

引用格式：

高芸, 钟钰, 刘晓雪. 粮食增产千亿斤：压力抑或潜力？——基于技术进步方向和关键要素的判断 [J]. 农业现代化研究, 2022, 43(4): 587-597.

Gao Y, Zhong Y, Liu X X. China's grain production increase by another 50 billion tons: Pressure or potential? Judgement based on the technical progress direction and key inputs[J]. Research of Agricultural Modernization, 2022, 43(4): 587-597.

DOI: 10.13872/j.1000-0275.2022.0067



## 粮食增产千亿斤：压力抑或潜力？ ——基于技术进步方向和关键要素的判断

高芸<sup>1</sup>, 钟钰<sup>1\*</sup>, 刘晓雪<sup>2</sup>

(1. 中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081; 2. 北京工商大学经济学院, 北京 100048)

**摘要：**中国粮食连年丰产但中央政府并没有降低对粮食安全的关注度，持续夯实粮食产能，立足自身应对需求刚性增长。文章对近年粮食生产结构调整走向，要素配置变化进行了归纳，并对粮食生产技术演变和产量潜力进行分析。结果表明，土地、水资源以及成本收益情况是粮食增产的强约束，必须依靠技术路径突破，服务规模化和经营规模化，提高生产要素边际收益。即使在技术突破时间表不确定的前提下，三大主粮特别是玉米单产增长还有较大提升空间。根据最近 3 次千亿斤（0.5 亿 t）产能增加单产增长趋势、各品种增产贡献率以及生产形势，对下一个千亿斤增产进行了 3 种情境预测：若水稻、小麦和玉米的年均单产增长率分别为 0.7%、1.0% 和 0.8%，可在 2026 年实现 7.0 亿 t 产能，并减少约 50 万 hm<sup>2</sup> 播种面积；在水稻、小麦和玉米为 0.2%、0.3% 和 0.4% 的低增速并减少播种面积 141 万 hm<sup>2</sup> 的情境下，可在 2035 年提升至 7.0 亿 t 产能。当前，粮食产能稳定增长的关键在于生产（生产环节）规模化、种业攻关和农田质量建设能否取得实质性推进。

**关键词：**粮食；产能；技术进步方向；潜力；压力

中图分类号：F326-11

文献标识码：A

文章编号：1000-0275（2022）04-0587-11

### China's grain production increase by another 50 billion tons: Pressure or potential? Judgement based on the technical progress direction and key inputs

GAO Yun<sup>1</sup>, ZHONG Yu<sup>1</sup>, LIU Xiao-xue<sup>2</sup>

(1. Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Science, Beijing 100081, China; 2. School of Economics, Beijing Technology and Business University, Beijing, 100048, China)

**Abstract :** China has experienced successive high grain output while the central government has not reduced its attention to food security, continues to consolidate grain production capacity to respond to rigid demand growth based on its own. This paper summarizes the trend of grain production structure and the changes of input allocation in recent years and analyzes the grain production technology transformation and yield potential. Results show that land, water and cost-benefit are strong constraints on grain production. China should rely on technological path breakthrough and larger-scale services and operations to improve the marginal returns of inputs. Even the schedule of technological breakthrough is uncertain, there is still much room for per unit yield growth of main grains, especially corn. According to the increasing trend of unit yield, the contribution rate of each variety and the production situation of previous 3 times of 50 million tons increase, the paper makes 2 scenarios of production capacity upgrade: 1) if the average annual unit yield growth rates of rice, wheat and corn are 0.7%, 1.0% and 0.8% respectively, China will realize 700 million ton production capacity in 2026 and the sowing area can be reduced by about 0.5 million hm<sup>2</sup>; and 2) if the growth rates of rice, wheat and corn are 0.2%, 0.3% and 0.4%, respectively and the reduction of sowing area of 1.41 million hm<sup>2</sup>, the production capacity upgrade can be realized in 2035. Currently, the key to ensuring the stable growth of production capacity lies in whether the large-scale services and operations, breakthrough in seed breeding and the construction of farmland quality could be substantially promoted.

**Key words :** grain; production capacity; technology progress orientation; potential; pressure

基金项目：国家社会科学基金重大项目（21ZDA056）。

作者简介：高芸（1980—），女，江苏无锡人，博士，副研究员，硕士生导师，主要从事农业经济理论与政策研究，E-mail: gaoyun02@caas.cn;

通信作者：钟钰（1979—），男，辽宁锦县人，博士，研究员，博士生导师，主要从事农业经济理论与政策研究，E-mail: zhongyu@caas.cn。

收稿日期：2022-03-17；接受日期：2022-06-06

**Foundation item:** Major Projects of National Social Science Foundation of China (21ZDA056).

**Corresponding author:** ZHONG Yu, E-mail: zhongyu@caas.cn.

**Received** 17 March, 2022; **Accepted** 6 June, 2022

近年国际形势复杂多变,对粮食生产要素组织和产品供应链造成了重大冲击,食物系统受政治、经济和突发事件等外部冲击风险增加<sup>[1]</sup>,引发了国内外对粮食安全的又一轮高度关切,我国政府持续抓好粮食和重要农产品生产保供,各项政策“稳”字当头。2021年气象年景不利情况下,粮食总产连续7年站稳6.5亿t(1.3万亿斤)台阶,取得了“十八连丰”。同时,粮食单位面积产量比2020年增加71.5 kg/hm<sup>2</sup>,总播种面积近20年保持平稳增长,自2009年至今保持在1.1亿hm<sup>2</sup>。在全球食物不足人数缓慢上升的态势下,中国实现了“把饭碗牢牢端在自己手中”,也创造了经济持续健康发展和社会安全稳定的奇迹<sup>[2]</sup>。

回顾世界粮食发展历史,美国在1975—1979年达到“五连增”、印度在1996—2001年实现“六连丰”,而我国则实现了“十八连丰”,不仅打破了中国粮食生产史上产能记录,也刷新了世界粮食生产的新高度。根据各国经验,粮食产能的增长是要素配置、技术进步、政策保障等多因素协同作用的结果,粮食单产持续增长时期越长,增产更加依赖技术突破支持。另一方面,受国际金融市场波动和市场化影响,借助价格补贴政策调控空间将逐步压缩,要素配置需要更加完善的要素市场化配置体制,全面、多维的科学生产决策,并建立动态适应性优化机制。从2004年我国粮食产量达到5.0亿t(1.0万亿斤),2009年增长到5.5亿t(1.1万亿斤),2013年6.0亿t(1.2万亿斤),2016年达到6.5亿t(1.3亿斤),每千亿斤产能增长周期并没有缩减,但主粮单产增长率明显放缓。在5.0亿~6.0亿t产能期和6.0亿~6.5亿t产能期,单产年平均增长率水稻由1.05%下降到0.73%,小麦由2.59%下降到2.21%,玉米则由2.33%下降到-0.25%。就国内形势来看,粮食播种面积受生产地域重心北移,土地、光温、水等生产资源趋紧,粮食生产的经济和环境成本持续增加等多种因素限制下,粮食总产增加难度加大的担忧加重。种粮成本上升与收益下降的问题一直未能得到根本解决,粮食价格不能完全反映边际收益,导致粮食产量越大的地区,输出资源、利益流失、机会成本就越高<sup>[3]</sup>,农民种粮和地方政府抓粮积极性亟待针对性政策支持。当前,各国对市场的负面预期推高了全球粮价,以缓解我国生产资源压力的玉米、大豆等饲料粮、畜产品和饲草进口不确定性和进口成本增加,粮食保护主义抬头,投机资本收益膨胀<sup>[4]</sup>。因此,夯实粮食产能,掌控粮食安全主动权,是化解国际粮食危机并防止其演

变为国际政治经济危机的直接、有效手段,探讨粮食又一个千亿斤产能增加的压力和潜力,对提振粮食产业发展信心、明确增产路径的重大意义。

## 1 理论逻辑

近年中央“一号文件”持续强调提升粮食和重要农产品供给保障能力,粮食安全仍是我国发展长期面临的重要问题,是应变局、开新局的“压舱石”。考虑到膳食结构转型升级、收入水平提高以及人口峰值期等因素,虽然我国人均口粮消费下降,但人均粮食消费量长期保持增长态势,必须确保我国粮食产能稳定在6.5亿t以上,才能应对粮食量质齐增的刚性需求。在经济新常态和乡村振兴的大背景下,亟需从生产、科技和支持政策的宏观视角,充分分析和认识粮食产能可持续增长面临的压力和潜力。根据不同品种历史单产和面积变化趋势,判断主粮品种的增产潜力与制约因素,估算各品种增产潜力和新一轮千亿斤产能提升的实现时间,最后提出粮食产能可持续增长的方向与实现路径,以期贡献于粮食安全政策的系统、精准和社会化发展。

已有粮食丰产(增产)的主要原因分析和经验总结主要从经济管理和农业技术两个方面开展,研究结论较为一致。21世纪前10年,粮食增产的贡献因素主要为单产增加、结构调整和播种面积扩大<sup>[5-6]</sup>,促进单产增加的主要因素是财政支农力度、种子和机械作业等<sup>[7-9]</sup>。2010年后,政策和补贴以及种植结构调整对单产提高效应逐步减弱,规模效应与技术效应均不显著<sup>[10]</sup>,播种面积增加和豆类作物种植比例下滑在粮食总产增加的贡献比例大幅提升<sup>[11]</sup>。生产重心持续向北转移<sup>[12]</sup>,专业化生产向东北和华北地区集中<sup>[13]</sup>,产区集中度上升而销区自给率下降,已然成为当下粮食产销格局的典型特征。特别是东北和华北平原旱作区粮食产量整体稳步提高,并具有明显的空间集聚特征<sup>[14]</sup>,作物生产从劳动密集型向机械密集型转变。以劳动力成本上升为主要推动力的粮食生产成本上升,但低收益挫伤了农民种粮积极性,成本收益状况成为生产布局的决定性因素。因此也形成了粮食专业化生产和资源禀赋难以有效协同的种植布局 and 结构。从长期来看,技术进步和机械化将是未来粮食增产的主要动能,但不同类型技术推广和措施效果并不乐观,例如秸秆还田、免耕播种等保护性耕作还需要相应的机械技术和应用配套才能得以实施,由于地形条件的限制,丘陵山区农业机械化水平远低于平原地区<sup>[15]</sup>,水肥一体化、配方施肥、新型肥料推广因农

技农艺配合不到位尚未普及。

综上所述，粮食单产增长新动能的方向和目标已经明确，但是操作层面的关键问题还未解决，有实物载体、易物化技术的边际效益下降，原有技术路径增效困难加大。针对不同地区和生长环境、不同作物的良种、良法、良地和良机配套与改进的“软技术”方案落实的载体和推广模式还需探索。各地区不同粮食品种的技术进步关键问题更加复杂多样，因此，对粮食产能增长潜力和压力进行判断，需对三大主粮的综合单产和播种面积的变化趋势、各要素投入水平和贡献程度分析的基础上，识别产能增长的短板和瓶颈。

## 2 当前粮食生产形势分析与判断

我国粮食产能达到5.0亿t至今，粮食产出的品种结构、各品种单产和面积、主产区域等反映生产宏观形势的关键指标都发生了变化。此外，从各品种在粮食增产贡献率、成本收益情况和各类投入

品占比等方面来看，不同品种产能潜力也存在明显差异。客观认识当前粮食生产形势，是协同解决粮食生产模式、投入产出效率、技术进步等共性问题，找出不同品种生产面临主要问题的关键，也有助于提高产能预测的可靠性。

### 2.1 生产结构调整走向

2.1.1 主粮生产形势决定了粮食总产走势 粮食总产量中谷物的占比在近10年较为稳定的保持在90%的比例，薯类和豆类占比略有波动，近5年约占5%和3%，产量分别保持在2 852万t和1 966万t。从粮食增长贡献率来看，水稻、小麦和玉米的生产形势决定了粮食生产的总体情况和走势。自2001年至今，主粮产量对粮食增产的平均贡献率为136.4%，只有2016/2017年增长率为负，而其他粮食类(杂粮)、薯类和豆类仅在2018/2019、2019/2020和主粮负增长年份对粮食产出增长率贡献为正，且较为显著。2003—2014年面积增长对三大主粮产出增长贡献较为显著，2015年至今单产增加贡献较为显著(图1)。

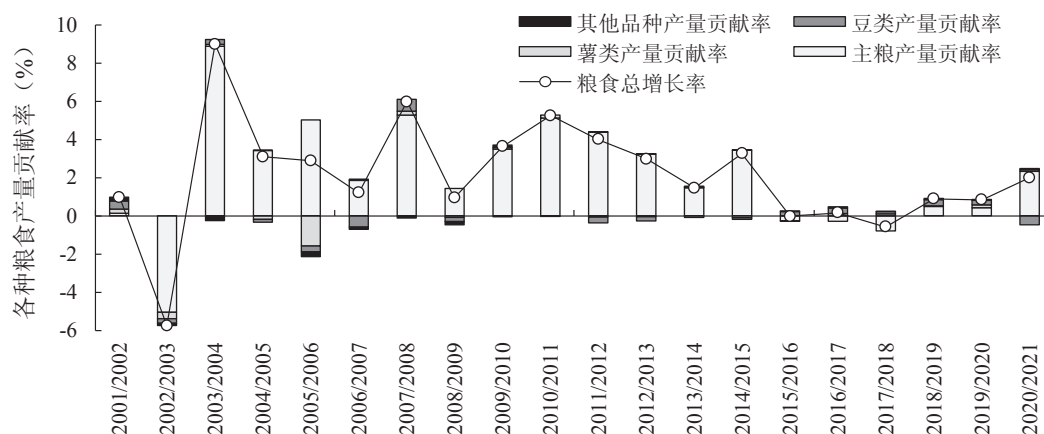


图1 各种粮食产量对粮食总产增长贡献率

Fig. 1 Contribution rate of various food production

2.1.2 各时期不同品种增产贡献有较大差异 2001年至今，薯类、豆类和杂粮均保持总产量下降或基本平稳态势，5.0亿~6.5亿t时期的3次千亿斤产能提升的贡献均来自三大主粮，特别是6.0亿~6.5亿t产能期，三大主粮的总体贡献超过了527.8%，弥补了薯类、豆类产量的下降。谷物中玉米产量占比最

大，自2012年超过水稻成为第一大主粮，近5年年产量占粮食总产量的39.3%，增产贡献率均保持较高水平且贡献率持续增长。水稻产量约占粮食总产量的31.9%，其增产贡献率均在6.0亿~6.5亿t产能期较为突出。小麦对产能提升的贡献较为稳定，相应的其单产增长率和播种面积也较为平稳(表1)。

表1 主粮单产和产量对粮食总产增长贡献率 (%)  
Table 1 Main grain yield and yield contribution rate (%)

产能水平	水稻		小麦		玉米	
	单产增长率	增产贡献率	单产增长率	增产贡献率	单产增长率	增产贡献率
5.0亿~5.5亿t	1.41	39.0	3.22	36.0	1.60	53.9
5.5亿~6.0亿t	0.50	9.5	1.64	8.2	3.43	84.8
6.0亿~6.5亿t	0.73	224.5	2.21	11.4	-0.25	303.3

资料来源：作者根据中国统计年鉴相关数据计算。



2.1.3 粮食生产集中度逐年提高,不同粮食产销区产能差距扩大 黑龙江、河南、山东为我国粮食产出前三甲省份且产量占比逐年提高,从 2004 年的 23.2% 上升到 2020 年的 29.6%。分品种看,三大主粮产量位列前 5 名的省份占总产量比重都有逐年上升趋势,粮食生产表现出明显的地理集聚。其中,早稻和双季晚稻面积逐年下降,产量在水稻总产中占比分别从 2013 年的 16.8% 和 17.9%,下降到 2020 年的 12.9% 和 14.2%。中稻和一季晚稻种植面积和产量占比逐年提升。东北(黑龙江、吉林、辽宁 3 省)、华北(北京、天津、山西、河北、山东、河南 6 省市)、西北(陕西、甘肃、宁夏和新疆 4 省区)单季稻单产均高于全国平均产量,三个区域占全国水稻面积和总产量的 21.6% 和 22.9%,也是以粳稻生产为主的优质水稻产区。长江中下游稻区包括江苏、浙江、安徽、江西、湖北、湖南和上海等 7 省(市),占全国水稻面积和总产的 5 成以上,但该区域受春寒、寒露风、洪涝等灾害影响,水稻种植效益低,单产、面积和总产的波动都较大。小麦生产机械化水平高且种植区域较为集中,2020 年河南、山东、安徽、河北、江苏 5 省产量达到全国总产的 79.6%,除江苏外其余 4 省的单产平均高于全国平均水平。玉米是主粮中产量波动最大的品种,从 2010 年至今经历了快速增长和调整下降两个阶段,2015 年玉米种植面积为近 10 年峰值,共 4 466.7 万  $\text{hm}^2$ ,之后下降至约 4 133.3 万  $\text{hm}^2$ 。玉米种植面积超过 66.67 万  $\text{hm}^2$  的省份集中在东北、华北和西北地区。总体来看,2003 年 11 个粮食产销平衡省份自给率平均为 90.4%,到 2018 年除新疆、宁夏继续保持高水平自给外,其余 9 省份降到 58.5%,4 个主销区(不含京津沪)自给率从 66.4% 下降到 22.4%,产销平衡区和主销区粮食自给率逐步下降。

## 2.2 生产要素配置变化

2.2.1 粮食生产中心向东北方向移动,加剧了土地、水资源约束 土地是粮食生产的最基本要素,粮食产量达到 5.0 亿 t 后的两次千亿斤产能增长,以高单产作物面积增加贡献为主,玉米和水稻的面积增加贡献尤为突出,豆类种植面积下降,2014 年后粮食增产主要依赖单产贡献。粮食种植面积约占所有作物种植面积的 80%,且以连片耕地和平原为主。粮食生产重心持续向东北方向移动<sup>[16-17]</sup>,东北(黑龙江、吉林)和华北(山东、河南、安徽、河北)地区和内蒙古自治区粮食产量明显增加<sup>[17-18]</sup>,形成了气候资源稀缺地区资源利用率较高,而气候资源丰富裕地区利用率较低的失衡格局<sup>[19]</sup>。全国耕地后备

资源总面积为 0.53 亿  $\text{hm}^2$ <sup>[20]</sup>,草地(占 64.3%)、盐碱地(12.2%)、内陆滩涂(8.7%)和裸地(8.0%)为主,开发成本高、生态风险大。其中,集中连片耕地后备资源仅有 0.06 亿  $\text{hm}^2$ ,东部 11 个省(市)之和仅占 11.7%。经济发展快的地区后备土地资源接近枯竭,在省域内通过占补平衡方式保障耕地面积不下降越来越难实现。农业用水约占总用水量的比例从 2000 年的 69.0% 下降至 2019 年的 61.2%,根据历年灌溉面积中耕地占比,粮食生产消耗了约 70%~80% 的水量,且有效灌溉总面积和水田均呈“北增南减”变化特征,灌溉面积占耕地总面积比例逐年上升,粮食生产受水资源约束也逐步加大。

2.2.2 化肥投入量一直未能下降,人工费用占比高、上涨快 粮食生产成本分为物质与服务费用和人工成本两部分,其中物质与服务费用是生产中需要花费的直接生产成本,用于购买化肥、农药和种子等投入品。物质与服务费用对总成本增长贡献率逐步下降,其中化肥费用从 1985—1990 年生产成本上涨贡献 20% 以上,下降到 2006—2019 年上涨贡献 10% 左右。但化肥投入折纯量和单位名义价格成本一直未能下降,且三大主粮品种都长期保持持续增加趋势。根据《全国农产品成本收益资料汇编》,水稻、小麦和玉米化肥折纯用量从 5.5 亿 t 产能期的 309  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、348  $\text{kg}/\text{hm}^2$  和 321  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ,上升到 6.5 亿 t 产能期的 345  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 、421.5  $\text{kg}/\text{hm}^2$  和 366  $\text{kg}/\text{hm}^2$ 。虽然政策上已明确提出“一控两减三基本”目标,但粮食产区化肥、农药过量施用并没有出现明显下降趋势。例如,长江中下游稻农化肥施用量为最优用量的 1.43 倍<sup>[20]</sup>,农户土地利用方式的生态化演变是一个长期、缓慢的自然历史过程。此外,农膜使用提高了西北地区粮食产量,但其破碎在土壤中无法降解,造成缠绕植物根系、阻碍地下水下渗、肥料吸收,造成严重的农业面源污染,导致粮食产量和品质下降。

从 1990—2020 年,水稻、小麦和玉米的生产成本上涨了约 8 倍,人工费用则上涨了 15 倍以上,成为生产成本上涨的最大推动力(图 2)。2020 年单位面积的用工数量已经降为 1985 年的 20%~30%,其中水稻为 1990 年用工数量的 24.1%,小麦为 26.4%,玉米为 27.6%,但由于工价的快速增长,抵消了用工数量的减小。按照名义价格计算,在 1985—1990 年,1991—2005 年,2006—2018 年三个阶段,人工费用对生产成本上涨的贡献率分别为 63.7%、81.7% 和 86.0%。同时,人工费用占比与净利润高度相关。这种反向关联在 2010 年之后逐步

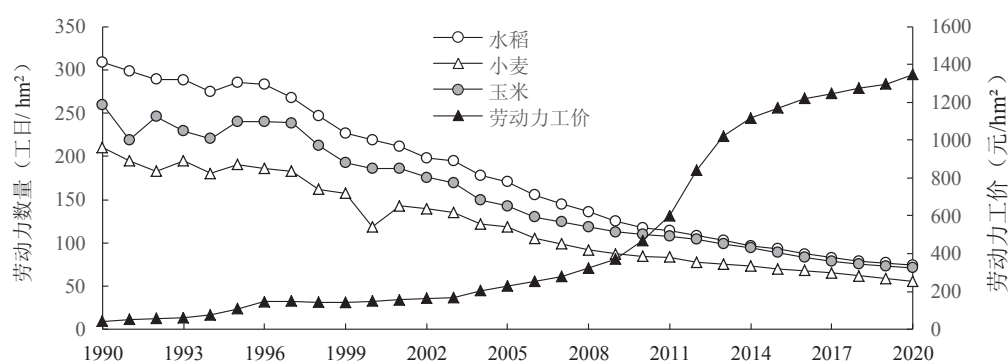


图2 粮食生产劳动力数量和工价变化

Fig. 2 Changes of labor quantity and price in grain production

显现。水稻、小麦、玉米人工费用占比高的省份，净利润相对都较低；反之，人工费用占比低，机械费用占比高于全国平均水平，净利润则较高。三种主粮的净利润波动周期基本一致。1992—1995年和2001—2013年为盈利上升期，1996—2003年和2013年至今为净利润下降期。水稻盈利在历年间一直保持为正，小麦单位面积净利润为负的年份最多，即便是净利润为正的年份，单位面积净利润在主粮中也较低。玉米净利润波动幅度最大，特别是在2015—2018年亏损超过1500元/hm<sup>2</sup>，2016年亏损已达4500元/hm<sup>2</sup>。同样主粮品种的生产净利润省份间差距在近年逐步拉大，以中籼稻为例，2005年最高净利润和最低净利润省份差距为3483元/hm<sup>2</sup>，2018年差距扩大为9605元/hm<sup>2</sup>，不同品种高低净利润均差距扩大2~3倍不等。

2.2.3 中性技术进步特征明显，部分地区缺乏技术进步动力 资源和环境约束不断增强，必须依靠技术进步和体制优化提高粮食全要素生产率，提高要素边际回报率，才能实现粮食生产向高产、优质和高效方向发展。农业农村部自2006年发布农业技术进步贡献率，以此作为衡量农业科技创新支撑农业高质量发展和乡村振兴的核心指标。2001年农业技术贡献率超过50%，2020年突破60%，其增长率在1993—1997和2000—2002年出现了小幅上升，在2002年后增长幅度趋于平稳。

粮食品种的全要素生产率（TFP）测算也成为近年的研究热点，通过TFP测算挖掘其含义，对各个品种的技术进步类型、影响因素进行深入剖析。在研究方法上将要素固定弹性改进为随时间和要素投入量变动的两个组成部分，模拟现实生产中生产前沿面提高和要素投入占比变化，并取得了较为一致的研究结论。南方籼稻产区技术效率差距不大，种子、化肥投入过量<sup>[21]</sup>。水稻TFP增长主要源于

技术进步，偏向技术进步不足<sup>[22-23]</sup>。小麦TFP各产区存在较明显差异，技术进步非中性<sup>[24-25]</sup>，主要类型是劳动力节约型和机械使用型<sup>[26-27]</sup>。三大主粮TFP增长主要以中性技术进步为主要驱动力，即主要依靠技术前沿面的提高实现技术进步。主粮生产都存在种子、化肥、农药费用等生产要素投入冗余现象，导致技术效率损失。一些粮食主产区近年发展规模化经营，通过机械化替代人工或强化某一项技术，推动偏向技术进步，实现了中性技术进步和技术效率共同改善，较为明显的是北方春播玉米带和东北粳稻主产区。西南山地和南方地区具有兼业化、规模小和分散经营的特点，主要依靠某项可物化技术要素（育种、肥料、机械、农药）实现技术进步“单驱动”，导致西南地区玉米和南方地区水稻生产TFP增长缺乏动力。

2.2.4 财政支农重点是主产区粮食生产环节 由于农业公共产品属性，投资收益率较低等特征，各级政府财政支农资金是农业发展的主要投入来源并发挥着导向作用。1994年我国开始投资兴建了一批农田水利设施，并开始重视农业生产风险防范和生态环境治理，为2004年粮食产量达到5.0亿t打下了基础。2004年之后，逐步建立了种粮农民直接补贴、农作物良种补贴和农资综合补贴（前三项在2016年合并为农业支持保护补贴）和农技购置补贴政策体系，最低收购价制度和临时收储政策稳步实施，刺激了农户种粮积极性。财政支农总量由2004年的2359.9亿元增加到2019年的8183.4亿元，年平均增长率为16.5%。2004年以来，财政支农支出占财政总支出比例呈现波动性增长态势，并实施了目标明确的改革。一是，为激励农民开展秸秆还田、深松整地、施用有机肥等措施，主动保护耕地地力，2016年合并后的农业支持保护补贴，除一部分用于粮食适度规模经营外，其余调整为支持耕地地力保



护, 2020 年超过 1 200 亿元。二是, 为调动地方政府抓粮积极性, 在 2005 年出台的产粮(油)大县常规奖励机制的基础上, 筛选常规和超级产量大县, 实行动态奖励机制。奖励资金规模逐年增长, 2011 年达到 225 亿元, 2020 年达 467 亿元。此外, 中央通过减免主产区粮食风险基金地方配套, 持续减轻主产区财政负担, 形成了以粮食生产支持为主(2018 年 3 760.8 亿元, 占 68.7%), 收购(15.1%)、储存(15.8%)、销售(0.4%)支持为辅的财政支持体系。

### 2.3 产能增长压力与潜力

基于以上分析, 土地、水资源以及成本收益是粮食增产的强约束, 决定了粮食生产主产区对产能供给的贡献提升, 生产资源条件和经营规模是制约单产提高的主要因素。财政支农的效率逐渐减弱, 各级政府在经济新常态时期面临的财政收支平衡压力不容忽视, 节本增效是当前粮食产能增长的前提条件。综合以上因素, 又一个千亿斤产能增长较以往产能提升难度更大, 但产能增长依然乐观, 主要基于以下几个方面的原因。

首先, 各级政府压实粮食播种面积党政同责考核责任, 疫情防控进入常态化, 农户助耕助种、新型农业经营主体和社会化服务组织代耕代种等已成为较普遍的生产组织方式, 保障粮食播种面积稳定。其次, 我国粮食生产分布区域广、纬度跨度大, 局部自然灾害对整体产能不会造成本质性影响, 植保技术水平可以确保主要病虫害损失率控制在 5% 以内, 主粮机械化程度高, 保障旱涝灾害有效应对和及时抢种抢收。第三, 我国粮食产能体量大, 千亿斤产能增长占当前总产量的 7.7%, 同时三大主粮单产原有技术路径下, 仍有很大增长空间。特别是玉米的单产水平仅略微高于全球平均水平, 但与世界第一美国差距较远。2020 年在膜下滴灌、水肥一体化生产条件下, 我国玉米高产纪录为 24 948.75 kg/hm<sup>2</sup>, 但此纪录仍与美国农场主竞赛记录有较大差距。我国加快了粮食高产创建步伐, 自 2008 年至今以科研单位作为试验主体的高产创建, 重点开展栽培技术水平提升和技术集成。高产创建工程项目在各主产区建立实验区, 根据主产区资源禀赋开展要素配置效率优化, 细化和明确制约单产增长的具体问题进行各个击破。在粮食集约化经营方面, 培育和发现有效的推广实施载体和模式, 进一步挖掘粮食生产偏向性技术进步空间, 注重非物化节本增效技术和种粮规模效益提高。同时, 随着信息、物流和技术交流的发展, 非主产省可以更加快速、便捷地获得主产省技术外溢, 实现中性技术进步。

从长期来看, 数字农业、生物质工程、基因编辑育种等前沿领域研究突破可能引发颠覆性创新, 虽然还无法明确其转化为生产力的具体时间表, 但可以预见颠覆性创新将成为产能增长的巨大推动力。

## 3 实现又一个千亿斤增产路径选择

与前几次千亿斤产能提升相比, 再一次产能提升不仅在较高粮食产出水平下, 增产同时还要满足要素利用效率提升、资源环境可持续和生产投入经济可行的要求, 主要依靠单产提升实现产能增长, 毫无疑问, 科技、机制和模式发挥的作用越来越大。技术前沿面提升能否快速作用于生产层面, 需要高效的技术转移和扩散机制、良好联结的要素市场, 既有分品施策精细化设计支持政策, 也要有粮食保险、建设基础设施等一般性、基础性的支持体系。因此, 品种、单产和面积对千亿斤产能提升的贡献预测, 要统筹考虑技术、资源和政策等多因素, 增产路径的关键因素是共性关键技术突破, 以及适当的技术推广载体和模式下新技术转化为生产力。总体来看, 实现又一个千亿斤增产的潜力大于压力, 关键在于生产(生产环节)规模化、种业攻关和田田质量建设能否取得实质性推进。

### 3.1 技术演变与产量潜力分析

从粮食产量增长里程碑技术和发展趋势来看, 生产技术的发展向机械化、轻简化、标准化种植发展, 提高要素使用效率, 并兼顾与粮食间套作的作物(畜牧)产品的总产最优, 粮食生产的技术重点也有所调整(表 2)。水稻技术演变的重要目标是减少人工投入, 20 世纪 70 年代的免耕抛秧技术和 90 年代针对水稻播种和收获环节人工劳动强度大的问题, 利用精确定量栽培和叠盘出苗育秧技术, 提高秧苗成活率。同时水稻技术提升也表现出明显的南北差异, 东北粳稻产区以规模化作业和集约化经营为特征, 显著提高了单位劳动生产率。长江流域推进“籼改粳”试验示范, 形成“早籼-晚粳”、单季粳稻的种植模式, 缓解了“双抢”压力并减少高温热害的影响, 采用稻鸭、稻鱼共育减少化肥农药施用, 提高稻米品质和周年经济效益。小麦技术要点主要是节水节肥, 提高生产要素收益, 预防自然灾害和防控病虫害。针对华北主产区干旱缺水情况, 通过测墒补灌及氮肥后移, 提高水、氮肥利用效率。优化品种结构, 开展高产优质协同栽培技术研发, 保障了小麦总体产能较为稳定。大力发展粮食加工产业, 开发多种用途面粉形成价值提升, 逐步杜绝了种植环节品种混杂。玉米生产利用地膜覆盖、育苗移栽、双垄沟

表2 粮食产能增长里程碑技术和发展趋势

Table 2 Milestone technology and development trend of grain productivity growth

主粮	时间	技术要点	贡献	发展趋势
水稻	20 世纪 70 年代	水稻免耕抛秧	保护耕地质量，减少人工成本投入	优质丰产水稻品种推广，新型经营主体主导的机械化、轻简化、标准化种植模式
	20 世纪 80 年代	稻鸭共育	利用生物多样性，减少化肥农药施用，提高稻米品质和周年经济效益	
	20 世纪 90 年代	籼稻改粳稻	减轻双季稻两季生产成本投入，缓解双抢压力，减少高温热害对品质和产量的影响	
	21 世纪	精确定量栽培、叠盘出苗育秧	实现优质和丰产协同，生产轻简化、精准化	
小麦	20 世纪 70 年代	良种推广、施用化肥和农家肥	杜绝了品种杂乱现象	优化品种结构，开展高产优质协同栽培技术研发，开展化肥农药控量提效和减量替代研究，小麦产出和田园绿色生态共同发展
	20 世纪 80 年代	叶龄指标促控	因地制宜实现小麦高产稳产的促控法	
	20 世纪 90 年代	精播高产栽培	建立合理结构群体保证足够穗数，充分发展个体和群体，单产显著提高	
	21 世纪	测墒补灌及氮肥后移	提高水、氮肥利用效率	
玉米	20 世纪 70 年代	抗逆栽培、间套作与多熟种植	提高复种指数和土地利用效率	由依赖复种和肥料投入，转变为合理密植并提高水肥利用效率，着力研发耐密、抗逆和机械化技术体系
	20 世纪 80 年代	地膜覆盖、育苗移栽和化学调控增产	中低产田改造	
	20 世纪 90 年代	紧凑型玉米密植、直播和晚收	华北、华中地区夏玉米单产增加	
	21 世纪	膜侧集雨、双垄沟播、滴灌和水肥一体化	西北干旱地区玉米单产增加，种植面积扩大	

播等技术，扩大了玉米种植区域和面积，生产技术朝着合理密植提高水肥利用效率方向发展。

生产技术迭代发展中“高产高效”为方向性目标，集成推广先进实用技术，力求实现生态环境、品种遗传特性和生产管理措施综合作用最大化，以666.7 hm<sup>2</sup>为试验单元等过程性目标的重要性逐步凸显。从重点关注品种抗逆、增穗增产特性及水肥投入，逐步发展到品种、土壤、栽培和环境的多因素综合优化，满足高产、优质、高效、可持续等多目标需求，推动多学科融合，栽培理论和生产实践向定量化、模式化、指标化方向发展。同时育种技术的基础性创新作用显著，可以通过技术“路径突破”，实现生产前沿面的大幅提升。以水稻育种发展为例

(图3)，“三系”杂交水稻改变了之前矮化育种的育种技术路径，水稻平均单产由建国初期不足3 000 kg/hm<sup>2</sup>，迅速提高到6 750 kg/hm<sup>2</sup>，在上世纪80年代至21世纪初杂交育种增产表现效果突出。近5年，水稻碳-氮代谢关系取得了突破性进展，可能推动水稻育种技术跃迁。可见，基础研究的路径突破会大幅提高产能增长空间，同时栽培模式、要素组织方式和技术集成有利于当前技术水平下的渐进式单产增长，依赖技术进步缩小产量差和效率差还有较大提升空间，但产能提升时间表具有不确定性。

### 3.2 千亿斤产能提升模拟

在我国粮食播种总面积稳定、种植技术和生产组织及管理已达到一定水平，各类灾害对产能影

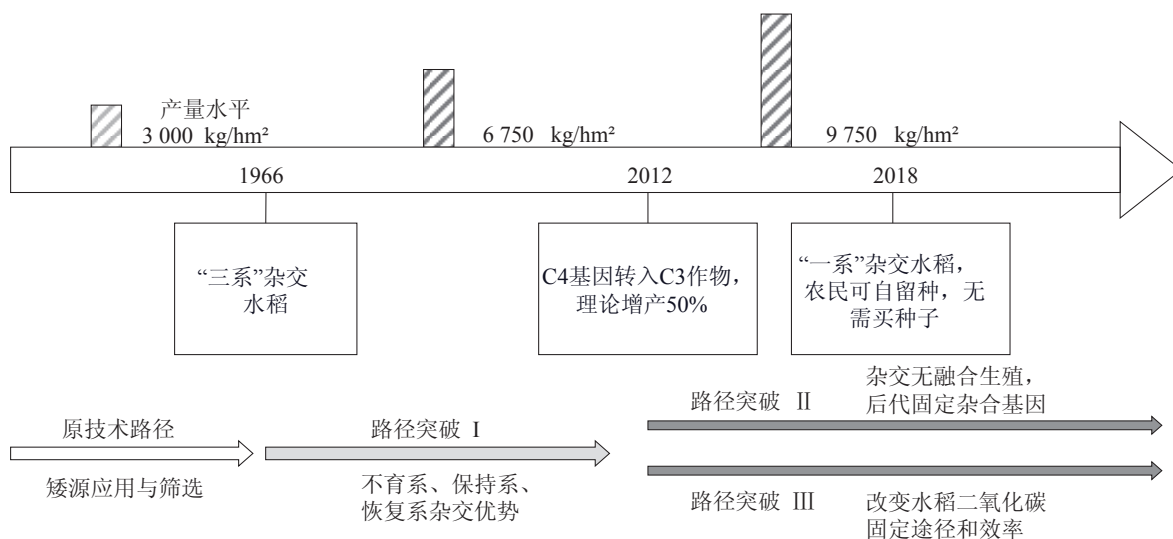


图3 水稻育种技术突破与产量水平变化

Fig. 3 Breakthrough of rice breeding technology and change of yield level

响有限的整体判断基础上,对千亿斤产能提升进行模拟预测有助于估计各品种单产和面积对增产的贡献,对产能提升具体实现年份进行预判。模拟将 2020 年粮食产能作为基准期,把三大主粮的单产和面积作为预测基本指标,设定 80% 和 90% 两种情景作为主粮占粮食总产的比例。单产预测方案主要依据最近 3 次千亿斤产能增加单产变化趋势,各品种与世界主要生产国的单产差距与我国高产创建产量差,以及种子性状、地力、环境、作物特性等限制性条件。虽然育种技术对粮食增产的重要贡献,2008—2018 年水稻、小麦和玉米品种增产贡献率分别为 45.9%、30.0% 和 47.3%<sup>[28]</sup>,但本研究预测期较短,单产模拟高方案设定为当前技术水平下依赖偏向技术进步的单产增长率。综上,设定水稻、小麦和玉米的高方案单产年增产率分别为 0.7%、1.0%、0.8%,低方案分别为 0.2%、0.3%、0.4%,均低于产能达到 6.5 亿 t 后年平均单产增长率(表 3)。

表 3 主粮产能增长率预测 (%)

Table 3 Forecast of major grain production capacity changes (%)

基准年 2020 年	水稻			小麦			玉米		
	单产 7 044 kg/hm <sup>2</sup>	面积 0.30 亿 hm <sup>2</sup>	总产 2.12 亿 t	单产 5 742 kg/hm <sup>2</sup>	面积 0.23 亿 hm <sup>2</sup>	总产 1.34 亿 t	单产 6 317 kg/hm <sup>2</sup>	面积 0.41 亿 hm <sup>2</sup>	总产 2.61 亿 t
高方案	0.7	-0.1	0.6	1.0	-0.3	0.7	0.8	0	0.8
增长率 中方案	0.5	-0.1	0.4	0.7	-0.2	0.5	0.6	-0.1	0.5
低方案	0.2	-0.1	0.1	0.3	-0.1	0.2	0.4	-0.1	0.2

根据单产和面积三种方案模拟(图 4),我国粮食产量达到 7.0 亿 t 最快实现年份在 2026—2027 年,水稻、小麦和玉米的单产达到 7 370.78 kg/hm<sup>2</sup>、6 125.72 kg/hm<sup>2</sup> 和 6 652.85 kg/hm<sup>2</sup>,与基期相比播种面积减少约 50 万 hm<sup>2</sup>。预测显示即便在低方案情景下,水稻、小麦和玉米单产增速分别为 0.5%、0.3% 和 0.6%,分别为 5.0 亿~6.5 亿 t 单产增长率的 56.8%、12.7% 和 37.7%。并且面积增长率均为 -0.1%,与基期相比共减少播种面积 141 万 hm<sup>2</sup>,可以在

对于播种面积的预测设定,主要考虑因素为该品种的成本收益情况、适宜种植区域的土地后备资源、规模化程度、机械化水平和生产劳动强度等因素,同时设定三大主粮总播种面积不超过 0.95 亿 hm<sup>2</sup>。受经济发展和土地后备资源的制约,主粮种植面积预期为小幅下降。其中小麦生产主要集中在华北和华中地区,河南、山东、安徽、河北、江苏 5 省占我国小麦总面积的 72%,总产超过 80%,生产收益水平较其他主粮较差,自给率最高,因此设定其面积降幅主粮中最大,低、中、高方案的面积变化率为 -0.1%~0.3%,同时在单产增速 0.3% 的设定值下,面积减少幅度最小,以保障 0.2% 的总产增长率。玉米在主粮中收益情况较好,且种植区域较广,其高方案设定面积不变。水稻年产量超过千万吨的主产省份较多,生产收益水平较为稳定,优质稻米价格走势坚挺,水稻播种面积波动幅度小,设定其低、中、高方案中播种面积年增长率均为 -0.1%。

2035 年实现粮食 7.0 亿 t。三种方案玉米增产贡献最大,其次为水稻,小麦贡献最小。

### 3.3 粮食产能稳定增长的关键要素

3.3.1 通过服务规模化和经营规模化实现粮食生产帕累托最优 从模拟结果来看,实现 7 亿 t 产量目标的潜力大于压力,但是由于各产区产能基础条件不同,增产技术不仅与当地资源条件相适应,还要考虑实施的劳动强度、经济成本、配套技术、产出效益、环境友好等多方面因素<sup>[29]</sup>。“大国小农”是我国的基本国情农情,是我国粮食生产的基本面。在西北、东北地区,随着农村人口向城镇迁移,一部分农民退出农业生产,通过土地流转提高经营规模化水平,新型经营主体成为粮食生产的中坚力量。在更多的地区,农户兼业化、老龄化、粗放化现象依然较为普遍,放大了小农户经营缺陷。在农村基层技术推广服务低效率、小农户分散经营,小农户技术采纳动力不足,农村劳动力老龄化的历史情境下,发展社会化服务将破解小农户技术进步和要素配置效率提升的难题,形成投入减量提效的激励机制,形成以粮食作物全生育期的技术集成。2017 年《关于支持农业生产社会化服务工作的通知》(农办财

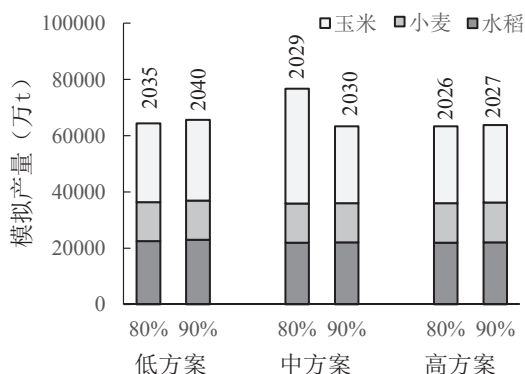


图 4 千亿斤增产方案模拟结果

Fig. 4 Simulation results of 50 billion kg yield increase scheme



[2017] 41号)下发,2018—2020年托管面积分别达到0.92亿 $\text{hm}^2$ 、1.01亿 $\text{hm}^2$ 和1.07亿 $\text{hm}^2$ ,农业生产托管呈蓬勃发展态势<sup>[30]</sup>。依托社会化服务实现的服务规模化和通过土地流转实现的经营规模化,已成为实现粮食生产帕累托最优的有效途径。社会化服务利用工程装备、智能移动设备、信息技术等现代要素,可以大幅降低农业劳动强度,依靠多指标智能决策提高管理和要素配置效率,打破以往依赖农户实践和摸索积累技术和经验的方式,帮助小农户跨越技术摸索阶段,减少试错风险,提高农事耕作过程和农产品生产过程的规范和标准程度。同时,新型经营主体既可以购买社会化服务,弥补自身在某个生产环节不经济或某项技术不专业,也可以成为生产性服务的供给者,最大限度实现其机械设备、技术、组织优势等价值。

3.3.2 开展种业攻关激发产能大幅提升 种子是农业发展的“芯片”,也是易于推广的可物化技术。人类主要粮食作物育种发展经历了驯化选育,利用种质资源杂交育种,发展生物技术开展“优质、高产、节肥、节水、抗病”品种选育的发展历程。20世纪中期的“绿色革命”就是利用“矮化基因”培育矮秆、耐肥、抗倒伏的水稻、小麦、玉米品种,大幅提高了粮食单产。从我国粮食品种选育发展来看,每次技术路径突破升级,都可能实现单产或产能大幅增长。育种科学研究永无止境,育种技术在技术路径上不断开拓。目前,我国正在开展基于合成生物学利用“底盘+模块+元件”的思路,培育高光效、固氮等品种,有目标地创建新生命体系,实现产量大幅提高和抗逆稳产。推动种业发展战略和政策,应重点营造宽松的科研环境,促进不同学科领域交叉、碰撞的研究机制建设,特别重视当前大数据和信息技术的“使能”作用,形成适合我国粮食生产禀赋特征的跨领域、跨学科集成技术。

从前沿项目管理角度来看,应基于人类知识拓展和科学研究的规律,采取基于路径创新的项目评价方法,聚焦认知扩展、关键技术和可能产生衍生集群的核心技术。重视私人部门在市场、消费、商业模式等方面的优势,开展公私部门科研协同与合作,帮助技术部门预判市场前景和应用领域,借助机制、模式、孵化器、技术转化中介组织等途径推动科学技术实现其市场价值,提高良种审定标准,引导培育突破性品种。具体到粮食种业,可以参照超级水稻工程的做法,开展主要粮食品种高产攻关计划,设立研发重大专项。聚焦种业重大科学问题,以问题为导向建立良种攻关团队,增加研发专项投

入,缩小玉米和大豆与国外单产差距。重视并支持主要粮食栽培研究体系建设,建立成体系的种苗培育流程,实现种业研发的可持续、高效化。支持新品种良种繁殖基地建设,确保大面积生产用种供给,提高良种供给能力。

3.3.3 提高农田质量,保障粮食产能持续增长 土地是粮食生产的载体,农田基础设施和土壤质量不仅决定了目前粮食产能水平和生产效率,也决定了未来增产潜力和品质。目前,国家对高标准农田建设给予1.5万~2.25万元/ $\text{hm}^2$ 补贴,而要实现土地平整、机械耕作、旱涝保收的建设标准,实际花费要达到4.5万元/ $\text{hm}^2$ 以上。因此,中央和地方必须形成合力,创新机制吸纳全社会力量共同参与,增加单位面积投入,补齐节水灌溉、机耕道建设等“最后一公里”短板。完善高标准粮田建成后管护机制,将建成的高标准粮田统一上图入库,实现有据可查、全面监控、精准管理。通过强化高标准粮田建、管、护等各个环节工作,保障建设质量和水平,确保工程设施定期维护,长久持续发挥效益。

对于土壤改良和质量提升,一方面不断加大监管力度,针对降低粮食籽粒重金属含量的土壤修复试验和研究不断深入,实施方案以休耕补贴为主,开发创新治理性技术指导、产量保险、分级收购等多元生态政策。通过试验筛选具有耐性及吸收积累能力的作物及其匹配的种植模式、规模,一揽子解决生产、收购和非可食部分集中处理等问题。对于农业生产的投入品和废弃物,农药、化肥过量使用或不规范操作造成的污染,使用不达标农膜残留污染和畜牧业生产废弃物排放,亟待将绿色生产嵌入生产经营模式中,通过政策、技术支撑,找到绿色生产经济可行的模式,使其可持续运营。

致谢:感谢中国农业科学院作物科学研究所张俊副研究员、肖永贵副研究员、马玮副研究员对本文提出的建设性意见。

#### 参考文献:

- [1] 钟钰,陈希,牛坤玉.粮食出口限制政策的实施效果与我国应对——来自部分小麦出口国的证据[J].经济纵横,2021(8):29-39,137.  
Zhong Y, Chen X, Niu K Y. On the implementation effect of grain export restriction policy and China's countermeasures: Evidence from some wheat exporting countries[J]. Economic Review Journal, 2021(8): 29-39, 137.
- [2] 蔡昉.中国应为下一个人口转折点未雨绸缪吗?[J].经济与管理研究,2020,41(10):3-13.  
Cai F. A tale of two turning points: Should China worry about its next population hinge?[J]. Research on Economics and Management, 2020, 41(10): 3-13.

- [3] 王国敏, 侯守杰. 新冠肺炎疫情背景下中国粮食安全: 矛盾诊断及破解路径[J]. 新疆师范大学学报(哲学社会科学版), 2021, 42(1): 120-133, 2.
- Wang G M, Hou S J. Ensuring China's food security in the global COVID-19 crisis: Contradictions and resolutions[J]. Journal of Xinjiang Normal University (Edition of Philosophy and Social Sciences), 2021, 42(1): 120-133, 2.
- [4] 冷汐, 赵晓娜, 张茵. 全球粮价飙涨, 谁在推波助澜?[N]. 南方日报, 2022-04-30(7).
- Ling X, Zhao X N, Zhang Y. Global food prices soared: What's behind it?[N]. Southern Daily, 2022-04-30(7).
- [5] 朱晶, 李天祥, 林大燕, 等. “九连增”后的思考: 粮食内部结构调整的贡献及未来潜力分析[J]. 农业经济问题, 2013, 34(11): 36-43, 110-111.
- Zhu J, Li T X, Lin D Y, et al. Analysis on China's nine-year consecutive grain production growth: Contribution and future potential of inter-crop structural adjustment[J]. Issues in Agricultural Economy, 2013, 34(11): 36-43, 110-111.
- [6] 王济民, 肖红波. 我国粮食八年增产的性质与前景[J]. 农业经济问题, 2013, 34(2): 22-31.
- Wang J M, Xiao H B. Properties and prospects of grain yield increase in China in 8 years[J]. Issues in Agricultural Economy, 2013, 34(2): 22-31.
- [7] 田甜, 李隆玲, 黄东, 等. 未来中国粮食增产将主要依靠什么?——基于粮食生产“十连增”的分析[J]. 中国农村经济, 2015(6): 13-22.
- Tian T, Li L L, Huang D, et al. What will China's grain production increase rely on in the future? Analysis based on “ten consecutive increases” in food production[J]. Chinese Rural Economy, 2015(6): 13-22.
- [8] 丁声俊. 我国粮食“九连增”的成因与启示——兼谈价格杠杆的运用与作用[J]. 价格理论与实践, 2012(11): 4-6.
- Ding S J. Causes and enlightenment of China's nine-year consecutive grain production growth: Discussion on use and role of price leverage[J]. Price: Theory & Practice, 2012(11): 4-6.
- [9] 叶贞琴. 转变发展方式 打造粮食发展新增长势——关于我国粮食“九连增”后的若干思考[J]. 农业经济问题, 2013, 34(5): 4-9.
- Ye Z Q. Changing patterns of development to create the new growth of food production: Some thoughts on China's nine-year consecutive grain production growth[J]. Issues in Agricultural Economy, 2013, 34(5): 4-9.
- [10] 孙博文. 我国农业补贴政策的多维效应剖析与机制检验[J]. 改革, 2020(8): 102-116.
- Sun B W. Multidimensional effect analysis and mechanism test of agricultural subsidy policy in China[J]. Reform, 2020(8): 102-116.
- [11] 王军, 张越杰. 中国粮食增产的主要因素贡献分解与实证估算[J]. 统计与决策, 2020, 36(1): 44-48.
- Wang J, Zhang Y J. Decomposition and empirical estimation of main factors contributing to grain yield increase in China[J]. Statistics & Decision, 2020, 36(1): 44-48.
- [12] 黄秉信, 宋勇军. 我国粮食生产重心进一步向北转移[J]. 中国粮食经济, 2020(7): 49-52.
- Huang B X, Song Y J. China's grain production center of gravity shifts further to the north[J]. China Grain Economy, 2020(7): 49-52.
- [13] 王薇, 张淑雯, 田旭. 三大主粮增产原因及潜力分析——基于单产增长的内部贡献分解[J]. 农林经济管理学报, 2019, 18(4): 441-452.
- Wang W, Zhang S W, Tian X. Growth potential of three staple grains in China: From the perspective of yield growth decomposition[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2019, 18(4): 441-452.
- [14] 万炜, 李含微, 王佳莹, 等. 基于空间平滑法的旱作区粮食产量时空变化与影响因素研究[J]. 农业工程学报, 2019, 35(16): 284-296.
- Wan W, Li H W, Wang J Y, et al. Spatio-temporal changes and influencing factors of grain yield based on spatial smoothing method in dryland farming regions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(16): 284-296.
- [15] 张宗毅. “十四五”期间丘陵山区农田宜机化改造若干重大问题与举措[J]. 中国农村经济, 2020(11): 13-28.
- Zhang Z Y. Some important problems and measures of farmland construction suitable for mechanization in hilly and mountainous areas during the 14th five-year plan period[J]. Chinese Rural Economy, 2020(11): 13-28.
- [16] 杨宗辉, 李金镨, 韩晨雪, 等. 我国粮食生产重心变迁及其影响因素研究[J]. 农业现代化研究, 2019, 40(1): 36-43.
- Yang Z H, Li J K, Han C X, et al. The evolution path of China's grain production base and the influencing factors[J]. Research of Agricultural Modernization, 2019, 40(1): 36-43.
- [17] Liu Y S, Li J T, Yang Y Y. Strategic adjustment of land use policy under the economic transformation[J]. Land Use Policy, 2018, 74: 5-14.
- [18] 刘正佳, 钟会民, 李裕瑞, 等. 近 20 年中国粮食生产变化特征及其对区域粮食供需格局的影响[J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1413-1425.
- Liu Z J, Zhong H M, Li Y R, et al. Change in grain production in China and its impacts on spatial supply and demand distributions in recent two decades[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(6): 1413-1425.
- [19] 罗海平, 邹楠, 胡学英, 等. 1980—2019 年中国粮食主产区主要粮食作物气候生产潜力与气候资源利用效率[J]. 资源科学, 2021, 43(6): 1234-1247.
- Luo H P, Zou N, Hu X Y, et al. Climatic potential productivity and resources utilization efficiency of major grain crops in the main grain production areas of China, 1980-2019[J]. Resources Science, 2021, 43(6): 1234-1247.
- [20] 李琪. 水稻化肥农药减量增效技术推广路径分析——基于农户采纳行为视角[D]. 杭州: 浙江大学, 2018.
- Li Q. A study on the extension of fertilizer and pesticides reducing technologies in rice: Based on the perspective of farmers' adoption behavior[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2018.
- [21] 杨万江, 李琪. 我国农户水稻生产技术效率分析——基于 11 省 761 户调查数据[J]. 农业技术经济, 2016(1): 71-81.
- Yang W J, Li Q. Analysis on technical efficiency of rice production by farmers in China: Based on survey data of 761 households in 11 provinces[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2016(1): 71-81.
- [22] 朱满德, 陈其兰, 徐雪高. 我国稻谷全要素生产率的时空变异与特征比较[J]. 新疆农垦经济, 2017(7): 11-20.

- Zhu M D, Chen Q L, Xu X G. Spatial and temporal variation and characteristics comparison of total factor productivity of rice in China[J]. Xinjiang State Farms Economy, 2017(7): 11-20.
- [23] 罗慧, 赵芝俊. 偏向性技术进步视角下中国粳稻技术进步方向及其时空演进规律 [J]. 农业技术经济, 2020(3): 42-55.
- Luo H, Zhao Z J. Realizing path and temporal-spatial evolution on technical progress of China's japonica rice under the perspective of biased technical progress[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2020(3): 42-55.
- [24] 袁青青, 韩一军. 我国小麦全要素生产率的评价分析——基于DEA-Malmquist指数方法 [J]. 中国农业文摘-农业工程, 2018, 30(4): 19-24.
- Yuan Q Q, Han Y J. Evaluation of total factor productivity of wheat in China: Based on DEA-Malmquist index method[J]. Agricultural Science and Engineering in China, 2018, 30(4): 19-24.
- [25] 高佳佳, 赵芝俊. 我国小麦生产的技术进步率测算与分析——基于随机前沿分析方法 [J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(3): 149-157.
- Gao J J, Zhao Z J. The measurement and analysis on technical progress of wheat production in China: Based on the stochastic frontier analysis method[J]. Journal of China Agricultural University, 2018, 23(3): 149-157.
- [26] 陈书章, 宋春晓, 宋宁, 等. 中国小麦生产技术进步及要素需求与替代行为 [J]. 中国农村经济, 2013(9): 18-30.
- Chen S Z, Song C X, Song N, et al. Technological progress of wheat production in China of element demand and substitution behavior[J]. Chinese Rural Economy, 2013(9): 18-30.
- [27] 郭焱, 占鹏, 邓远远, 等. 中国玉米全要素生产率增长分解与空间收敛性 [J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(1): 185-195.
- Guo Y, Zhan P, Deng Y Y, et al. Decomposition and spatial convergence of TFP growth of Chinese maize[J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(1): 185-195.
- [28] 中国农业科学院组织. 中国农业产业发展报告-2021[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2021.
- The Chinese Academy of Agricultural Sciences. China Agricultural Sector Development Report[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2021.
- [29] 陈秧分, 王介勇, 张凤荣, 等. 全球化与粮食安全新格局 [J]. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1362-1380.
- Chen Y F, Wang J Y, Zhang F R, et al. New patterns of globalization and food security[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(6): 1362-1380.
- [30] 中华人民共和国农业农村部. 农业社会化服务发展势头强劲 [R]. 北京: 中华人民共和国农业农村部, 2020.
- The Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Strong Development Momentum of Agricultural Social Services[R]. Beijing: The Ministry of Agriculture and Rural Affairs, 2020.

(责任编辑: 王育花)