(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

中国粮食种植业 TFP 增长率及其演进趋势：1980—2018*

郑志浩[1,2] 程 申[1]

摘要：研究改革开放以来中国粮食种植业 TFP 增长率，了解粮食种植业 TFP 增长率及其时序变动趋势，有助于准确判断中国粮食种植业的可持续发展状况。本文基于 1980—2018 年省级面板数据的研究发现，中国粮食种植业 TFP 表现为加速增长模式，粮食种植业的 TFP 年均增长率为 1.42%，技术进步而非技术效率推动了粮食种植业 TFP 增长，粮食种植业产出增长主要源于 TFP 的增长贡献。小麦的 TFP 表现为恒速增长模式，稻谷和玉米的 TFP 则呈现为先下降后上升的“U 型”模式，小麦、稻谷和玉米的 TFP 年均增长率分别为 1.69%、0.33%和 1.30%。技术进步促进了小麦、稻谷和玉米的 TFP 增长，技术效率对小麦 TFP 增长有推动作用，对稻谷和玉米 TFP 增长则有延缓作用。小麦产出增长主要源于 TFP 的增长贡献，稻谷和玉米产出增长则更多地源于投入要素驱动。2000 年后的粮食种植业和玉米的 TFP 增长率显著高于 2000 年前，小麦的 TFP 增长率于 2000 年前后没有发生显著变化，2000 年后稻谷的 TFP 增长率则显著低于 2000 年前。中国粮食种植业 TFP 增长率依然有较大的上升空间，提高稻谷和玉米的 TFP 增长率，不仅有助于促进这两种作物的产出快速增长，而且会进一步加快粮食种植业产出和 TFP 的增长速度。

关键词：TFP 增长率　演进趋势　粮食种植业　随机前沿生产函数

中图分类号：F326.1　　**文献标识码：**A

一、引言

改革开放以来，中国粮食综合生产能力不断提高，粮食产量从 1978 年的 3.05 亿吨提高到 1998 年的 5.12 亿吨，再提高到 2018 年的 6.58 亿吨。尽管中国粮食产量在过去 40 年间存在一定幅度的波动，但依然在农业劳动力大量转移的情况下以年均 1.94%的速度增长①。中国粮食综合生产能力稳步上升，

*本文研究受教育部人文社会科学研究规划基金项目（编号：13YJA790162）和中国农业大学 2115 人才工程的资助。感谢马红旗、陈祁晖、三位匿名评审人的中肯意见和有益建议，文责自负。

①1952—1978 年，全国粮食产量年均增长率为 2.4%（Lin，1992），高于改革开放 40 年来的年均增长率，但这一较高的增长率是通过扩张耕地面积和增加劳动投入的外延式增长方式取得的。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

粮食供给日益丰富，不仅为中国经济社会发展奠定了坚实基础，也对全球粮食安全做出了重大贡献（国务院发展研究中心课题组等，2009）。

中国粮食产量的提升主要源于生产要素驱动和全要素生产率（total factor productivity，TFP）增长。随着工业化、城市化推进，中国的耕地面积呈现缩小趋势，特别是经济发达省份和城市郊区，水田和高产旱地非农化、非粮化现象突出。水资源供需矛盾尖锐，农业用水总量短缺，淡水资源约束加大。同时，化肥的过量使用不仅导致化肥边际生产率下降（Chen et al.，2008），而且致使现有的耕地地力减弱和生态环境恶化（Liu et al.，2013）。可见，耕地和水资源紧缺以及环境恶化给粮食生产带来了挑战，要素驱动的粮食产出增长方式受到了越来越大的制约，实现“口粮绝对安全、谷物基本自给”和粮食种植业可持续发展的战略目标将更多地依赖粮食全要素生产率的提升。开展粮食种植业TFP增长率研究，了解改革开放以来中国粮食种植业TFP的变动轨迹，有助于准确判断改革开放40年来中国粮食种植业产出增长的质量状况，为促进农民增产增收和有效保障国家粮食安全提供理论依据和政策启示。

20 世纪 80 年代末以来，探讨中国农业产出增长源泉成为重要的研究话题，有关农业 TFP 方面的研究文献众多。代表性文献包括 McMillan et al.（1989）、Fan（1991）、Lin（1992）、Wen（1993）、Huang and Rozelle（1996）、Fan and Pardey （1997）、Zhang and Carter（1997）、Colby et al.（2000）、Jin et al.（2002）、Brummer et al.（2006）、Chen et al.（2008）、Rae et al.（2006）、Jin et al.（2010）、Wang et al.（2013）、李谷成等（2014）、Gautam and Yu（2015）、Gong（2018a）、王璐等（2020）。上述研究主要采用平均生产函数（Conventional Production Function）、随机前沿生产函数、Tornqvist-Theil 指数法和数据包络分析法估计农业 TFP 增长率，并讨论农村制度变迁、农业科技投资、农业财政支持以及气候因素等对农业产出和 TFP 增长率的影响。绝大多数研究文献聚焦于农业或者单一粮食作物品种（稻谷、小麦、玉米、大豆等）的 TFP 增长率问题，除个别研究外（Zhang and Carter，1997），鲜有文献关注粮食种植业（即粮食作物总体）的 TFP 增长率问题。

改革开放 40 年来中国经济高速增长，城乡居民的生活水平迅速提高，居民的食物消费结构发生了巨大变化，谷物类食品比重下降，动物性食品、水果、蔬菜等副食品比重急剧上升，推动了农业结构的变化。林牧渔业产值占农林牧渔业总产值的比重由 1978 年的 20%上升至 2018 年的 41%，农业（即种植业）产值比重则由 1978 年的 80%下降至 2018 年的 54%。与此同时，种植业内部的蔬菜、水果种植面积和产值比重迅速上升，粮食种植面积和产值比重则不断下降。如果说 20 世纪 90 年代中期前的农业 TFP 增长率研究结果依然对粮食种植业有代表性的话，那 20 世纪 90 年代中期之后特别是进入 21 世纪的农业 TFP 增长率研究结果已经不能准确反映粮食种植业 TFP 增长率变动状况。尽管粮食作物品种 TFP 增长率研究结果有助于揭示单一品种粮食作物的可持续发展状况，但不能准确反映改革开放 40 年来的粮食种植业 TFP 增长率变动全貌。鉴于此，本文的第一个目标在于估计改革开放以来中国粮食种植业的 TFP 增长率、技术进步（technological change，TC）率和技术效率（technical efficiency，

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

TE）变化率[①]。为了更全面地了解粮食种植业的 TFP 增长率变动状况，本文同时估计主要粮食作物品种（稻谷、小麦、玉米）的 TFP 增长率及其分解指标（即 TC 和 TE 的变化率）。

已有研究对 20 世纪 90 年代末以来中国农业 TFP 增长率变动状况的分析结论存在分歧。一些研究结果显示，农业 TFP 增长率在 20 世纪 90 年代末达到顶峰，随后逐渐衰退（Dekle and Vandenbroucke，2010；Wang et al.，2013）；另外一些研究结果表明，农业 TFP 增长率实际上于 20 世纪 90 年代末就显著萎缩了，随后开始反弹而不是下降（Chen et al.，2008；Zhou and Zhang，2013）[②]。2004 年以来，随着一系列支持粮食生产的重大政策措施实施，农业基础设施建设投资和科技投入迅速增加，使得中国粮食种植业产出增长速度发生了变化。然而，针对 2004 年以来农业 TFP 增长率变动的研究文献数量较少，有关农业 TFP 增长势头问题的研究结论也不一致。Wang et al.（2013）认为农业 TFP 增长停滞，Zhou and Zhang（2013）认为农业 TFP 加速增长，Gautam and Yu（2015）和 Gong（2018a）则认为农业 TFP 低速增长。保持较高的农业 TFP 增长率是确保中国农业在世界市场上保持竞争力的关键，了解中长期农业或农业子部门的 TFP 增长率变动状况有重要的理论和政策意义（Andersen et al.，2018），有必要沿着上述研究思路，将粮食种植业 TFP 的变动状态（即增长、停滞或衰退）和 TFP 增长率变动速度（即加速、恒速或减速）作为一个研究问题加以严谨探究。鉴于此，本文的第二个目标在于识别改革开放以来中国粮食种植业和主要粮食作物（稻谷、小麦、玉米）TFP 增长率的演进趋势。

中国是一个人口众多、耕地相对稀缺、水资源分布不均的国家，保障粮食安全始终是关系国计民生的重要目标。2012年以来，伴随着粮食产量的连年增长，粮食进口量和库存量也同步迅速增长，出现了粮食产量、进口量、库存量“三量齐增”问题。该问题表面上反映了农产品供求的结构性矛盾，更深层次上则揭示了中国粮食种植业缺乏国际竞争力的问题。从长远看，中国粮食供求关系仍然处于紧平衡状态，保障国家粮食安全的压力依然没有减轻。确保14亿人的饭碗牢牢端在自己手上，保持粮食增产稳产提质，既是新时代国家粮食安全战略的具体内涵，也是中国国家经济安全的长期目标。特别是当前全球化逆流涌动，国际经济环境的复杂性和不确定性增加，粮食的战略资源属性愈发凸显，粮食安全的重要性更为突出。党的十九大明确提出“推动经济发展质量变革、效率变革、动力变革，提高全要素生产率”。开展改革开放以来中国粮食种植业和主要粮食作物品种的TFP增长率研究，回答粮食种植业和主要粮食作物的TFP增长率及其分解指标是多少，粮食种植业和主要粮食作物的产出增长主要来自于要素驱动还是TFP提升，粮食种植业和主要粮食作物的TFP增长率表现出怎样的时序变动趋势等问题，不仅有助于识别中国粮食种植业可持续发展的动力源泉和障碍因素，而且有助于准确

[①]技术进步（TC）表示生产前沿面或技术水平面的移动，意味着同等数量的要素投入会获得更多的产出，其是否随时间移动及其大小可以揭示技术创新状况。技术效率（TE）用于测度实际产出与最大可能性产出之间的距离，以衡量生产者在给定技术和要素投入水平下实现最大产出的能力。全要素生产率（TFP）定义为总产出相对于全部加权要素投入量的比率。TFP 增长率等于产出增长率减去投入要素增长率，可以分解为技术进步率和技术效率变化率。TFP 增长率实际上度量的是技术进步和技术效率对产出的贡献（Wen，1993；Kalirajan et al.，1996）。

[②]有关中国农业 TFP 增长率研究的详细综述见 Gong（2018a）。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

判断未来国内粮食的供给安全状况。

本文的贡献主要体现在以下两个方面：第一，基于历年《全国农产品成本收益资料汇编》的亩均粮食作物产量、劳动用工和资本投入等投入产出数据，结合历年《中国农业年鉴》的粮食作物播种面积数据，构建 1978—2018 年粮食种植业和主要粮食作物品种（稻谷、小麦和玉米）的省级投入产出面板数据，开展粮食种植业和主要粮食作物品种（稻谷、小麦和玉米）的 TFP 增长率研究。将粮食种植业作为研究对象，既反映了粮食这一加总农产品的重要性，也有助于对粮食种植业 TFP 增长率问题的综合分析[①]。囿于粮食种植业生产要素投入数据的缺乏，已有研究多聚焦于主要粮食作物品种的 TFP 增长率问题，关于粮食种植业 TFP 增长率的研究相对不足，构建粮食种植业和主要粮食作物品种投入产出的省级面板数据，开展粮食种植业和粮食种植业内部主要作物品种的 TFP 增长率研究，有助于加强对粮食种植业可持续发展状况的全面认识。

第二，粮食种植业和主要粮食作物品种的 TFP 增长率时序变动趋势，即改革开放 40 年来中国粮食种植业和主要粮食作物 TFP 是处于增长、停滞还是衰退状态以及 TFP 是呈加速、恒速还是减速变动，直接关系到国家对粮食种植业可持续发展状况的判断。本文基于构建的 1978—2018 年省级面板数据，利用计量分析方法，识别改革开放 40 年来粮食种植业和主要粮食作物品种的 TFP 增长率时序变动趋势，不仅有助于明晰改革开放 40 年来粮食种植业 TFP 的增长潜力，而且能增添 20 世纪 90 年代末以来中国农业 TFP 增长率走高还是走低问题的新证据。

二、数据来源与说明

本文研究所用数据主要来源于多本统计年鉴，在这些年鉴提供的原始数据基础上，构建 1978—2018 年全国省级粮食种植业和主要粮食作物品种（稻谷、小麦、玉米）的投入产出数据。

粮食投入产出数据为 1978—2018 年全国 24 个省份的面板数据（海南并入广东、重庆并入四川，未包括北京、天津、上海、西藏、青海）。分品种粮食作物播种面积来自历年《中国农业年鉴》。分品种粮食作物亩均单产、劳动用工量（工日）、资本投入量（物质与服务费用）来自历年《全国农产品成本收益资料汇编》。由于《全国农产品成本收益资料汇编》未记录相关省份“小品种”粮食作物的亩均单产、劳动用工量和资本投入量，本文首先计算出有“小品种”作物记录省份的“小品种”粮食作物的亩均单产、劳动用工量和资本投入量，将这三个指标的平均数视为没有记录省份的“小品种”

[①]按照 Benton（1961）提出的 TFP 增长率分解方法，粮食种植业 TFP 增长率可以分解为部门增长效应（即作物品种 TFP 增长率的加权之和）和结构效应（即种植结构变动引致的要素在作物品种间重新配置带来的 TFP 增长率变化），而非粮食作物品种 TFP 增长率的简单加权合计数。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

粮食作物的亩均单产、劳动用工量和资本投入量[①]；然后，将分品种粮食作物亩均单产、劳动用工量、资本投入量与对应作物品种的播种面积相乘，获得分品种粮食作物的总产量、劳动用工总量和资本投入总量；最后，将各省份的全部粮食作物品种的产量、劳动用工量和资本投入量加总得到各省份总的粮食产量（万吨）、劳动用工量（万工日）和资本投入量（万元）。

粮食是由多品种作物构成的加总产品，需要利用价格将产量调整为产值。本文按照 Lin（1992）的做法，采用 1985 年的粮食作物生产者价格乘以各省份对应的作物品种产量（早籼稻、中籼稻、晚籼稻、粳稻、小麦、玉米、大豆、高粱、谷子和马铃薯），将粮食产量统一调整为 1985 年价格水平的价值量（万元）。同时，本文基于 1985 年为基期的各省农业生产资料价格指数对资本价值量进行平减。除投入产出指标外，本文其他变量指标来源如下：农作物受灾面积、农作物播种面积、粮食价格指数、农业生产资料价格指数均来自历年《中国统计年鉴》和《中国农村统计年鉴》，粮食生产的雇工价格来自历年《全国农产品成本收益资料汇编》。

稻谷、小麦和玉米是最主要的粮食作物，这三种作物播种面积占粮食播种面积总量的比重由 1978 年的 69%上升到 2018 年的 83%。按照 2018 年《全国农产品成本收益资料汇编》收录的小麦和玉米种植省份名单，本文确定了全国 15 个小麦种植省份、19 个玉米种植省份。对于《全国农产品成本收益资料汇编》收录的早籼稻、中籼稻、晚籼稻和粳稻种植省份，本文按照 2018 年各省稻谷产量对其排序，将稻谷产量低于 70 万吨或稻谷产量占粮食产量的比重低于 0.35%的省份剔除，最终确定了 21 个稻谷种植省份。稻谷、小麦、玉米的产出衡量单位均为产量（万吨）。

采用生产函数估计全要素生产率，必然涉及到要素投入如何度量的问题。在新古典生产理论中，资本是即时生产能力的概念，资本在生产过程中所提供的是服务流而不是存量（郑玉歆，1998）。同样，劳动力指标应该是实际从事作物生产的用工量而非劳动力人数。本文从《全国农产品成本收益资料汇编》中获得的粮食生产资本投入量和劳动用工量数据，能够准确地反映资本和劳动力对粮食产出的贡献。Lin（1992）的研究显示，1978—1984 年中国种植业劳动力人数增长了 14.7%，而本研究发现同期粮食生产的劳动工日减少了 48.3%。可见，采用劳动人数来度量劳动用工量会高估劳动力对农业产出的贡献（Colby et al.，2000）。

图 1 展示了 1980—2018 年中国粮食种植业和主要粮食作物（稻谷、小麦和玉米）产出指数变动情况。粮食种植业、稻谷、小麦和玉米产出的年均增长率，1980—2000 年分别为 1.46%、0.96%、2.41%

[①]《农产品成本收益资料汇编》收录的粮食品种：早籼稻 9 省、中籼稻 10 省、晚籼稻 9 省、粳稻 15 省、小麦 20 省、玉米 21 省、大豆 12 省、高粱 3 省、谷子 5 省，马铃薯为 9 个省会城市的数据。没有收录的作物品种往往是该省份的“小品种”作物，如山东省有玉米和小麦的记录，但没有稻谷记录，那么稻谷对于山东省来说就是“小品种”作物，其稻谷的单产、劳动用工量和资本投入量就是有稻谷记录省份的均值。另外，本文采用《农产品成本收益资料汇编》中的粮食作物品种单产数据（而非《中国农业年鉴》中的数据），主要是为了使粮食作物品种单产与要素使用量来自于同一样本调查数据，从而确保作物品种单位面积产出与要素投入的一致性。采用《中国农业年鉴》中的粮食作物单产数据估计出的粮食种植业 TFP 增长率与本文结果稍有差异，但不影响本文的研究结论。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

和 2.25%，2000—2018 年分别为 1.95%、1.06%、1.31%和 5.59%，1980—2018 年分别为 1.69%、1.01%、1.89%、3.82%。可见，玉米产量的快速提升对中国粮食种植业产出增长的贡献最大。另外，本文的粮食种植业和主要粮食作物（稻谷、小麦、玉米）没有涵盖全国所有省份，同时单产数据来自《全国农产品成本收益资料汇编》，因此，本文的粮食种植业、稻谷、小麦、玉米产出年均增长率数字与官方统计数字[①]有一定的出入，但两者展示的增长趋势基本一致。

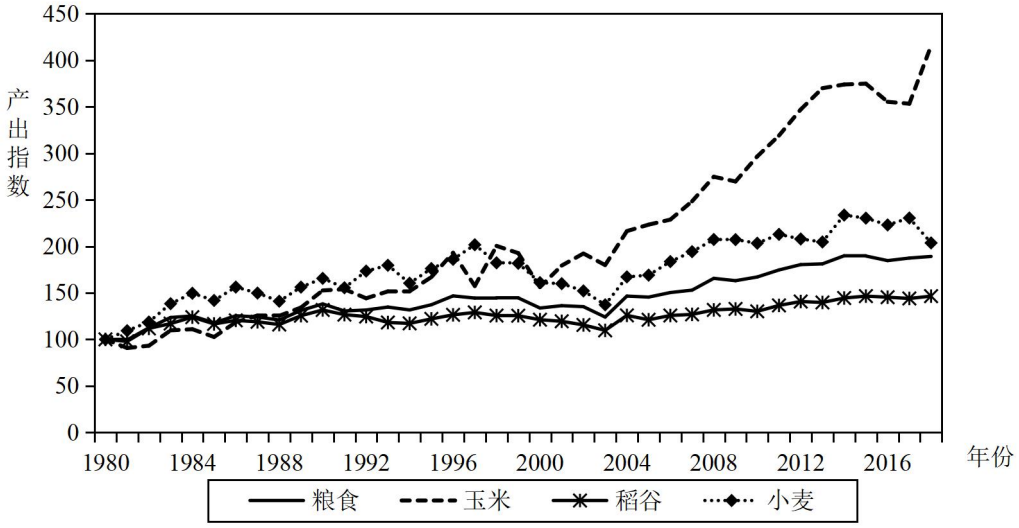

图 1　1980—2018 年粮食种植业和主要粮食作物产出指数变动情况（1980=100）

图 2 展示了 1980—2018 年中国粮食种植业的播种面积、劳动用工量以及资本投入量走势。1980—2018 年，全国粮食播种面积呈现先下降后上升的态势，其中，1980—2003 年粮食播种面积年均减少 0.67%，2003—2018 年年均增长 1.10%。全国粮食播种面积扩张主要与 2004 年以来部分边疆省份和粮食主产省份的粮食播种面积扩大有关，特别是产粮大省播种面积的扩张，使过去 40 年来粮食主产省的粮食播种面积以年均近 0.1%的速度增长。从主要粮食作物的播种面积看，1980—2018 年，稻谷和小麦播种面积年均分别下降 0.28%和 0.30%，玉米播种面积年均增长 2.00%。可见，玉米总产量的迅速增长与其播种面积的快速扩张高度相关。

与播种面积先下降后上升的态势不同，粮食生产中的劳动用工量呈现剧烈下降趋势，1980—2018 年粮食劳动用工量年均减少 4.40%，其中 1980—2000 年劳动用工量年均减少 4.46%，2000—2018 年年均减少 4.36%。与劳动用工量的下降趋势相反，粮食生产中的资本投入量则呈现出上升态势，1980—2018 年粮食资本投入量年均增长 2.20%，其中 1980—2000 年资本投入量年均增长 2.03%，2000—2018 年年均增长 2.49%。从主要粮食作物的劳动用工量和资本投入量看，1980—2018 年，稻谷、小麦和玉米的劳动用工总量年均下降 4.93%、5.01%和 2.11%；稻谷、小麦和玉米的资本投入量年均增长 2.16%、

[①]《中国农村统计年鉴—2020》显示，1980—2018 年，粮食、稻谷、小麦和玉米的全国总产量年均增长率分别为 1.91%、1.10%、2.31%和 3.79%。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

2.01%和 4.41%。总体上看，随着劳动用工成本不断提高，粮食劳动用工量迅速下降，而代表机械技术和生物技术的资本投入量迅速上升，中国粮食种植业生产要素投入结构基本循着诱致性技术变迁理论刻画的路径演进（Colby et al.，2000），粮食种植业逐渐由劳动密集型产业变为资本密集型产业。

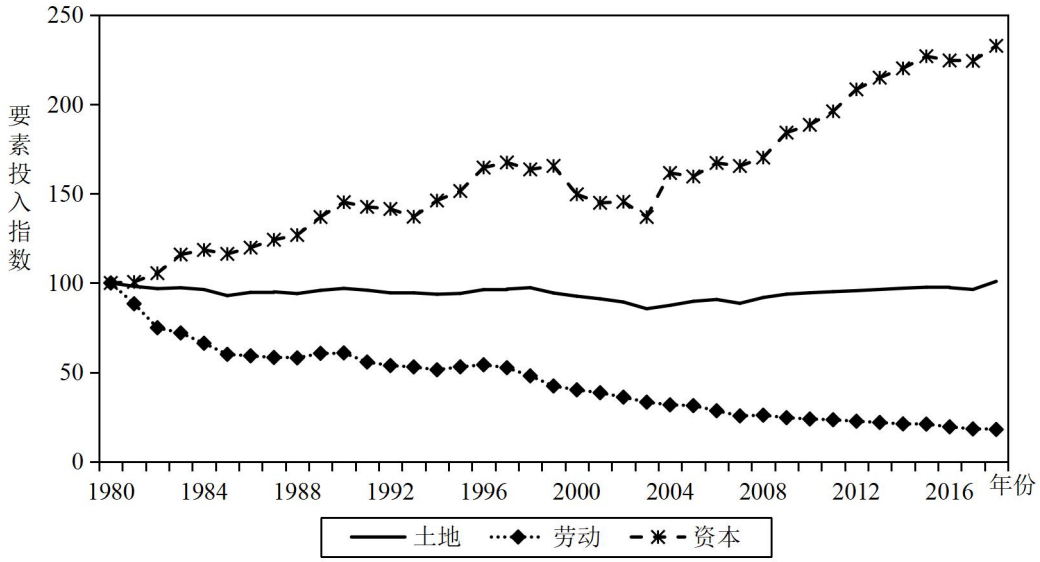

图 2　1980—2018 年粮食种植业投入要素指数变动情况（1980=100）

三、研究方法

（一）实证模型

本文通过两个步骤展开分析：首先，估计随机前沿生产函数，基于取得的参数估计值测算粮食种植业和主要粮食作物的 TFP 增长率及其分解指标；然后，根据取得的粮食种植业和主要粮食作物的 TFP 估计值，建立以 $\ln(TFP)$ 为因变量的多项式时间趋势回归模型，分析改革开放 40 年来粮食种植业和主要粮食作物 TFP 增长率的时序变动趋势。

1.*随机前沿生产函数*。随机前沿生产函数描述的是一定量投入要素组合与最大理想产出量之间的关系，即一组要素投入量对应的“最大”生产能力。截面数据随机前沿生产函数一般式为：

$$\begin{aligned}\ln y_i &= \ln f(X_i) + v_i - u_i \\ &= \alpha + \beta \ln X_i + v_i - u_i\end{aligned} \tag{1}$$

其中，y_i 指实际产出量，$f(\cdot)$ 为潜在产出值，X_i 表示投入要素向量。v_i 是经典白噪声项，$v_i \sim N(0,\sigma_v^2)$；α 和 β 表示待估参数；u_i 表示技术非效率项，根据不同的模型设定而服从不同的分布，包括半正态分布、指数分布、非负断尾正态分布以及 Gamma 分布[①]。

基于（1）式框架，Pitt and Lee（1981）首先将截面数据的随机前沿函数拓展为技术非效率项非时变的面板数据随机前沿生产函数。面板数据随机前沿生产函数一般式为：

[①]见 Belotti et al.（2013）对随机前沿生产函数的介绍。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\ln y_{it} = \alpha + \beta \ln X_{it} + v_{it} - u_i \tag{2}$$

其中，$v_{it} \sim N\left(0, \sigma_v^2\right)$，技术非效率项$u_i$服从半正态分布。为解决技术非效率项的时变问题，Battese and Coelli（1992）（简称 bc92）将u_{it}设定为$u_{it} = \left\{\exp\left[-\eta\left(t-T\right)\right]\right\} u_i$，其中$\eta$表示待估参数，$u_i$为服从独立同分布的非负断尾正态分布的随机项，即$u_i \sim N\left(u, \sigma^2\right)$；Battese and Coelli（1995）（简称 bc95）将（2）式误差项设为$\varepsilon_{it} = v_{it} - u_{it}$，且$u_{it} = z_{it}\delta + w_{it}$，其中$z_{it}$表示影响技术非效率的外生变量，$\delta$表示相应的参数向量，$w_{it}$为服从均值为 0、方差为$\sigma^2$的独立正态分布的非观察到的随机项[①]。

超越对数生产函数（trans-log）是目前估计 TFP 增长率最通行的生产函数形式，与常用的柯布-道格拉斯生产函数相比，超越对数生产函数更具一般性。它不受替代弹性不变假定的约束，是任何形式生产函数的二阶泰勒近似。同时，不同于柯布-道格拉斯函数估计的产出弹性恒定不变，基于超越对数生产函数估计的产出弹性随时间变化，可以更准确地估计 TFP 增长率。本文采用的超越对数形式的随机前沿生产函数式为：

$$\begin{aligned}\ln y_{it} = {} & \alpha_0 + \sum\nolimits_j \beta_j \ln X_{jit} + \beta_t T + \frac{1}{2}\sum\nolimits_j \sum\nolimits_k \beta_{jk} \ln X_{jit} \ln X_{kit} \\ & + \frac{1}{2}\beta_{tt} T^2 + \sum\nolimits_j \beta_{jt} \ln X_{jit} T + v_{it} - u_{it}\end{aligned} \tag{3}$$

其中，ln 表示自然对数形式；i表示省份；t=1980,⋯, 2018，表示涵盖的年份[②]；y_{it}表示分省产出；X_j表示投入要素，包括播种面积、劳动用工量和资本投入量；时间趋势T表示中性的技术进步；v_{it}是经典白噪声项，$v_{it} \sim N\left(0, \sigma_v^2\right)$；$u_{it}$表示技术非效率项，相应的技术效率定义为$\exp\left(-u_{it}\right)$。根据模型的拟合状况，本文采用 bc95 模型估计小麦生产函数，采用 bc92 模型分别估计粮食种植业、稻谷和玉米生产函数[③]。

基于（3）式，相应的 TFP 近似公式可表述为[④]：

$$\ln\left(TFP_{it}\right) \approx \left(\alpha_0 + \beta_t T + 0.5\beta_{tt} T^2 + v_{it}\right) + \sum\nolimits_j \beta_{jt} \ln X_{jit} T - u_{it} \tag{4}$$

对（4）式关于时间t求偏导，TFP 增长率及其构成如下：

[①]bc（95）模型是 bc（92）模型的升级版，其优势在于可以直接估计外生变量对技术效率的影响。本文目标不在于了解外生变量对技术效率的影响，因而没有施加外生变量，但技术效率估值结果是相同的。

[②]1978—1979 年数据用于纠正生产要素的内生性问题，因此估计生产函数所用数据起始于 1980 年。

[③]本文所用数据除不支持 Greene（2005）模型外，也不支撑 Cornwell et al.（1990）和 Kumbhakar（1990）模型。

[④]有些研究（Kumbhakar，2000）未将随机前沿函数中的误差项纳入到 TFP 中，但索罗的新古典生产理论中 TFP 包含误差项（Solow，1957）。由于本文的生产函数没有像 Lin（1992）那样施加除要素和时间外的其他变量，因此采用 Fan（1991）的做法，将误差项纳入到 TFP 中。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\Delta \ln(TFP_{it}) = \left(\beta_t + \beta_{tt}T + \frac{\partial v_{it}}{\partial t}\right) + \sum_j \beta_{jt} \ln X_{jit} - \frac{\partial u_{it}}{\partial t} \quad (5)$$

（5）式中，第一项为中性技术进步率，第二项为有偏的技术变革率（即用丰裕的资源替代稀缺的资源），两者之和就是技术进步率；第三项为技术效率变化率（Fan，1991）。

2.TFP 时间趋势回归模型。TFP 自然对数 $\ln(TFP)$ 关于时间的一阶偏导（$\partial \ln(TFP_{it})/\partial t$）就是 TFP 年增长率，因此，拟合 $\ln(TFP)$ 的时间趋势线，可以观察 TFP 增长率的时序变动趋势。本文借鉴 Andersen et al.（2018）采用的多项式时间趋势回归模型（polinomial trend regression model）来判断改革开放 40 年来中国粮食种植业和主要粮食作物 TFP 增长率的时序变动趋势，进而明晰进入 21 世纪以来中国粮食种植业 TFP 是处于增长、停滞还是衰退状态以及 TFP 是呈加速、恒速还是减速变动。

本文采用的时间趋势回归模型设定如下：

$$\ln(TFP_{it}) = b_0 + \sum_{k=1}^{m} b_k t^k + \delta dis_{it} + \theta_i + v_{it} \quad (6)$$

其中，t 表示年份；$k=1,\cdots,m$，m 的具体数字取决于模型的拟合结果；dis_{it} 为受灾面积占农作物播种面积的比重；θ_i 表示省级固定效应；b_k 和 δ 分别表示时间 t 和 dis_{it} 的待估参数；v_{it} 为误差项。采用上述模型的目的是根据时间 t 次方（即 t、t^2、t^3 等）及其参数估值判断 TFP 年增长率（$\partial \ln(TFP_{it})/\partial t$）与时间 t 的关系，进而判断 TFP 年增长率随时间变动状况。

（二）估计方法

生产者会根据影响生产效益的信息作出要素投入决策，因此随机前沿生产函数中的个别要素或全部要素可能与函数的误差项或技术非效率项存在关联，进而导致估计出来的要素参数和技术效率存在偏误（Ackerberg et al.，2015）。粮食种植业中既与粮食生产效益有关联，又与投入要素有关联的因素主要是环境因素和生产者个人能力因素。例如，农户会根据土壤肥力状况或者水源状况来决定生产要素的投入量；又如，农户会根据家庭劳动力的年龄和身体状况确定要素投入量。由于无法将上述影响粮食生产效益和要素投入决策的环境因素和个人能力因素反映在模型设定中，生产函数误差项和技术非效率项与生产要素存在同步性问题。

本文采用 Amsler et al.（2016）建议的两阶段最小二乘残差嵌入方法（residual inclusion method）解决超越对数随机前沿生产函数的内生性问题。第一阶段构建要素需求方程，取得相应要素需求方程的残差项估值；第二阶段将要素需求方程残差项估值视为外生变量嵌入到超越对数随机前沿生产函数中回归。该方法不仅直接纠正了随机前沿生产函数中的内生性问题，而且根据要素方程残差项参数的显著性水平可以判断生产函数中的生产要素是否存在内生性问题。第一阶段要素需求方程解释变量包括要素价格和滞后的要素投入量，其中，作为工具变量的要素投入量滞后期必须足够长才能阻断要素投入决策的依赖性和时间序列相关性的冲击。本文借鉴 Gong（2018a）的做法，将要素投入量滞后两期。具体来说，播种面积需求函数的解释变量由滞后一期的粮食价格指数与生产资料价格指数比率、滞后两期的被解释变量、时间以及省级虚拟变量构成，劳动用工需求模型的解释变量则由滞后一期的粮食价格与当期雇工工资比率、滞后两期的被解释变量、时间以及省级虚拟变量构成。由于资本是平减后

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的价值量，无法采用资本价格变量，借鉴 Gong（2018b）的做法，资本需求模型的解释变量由滞后两期的三种要素投入量、时间以及省级虚拟变量构成。由于要素变量滞后了两期，因此估计的随机前沿函数时间跨度变为 1980—2018 年。

本文采用最大似然估计法分别估计粮食种植业、稻谷、小麦和玉米的随机前沿函数，采用聚类标准误法（Cluster-Robust standard errors）取得一致性的参数估值标准误估计量。回归结果显示，粮食种植业随机前沿函数的全部三个要素需求函数残差项、三种粮食作物随机前沿函数的各至少一个要素需求函数残差项，均显著不等于零，Wald 检验结果拒绝了粮食种植业和主要作物生产要素外生性的原假设。Wald 检验结果显示，超越对数生产函数中的时间和要素平方项、要素交叉项以及要素时间交叉项等于零的原假设被拒绝，表明超越对数生产函数优于柯布-道格拉斯函数。另外，Wald 检验结果拒绝了无技术进步的原假设，即粮食种植业和主要作物产出增长均有技术进步的贡献。最后，全部四个随机前沿函数的技术非效率项方差和标准差均显著大于白噪音项的方差和标准差，即全部随机效应随机前沿生产函数的γ（$\gamma=\sigma_u^2/\left(\sigma_u^2+\sigma_v^2\right)$）都大于 0.5，说明误差主要来源于技术非效率项而非不可控制随机因素导致的白噪声，采用随机前沿生产函数模型优于平均生产函数模型。可见，纠正了要素内生性问题的超越对数形式的随机前沿生产函数可以取得一致性的估计结果[①]。

最后，关于 TFP 增长率的分解指标问题。按照 Kumbhakar（2000）的推导公式，如果放松规模报酬不变和完全市场竞争条件，TFP 增长率应分解为技术进步、规模效应、技术效率和要素配置效应。本文估计的粮食种植业、稻谷、小麦和玉米的要素弹性之和（即规模报酬系数）分别为 1.034、1.066、1.061 和 1.030，与许庆等（2011）基于微观农户数据测算的中国主要粮食作物生产规模报酬系数结果相似，表明中国粮食生产部门依然具备规模报酬不变特征，粮食和主要粮食作物的 TFP 增长中没有规模效应（scale effect）的贡献[②]。

四、估计结果

（一）TFP、TC、TE 年均增长率

表 1 报告了粮食种植业 TFP、TC、TE 的年均增长率。1980—2018 年全国粮食 TFP、TC、TE 年均增长率分别为 1.42%、1.47% 和 -0.05%。由于 bc92 模型设定的技术非效率项 u_{it}（$u_{it}=\left\{\exp\left[-\eta\left(t-T\right)\right]\right\}u_i$）中的参数估值$\eta$不显著，表明技术效率没有发生显著变化，粮食 TFP 增长主要源于技术进步。粮食主产省份的粮食 TFP 年均增长率（1.72%）明显高于非粮食主产省份（1.02%），北方省份的粮食 TFP 年均增长率（1.77%）明显高于南方省份（1.03%），这意味着 20 世纪 80 年代以来北方省份不仅是全国主要的产粮区，也是全国粮食 TFP 增长较快的区域。相较于已

[①]因篇幅限制，本文未提供第一阶段的要素需求回归模型结果和第二阶段的随机前沿生产函数回归结果。

[②]由于没有要素（土地和劳动用工）价格数据，且本文的研究重点集中于 TFP 增长率估计及其演进趋势判断，本文依然遵守完全市场竞争条件，忽略要素配置效应。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

有的研究结果（Chen et al.，2008；Wang et al.，2013；Gautam and Yu，2015；Gong，2018a），本文估计的粮食种植业 TFP 和 TC 年均增长率均低于这些研究估计的农业 TFP 和 TC 年均增长率。同时，本文估计的粮食种植业 TE 呈低速下降态势，与 Gautam and Yu（2015）估计的农业 TE 增长率结果一致，但与 Gong（2018a）估计的农业 TE 增长率结果不一致。另外，王璐等（2020）基于 1995—2017 年农村固定观察点数据测算得到的种植业 TFP 年均增长率为 1.87%，本文对应时期的粮食 TFP 年均增长率为 2.02%，两者比较接近。过去 40 年间，中国畜牧业、水产养殖业和包括蔬菜、水果、花卉等作物在内的园艺种植业，技术进步迅速，产出增长迅猛，传统粮食种植业的技术进步和产出增长速度落后于畜牧业、水产养殖业和园艺种植业等部门。因此，本文有关粮食种植业 TFP 增长率低于大多数已有研究估计的农业 TFP 增长率，符合理论预期和现实观察。

表 1　　1980—2018 年粮食种植业 TFP、TC、TE 年均增长率（%）

省份	TFP	TC	TE	省份	TFP	TC	TE
河北	2.017	2.077	-0.059	湖北	1.693	1.748	-0.055
山西	1.702	1.760	-0.058	湖南	1.208	1.269	-0.061
内蒙古	2.280	2.345	-0.065	广东	0.659	0.744	-0.085
辽宁	1.587	1.624	-0.036	广西	0.706	0.794	-0.088
吉林	1.520	1.562	-0.042	四川	0.601	0.653	-0.052
黑龙江	2.656	2.710	-0.054	贵州	0.345	0.421	-0.076
江苏	1.932	1.960	-0.028	云南	0.511	0.547	-0.036
浙江	1.284	1.322	-0.038	陕西	1.410	1.473	-0.063
安徽	1.873	1.932	-0.058	甘肃	0.979	1.023	-0.044
福建	0.414	0.472	-0.058	宁夏	0.872	0.899	-0.027
江西	1.170	1.240	-0.070	新疆	2.333	2.373	-0.040
山东	2.068	2.213	-0.055				
河南	2.333	2.218	-0.012	平均	1.423	1.474	-0.053

注：所有增长率皆为自然对数增长率（即 TFP、TC、TE 的自然对数关于时间 t 的回归系数），下表同。

然而，主要粮食作物的 TFP、TC、TE 增长率不完全等同于粮食种植业。表 2 显示，1980—2018 年的 TFP、TC、TE 年均增长率，稻谷分别为 0.33%、0.72%、-0.38%，小麦分别为 1.69%、1.66%、0.04%，玉米分别为 1.30%、1.50%、-0.25%。可见，稻谷、小麦和玉米 TFP 的增长主要来自于技术进步（TC），技术效率（TE）对小麦 TFP 增长有推动作用，对稻谷和玉米 TFP 增长则有延缓作用。分省份看，除了河北和山东两个非稻谷主产省的稻谷 TFP 年均增长率大于 1%外，其他省份的稻谷 TFP 年均增长率均低于 1%，甚至个别省份（安徽、湖南、广东、广西、四川）为负值；与稻谷相反，除四川、云南、甘肃、宁夏外，其他 11 个省份的小麦 TFP 年均增长率均超过 1%，接近半数省份的小麦 TFP 年均增长率超过 2%；介于稻谷与小麦之间，半数以上省份的玉米 TFP 年均增长率大于 1%。可见，1980—2018 年，小麦 TFP 增长最快，玉米次之，稻谷最慢。小麦和玉米主要产自北方地区，因此北方省份的粮食种植业 TFP 增长率高于南方省份的估计结果可能与稻谷 TFP 的低速增长有关。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　　1980—2018 年稻谷、小麦和玉米的 TFP、TC、TE 年均增长率（%）

省份	稻谷			小麦			玉米		
	TFP	TC	TE	TFP	TC	TE	TFP	TC	TE
河北	1.159	1.287	-0.128	2.414	2.165	0.249	1.176	1.458	-0.283
山西	0.323	0.607	-0.285	1.312	1.269	0.044	1.518	1.680	-0.162
内蒙古	0.639	0.864	-0.225	1.585	1.261	0.322	2.287	2.474	-0.187
辽宁	0.385	0.622	-0.237				0.901	1.151	-0.251
吉林	0.365	0.691	-0.327				1.379	1.648	-0.268
黑龙江	0.466	0.989	-0.523	2.867	2.834	0.033	2.283	2.528	-0.245
江苏	0.315	0.684	-0.370	2.012	2.164	-0.152	0.003	0.005	-0.188
浙江	0.252	0.747	-0.495						
安徽	-0.110	0.372	-0.482	2.518	2.546	-0.028	1.467	1.715	-0.128
福建	0.262	0.752	-0.489						
江西	0.055	0.732	-0.677						
山东	1.121	1.351	-0.230	2.127	2.137	-0.010	1.377	1.665	-0.288
河南	0.257	0.539	-0.282	2.635	2.612	0.023	1.501	1.781	-0.280
湖北	0.305	0.769	-0.464	2.287	2.252	0.036	0.845	1.171	-0.327
湖南	-0.106	0.510	-0.617						
广东	-0.195	0.568	-0.763						
广西	-0.010	0.694	-0.705				1.187	1.735	-0.549
四川	-0.218	0.045	-0.262	0.859	0.859	-0.001	0.647	0.916	-0.269
贵州	0.455	0.735	-0.280				0.544	0.997	-0.453
云南	0.483	0.685	-0.202	0.094	0.325	-0.230	0.734	1.102	-0.368
陕西	0.764	0.790	-0.026	1.884	1.676	0.208	0.981	1.271	-0.289
甘肃				0.864	0.858	0.006	0.991	1.022	-0.031
宁夏				0.252	0.267	-0.015	1.191	1.262	-0.071
新疆				1.689	1.649	0.039	2.813	2.899	-0.087
平均	0.332	0.716	-0.384	1.693	1.658	0.035	1.296	1.499	-0.249

稻谷、小麦和玉米 TFP 增长率及其分解指标的估计结果反映了改革开放 40 年来中国粮食供需状况的变化特征。从需求侧来看，随着居民食物消费结构由植物性食物为主向动物性食物为主转变，由低价值谷物向高价值谷物转变，作为饲料粮的玉米和高品质的稻米需求量增大。从供给侧来看，随着粮食种植区域由东南地区向北方和中部地区转移，北方粳稻、南方一季粳稻和一季晚籼稻播种面积比例增大，玉米播种面积在粮食主产区和西南、西北地区急剧扩张。相较于品种技术革新对小麦单产和全要素生产率的推动作用，杂交稻与超级稻等良种良法已在国内基本普及，品种技术革新对稻谷单产和全要素生产率的推动作用日渐式微（李振声，2010；薛思蒙等，2017）。开垦土地或在种植其他作物的耕地上扩张玉米种植面积，往往会导致玉米生产前沿面变低，进而拉低玉米的 TFP 增长率。因此，稻谷技术进步缓慢可能与稻谷内部品种生产结构变化和品种更新滞后有关，而玉米技术进步较慢则可

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

能源于玉米播种面积迅速扩张导致的玉米生产前沿面下降。除了技术进步相对缓慢外，稻谷和玉米生产的技术效率下降进一步拉低了各自的 TFP 增长率。稻谷生产技术效率较大幅度的下降可能与南方稻谷产区的粮食生产比较效益较低有关，而玉米生产技术效率的较小幅度下降则与粮食作物中玉米生产比较效益较高有关，前者会弱化稻农的生产积极性，而后者则会吸引玉米生产技术水平较低的非玉米种植户加入到玉米种植的行列（Jin et al.，2010）。

中国粮食产出的变化具有阶段性特点（国务院发展研究中心课题组等，2009），有必要了解粮食种植业和主要粮食作物 TFP 增长率及其分解指标在不同时期的变动情况。参照陈锡文对于“粮食改革”发展历程的描述[①]和 Gong（2018a）对农村改革时期的划分，本文将改革开放以来的粮食种植业发展历程划分为七个时期[②]（见表 3）。分时期的产出和 TFP 增长率结果显示，国家对粮食生产支持力度较强的时期抑或是粮食生产比较效益较高的时期，包括农村体制改革初期（1980—1984 年）、粮食统购统销体制改革时期（1989—1993 年）、“米袋子”省长负责制实施时期（1994—1998 年）和粮食直补政策实施时期（2004—2015 年），是粮食种植业产出和 TFP 增长较快的时期；相反，降低粮食收购价格或减少种粮补贴的“市场化”政策实施时期抑或粮食生产比较效益较低的时期（1985—1988 年、1999—2003 年），则是粮食种植业产出和 TFP 增长相对缓慢甚至下降的时期。2016—2018 年的粮食种植业 TFP 年均增长率为 2.12%，高于其他大部分时期，结合该阶段稻谷、小麦和玉米的 TFP 增长率结果可以判断，以玉米收储制度改革为核心的粮食收储制度改革短期内似乎没有降低粮食种植业 TFP 增长率[③]，但这个时期跨度较短，依然有待于进一步探究。分不同作物来看，稻谷是三大作物中产出和 TFP 增长最为缓慢的品种；玉米产出增长幅度最大，但其 TFP 增长率明显滞后于产出增长率；本文测算结果显示，2018 年小麦产量[④]和 TFP 与 2017 年相比分别下降了 12.0%和 15.7%，导致第七个时期（2016—2018 年）的小麦产量和 TFP 年均增长率为绝对值较大的负值，但其他大部分时期的小麦 TFP 增长率都高于稻谷和玉米。上述结果意味着，农业农村政策特别是粮食收购价格政策与粮食种植业 TFP 增长率的变动相关联。此外，未来粮食种植业 TFP 增长潜力主要集中在稻谷和玉米上。

[①]陈锡文，2017：《人物与回忆——我国农村改革的历程》，《新华文摘》第 9 期。

[②]关于前 6 个时期的政策内容参见陈锡文（见上条脚注）和 Gong（2018a）。第 7 个时期主要涉及到粮食收购政策改革内容：一是取消玉米主产区玉米临时收储政策，替之以生产者补贴政策；二是不再提高稻谷和小麦最低收购价格；三是实施为期两年（2015—2016 年）的大豆目标价格试点，2017 年开始正式实施大豆生产者补贴政策。这些政策短期内降低了粮食生产者价格和粮食生产比较效益。

[③]不同时期的农业农村政策内容见程申、郑志浩（2017）。

[④]根据《中国农村统计年鉴—2020》数据，2018 年全国小麦总产量、播种面积、单产比 2017 年分别下降了 2.2%、0.97%、1.20%。2018 年小麦单产下降主要源于华北小麦主产区倒春寒和收获季节的连绵阴雨天气所致。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　1980—2018 年分时期粮食种植业和主要粮食作物的产出、TFP、TC、TE 年均增长率（%）

类别	指标	1980—1984	1985—1988	1989—1993	1994—1998	1999—2003	2004—2015	2016—2018
粮食	产值	5.772	0.827	0.685	2.391	-3.767	2.370	1.202
	TFP	3.838	-0.984	1.799	2.014	0.953	2.053	2.122
	TC	3.786	-0.988	1.810	2.026	1.017	2.120	2.136
	TE	-0.052	-0.052	-0.053	-0.053	-0.054	-0.055	-0.056
稻谷	产量	5.501	-0.187	-1.489	1.745	-3.303	1.393	0.391
	TFP	3.649	-1.105	1.113	1.519	-0.070	0.249	-0.386
	TC	3.897	-0.914	1.324	1.720	0.457	0.610	0.158
	TE	-0.290	-0.305	-0.321	-0.340	-0.360	-0.396	-0.430
小麦	产量	10.592	-0.203	3.351	3.248	-6.794	2.955	-4.430
	TFP	6.840	-0.260	3.830	1.543	1.306	2.473	-6.873
	TC	3.893	0.643	3.179	1.628	0.700	2.505	-3.535
	TE	2.981	-0.955	0.647	-0.125	0.696	-0.032	-2.981
玉米	产量	2.638	6.898	3.084	7.206	-1.714	5.121	8.153
	TFP	2.171	0.489	2.496	1.766	-0.219	1.945	2.554
	TC	2.173	0.498	2.890	1.805	-0.032	2.166	2.401
	TE	-0.205	-0.215	-0.224	-0.236	-0.247	-0.269	-0.289

注：表中的增长率均采用复利公式计算。

如表 3 所示，第一时期是改革开放以来粮食 TFP 增长最快的时期，表明赋予农民经营自主权的制度改革辅之以提高粮食生产比较效益的粮食收购价格政策，会极大地促进粮食产出和 TFP 增长（McMillan et al.，1989；Lin，1992；Wen，1993）。第二时期的粮食 TFP 增长率与 Lin（1992）、Wen（1993）和 Kalirajan et al.（1996）测算的农业 TFP 增长率以及陈卫平、郑风田（2006）估计的粮食作物品种 TFP 增长率相一致；第三时期的粮食 TFP 增长率与 Brummer et al.（2006）、Chen et al.（2008）、Wang et al.（2013）、Gong（2018a）报告的农业 TFP 增长率一致；第四时期的粮食 TFP 增长率与 Brummer et al.（2006）、Chen et al.（2008）估计的农业 TFP 增长率一致，但与 Gong（2018a）测算的农业 TFP 增长率不同；第五时期的粮食 TFP 增长率与 Gong（2018a）报告的农业 TFP 增长率以及陈卫平、郑风田（2006）报告的粮食作物品种 TFP 增长率一致，与 Chen et al.（2008）估计的农业 TFP 增长率不同；第六时期的粮食 TFP 增长率与 Gong（2018a）报告的农业 TFP 增长率不完全一致，本文测算的该时期的粮食 TFP 增长率与 20 世纪 90 年代水平总体持平，而 Gong（2018a）估计的农业 TFP 增长率低于 20 世纪 90 年代水平。虽然本文在研究对象、TFP 测量方法以及投入产出数据处理办法等方面与上述研究存在差异，但几个重要时期（如 1980—1984 年农业高速增长阶段和 1985—1988 年、1999—2003 年农业增长缓慢阶段）的测算结果基本一致，这意味着本文测算的粮食 TFP 增长率结果反映了改革开放以来粮食种植业的可持续增长状况。

最后，TFP 增长率占产出增长率的比重可以揭示粮食种植业和主要粮食作物产出增长的动力源泉。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1980—2018 年，粮食种植业产出的年均增长率为 1.69%，对应的 TFP 年均增长率为 1.42%，因此，粮食种植业产出增长主要源于全要素生产率的增长。稻谷、小麦和玉米产出的年均增长率分别为 1.01%、1.89%和 3.82%，对应的 TFP 年均增长率则分别为 0.33%、1.69%和 1.30%，因此，小麦产出的增长主要来自于 TFP 增长，稻谷和玉米产出的增长主要源于要素投入驱动。20 世纪 80 年代末以来，玉米种植面积和产量一直处于快速增长状态，但其 TFP 增长率明显低于产出增长率，表明玉米产出增长属于外延式增长。总体来看，提高稻谷和玉米的 TFP 增长率能有效提升粮食种植业总体的 TFP 增长率。

（二）TFP 增长率的时序变动趋势

改革开放 40 年来，粮食种植业和主要粮食作物的 TFP 增长率呈现怎样的变动趋势？从粮食种植业和主要粮食作物 TFP 指数（TFPI）的走势看（见图 3），粮食种植业的 TFPI 斜率于 2000 年前后发生了变化，表现为后期的 TFPI 呈现出加速上升态势。除了 2018 年外，小麦和玉米的 TFPI 走势与粮食种植业整体一致，但稻谷 TFPI 由前期的缓慢上升趋势变为后期的水平走势，意味着改革开放 40 年来稻谷 TFP 的缓慢增长似乎主要源于后期的 TFP 年增长率下降。为进一步核实图 3 的结果，本文按照决定系数（R^2）拟合 TFP 年增长率趋势图。1980—2018 年，稻谷和小麦 TFP 年增长率呈现为谷底分别在 2005 年和 2000 年左右的扁“U 型”趋势，同时其末期的增长率均低于初期；玉米 TFP 年增长率呈缓慢线性上升趋势。同一时期，粮食种植业的 TFP 年增长率表现为谷底在 2000 年左右的扁“U 型”趋势，但其末期的增长率已经高于初期[①]。

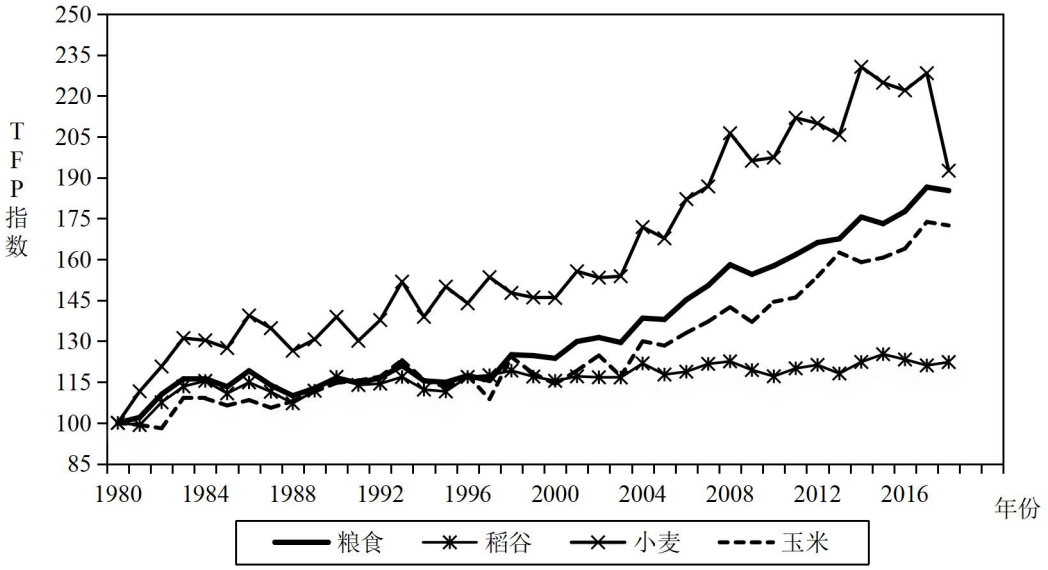

图 3　1980—2018 年粮食种植业和主要粮食作物的 TFP 指数（1980=100）

上述结果或为 TFP 指数走向的目测结果，或为 TFP 年增长率的时间序列拟合结果，既没有控制相关变量，也没有考虑省际间的差异。为此，本文采用 TFP 时间趋势回归模型对 TFP 年增长率走势进行

[①]限于篇幅，本文没有列出粮食种植业和主要粮食作物品种（稻谷、小麦、玉米）的 TFP 年度变化率时间序列拟合图。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

验证。以$\ln(TFP)$为因变量的时间趋势模型结果显示（见表 4），粮食种植业的$\ln(TFP)$为时间t的二次函数，稻谷和玉米的$\ln(TFP)$为时间t的三次函数，小麦的$\ln(TFP)$关于时间t^2的系数在常规统计水平下不显著，即为时间t的线性函数。可见，小麦 TFP 呈线性变化，粮食种植业、稻谷以及玉米的 TFP 则呈非线性变动①。

表 4　　TFP 时间趋势回归模型的估计结果

变量	粮食	稻谷	小麦	玉米
t	3.84×10^{-3}	$1.59\times10^{-2***}$	$1.98\times10^{-2***}$	$1.52\times10^{-2*}$
	（2.77×10^{-3}）	（4.25×10^{-3}）	（4.1×10^{-3}）	（7.9×10^{-3}）
t^2	$2.39\times10^{-4***}$	$-6.0\times10^{-4***}$	-1.1×10^{-4}	-4.6×10^{-4}
	（6.7×10^{-5}）	（2.22×10^{-4}）	（1.0×10^{-4}）	（4.12×10^{-4}）
t^3		$7.57\times10^{-6**}$		$1.1\times10^{-5*}$
		（3.47×10^{-6}）		（6.49×10^{-6}）
dis	-0.231^{***}	-0.109^{***}	-0.394^{***}	-0.278^{***}
	（0.038）	（0.026）	（0.061）	（0.077）
固定效应	是	是	是	是
常数项	-3.518^{**}	-5.812^{***}	-9.737^{***}	-6.128^{***}
	（0.031）	（0.026）	（0.109）	（0.055）
组内 R^2	0.806	0.834	0.719	0.725
拐点年份		2005^{**}		1993^{**}
置信区间		[2000, 2010]		[1985, 2001]
观察值数	936	819	585	741
省份数量	24	21	15	19

注：①因变量为$\ln(TFP)$，dis 表示受灾面积占农作物播种面积的比重。②使（6）式的二阶偏导等于零，推导出曲线拐点的公式为$\hat{t}=-\hat{b}_2/3\hat{b}_3$，拐点年份为$1979+\hat{t}$，置信区间为采用 delta 公式计算的 95%置信区间。③括弧内的数字为采用异方差-自相关协方差一致估计方法取得的稳健标准误。④***、**和*分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平。

为了更直观地观察粮食种植业和主要粮食作物 TFP 增长率的时序变动趋势特征，本文基于时间t的多次方项（即t、t^2、t^3）参数估值，拟合了粮食种植业和主要粮食作物 TFP 年增长率（$100\times\partial\ln(TFP_{it})/\partial t$）的时序趋势线。图 4 显示，控制了气候因素后，粮食种植业 TFP 呈现为加速增长模式。小麦的 TFP 可归为恒速增长模式②。不同于小麦，稻谷和玉米的 TFP 表现为先下降后上升的“U 型”增长模式，其拐点分别为 2005 年和 1993 年，对应的 95%置信区间分别为 2000 年至 2010

①TFP 自然对数关于时间t的函数形式，主要是基于时间t次方（即t、t^2、t^3）的显著性水平和函数的拟合度（R^2）确定的。表 4 中粮食种植业、稻谷、小麦和玉米的$\ln(TFP)$关于时间t的函数式均为拟合度最大的函数形式。

②小麦投入产出数据显示，2018 年小麦单产下降幅度很大，进而导致 2018 年小麦 TFP 年增长率大幅下降（见图 3），因此，1980—2017 年与 1980—2018 年小麦 TFP 时间趋势模型估计结果不同。按照 1980—2017 年的模型估计结果，小麦 TFP 表现为拐点在 1995 年的“U 型”增长模式；按照 1980—2018 年的模型估计结果，小麦 TFP 呈现为恒速增长模式。本文倾向于后者结论。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

年和 1985 年至 2001 年。根据 TFP 年增长率时序趋势（见图 4）的拟合数据，本文计算了 TFP 增长率的年均变化速度。1980—2018 年，粮食种植业 TFP 增长率年均增长约为 0.048%；稻谷 TFP 增长率，1980—2005 年年均下降 0.059%，2006—2018 年年均增长 0.030%；玉米 TFP 增长率，1980—1993 年年均下降 0.042%，1994—2018 年年均增长 0.086%。本文有关粮食种植业 TFP 增长率变动趋势结果与 Zhou and Zhang（2013）有关农业 TFP 增长率趋势估计结果一致，表明改革开放 40 年来中国粮食种植业全要素生产率呈现加速增长态势。

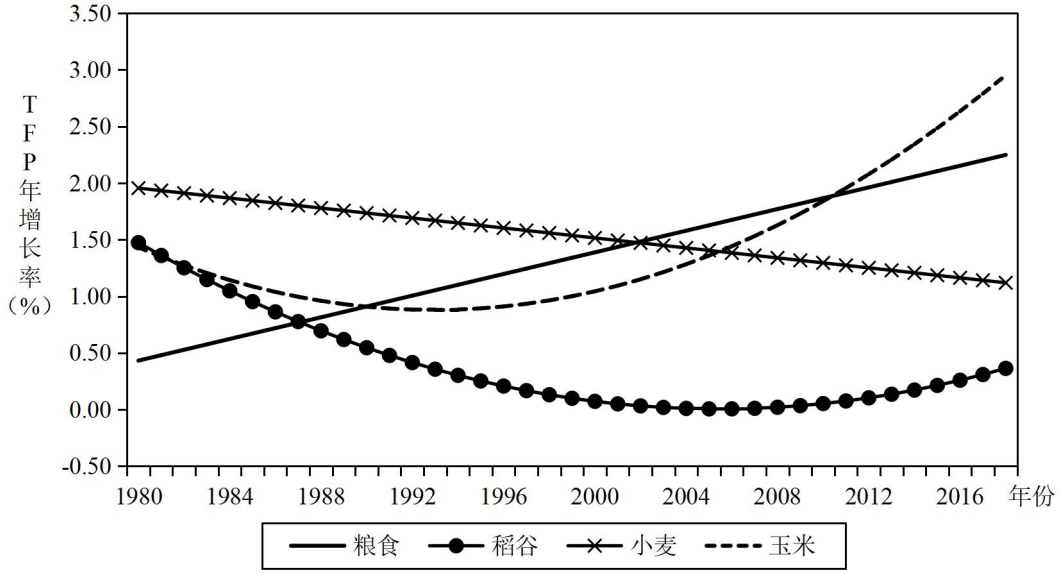

图 4　拟合的 TFP 年增长率时序趋势

相较于 20 世纪后 20 年，21 世纪中国粮食种植业和主要粮食作物的 TFP 增长率是上升、不变或下降？表 4 和图 4 分别估计和展示了 TFP 增长率的时序变动趋势，但仅依据上述结果不足以做出 2000 年前后粮食种植业和主要粮食作物 TFP 增长率是否存在显著差异的判断。为此，本文又采用 $\ln(TFP)$ 的时间趋势固定效应模型进行了 $\ln(TFP)$ 关于时间 t 和受灾面积占农作物播种面积比重（dis）的回归。回归结果显示，粮食种植业、稻谷、小麦、玉米的 TFP 年均增长率，1980—2000 年分别为 0.75%、0.55%、1.52%和 0.93%，2001—2018 年分别为 1.93%、0.16%、1.73%和 1.79%。两个时期 TFP 年均增长率是否存在差异的统计检验结果显示，2001—2018 年粮食种植业和玉米的 TFP 年均增长率显著高于 1980—2000 年；2000 年前后两个时期的小麦 TFP 年均增长率没有显著差异；2001—2018 年稻谷 TFP 年均增长率则显著低于 1980—2000 年。因此，相较于 20 世纪后 20 年，21 世纪的稻谷、小麦和玉米的 TFP 增长率变动趋势不完全相同，但 21 世纪的粮食种植业 TFP 增长率是上升的。

五、研究结论与启示

开展改革开放以来中国粮食种植业TFP增长率研究，了解改革开放40年来中国粮食种植业TFP的增长轨迹和TFP增长率的时序演进趋势，有助于准确判断中国粮食种植业的可持续发展状况，识别中国粮食种植业可持续发展的动力源泉和障碍因素，为促进农民增产增收、有效保障国家粮食安全提供理

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

论依据和政策启示。本文基于1978—2018年省级面板数据，采用纠正了投入要素内生性问题的超越对数随机前沿生产函数，分别估计了粮食种植业和主要粮食作物（稻谷、小麦、玉米）的TFP增长率及其分解指标，并利用TFP时间趋势回归模型，识别了粮食种植业和主要粮食作物TFP增长率的时序变动趋势。

本文研究结论如下：第一，1980—2018 年，粮食种植业 TFP 呈现为加速增长模式；粮食种植业的 TFP 年均增长率为 1.42%，技术效率对 TFP 增长基本没有贡献，技术进步推动了 TFP 增长；粮食种植业产出增长主要源于 TFP 增长的贡献。第二，1980—2018 年，小麦的 TFP 表现为恒速增长模式，稻谷和玉米的 TFP 表现为拐点分别在 2005 年和 1993 年的先下降后上升的“U 型”模式，小麦、稻谷和玉米的 TFP 年均增长率分别为 1.69%、0.33%和 1.30%，技术进步促进了稻谷、小麦和玉米作物的 TFP 增长，技术效率在 TFP 增长中对小麦有促进作用，对稻谷和玉米有延缓作用；小麦产出增长主要源于 TFP 的增长贡献，稻谷和玉米产出增长则更多地源于投入要素驱动。第三，2000 年后的粮食种植业和玉米的 TFP 增长率都显著高于 2000 年前，小麦 TFP 增长率于 2000 年前后没有发生显著变化，2000 年后的稻谷 TFP 增长率则显著低于 2000 年前。

上述研究发现对于如何促进粮食种植业高质量发展有启示意义。稻谷和玉米 TFP 增长缓慢，不仅阻碍了这两种作物产出的快速增长，也阻碍了粮食种植业 TFP 和产出的快速增长，提高这两种作物的 TFP 增长率会进一步推升整个粮食种植业的 TFP 和产出增长率。相关文献显示，稻谷 TFP 增长缓慢主要源于以品种技术革新为代表的技术进步贡献不足，玉米 TFP 增长率低于其投入要素增长率则是由于快速扩张的玉米种植面积与相应耕地质量不匹配。加快研发、推广、采用优质稻谷品种，会从根本上解决稻谷 TFP 的负增长问题；加快中低产耕地的改造，提高玉米生产前沿面，则会有助于玉米 TFP 和产出增长率的进一步提升。因此，中国粮食种植业 TFP 增长率正在平缓上升且依然有较大的上升空间。

本文研究发现，粮食 TFP 增长率变化的阶段性特点与农业农村政策特别是粮食收购价格政策相关联。提升粮食生产比较效益的农业农村政策促进了粮食种植业 TFP 增长，相反，降低粮食生产比较效益的农业农村政策则延缓甚至阻碍了粮食种植业 TFP 增长。未来有必要开展农业农村政策对粮食种植业 TFP 增长的影响研究，通过严谨的经验实证来明晰农业农村政策特别是粮食收储政策与粮食种植业 TFP 增长率变动的关系。

参考文献

1.陈卫平、郑风田，2006：《中国的粮食生产力革命——1953—2003 年中国主要粮食作物全要素生产率增长及其对产出的贡献》，《经济理论与经济管理》第 4 期。

2.程申、郑志浩，2017：《基于 Tornqvist-Theil 方法的中国粮食生产增长核算研究》，《河南农业大学学报》第 6 期。

3.国务院发展研究中心课题组、韩俊、徐小青，2009：《我国粮食生产能力与供求平衡的整体性战略框架》，《改革》第 6 期。

4.李谷成、范丽霞、冯中朝，2014：《资本积累、制度变迁与农业增长——对 1978～2011 年中国农业增长与资本存量的实证估计》，《管理世界》第 5 期。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5.李振声，2010：《我国小麦育种的回顾与展望》，《中国农业科技导报》第 2 期。

6.许庆、尹荣梁、章辉，2011：《规模经济、规模报酬与农业适度规模经营——基于我国粮食生产的实证研究》，《经济研究》第 3 期。

7.薛思蒙、刘瀛弢、毛世平，2017：《中日水稻产业生产效率比较研究》，《农业经济问题》第 11 期。

8.王璐、杨汝岱、吴比，2020：《中国农户农业生产全要素生产率研究》，《管理世界》第 12 期。

9.郑玉歆，1998：《全要素生产率的测算及其增长的规律——由东亚增长模式的争论谈起》，《数量经济技术经济研究》第 10 期。

10.Ackerberg, D. A., K. Caves, and G. Frazer, 2015, "Identification Properties of Recent Production Function Estimators", *Econometrica*, 83(6): 2411-2451.

11.Amsler, C., A. Prokhorov, and P. Schmidt, 2016, "Endogeneity in Stochastic Frontier Models", *Journal of Econometrics*, 190(2): 280-288.

12.Andersen, M., J. Alston, P. Pardey, and A. Smith, 2018, "A Century of U.S. Farm Productivity Growth: A Surge Then a Slowdown", *American Journal of Agricultural Economics*, 100(4): 1072-1090.

13.Battese, G., and T. Coelli, 1992, "Frontier Production Functions, Technical Efficiency and Panel Data: With Application to Paddy Farmers in India", *Journal of Productivity Analysis*, 3: 153-169.

14.Battese, G., and T. Coelli, 1995, "A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data", *Empirical Economics*, 20: 325-332.

15.Belotti, F., S. Daidone, G. Ilardi, and V. Atella, 2013, "Stochastic Frontier Analysis Using Stata", *The Stata Journal*, 13(4): 719-758.

16.Benton, F. M., 1961, "A Disaggregated View of Technical Change", *Journal of Political Economy*, 69(6): 547-557.

17.Brummer, B., T. Glauben, and W. Liu, 2006, "Policy Reform and Productivity Change in Chinese Agriculture: A Distance Function Approach", *Journal of Development Economics*, 81: 61-79.

18.Chen, P., M. Yu, C. Chang, and S. Hsu, 2008, "Total Factor Productivity Growth in China's Agricultural Sector", *China Economic Review*, 19(4): 580-593.

19.Colby, H., X. Diao, and A. Somwaru, 2000, "Cross-Commodity Analysis of China's Grain Sector: Source of Growth and Supply Response", https://www.researchgate.net/publication/23517129_Cross-Commodity_Analysis_of_China%27s_Grain_Sector_Sources_of_Growth_and_Supply_Response.

20.Cornwell, C., P. Schmidt, and R. Sickles, 1990, "Production Frontier with Cross-sectional and Time-series Variation in Efficiency Levels", *Journal of Econometrics*, 46: 185-200.

21.Dekle, R., and G. Vandenbroucke, 2010, "Whither Chinese Growth? A Section Growth Accounting Approach", *Review of Development Economics*, 14(4), 487-498.

22.Fan, S., 1991, "Effects of Technological Change and Institutional Reform on Production Growth in Chinese Agriculture", *American Journal of Agricultural Economics*, 73(2): 266-275.

23.Fan, S., and P. Pardey, 1997, "Research, Productivity, and Output Growth in Chinese Agriculture", *Journal of Development*

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Economics, 53(1): 115-137.

24.Gautam, M., and B. Yu, 2015, "Agricultural Productivity Growth and Drivers: A Comparative Study of China and India", *China Agricultural Economic Review*, 7(4): 573-600.

25.Greene, W., 2005, "Reconsidering Heterogeneity in Panel Data Estimators of the Stochastic Frontier Model", *Journal of Econometrics*, 126, 269-303.

26.Gong, B., 2018a, "Agricultural Reforms and Production in China: Change in Provincial Production Function and Productivity in 1978-2015", *Journal of Development Economics*, 132(1): 18-31.

27.Gong, B., 2018b, "The Shale Technical Revolution—Cheer of Fear? Impact Analysis on Efficiency in the Global Oilfield Service Market", *Energy Policy*, 112: 162-172.

28.Huang, J., and S. Rozelle, 1996, "Technological Change: Rediscovering the Engine of Productivity Growth in China's Rural Economy", *Journal of Development Economics*, 49(2): 337-369.

29.Jin, S., J. Huang, and S. Rozelle, 2002, "The Creation and Spread of Technology and Total Factor Productivity in China's Agriculture", *American Journal of Agricultural Economics*, 33(3): 191-207.

30.Jin, S., H. Ma, J. Huang, R. Hu, and S. Rozelle, 2010, "Productivity, Efficiency and Technical Change: Measuring the Performance of China's Transforming Agriculture", *Journal of Productivity Analysis*, 33(3): 191-207.

31.Kalirajan, K. P., M. B. Obwona, and S. Zhao, 1996, "A Decomposition of Total Factor Productivity Growth: The Case of Chinese Agricultural Growth before and after Reforms", *American Journal of Agricultural Economics*, 78(2): 331-338.

32.Kumbhakar, S. C., 1990, "Production Frontiers, Panel Data and Time-varying Technical Efficiency", *Journal of Econometrics*, 46: 201-212.

33.Kumbhakar, S. C., 2000, "Estimation and Decomposition of Productivity Change when Production is Not Efficient: A Panel Data Approach", *Econometric Reviews*, 19(4): 425-460.

34.Lin, Y. J., 1992, "Rural Reforms and Agricultural Growth in China", *American Economic Review*, 82(1): 34-51.

35.Liu, X., Y. Zhang, W. Han, A. Tang, J. Shen, Z. Cui, P. Vitousek, J. Erisman, K. Goulding, P. Christie, A. Fangmeier, and F. Zhang, 2013, "Enhanced Nitrogen Deposition over China", *Nature*, 494(7438): 459-462.

36.McMillan, J., J. Whalley, and L. Zhu, 1989, "The Impact of China's Economic Reforms on Agricultural Productivity Growth", *Journal of Political Economy*, 97(4): 781-807.

37.Pitt, M., and L. Lee, 1981, "The Measurement and Sources of Technical Inefficiency in the Indonesian Weaving Industry", *Journal of Development Economics*, 9: 43-64.

38.Rae, N. A., H. Ma, J. Huang, and S. Rozelle, 2006, "Livestock in China: Commodity-Specific Total Factor Productivity Decomposition Using New Panel Data", *American Journal of Agricultural Economics*, 88(3): 680-695.

39.Solow, R. M., 1957, "Technical Change and the Aggregate Production Function", *Review of Economics and Statistics*, 39(3): 312-320.

40.Wang, S. L., F. Tuan, F. Gale, A. Somwarud, and J. Hansen, 2013, "China's Regional Agricultural Productivity Growth in 1985-2007: A Multilateral Comparison", *Agricultural Economics*, 44(2): 241-251.

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

41.Wen, G. J., 1993, "Total Factor Productivity Change in China's Farming Sector: 1952-1989", *Economic Development and Cultural Change*, 42(1): 1-41.

42.Zhang, B., and C. Carter, 1997, "Reforms, the Weather, and Productivity Growth in China's Grain Sector", *American Journal of Agricultural Economics*, 79(4): 1266-1277.

43.Zhou, L., and H. Zhang, 2013, "Productivity Growth in China's Agriculture during 1985-2010", *Journal of Integrative Agriculture*, 12: 1896-1904.

（作者单位：[1] 中国农业大学经济管理学院；
[2] 中国农业大学北京食品安全政策与战略研究基地）

（责任编辑：胡　祎）

Total Factor Productivity Change in China's Grain Production Industry: 1980-2018

ZHENG Zhihao　CHENG Shen

Abstract： Based on the provincial panel data and times-series data from 1980 to 2018, this article finds that the total factor productivity (TFP) of China's grain production industry shows an accelerated growth mode, with an average annual growth rate of 1.42%. Technological progress rather than technical efficiency promotes the TFP growth of grain production industry, and the output growth of grain production industry mainly comes from the growth contribution of TFP. The TFP of wheat shows a constant growth pattern, while that of rice and corn shows a "U-shaped" pattern. The average annual growth rates of TFP of wheat, rice and corn were 1.69%, 0.33% and 1.30%, respectively. Technological progress has promoted the TFP growth of wheat, rice and corn, while technical efficiency has promoted the TFP growth of wheat and delayed the TFP growth of rice and corn. The output growth of wheat is mainly driven by TFP, while the output growth of rice and corn is much driven by input factors. After 2000, the TFP growth rate of grain production industry and corn has been significantly higher than that before 2000, the TFP growth rate of wheat has demonstrated no significant change around 2000, and the TFP growth rate of rice after 2000 has become significantly lower than that before 2000. The TFP growth rate of China's grain production industry still has a large room to rise. Improving the TFP growth rate of rice and corn can not only promote the rapid growth of the output of these two crops, but also further accelerate the growth rate of the output of grain production industry and TFP.

Keywords: TFP Growth Rate; Evolution Trend; Grain Production Industry; Stochastic Frontier Production Function