因素的影响。

实证方面,Heady 等(2010)同时利用 SFA 和 DEA 两种方法测算 1970—2001 年全球 88 个主要国家的农业生产率,两种方法得出的增速分别是 1.7% 和 1.4%。通过比较两种方法的结果,Heady 等(2010)发现 SFA 的测算结果优于 DEA 的测算结果,但基于两种方法的结果均表明,生产率的提高主要是源自农业技术进步的贡献。Rezek 等(2011)利用 1961—2007 年 39 个撒哈拉沙漠以南非洲国家的数据分析农业技术进步情况,结果发现,基于 SFA 法的结果与广义最大熵法和贝叶斯效率法得出的结果较为一致,而基于 DEA 法的结果则不太理想。Trindade 等(2015)利用 SFA 法研究了 1969—2009 年 10 个南美国家的农业生产率,发现广义农业技术进步的贡献率达到 50%。此外,许多学者也利用 SFA 法分析单个国家农业技术进步情况(Bayarsaihan 等,2003)、单个农产品技术进步情况(Odeck, 2007)以及微观层面农户的技术进步情况(Theodoridis 等,2011)。值得指出的是,许多研究(Sharma 等,1997; Bayarsaihan 等,2003; Odeck, 2007; Theodoridis 等,2011)同时使用了 SFA 法和 DEA 法。

四、新中国 70 年农业技术进步实证研究

新中国成立前 30 年,对于我国农业技术进步的研究,特别是定量研究较少。改革开放后,随着科技的发展,越来越多的国内外农业经济学者开始关注农业技术进步对农业增长的内在推动作用,以及农业技术进步贡献率的测算等问题。我国农业技术进步及其贡献率的实证研究,可分为改革开放前(1949—1978 年)、改革开放初期(1978—1999

年)和 21 世纪(2000 年至今)三个阶段。

(一) 改革开放前(1949—1978 年)

1. 该时期农业技术进步率的测算。大部分农业增长与技术进步理论成型于 20 世纪 60 年代以后,加上我国文革期间因批判经济主义,不重视经济效益,新中国成立后的前 30 年对农业技术进步及其贡献率的研究存在空白,但改革开放后有部分

文献对这一时期的农业技术进步情况进行了回顾和分析。安希伋(1984)分析了1952—1978年间我国6种主要粮食作物数据,发现1965年全劳动生产率只有1952年的63%,下降超过1/3,1978年恢复到1952年的92%。根据亩均施用化肥量和机电灌溉面积等指标,安希伋(1992,1996)提出我国从1964—1965年进入农业现代化初级阶段,先进技术开始取代传统技术。

朱希刚(1984)率先利用生产函数法分析了1972—1980年我国农业增长情况,测算出该时期我国农业技术进步率在1.05%~1.58%之间,农业技术进步对我国农村人民公社农业总收入的贡献率是18%~27%。Wen(1993)测算了我国1952年土地改革结束后的农业生产率情况,发现在人民公社建立之前(1952—1958年),我国广义农业技术稳定在同一水平,但在人民公社初期(1958—1960年)出现了接近30%的大幅降低,并在整个人民公社时期(1958—1978年)维持在1952年水平的70%左右,农业技术进步出现严重停滞,直到1978年之后才出现显著增长,并于1983年恢复到1952年水平。Suhariyanto等(2001)测算出在1965—1970年我国狭义农业技术进步率是0.31%,1971—1980年是1.55%,均低于同期东亚地区的平均水平(0.91%和1.80%)。Kalirajan等(1996)基于SFA法得出的结果显示,我国广义农业技术进步率在1970—1978年间是-5.6%,这一时期农业发展出现停滞和倒退。Fan等(1997)利用1965—1978年数据,发现这一阶段我国农业增速缓慢,且主要依赖化肥、农机、劳动力等投入要素的增加,农业技术进步的贡献率较低。Lambert等(1998)通过测算得出我国1970—1978年间广义农业技术进步率为-1.4%。

2. 该时期农业技术停滞的原因分析。一些学者对这一阶段农业技术进步缓慢的原因进行了分析。Wen(1993)指出,农业技术进步停滞并非是导致1958—1979年我国农业供给不足的原因;相反的,我国在人民公社时期已经积累了现代农业技术和现代生产要素,但是“现代农业技术在这一时期没有机会去体现它的价值”。Fan等(1997)认为科研实力,特别是高端农业技术人员的缺乏,是这一时期农业技术进步的重要障碍。1953—1957年,

我国农业科研投入强度(科研投入占农业产值的比重)仅为0.07%,远低于发展中国家的水平。之后的20年,虽然我国科研投入强度平均水平超过发展中国家平均水平,但仍然存在两个问题,一是与其他国家科研投入强度不断提高相比,我国科研投入强度从1958—1976年不断下降;二是我国农业科研系统中只有5%~6%科研人员拥有研究生学历,而其他亚洲欠发达国家这一比例为60%~70%。

(二) 改革开放初期(1978—1999年)

1. 我国农业技术进步研究的发展进程。20世纪80年代早期,国内研究农业技术进步的学者较少,1981年由展广伟主编的统一教材《农业技术经济学》中并没有涉及技术进步的内容(展广伟,1981)。随着改革开放后我国农业的飞速发展,农业技术进步的经济效应评价引起了学界的关注。作为率先将数量分析引入我国农业技术经济效果评价的学者之一,沈达尊(1982,1983)介绍了农业科技经济效益、农业科技成果年增收益额、农业科技投资收益率、劳动净产率、综合农业生产率等指标。1986年出版的《农业技术经济学》修订版增加了关于农业科技成果经济评价的章节(展广伟,1986a),主要内容参考了《农业科学技术研究和利用的经济评价》一书(牛若峰等,1985)。此外,袁飞(1981、1982)、牛若峰等(1982)、何桂庭(1984)、万泽璋等(1985)、展广伟(1986b)和朱甸余(1988)也强调构建农业技术经济效益测定方法和指标体系的重要性。这些学者的早期研究对其他学者利用这些指标分析我国农业技术进步情况做出了重要贡献。

国内学者还较为关注我国农业技术进步的现状、意义、发展路径和存在问题。朱甸余(1980)强调农业现代化对巩固我国工农联盟具有重要意义,现代工业生产先进农业生产资料,可以改变我国农业技术落后的面貌。20世纪70年代后期,我国存在搞农业机械化和搞生物技术现代化之争,即提高劳动生产率为主还是提高土地生产率为主的争论。朱甸余(1980)认为两者是相互联系,相辅相成的,提高两种生产率是一致的,其思想与全要素生产率类似。贺锡萃(1980)指出,技术可得最高产量与最大经济效益产量不同,一些地区只注重产量,不

注重成本,盲目投工投肥,出现高产穷队现象,严重挫伤农民积极性。刘志澄(1985,1991)强调扩大农业科技队伍,加快科技成果推广,并通过科技成果商品化与开拓技术市场将其转化为生产力的重要性。刘天福(1990)认为我国应该利用微电子技术、生物工程、信息技术、新材料技术和海洋开发等新技术,提高我国农业科技与生产率水平,发展外向型和精细化农业。顾焕章等(1995)指出,我国农业技术效率较高但是科技成果转化率低,农业技术与经济脱节是造成我国农业技术进步对农业增长贡献份额远低于发达国家的根本原因,因此加速农业技术成果转化是破局的关键所在。朱希刚(1991,1998)总结了改革开放后我国农业技术进步对农业产出增长量的贡献,认为20世纪80年代是农业技术进步发展较好的时期,但是技术进步的障碍增多,进步增速不明显,基于此,他认为技术创新是农业技术进步的主攻方向,此外还要增加农业科研投资、加快实现农业科研体制改革。郑大豪(1999)强调,制定农业技术价格和产业化政策有助于促进农业技术进步。

我国农业技术进步问题还引起了国际农经界的关注。Lin(1992)将农村改革初期农业技术进步和产量增长归因于生产队体制向家庭联产承包责任制的体制转变。Lin(1995)认为,要素市场的政策松绑扩大了农户的选择权,从而大大促进了资源配置效率的提高和技术进步。但在20世纪80年代中后期,农业技术进步的步伐减缓,这可能是上阶段改革红利的消失(Mcmillan等,1989; Fan, 1991; Fan等,2004)与市场自由化政策失误(Sicular,1995; Huang,1998)叠加的结果。20世纪90年代,政府总结了政策在计划和市场两轨间反复的经验教训,更多地利用市场配置资源,通过两次大幅度提高粮食收购价格减小双轨价格间的差异,并延长了土地承包年限,这些因素都极大地促进了农业技术进步(Lambert等,1998)。此外,农业科研人员数量的增加以及农业新品种与新技术的研发、引进和扩散大大提高了我国农业生产率(Fan等,1997; Jin等,2002)。

2. 农业技术进步贡献率的测算方法与结果。一些学者(顾焕章等,1994; 毛世平,1998)梳理了这一时期国内外常用的几种测算农业技术进步率

的方法,具体有生产函数法、增长速度方程、综合指标体系、边界生产函数(随机前沿分析)和数据包络分析法等方法。虽然方法众多,但这一时期以朱希刚和顾焕章为代表的国内学者主要使用C-D函数与索洛余值相结合的方法测算农业技术进步率和贡献率,为了统一测算标准,原农业部于1997年颁布《关于规范农业科技进步贡献率测算方法的通知》,将索洛余值法作为测算农业技术进步贡献率的官方标准,并在全国推广。从测算结果来看,朱希刚(1994,1997,2002)使用索洛余值法测算了我国1972—1980年、“六五时期”(1981—1985年)、“七五时期”(1986—1990年)、“八五时期”(1991—1995年)和“九五时期”(1996—2000年)的农业技术进步贡献率,分别为27%、35%、28%、34.3%和45%。顾焕章(1994)使用农业边界生产函数测算出我国“七五”期间农业技术进步贡献率约为32%~33%。Fan等(1997)使用超越对数函数测算出我国1985—1993年农业技术进步贡献率为56.2%。上述测算结果差距较大,一方面是由于不同学者选取的测算方法有差异,另一方面是因为在这一时期测算所需的数据不完备,在数据收集和变量选取等方面都存在差异。

许多外文文献也对这一阶段我国农业技术进步情况作了测算。Lin(1992)利用生产函数法和SFA法发现,我国种植业广义技术进步率从1978—1984年的3.2%(6年累计增长20.54%)下降到1984—1987年的0.7%(3年累计2.05%),然而,这两个阶段农业技术进步的贡献率保持在49%。Kalirajan等(1996)通过测算发现,我国广义农业技术进步率从1978—1984年的7.7%下降到1984—1987年的2.8%。Mao等(1997)测算了1984—1993年我国29个省的广义和狭义农业技术进步情况;结果表明,这一阶段14个技术较高省份(以东部沿海地区为主)的平均广义和狭义农业技术进步率是3.7%和4.7%,而15个技术较低省份(以中西部地区为主)的平均广义和狭义农业技术进步率是2.1%和2.7%。Lambert等(1998)基于我国27省的农业数据,测算出1979—1984年、1985—1989年、1990—1992年以及1993—1995年这四个阶段广义农业技术进步率分别为4.2%、

1.4%、2.3%和 5.8%。这也印证了改革开放前 20 年我国农业技术进步经历了高速增长、显著回落和恢复发展三个阶段。

(三) 21 世纪(2000 年至今)

1. 农业技术进步的内涵演化与创新。21 世纪初期,国内学者关于农业技术进步的发展路径和内在驱动力有了更深入的探讨。曾福生等(2001)回答了制度与技术孰轻孰重的焦点问题,研究认为制度创新和技术进步都是促进经济增长的重要变量,应加强制度创新与技术进步的互动能力。郭剑雄(2004)认为农业技术的进步不仅表现为对土地、劳动力等传统要素的替代,还应包括传统要素的进步,以实现替代型技术与改进型技术的协同发展。此外,一些学者对代表广义技术进步的农业生产率增速进行分解。李谷成(2009)测算了转型期中国农业全要素生产率增长,并将其分解为技术进步、纯技术效率变化和规模效率变化三部分,实证结果表明我国农业 TFP 增长主要源于(狭义)技术进步,其他部分的贡献有限。

此外,诱致性技术创新理论开始被引入到我国农业技术进步的研究中。曹博等(2017)基于诱致性技术创新理论构造农业技术发明可能性曲线,研究表明我国农业的技术发展路径表现出明显的要素“诱致性”特征。孔祥智等(2018)构建了我国农业技术变迁模式的分析框架,测算了各生产要素间技术替代的弹性,并认为我国农业技术变迁的路线符合诱致性技术创新理论。郑旭媛等(2016)利用 1993—2010 年省级面板数据,发现劳动力成本提高会加速机械替代劳动力,但地形条件能对该过程的实现产生显著影响,这说明资源禀赋的约束条件将影响要素替代的实现难度。

2. 农业技术进步贡献率的扩展与交叉研究。不同学者对 21 世纪以来我国农业技术进步的趋势得出不同结论。赵芝俊等(2009)基于超越对数随机前沿模型,测算 1985—2005 年我国农业技术进步贡献率并分解测算结果,发现技术进步已成为我国农业增长的主要源泉,而狭义的农业技术进步是其中最主要的组成部分。但 Wang 等(2013)发现,我国广义农业技术进步的步伐在 21 世纪初有所减缓,与 1995—2000 年 5.1%的技术进步率相比,

2000—2005 年的技术进步率下降到 3.2%,2005—2007 年进一步下降到-3.7%。而 Wang 等(2019)测算出 1985—1999 年以及 1999—2013 年我国广义农业技术进步率分别为 3.1%和 2.8%,这表明 21 世纪我国农业技术进步趋势和前一阶段相比基本保持不变。

除上述利用省级宏观数据测算农业技术进步的研究之外,还有一些学者(Brümmner 等,2006;王子军等,2006; Monchuk 等,2010; 吕新业等,2012; Liu 等,2015; 谢玲红等,2016)利用地市级数据、县级数据、农户数据或涉农企业数据进行中观或微观研究。如 Ma 等(2013)所述,中微观数据具有能够克服宏观数据在回归估计中偏误的优点,但也存在数据时间跨度较短、数据和变量完整性较差等问题。还有部分学者(胡瑞法等,2006; 王明利等,2006; 马恒运等,2011; 白秀广等,2015)对各种农产品的生产率展开研究。Jin 等(2010)则对 1980—2005 年间 23 种主要农产品的生产率进行估计,发现园艺和畜产品的增速明显高于其他农作物。Wang 等(2016)利用全国农产品成本收益资料汇编数据,对 1984—2012 年间 6 种农产品进行分析,发现玉米、棉花、油菜籽三种作物的狭义技术进步年均增速均超过 2%,大豆、小麦和水稻的狭义技术进步相对较慢,年均增速分别为 1.3%、0.8%和 0.6%。

这一阶段,更多学者在测算出农业技术进步及其贡献率后,继续实证考察不同因素对农业技术进步的驱动作用。Chen(2008)指出,科研投入、农业用电量和耕地灌溉率等因素对农业生产率和技术进步有正向影响,但税率对其存在负向影响。罗必良(2015)、仇焕广等(2017)和 Sheng 等(2019)均实证分析了经营规模对土地生产率的影响。钱文荣等(2011)和黄祖辉等(2014)关注劳动力外出务工对农业生产率的影响。Gong(2018a)主要考察各时期改革政策对我国农业 TFP 的影响,发现 TFP 增速呈现周期性波动,不同改革阶段 TFP 和投入要素交替成为农业增长的主要源泉。高鸣等(2018)分析了脱钩收入补贴对不同收入水平下农户小麦生产率的影响。

五、现有研究存在的问题与可能的改进方法

为了更加准确地测算农业技术进步及其贡献率,理论经济学家致力于构建更加合理的理论模型和分析工具,应用经济学家需要对农业数据进行更准确的收集、整理和核算,旨在保证数据质量。通过对农业技术进步相关研究的梳理,本文提出现有研究中存在的问题及可能的改进方法。

(一) 与经济增长理论的脱节

现有的农业技术测算方法大部分都基于生产函数,而用于测算农业技术进步率的生产函数,则主要基于新古典经济增长理论框架构建。内生增长理论从理论上弥补了新古典增长理论的不足,但是与内生增长理论匹配的计量经济学模型仍未得到充分开发,这也使得国内农业经济学者的相关研究仍然只能沿用基于新古典经济增长理论的计量模型测算农业技术进步及其贡献率。正如任力(2014)指出的,内生增长理论在生产函数中加入知识或人力资本,但其实证中的函数结构仍然是以柯布—道格拉斯生产函数为基础的,并没有超越新古典增长理论,而仅仅是多马模型的回归。

假设某产业微观个体的生产函数为 $y_{it} = \alpha_{it} + \beta k_{it} + (1-\beta) l_{it}$,其中 k_{it} 和 l_{it} 分别是资本和劳动力投入量的对数, β 是资本的弹性。Barro(1999)指出,即使微观企业服从相同的、规模报酬不变的生产函数,宏观层面的生产函数由于溢出效应,将呈现规模效益递增的现象。换言之,由于溢出效应和技术外部性的存在,劳动和资本弹性在宏观层面是可变的。在Griliches(1979)和Romer(1986)提出的learning-by-investing模型中,Barro(1999)的发现意味着总量生产函数中资本弹性可能大于 β 。在Arrow(1962)和Lucas(1988)提出的Learning-By-Doing模型中,Barro(1999)的发现意味着总量生产函数中劳动弹性可能大于 $1-\beta$ 。然而,在现有农业生产函数框架内,如何度量这种溢出效应亟待研究。

除了内生增长理论,诱致性技术创新理论提到,不同地区由于资源禀赋的差异,其技术变迁和农业发展的路径不同,这会导致投入弹性随时间随地区变化。Gong(2018a)以中国为例,提出农村改革的进程和农林牧渔结构的变化均可能改变农业

总量生产函数,并实证验证了投入弹性是随时间和地区变化的。此外,大量实证论文在利用面板数据测算我国农业生产率后,也会分时期和分区域做异质性检验,其结果往往也印证了固定投入弹性假设的不合理性。因此,部分学者利用超越对数形式的生产函数,旨在得到可变投入弹性。然而,超越对数生产函数的投入弹性虽然不是常数,但仍需服从一定的前提假设(弹性是关于生产要素的柯布—道格拉斯函数),因此无法充分考虑改革进程、结构变化等因素的影响。综上,现有生产函数模型与最新经济增长理论以及农业生产实践均有所脱节。结合农业生产实际,开发出与内生增长和诱致性技术创新等理论匹配的农业技术进步测算方法至关重要。

此外,现有农业技术进步测算方法仍有改进的空间。例如SFA和DEA作为最常使用的两种前沿分析法,虽然都被广泛应用于农业技术进步测算,但均存在不足,SFA的劣势是具有较强的函数形式假设,DEA的劣势是没有随机扰动项来控制测量误差和不确定因素的影响。一些学者(Wu等,2018; Gong,2018b)利用半参数和非参数的方法放松SFA对函数形式较强的假设,以弥补SFA的缺点。一些学者(Banker,1993; Cooper等,1998; Olesen等,2016)则试图将随机扰动项引入DEA,旨在弥补DEA的不足。另一些学者则(Kuosmanen等,2012; Andor等,2014)将SFA和DEA结合起来,构建了新的随机非参数数据包络分析法(StoNED)。这些模型的修正和创新,对在现有框架下更加准确地测算农业技术进步及其贡献率也具有重大意义。

(二) 度量方法的选择

首先,在不同测算方法中,如何选择最合适的方法,是应用经济学家常常遇到的问题。仍以SFA和DEA两种方法为例,上文已经说明两者互有优劣,并且均被广泛使用。农业生产大多在露天情况下进行,受气候、灾害等不确定因素影响较大,且由于监督成本高昂,统计投入产出数据时测量误差较大,因此拥有随机扰动项的SFA方法可能更为合适。但对于现代化的制造业而言,室内的生产环境

和高度可控可监测的设备使 SFA 的优势不再明显。此外,当利用宏观数据进行分析或需要估算投入弹性等经济学指标进行后续分析时,SFA 可能也是更为合适的方法。相反,多部门的协作和较长的产业链使得投入产出关系极具复杂性,与柯布一道格拉斯等简单函数形式不一致的问题可能更加严重,因此 DEA 可能是更好的选择。综上,测算方法的选择主要取决于研究的对象和目的,以及数据的质量和特性。

其次,在确定某种方法后,还需要在不同模型设定(Specification)中选取最合适的一种。以农业技术进步测算为例,假设已经确定使用 SFA 法,在选择使用 Cornwell 等(1990)提出的 CSS 模型、Battese 等(1992)提出的 BC92 模型、Alminidis 等(2014)提出的 Bounded Inefficiency 模型,亦或是其他模型时,还应主要依据研究者对其研究对象的效率缺失项 u_{it} 分布进行判断。例如假设通过对农户生产的细致观察,发现效率低于一定程度的农户均会通过土地流转的方式退出农业生产,那么假设存在一个最低准入门槛的方法(例如 Bounded Inefficiency 模型)可能是一个更好的选择。最后,若无法从产业特性的角度去选择模型,则一些信息准则(例如赤池信息准则 AIC、贝叶斯信息准则 BIC 等)可以作为检验不同候选模型拟合优度的工具,进而选择最优的模型。值得指出的是,某些行业的生产过程较为复杂,其投入产出数据生成的过程(Data Generating Process)可能是需要几种模型同时拟合才能更加准确地估计。此时,利用模型平均法,即根据各个候选模型解释数据能力的大小赋予相应的权重,可能是一个更好的选择(龚斌磊,2018)。

(三) 投入产出变量的界定

首先值得重视的是农业投入产出变量匹配性问题。以利用省级农业数据研究我国农业总体生产函数和技术进步为例,已有文献(Kalirajan, 1996; 王珏等, 2010; 龚斌磊等, 2019)常常以农林牧渔总产值作为产出变量,以劳动力、土地、化肥和农机为四种投入变量^{*}。然而,上述变量选择可能存在以下四个问题。第一,投入要素以种植业为主,忽略了畜牧业的投入要素。以美国农业部的国际

农业生产率数据库作为对比,该数据库的投入变量不仅包括劳动力、土地、化肥、农机,还包括了牲畜存栏量和饲料,而这两种畜牧业重要的投入要素在研究中国农业生产时往往被忽略。考虑到畜牧业占农业比重从 1952 年的 11% 提高到 2018 年的 25%,在测算农业技术进步率时,生产函数中忽略畜牧业投入要素造成的估计误差将越来越大。第二,即便仅关注种植业,选择劳动力、土地、化肥和农机作为四种投入要素也存在遗漏变量问题。作为对比,美国农业部公布的美国农业投入要素包括了劳动力、土地、资本和中间投入(Gong, 2018c)。其中,农业资本的变量除了农机,还包括其他耐久设备、农用建筑和库存;中间投入的变量除了化肥,还包括饲料、种子、能源、农药、服务费用及其他中间投入。不难发现,即使只关注种植业,我国相关研究中投入要素的选取也有所缺失,这主要是统计年鉴中农药、能源等生产要素数据的缺失值较多造成的,因此如何补齐这些数据至关重要。第三,投入要素测算的偏误问题。例如,文献中经常利用农林牧渔从业人数作为劳动力投入量,但在“半工半农”现象日益增多的今天,该数据往往不能准确反映劳动投入的工时数。第四,有些研究对于投入变量中究竟是否应该包括中间投入品不甚了解。如果农业产出变量是农业总产值,则需要包括化肥等中间投入品;如果农业产出变量是增加值,说明产出中已经剔除了中间投入,则投入要素中也不需要包括中间投入。

其次,灌溉、财政支出等变量是投入要素还是技术进步影响因素也是在界定变量时应考虑的问题。以财政支出为例,部分学者(李焕彰等, 2004; 魏朗, 2007; 黎翠梅, 2009)认为农业财政支出是一种投入要素,其他学者(李晓嘉, 2012; 刘佳等, 2014; 叶初升等, 2016)则认为农业财政支出是通过影响技术进步或生产率来影响农业产出的。与财政支出类似,学界对灌溉设施等因素影响农业产出的路径和机制尚未达成一致意见,这也会影响农业技术进步及其贡献率的测算。

最后,温室气体排放和污染排放变量在变量界定时应当作投入要素还是产出要素也值得研究。

^{*} 在改革开放初期农业机械还没有普及时,牲畜数量特别是大牲畜数量也是重要的农业投入要素
(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

在农业生产的过程中,一方面畜牧业的发展和农业机械的使用会产生温室气体,另一方面农药和化肥的使用会带来春风满面污染。在早期文献中,这些变量往往被忽略,没有被纳入生产函数。随着环境保护和绿色发展的理念深入人心,越来越多的学者在构建农业生产函数时也开始考虑温室气体排放和污染排放,这有利于评估节能减排等相关技术进

步的贡献。Ebert等(2007)指出,部分学者将这些变量视作产出变量中的非期望产出(Bad Output),而其他学者则认为这些变量应该作为投入要素并纳入生产函数。这种处理上的不一致性也会导致测算结果的差异。因此,如何科学界定新变量在农业生产过程中的角色,具有重要意义。

参考文献

1. Ahmad, S. On the theory of induced invention. *The Economic Journal*, 1966, 76(302): 344~357
2. Aigner, D., Lovell, C.A.K., Schmidt, P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 1977, 6(1): 21~37
3. Alene, A.D. Productivity growth and the effects of R&D in African agriculture. *Agricultural Economics*, 2010, 41(3-4): 223~238
4. Alamanidis, P., Qian, J., Sickles, R.C. Stochastic frontier models with bounded inefficiency. *Festschrift in Honor of Peter Schmidt*, 2014: 47~81
5. Andor, M., Hesse, F. The StONED age: the departure into a new era of efficiency analysis? A monte carlo comparison of StONED and the "old-ies" (SFA and DEA). *Journal of Productivity Analysis*, 2014, 41(1): 85~109
6. Arrow, K.J., Chenery, H.B., Minhas, B.S., et al. Capital-labor substitution and economic efficiency. *The Review of Economics and Statistics*, 1961, 43(3): 225~250
7. Arrow, K.J. The economic implications of learning by doing. *Review of Economic Studies*, 1962, 29(3): 155~173
8. Banker, R.D. Maximum likelihood, consistency and data envelopment analysis: a statistical foundation. *Management Science*, 1993, 39(10): 1265~1273
9. Barro, R.J. Notes on growth accounting. *Journal of Economic Growth*, 1999, 4(2): 119~137
10. Battese, G.E., Coelli, T.J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: with application to paddy farmers in India. *Journal of Productivity Analysis*, 1992, 3(1-2): 153~169
11. Battese, G.E., Coelli, T.J. A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics*, 1995, 20: 325~332
12. Bayarsaihan, T., Coelli, T.J. Productivity growth in pre - 1990 Mongolian agriculture: spiralling disaster or emerging success? *Agricultural Economics*, 2003, 28(2): 121~137
13. Binswanger, H.P. The measurement of technical change biases with many factors of production. *The American Economic Review*, 1974, 64(6): 964~976
14. Brümmer, B., Glauken, T., Lu, W. Policy reform and productivity change in Chinese agriculture: A distance function approach. *Journal of Development Economics*, 2006, 81(1): 61~79
15. Bustos, P., Caprettini, B., Ponticelli, J. Agricultural productivity and structural transformation: Evidence from Brazil. *American Economic Review*, 2016, 106(6): 1320~65
16. Carlaw, K.I., Lipsey, R.G. Gpt-Driven, endogenous growth. *The Economic Journal*, 2006, 116(508): 155~174
17. Cass, D. Optimum growth in an aggregative model of capital accumulation. *The Review of Economic Studies*, 1965, 32(3): 233~240
18. Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6): 429~444
19. Chen, P.C., Ming-Miin, Y.U., Chang, C.C., et al. Total factor productivity growth in China's agricultural sector. *China Economic Review*, 2008, 19(4): 580~593
20. Christensen, L.R., Jorgenson, D.W., Lau, L.J. Transcendental logarithmic production frontiers. *The Review of Economics and Statistics*, 1973, 55(1): 28~45
21. Cochrane, W.W. Farm prices: myth and reality. University of Minnesota Press, 1958
22. Coelli, T.J., Rao, D.P. Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980-2000. *Agricultural Economics*, 2005, 32: 115~134
23. Cooper, W.W., Huang, Z., Lelas, V., et al. Chance constrained programming formulations for stochastic characterizations of efficiency and dominance in DEA. *Journal of Productivity Analysis*, 1998, 9(1): 53~79

24. Cornwell, C., Schmidt, P., Sickles, R.C. Production frontiers with cross-sectional and time-series variation in efficiency levels. 1990, 46(1-2): 185~200
25. Domar, E.D. Essays in the Theory of Economic Growth. Oxford University Press, 1957
26. Ebert, U., Welsch, H. Environmental emissions and production economics: implications of the materials balance. American Journal of Agricultural Economics, 2007, 89(2): 287~293
27. Fan, S., Pardey, P. G. Research, productivity, and output growth in Chinese agriculture. Journal of Development Economics, 1997, 53(1): 115~137
28. Fan, S., Zhang, L., Zhang, X. Reforms, investment, and poverty in rural China. Economic Development and Cultural Change, 2004, 52(2): 395~421
29. Fan, S. Effects of technological change and institutional reform on production growth in Chinese agriculture. American Journal of Agricultural Economics, 1991, 73(2): 266~275
30. Gong, B. Agricultural reforms and production in China: Changes in provincial production function and productivity in 1978 - 2015. Journal of Development Economics, 2018, 132: 18~31
31. Gong, B. Interstate competition in agriculture: Cheer or fear? Evidence from the United States and China. Food policy, 2018, 81: 37~47
32. Gong, B. The impact of public expenditure and international trade on agricultural productivity in China. Emerging Markets Finance and Trade, 2018, 54(15): 3438~3453
33. Griliches, Z. Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. Bell Journal of Economics, 1979, 10(1): 92~116
34. Grossman, G.M., Helpman, E. Innovation and growth in the global economy. MIT press, 1993
35. Harrod, R.F. Towards a Dynamic Economics: Some recent developments of economic theory and their application to policy. MacMillan and Company, 1948
36. Hayami, Y., Herdt, R.W. Market price effects of technological change on income distribution in semisubsistence agriculture. American Journal of Agricultural Economics, 1977, 59(2): 245~256
37. Hayami, Y., Ruttan, V.W. Agricultural development: an international perspective. Baltimore, The Johns Hopkins Press, 1971
38. Headey, D., Alauddin, M., Rao, D.S.P. Explaining agricultural productivity growth: an international perspective. Agricultural Economics, 2010, 41(1): 1~14
39. Hicks, J. The theory of wages. Macmillan, 1932
40. Howitt, P., Aghion, P. Capital accumulation and innovation as complementary factors in long-run growth. Journal of Economic Growth, 1998, 3(2): 111~130
41. Hume, D. Of Money. Essays moral, political and literary. Oxford University Press, 1752
42. Huang, Y. Agricultural reform in China, Cambridge University Press, 1998
43. Jin, S., Huang, J., Hu, R., et al. The creation and spread of technology and total factor productivity in China's agriculture. American Journal of Agricultural Economics, 2002, 84(4): 916~930
44. Jin, S., Ma, H., Huang, J., et al. Productivity, efficiency and technical change: measuring the performance of China's transforming agriculture. Journal of Productivity Analysis, 2010, 33(3): 191~207
45. Kalirajan, K.P., Obwona, M.B., Zhao, S. A decomposition of total factor productivity growth: the case of Chinese agricultural growth before and after reforms. American Journal of Agricultural Economics, 1996, 78(2): 331~338
46. Koopmans, T. The Econometric approach to development planning. North Holland Publishing Company, 1965
47. Kumbhakar, S.C. Production frontiers, panel data, and time-varying technical inefficiency. Journal of Econometrics, 1990, 46(1-2): 201~211
48. Kuosmanen, T., Kortelainen, M. Stochastic non-smooth envelopment of data: semi-parametric frontier estimation subject to shape constraints. Journal of Productivity Analysis, 2012, 38(1): 11~28
49. Lambert, D.K., Parker, E. Productivity in Chinese provincial agriculture. Journal of Agricultural Economics, 1998, 49(3): 378~392
50. Lee, Y.H., Schmidt, P. A production frontier model with flexible temporal variation in technical efficiency. The measurement of productive efficiency: Techniques and applications, 1993, 237~255
51. Levins, R.A., Cochrane, W.W. The treadmill revisited. Land Economics, 1996, 72(4): 550~553
52. Lin, J. Y. Endowments, technology, and factor markets: A natural experiment of induced institutional innovation from China's rural reform. American Journal of Agricultural Economics, 1995, 77(2): 231~242
53. Lin, J. Y. Rural reforms and agricultural growth in China. The American economic review, 1992: 34~51
54. Lio, M., Liu, M. C. ICT and agricultural productivity: evidence from cross-country data. Agricultural Economics, 2006, 34(3): 221~228

55. Liu, S., Zhang, S., He, X., et al. Efficiency change in North-East China agricultural sector: a DEA approach. *Agricultural Economics*, 2015, 61 (11) : 522~532
56. Lucas, R.E. On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 1988, 22(1) : 3~42
57. Ma, S., Feng, H. Will the decline of efficiency in China's agriculture come to an end? An analysis based on opening and convergence. *China Economic Review*, 2013, 27: 179~190
58. Malthus, T.R. An essay on the principle of population. St. Paul's church-yard, 1798
59. Malthus, T.R. Principles of political economy: considered with a view to their practical application. William Pickering, 1836
60. Mao, W., Koo, W.W. Productivity growth, technological progress, and efficiency change in Chinese agriculture after rural economic reforms: a DEA approach. *China Economic Review*, 1997, 8(2) : 157~174
61. Marshall, A. Principles of economics. Macmillan, 1890
62. McMillan, J., Whalley, J., Zhu, L. The impact of China's economic reforms on agricultural productivity growth. *Journal of Political Economy*, 1989, 97(4) : 781~807
63. Meade, J.E. A neo-classical theory of economic growth. Oxford University Press, 1961
64. Meeusen, W., van Den Broeck, J. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 1977: 435~444
65. Mellor, J.W. The economics of agricultural development. Ithaca, Cornell University Press, 1966
66. Monchuk, D.C., Chen, Z., Bonaparte, Y. Explaining production inefficiency in China's agriculture using data envelopment analysis and semi-parametric bootstrapping. *China Economic Review*, 2010, 21(2) : 346~354
67. Nghiep, L.T. The structure and changes of technology in prewar Japanese agriculture. *American Journal of Agricultural Economics*, 1979, 61 (4) : 687~693
68. Odeck, J. Measuring technical efficiency and productivity growth: a comparison of SFA and DEA on Norwegian grain production data. *Applied Economics*, 2007, 39(20) : 2617~2630
69. Olesen, O.B., Petersen, N.C. Stochastic data envelopment analysis—A review. *European Journal of Operational Research*, 2016, 251(1) : 2~21
70. Pitt, M.M., Lee, L.F. The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry. *Journal of Development Economics*, 1981, 9(1) : 43~64
71. Redding, S. Path dependence, endogenous innovation, and growth. *International Economic Review*, 2002, 43(4) : 1215~1248
72. Rezek, J. P., Campbell, R. C., Rogers, K. E. Assessing total factor productivity growth in Sub-Saharan African agriculture. *Journal of Agricultural Economics*, 2011, 62(2) : 357~374
73. Rezitis, A.N. Agricultural productivity and convergence: Europe and the United States. *Applied Economics*, 2010, 42(8) : 1029~1044
74. Ricardo, D. On the principles of political economy and taxation. Macmillan, 1817
75. Röling, N. From causes to reasons: the human dimension of agricultural sustainability. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 2003, 1(1) : 73~88
76. Romer, P.M. Increasing returns and long-run growth. *Journal of Political Economy*, 1986, 94(5) : 1002~1037
77. Rosegrant, M.W., Evenson, R.E. Agricultural productivity and sources of growth in South Asia. *American Journal of Agricultural Economics*, 1992, 74(3) : 757~761
78. Samuelson, P.A. A theory of induced innovation along Kennedy-Weisäcker lines. *The Review of Economics and Statistics*, 1965: 343~356
79. Schmidt, P., Sickles, R. C. Production frontiers and panel data. *Journal of Business & Economic Statistics*, 1984, 2(4) : 367~374
80. Schultz, T.W. Transforming traditional agriculture. Yale University Press, 1964
81. Schumpeter, J.A. The theory of economic development. Harvard University Press, 1934
82. Shafiq, M. The extent of resource use inefficiencies in cotton production in Pakistan's Punjab: An application of Data Envelopment Analysis. *Agricultural Economics*, 2000, 22(3) : 321~330
83. Sharma, K.R., Leung, P., Zaleski, H.M. Productive efficiency of the swine industry in Hawaii: stochastic frontier vs. data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 1997, 8(4) : 447~459
84. Sheng, Y., Ding, J., Huang, J. The relationship between farm size and productivity in agriculture: evidence from maize production in Northern China. *American Journal of Agricultural Economics*, 2019, 101(3) : 790~806
85. Sicular, T. Redefining state, plan and market: China's reforms in agricultural commerce. *The China Quarterly*, 1995, 144: 1020~1046
86. Smith, A. An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations. Oxford University Press, 1776
87. Solow, R.M. A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 1956, 70(1) : 65~94

88. Suhariyanto, K., Thirtle, C. Asian agricultural productivity and convergence. *Journal of Agricultural Economics*, 2001, 52(3) : 96~110
89. Swan, T.W. Economic Growth and Capital Accumulation. *Economic Record*, 1956, 32(2) : 334~361
90. Theodoridis, A.M., Anwar, M.M. A comparison of DEA and SFA methods: a case study of farm households in Bangladesh. *The Journal of Developing Areas*, 2011: 95~110
91. Trindade, F.J., Fulginiti, L.E. Is there a slowdown in agricultural productivity growth in South America? *Agricultural Economics*, 2015, 46(S1) : 69~81
92. Wang, S.L., Huang, J., Wang, X., et al. Are China's regional agricultural productivities converging? How and why? *Food Policy*, 2019: 101727
93. Wang, S. L., Tuan, F., Gale, F., et al. China's regional agricultural productivity growth in 1985 - 2007: A multilateral comparison. *Agricultural Economics*, 2013, 44(2) : 241~251
94. Wang, X., Yamauchi, F., Huang, J. Rising wages, mechanization, and the substitution between capital and labor: Evidence from small scale farm system in China. *Agricultural Economics*, 2016, 47(3) : 309~317
95. Wen, G.J. Total factor productivity change in China's farming sector: 1952-1989. *Economic Development and Cultural Change*, 1993, 42(1) : 1~41
96. Whitmarsh, D.J. The fisheries treadmill. *Land Economics*, 1998, 74(3) : 422~427
97. Wu, X., Sickles, R. Semiparametric estimation under shape constraints. *Econometrics and Statistics*, 2018, 6: 74~89
98. Young, A.A. Increasing Returns and Economic Progress. *Economic Journal*, 1928, 38(152) : 527~542
99. Young, A. Invention and bounded learning by doing. *Journal of Political Economy*, 1993, 101(3) : 443~472
100. Zeng, J. Reexamining the interaction between innovation and capital accumulation. *Journal of Macroeconomics*, 2003, 25(4) : 541~560
101. 安希锐. 论农业投资报酬运动规律与农产品成本变动趋势——兼论若干农业技术和经济政策问题. *农业技术经济*, 1984(5) : 11~18
102. 安希锐. 我国农业高产, 高效与优质问题. *农业技术经济*, 1992(3) : 1~4
103. 安希锐. 我国农业技术发展的动力, 机制与型式问题. *农业技术经济*, 1996(4) : 1~4
104. 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. *农业技术经济*, 2015, (8) : 98~111
105. 曹博, 赵芝俊. 技术进步类型选择和我国农业技术创新路径. *农业技术经济*, 2017(9) : 82~89
106. 高鸣, 宋洪远. 脱钩收入补贴对粮食生产率的影响——基于农户收入差异的视角. *农业技术经济*, 2018(5) : 15~27
107. 龚斌磊, 张书睿. 省际竞争对中国农业的影响. *浙江大学学报(人文社会科学版)*, 2019, 49(2) : 14~31
108. 龚斌磊. 投入要素与生产率对中国农业增长的贡献研究. *农业技术经济*, 2018(6) : 4~18
109. 顾海英. 农业技术进步的内涵与作用探讨. *农业技术经济*, 1994(4) : 24~27
110. 顾焕章, 王培志. 农业技术进步对农业经济增长贡献的定量研究. *农业技术经济*, 1994(5) : 11~15
111. 顾焕章, 张景顺. 我国农业科技利用的现状分析及对策. *农业技术经济*, 1995(6) : 10~13
112. 郭剑雄. 农业技术进步类型的一个扩展及其意义. *农业经济问题*, 2004(3) : 25~27
113. 何桂庭. 农业技术经济效果的指标体系概述. *农业技术经济*, 1984(6) : 46~48
114. 贺锡萃. 报酬递减规律和农业生产. *中国农业大学学报*, 1980, 15(2) : 97~104
115. 胡瑞法, 冷燕. 中国主要粮食作物的投入与产出研究. *农业技术经济*, 2006(3) : 2~8
116. 怀谷. 农业技术进步观点综述. *经济学动态*, 1992(7) : 38~41
117. 黄祖辉, 王建英, 陈志钢. 非农就业, 土地流转与土地细碎化对稻农技术效率的影响. *中国农村经济*, 2014(11) : 4~16
118. 孔祥智, 张琛, 张效榕. 要素禀赋变化与农业资本有机构成提高——对 1978 年以来中国农业发展路径的解释. *管理世界*, 2018, 34(10) : 147~160
119. 李焕彰, 钱忠好. 财政支农政策与中国农业增长: 因果与结构分析. *中国农村经济*, 2004(8) : 38~43
120. 李谷成. 技术效率、技术进步与中国农业生产率增长. *经济评论*, 2009(1) : 60~68
121. 黎翠梅. 地方财政农业支出与区域农业经济增长——基于东、中、西部地区面板数据的实证研究. *中国软科学*, 2009(1) : 182~188
122. 李晓嘉. 财政支农支出与农业经济增长方式的关系研究——基于省际面板数据的实证分析. *经济问题*, 2012(1) : 68~72
123. 刘佳, 余国新. 地方财政支农支出对农业技术效率影响分析——基于随机前沿分析方法. *中国农业资源与区划*, 2014, 35(5) : 129~134
124. 刘天福. 农业技术经济要向外向型领域研究进行战略开拓. *数量经济技术经济研究*, 1990(11) : 56~60
125. 刘志澄. 农业科技成果要尽快转化为生产力. *农业经济问题*, 1985(10) : 7~11
126. 刘志澄. 实现科技兴农的关键是加快科技成果的推广. *农业经济问题*, 1991(4) : 7~8
127. 罗必良. 农户分工及专业化专题研究. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2015(2) : 1
128. 吕新业, 苗延博, 田德录. 政府科技资助对农业上市公司研发支出的实证研究. *中国科技论坛*, 2012(11) : 110~116

129. 马恒运,王济民,刘威,等. 我国原料奶生产 TFP 增长方式与效率改进——基于 SDF 与 Malmquist 方法的比较. 农业技术经济, 2011 (8): 18~25
130. 毛世平. 技术效率理论及其测度方法. 农业技术经济, 1998(3): 37~41
131. 牛若峰,何桂庭. 农业科学研究经济效果的测定方法初探. 中国农业科学, 1982, 15(3): 89~94
132. 牛若峰,何桂庭,朱希刚,曹世杰. 农业科学技术研究和利用的经济评价. 农业出版社, 1985
133. 钱文荣,郑黎义. 劳动力外出务工对农户农业生产的影响——研究现状与展望. 中国农村观察, 2011 (1): 31~38
134. 仇焕广,刘乐,李登旺,等. 经营规模,地权稳定性与土地生产率. 中国农村经济, 2017(6): 30~42
135. 任力. 经济增长中的技术进步机制: 基于理论变迁的研究. 上海社会科学院出版社, 2014
136. 沈达尊. 略论农业技术经济效果的数量分析. 社会科学辑刊, 1982(4): 57~62
137. 沈达尊. 农业生产经济效益的评价——第三讲,农业科学技术经济效益的评价. 湖北农业科学, 1983(12): 34~37
138. 孙中才. 农业技术进步趋势分析. 农业技术经济, 1994(5): 8~10
139. 万泽璋,顾焕章,张景顺. 农业技术经济基础. 辽宁人民出版社, 1985
140. 王珏,宋文飞,韩先锋. 中国地区农业全要素生产率及其影响因素的空间计量分析——基于 1992—2007 年省域空间面板数据. 中国农村经济, 2010(8): 4~35
141. 王明利,吕新业. 我国水稻生产率增长、技术进步与效率变化. 农业技术经济, 2006(6): 24~29
142. 王晓东. 列宁对马克思再生产理论的卓越贡献. 马克思主义研究, 1986(2): 151~166
143. 王擎,魏朗,张期翔. 财政支农支出对西部农业经济可持续发展的实证分析. 生态经济, 2007(11): 127~130
144. 王子军,吴敬学. 中国小麦生产的技术进步模式研究. 农业技术经济, 2006(5): 68~72
145. 吴方卫. 农业技术进步的概念、度量及其存在问题. 农业技术经济, 1996(2): 31~35
146. 谢玲红,毛世平. 中国涉农企业科技创新现状、影响因素与对策. 农业经济问题, 2016(5): 87~96
147. 许经勇. 马克思农业科学技术进步理论初探. 当代经济研究, 2007(12): 1~5
148. 俞培果,蒋葵. 农业科技投入的价格效应和分配效应探析. 中国农村经济, 2006 (7): 54~62
149. 叶初升,惠利. 农业财政支出对中国农业绿色生产率的影响. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2016, 69(3): 48~55
150. 袁飞. 试论农业技术经济效果. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 1981(1): 85~95
151. 袁飞. 论农业技术经济效益指标体系. 农业现代化研究, 1982, 3(2): 32~34
152. 赵芝俊,袁开智. 中国农业技术进步贡献率测算及分解: 1985—2005. 农业经济问题, 2009(3): 28~36
153. 郑旭媛,徐志刚. 资源禀赋约束、要素替代与诱致性技术变迁——以中国粮食生产的机械化为例. 经济学(季刊), 2017(1): 49~70
154. 曾福生,匡远配. 论制度创新与农业技术进步. 农业技术经济, 2001(6): 13~18
155. 展广伟. 农业技术经济学. 中国农业出版社出版, 1981
156. 展广伟. 农业技术经济学. 中国人民大学出版社, 1986a
157. 展广伟. 试论农业技术经济效果的评价标准. 农业技术经济, 1986b(4): 41~43
158. 郑大豪. 农业技术产业化及其成果与服务的价格问题. 农业技术经济, 1999(3): 1~4
159. 朱甸余. 关于农业现代化几个经济问题的探讨. 新疆农业科学, 1980(1): 3~8
160. 朱甸余. 深入研究农业技术经济学科的几点浅见. 农业技术经济, 1988(2): 6~7
161. 朱希刚. 我国农业技术进步作用测定方法的研究和实践. 农业技术经济, 1984(6): 37~40
162. 朱希刚. 刘延风. 我国农业科技进步贡献率测算方法的意见. 农业技术经济, 1997(1): 17~23
163. 朱希刚. 技术创新是我国农业技术进步的主攻方向. 农业经济问题, 1991(4): 9~10
164. 朱希刚. 农业技术进步及其“七五”期间内贡献份额的测算分析. 农业技术经济, 1994(2): 2~10
165. 朱希刚. 我国“九五”时期农业科技进步贡献率的测算. 农业经济问题, 2002(5): 12~13
166. 朱希刚. 我国农业技术进步与体制改革. 农业科研经济管理, 1998(4): 8~10

70 Years of Technological Progress in China's Agricultural Sector

GONG Binlei, ZHANG Shurui, WANG Shuo, YUAN Lingran

Abstract: Agricultural technological progress has played an important role in ensuring national food

security and promoting long-term sustainable development of agriculture and the whole economy in China. The theory of technological progress can be traced back to Smith's thought of division of labor to promote economic growth. In the 1950s, neoclassical growth theory began to quantify and measure the rate of technological progress, and then the endogenous growth theory improved the estimation method. In the field of agriculture, induced innovation theory, agricultural treadmill theory, human capital theory, and stage theory of agricultural development all try to explain the relationship between technological progress and agricultural growth. In the measurement of agricultural technological progress, there are four methods: Solow residual method, index method, data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. In the past 70 years, scholars have conducted a lot of empirical research on agricultural technological progress and its contribution to agricultural growth based on different methods. Future studies can put more effort on the connection between theoretical and empirical studies, the selection of methodologies, and the measurement of inputs and outputs.

Keywords: Agricultural technological progress; Economic growth theory; Agricultural production function; Agricultural total factor productivity

责任编辑: 吕新业