

技术进步路径与中国粮食安全

——基于 GTAP 模型的分析

雷泽奎,涂涛涛*,李霞

(华中农业大学 经济管理学院,湖北 武汉 430070)



摘要 选取产量与人均营养元素供给为粮食安全指标,采用 GTAP 模型探讨了技术进步路径选择对中国粮食安全的影响。研究表明,技术进步路径选择对保障中国粮食安全具有至关重要的作用。从农产品产量来看,所有类型的技术进步冲击均有利于农产品产量的提高,且土地及非熟练劳动力增进型技术进步的作用较为显著;进一步细分非熟练劳动力发现,农业及其他非熟练劳动力增进型技术进步对农产品的增产作用最为显著。从人均营养元素供给的变化来看,土地和非熟练劳动力增进型技术进步对人均营养元素供给的影响最为显著,而水资源增进型技术进步的影响则不明显;在细分非熟练劳动力的情景下,三类非熟练劳动力增进型技术进步中,农业及其他非熟练劳动力增进型技术进步对人均营养元素供给的影响最显著。提出为有效保障中国的粮食安全,农业技术变革应偏向于提升土地及非熟练劳动力的生产效率。

关键词 技术进步路径;粮食安全;营养指标;GTAP 模型;农产品产量

中图分类号:F 323 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-3456(2021)02-0090-11

DOI 编码:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2021.02.011

改革开放以来,中国农业取得了巨大成就。据中国国家统计局数据显示,中国粮食产量在2004—2015年期间实现“十二连增”,截至2018年中国粮食产量已达6.57亿吨。然而,当前中国粮食安全的可持续性面临着耕地减少、农村劳动力老龄化以及国际经济与政治环境不稳定等冲击。首先,随着中国城市化和工业化的持续推进,中国耕地面积持续减少。中国国家统计局数据显示,2010—2017年中国耕地面积由1.353亿公顷减少至1.349亿公顷;而根据联合国粮农组织统计,1961—2016年中国人均耕地面积由0.155公顷下降为0.086公顷,降幅高达45.2%。其次,农村劳动力老龄化将导致中国粮食生产中劳动力的匮乏。根据中国国家统计局发布的数据,2015—2018年中国60岁及以上人口占总人口的比重由16.1%增加至17.9%。另外,根据世界卫生组织于2016年发布的《农村劳动力老龄化问题国家评估报告》,随着人口的城乡流动,2030年中国农村地区60岁及以上人口的比例将高达21.8%。最后,随着中国国际竞争力与影响力的提升,中国面临的国际环境也愈发不稳定。在中美贸易摩擦不断升级的背景下,中国的农产品贸易环境也逐渐恶化。这意味着,中国粮食进口贸易面临着极大的不确定性。简言之,可用耕地面积减少和农业劳动力供给短缺会对中国粮食的国内生产与供给产生负面冲击,而中美贸易摩擦的加剧将进一步恶化中国粮食供给的外部风险。因此,在上述不利条件下探讨保障中国粮食安全的有效途径,具有极其重要的现实意义。

收稿日期:2020-06-11

基金项目:国家自然科学基金项目“偏向型技术进步与农业要素收入分配:基于理论和实证的分析”(71503092);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2662020JGPY009)。

* 为通讯作者。

一、文献回顾与理论分析

从中国现实国情来看,试图通过提高耕地面积和劳动投入的手段保障粮食安全具有较大难度。首先,中国工业化与城市化的进程具有不可逆性^[1],在这一背景下,大幅增加耕地面积的可能性较小。其次,随着城市中二、三产业劳动力短缺现象的出现,非农产业的劳动报酬会随之上升,这将进一步吸引青壮年农业劳动力向非农产业的转移^[2]。换言之,中国农业劳动力的流失在短期内是难以逆转的。最后,美国已将中国视为战略竞争对手,中美贸易摩擦在未来一段时期内将会成为常态,这使得中国粮食安全面临的外部风险进一步增加。因此,于中国而言,在外部环境进一步恶化的背景下,增加耕地面积和农业劳动力投入并非保障粮食供给安全的有效途径。

已有研究表明,当水土、劳动力等资源与要素禀赋制约了粮食的持续增产时,打破约束的有效途径之一便是依靠技术进步^[3]。为此,众多学者考察了农业技术进步与粮食安全的关联性。相关研究发现,农业生产领域的技术进步是保障粮食安全的重要手段^[4-9],这一保障作用主要体现为要素生产效率和粮食产量的提高^[10]。事实上,技术进步对粮食产量的提升作用不仅适用于中国,也发生在马来西亚^[11]、乌干达^[12]、坦桑利亚^[13]等国家。需要指出的是,现有研究大多从总体上探讨技术进步与粮食安全的关系,而未考察农业技术进步路径的差异化影响。考虑到这一局限性,涂涛涛等^[14]基于中国动态 CGE 框架将农业技术进步路径分为土地、劳动力和资本增进型技术进步,并考察了农业技术进步偏向对中国粮食安全的影响。其研究发现,土地、劳动力和资本增进型技术进步对中国粮食的增产作用依次递减。

上述研究对于理顺技术进步与粮食安全的关联性具有重要意义。然而,需要指出的是,在对粮食安全的内涵进行界定时,上述研究通常仅考虑了粮食产量层面,而未从营养供给视角探讨粮食安全。实际上,与产量层面相比,营养供给层面的粮食安全可能更为重要。营养供给的缺乏会导致营养不良率的上升^[15]。营养不良不仅会造成严重的健康问题^[16],还会导致青少年认知水平的下降^[17]、并降低其教育的质量^[18]。而健康与教育问题通常会引发严重的贫困问题^[19]。一般而言,贫困人口更容易面临粮食供给短缺问题。粮食供给的短缺与营养不良会使得贫困人口陷入“贫穷陷阱”。正如 Legg 等^[20]和 Marivoet 等^[21]所指出的,粮食安全不仅包含粮食供给,还应考虑营养与健康安全。

综合以上分析,现有文献就技术进步与粮食安全问题进行了深入研究,同时部分学者也对技术进步路径对粮食安全的影响展开了分析。然而,现有关于技术进步与粮食安全问题的研究多以粮食产量衡量粮食安全,指标选取过于单一,忽视了营养供给安全的重要性。同时,农业生产涉及熟练劳动、非熟练劳动、资本、土地以及水等自然资源在内的多种要素,现有关于技术进步路径对粮食安全的影响研究所考察的技术进步类型缺乏进一步细分。事实上,技术进步路径对农产品产量及营养供给两方面都有影响。首先,由于农产品的固有属性差异,要素投入比不同,因此不同类型的技术进步对农产品产量的影响的大小也存在差异。其次,要素增进型技术进步意味着投入要素的实际相对价格变动,从而影响农业生产中要素投入的结构。要素投入的结构变动最终对要素报酬和家庭收入产生影响,而家庭收入的变动则会进一步对农产品的需求(国内品和进口品)产生影响,从而导致农产品供给结构发生改变。农产品供给结构变化会引起营养供给的变化。

基于以上分析,本文拟区分农业技术进步路径,在界定粮食安全指标时综合考虑农产品产量与营养供给指标,运用 GTAP 模型进行模拟,从而探讨农业技术进步路径对中国粮食安全的影响。

二、模型介绍与情景设置

1. 模型介绍

为了探讨农业技术进步路径与粮食安全的关联性,本文拟采用由美国普渡大学开发的静态跨区

域可计算一般均衡模型(GTAP)进行分析^①。GTAP 模型为跨区域、多部门一般均衡模型,该模型建立了不同国家(或地区)生产、消费、政府支出等行为的子模型,并根据国家(地区)间的贸易关系将子模型进行整合。在 GTAP 模型中,产品的生产通常采用嵌套的固定替代弹性(CES)生产函数。在本文的模型中,生产要素包含资本、熟练劳动力、非熟练劳动力、土地、水(淡水)和自然资源^②六类。其中,熟练劳动力包含两类,即技术和辅助专业人员、官员与管理人员;非熟练劳动力包含三类,即职员、服务与商店人员、农业及其他非熟练劳动力。生产要素分为可流动要素和不可流动要素。具体而言,可自由流动的要素包括资本、熟练劳动力、非熟练劳动力以及土地;不可自由流动要素则包括水和自然资源。并且,本文所使用的 GTAP 模型主要基于通用代数建模系统(GAMS)实现^[22]。

需要指出的是,标准 GTAP 模型数据库包含 57 个部门和 140 个地区。出于简化模拟结果的考虑,本文将 140 个地区合并为 11 个区域,具体分类见表 1:

表 1 11 个区域的统计范围

类别	统计范围
大洋洲国家和地区	澳大利亚,新西兰,大洋洲其他国家
中国大陆地区	中国大陆地区
东亚其他地区	日本,韩国,蒙古,中国台湾地区,中国香港,文莱,东亚地区的其他国家或地区
东南亚地区	柬埔寨,印度尼西亚,老挝人民民主共和国,马来西亚,菲律宾,新加坡,泰国,越南,东南亚地区的其他国家
南亚地区	孟加拉国,印度,尼泊尔,巴基斯坦,斯里兰卡,南亚地区的其他国家
北美地区	美国,加拿大,墨西哥,北美地区的其他国家
拉丁美洲	多米尼加共和国,阿根廷,玻利维亚,巴西,智利,哥伦比亚,厄瓜多尔,巴拉圭,秘鲁,乌拉圭,委内瑞拉,南美洲其他地区,哥斯达黎加,危地马拉,洪都拉斯,尼加拉瓜,巴拿马,萨尔瓦多,中美洲其他地区,牙买加,波多黎各,特立尼达和多巴哥,加勒比海地区的其他国家
欧盟 28 国	奥地利,比利时,塞浦路斯,捷克共和国,丹麦,爱沙尼亚,芬兰,法国,德国,希腊,匈牙利,爱尔兰,意大利,拉脱维亚,立陶宛,卢森堡,马耳他,荷兰,波兰,葡萄牙,斯洛伐克,斯洛文尼亚,西班牙,瑞典,英国,保加利亚,克罗地亚,罗马尼亚
中东和北非地区	阿曼,以色列,巴林,伊朗伊斯兰共和国,约旦,科威特,卡塔尔,沙特阿拉伯,土耳其,阿拉伯联合酋长国,西亚其他地区,埃及,摩洛哥,突尼斯,北非地区的其他国家
撒哈拉以南非洲地区	贝宁,布基纳法索,喀麦隆,科特迪瓦,加纳,几内亚,尼日利亚,塞内加尔,多哥,西非其他地区,中非,中南非,埃塞俄比亚,肯尼亚,马达加斯加,马拉维,毛里求斯,莫桑比克,卢旺达,坦桑尼亚,乌干达,赞比亚,津巴布韦,东非其他地区,博茨瓦纳,纳米比亚,南非,南非地区的其他国家
世界其他地区	瑞士,挪威,欧洲自由贸易联盟其他国家和地区,阿尔巴尼亚,白俄罗斯,俄罗斯联邦,乌克兰,东欧其他地区,欧洲其他国家,哈萨克斯坦,吉尔吉斯斯坦,前苏联其他国家和地区,亚美尼亚,阿塞拜疆,格鲁吉亚,其他未列出地区

注:数据系根据 GTAP 数据库中的国家或地区分类汇总。

2. 要素增进型技术进步及其在 GTAP 模型中的嵌入

与要素增进型技术进步相对应的是偏向型技术进步。关于技术进步偏向的研究最早由 Hicks^[23]开创,他认为,生产要素价格的相对变化会引发技术革新,并使技术进步偏向于提高昂贵生产要素的生产率。基于内生性经济理论框架,Acemoglu 探讨了技术进步偏向性的内在机制及影响,并指出有偏技术进步主要包括两类:第一类为要素增进型技术进步,即提高某种要素的产出效率的技术进步;第二类为偏向型技术进步,即导致要素边际产出比例发生变化的技术进步^[24]。在本文中,将主要考察要素增进型技术进步的影响。

为了模拟要素增进型技术进步对粮食安全的影响,首先需要在 CGE 模型框架下引入要素增进型技术进步。借鉴 Acemoglu^[24]的研究,要素增进型技术进步の設定见式(1):

$$Y_t = C \gamma_L A_L(t) L(t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \gamma_H A_H(t) H(t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \quad (1)$$

式(1)为固定替代弹性(CES)生产函数。其中,生产效率参数 C 表示要素的投入产出效率;

① 数据库版本为 GTAP9.0。

② GTAP 模型中的自然资源指的是某行业所必需的自然资源,例如矿产、石油、森林资源等,不包括水(淡水)和土地资源。

γ_i 体现生产要素 i 在生产函数中的重要性; σ 是要素 L 与要素 H 之间的替代弹性; A_L 为 L 增进型技术进步, A_H 为 H 增进型技术进步。通过调整公式(1)中的参数 A_L 和 A_H , 就可以分别模拟 L 和 H 增进型技术进步。借鉴这一思路, GTAP 模型中与公式(1)相对应的增加值生产函数定义见式(2):

$$VA_{r,a} = \sum_{f \in F} \alpha_{r,f,a}^f \times (\lambda_{r,f,a}^f \times XF_{r,f,a}^f)^{\frac{\sigma_{r,a}^v - 1}{\sigma_{r,a}^v}} \frac{\sigma_{r,a}^v}{\sigma_{r,a}^v - 1} \quad (2)$$

其中, $VA_{r,a}$ 为 r 地区 a 活动的增加值, 与式(1)中的 Y 对应; $XF_{r,f,a}^f$ 为 r 地区 a 活动对 f 要素的需求, 与式(1)中的 H 和 L 对应; $\sigma_{r,a}^v$ 为生产要素间的替代弹性, 与式(1)中的 σ 对应; $\alpha_{r,f,a}^f$ 为 f 要素需求的份额参数, 与式(1)中的 γ_i 对应; $\lambda_{r,f,a}^f$ 表示 f 要素的技术转换因子, 与式(1)中的 A_L 和 A_H 对应。在 GTAP 模型中, 通过改变式(2)中相应 f 要素的技术转换因子 $\lambda_{r,f,a}^f$, 即可实现资本(或其它要素)增强型技术进步冲击的模拟。

3. 粮食安全指标设置

为了衡量粮食安全, 本文将同时考虑农产品产量^①和人均营养元素供给指标。在 GTAP 模型中, 农业部门产出的定义见式(3):

$$XP_{r,a} = A_{r,a}^{xp} \cdot a_{r,a}^{va} \lambda_{r,a}^{va} \times VA_{r,a}^{\frac{\sigma_{r,a}^p - 1}{\sigma_{r,a}^p}} + a_{r,a}^{nd} \lambda_{r,a}^{nd} \times ND_{r,a}^{\frac{\sigma_{r,a}^p - 1}{\sigma_{r,a}^p}} \frac{\sigma_{r,a}^p}{\sigma_{r,a}^p - 1} \quad (3)$$

如式(3)所示, r 地区 a 行业的产量 $XP_{r,a}$ 为不变替代弹性生产函数(CES)。其中, $VA_{r,a}$ 和 $ND_{r,a}$ 分别为产出增加值和中间投入需求, $A_{r,a}^{xp}$ 为共同转换因子, $\sigma_{r,a}^p$ 为替代弹性, $a_{r,a}^{va}$ 为增加值的份额参数, $a_{r,a}^{nd}$ 为中间投入需求的份额参数, $\lambda_{r,a}^{va}$ 和 $\lambda_{r,a}^{nd}$ 分别为 $VA_{r,a}$ 和 $ND_{r,a}$ 的转换因子。

本文采用的营养供给指标包括人均热量供给、人均脂肪供给和人均蛋白质供给。为了测算人均营养元素供给, 需要先确定农产品供给量和单位农产品营养供给量。具体而言, 参考 CGEBox^[25] 官方手册^②所提供的方法, 可以测算单位农产品营养供给(世界平均值)见式(4):

$$unit_{i,k} = psq_{w,k} / (fst_i / pop_w) \times 365 / 1000 \quad (4)$$

其中, $unit_{i,k}$ 为单位 i 农产品中营养元素 k 的含量; $psq_{w,k}$ 为 2011 年世界范围营养元素 k 的人均日供给量, fst_i 为世界范围农产品 i 的总供给, pop_w 为世界总人口。利用人均营养元素日供给量以及农产品总供给量, 可推算出单位农产品营养供给(世界平均值)。在此基础上, 利用数据库中的原始数据与模拟数据可测算出技术冲击发生前后营养供给的百分比变化。

具体而言, 中国人均营养元素供给的定义见式(5):

$$psq_{c,k} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \times unit_{i,k}}{pop} \quad (5)$$

其中, k 为营养类别, i ^③ 为具体农产品种类, n 为农产品种类总量; $psq_{c,k}$ 为中国人均营养元素供给, X_i 为中国 i 类产品的总供给, pop 为中国总人口。

4. 要素增进型技术进步影响粮食安全的机制分析

要素增进型技术进步对粮食安全的影响包含供给和需求两个渠道: 首先, 要素增进型技术进步会直接提高该要素的生产效率, 从而有利于提高农产品的国内产量; 其次, 要素增进型技术进步意味着特定要素生产效率的变动, 进而改变投入要素的相对价格, 从而影响农业生产中要素投入的结构。这将最终对要素报酬和家庭收入产生影响, 而家庭收入的变动则会进一步对农产品的需求(国内品和进口品)产生影响(见图 1)。

① 农产品总产量是由 GTAP 中各类农产品部门产量按权重加总得到的, 权重参数由 CGEBox 模型给定。

② CGEBox 是 Britz 等于 2018 年基于 GAMS 编写的开源的全球一般可计算均衡模型, 该模型是模块化的, 可以灵活的扩展从而适用于不同类型的一般可计算均衡模型的模拟, 该模型详细介绍见 Britz 的论文^[25]。

③ i 指的并不是农产品大品类, 而是具体到小麦、大米、西红柿这种具体的农产品类别, 在 FAO 食物平衡表中包含 115 种农产品。为了避免重复计算, 删除了啤酒、甜菜、甘蔗以及酒精饮料 4 类产品。

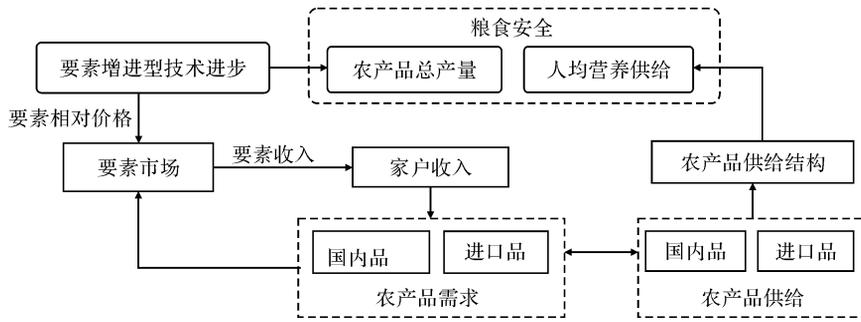


图 1 要素增进型技术进步影响粮食安全的机制传导图

从对农产品产量的影响来看,要素增进型技术进步会改变 r 地区 a 活动的增加值 $VA_{r,a}$, 进而影响农产品产量 $XP_{r,a}$ 。然而,由于农产品的固有特性及生产技术的限制导致要素生产效率的差异,同类农产品生产中不同要素增进型技术进步增产作用存在差异。此外,不同农业部门要素投入的比例存在差异,故在不同农业部门中同类要素增进型技术进步增产效果也存在差异。

从人均营养元素供给来看,要素增进型技术进步的影响主要是通过改变国内农产品供给构成来发挥作用。中国农产品的国内供给由国内生产供给和进口两部分构成。正如前面分析所指出的,要素增进型技术进步会改变农产品的国内产量、国内价格和家庭收入。其中,农产品国内外相对价格的变动,会影响农产品的进出口;而家庭收入和农产品价格的变动会影响农产品的国内需求;最终,农产品国内需求、国内产量以及进出口的变化会共同影响农产品的国内供给构成,进而引发人均营养元素供给的变化。

5. 模拟方案

本文将农业分为三大部门,即粮食生产部门、作物(果蔬、糖类、油料等作物)生产部门、肉类和奶类生产部门。在此基础上,分别在三类部门中引入要素增进型技术进步冲击(通过调整 $\lambda_{r,f,a}^f$ 的大小来模拟技术进步冲击),从而模拟要素增进型技术进步对中国粮食安全的影响。

刘莉等^[26]和陈径天等^[27]的研究表明,近年来中国农业技术进步率为 5% 左右。因此,本文在情景模拟中将技术进步率设定为 5%。具体而言,本文还将技术进步细分为土地增进型、资本增进型、水资源增进型、熟练劳动力增进型、非熟练劳动力增进型五种类型^①。综上,本文共设置了 15 种模拟方案(见表 2)。

表 2 情景设置

情景	发生技术进步冲击的部门	技术进步类型	技术进步率
情景 1a	粮食部门	土地增进型	5%
情景 2a		资本增进型	5%
情景 3a		水资源增进型	5%
情景 4a		熟练劳动力增进型	5%
情景 5a		非熟练劳动力增进型	5%
情景 1b	果蔬、糖类、油料等作物	土地增进型	5%
情景 2b		资本增进型	5%
情景 3b		水资源增进型	5%
情景 4b		熟练劳动力增进型	5%
情景 5b		非熟练劳动力增进型	5%
情景 1c	肉类和奶类	土地增进型	5%
情景 2c		资本增进型	5%
情景 3c		水资源增进型	5%
情景 4c		熟练劳动力增进型	5%
情景 5c		非熟练劳动力增进型	5%

① 土地增进型:指的是提高土地生产效率的技术进步,例如套种、轮作以及提高土地肥力等措施。资本增进型:指的是提高资本生产效率的技术进步,例如农机推广。水资源增进型:指的是提高水资源生产效率的技术进步,例如滴灌技术替代漫灌技术。熟练劳动力增进型:指的是提高熟练劳动力生产效率的技术进步,例如熟练劳动力的专业技能进一步提高。非熟练劳动力增进型:指的是提高非熟练劳动力生产效率的技术进步,例如对非熟练劳动力进行培训,推广现代耕作技术等。

在方案 1a~5a 中,考察了粮食生产部门引入要素增进型技术进步的情形;在方案 1b~5b 中,考察了在作物生产部门引入要素增进型技术进步的情形;在方案 1c~5c 中,考察了在肉类和奶类生产部门引入要素增进型技术进步的情形。针对上述三类部门,分别考察了土地增进型、资本增进型、水资源增进型、熟练劳动力增进型、非熟练劳动力增进型这五类技术进步冲击。通过上述模拟方案,就可以模拟不同类型技术进步冲击对粮食安全指标的影响。

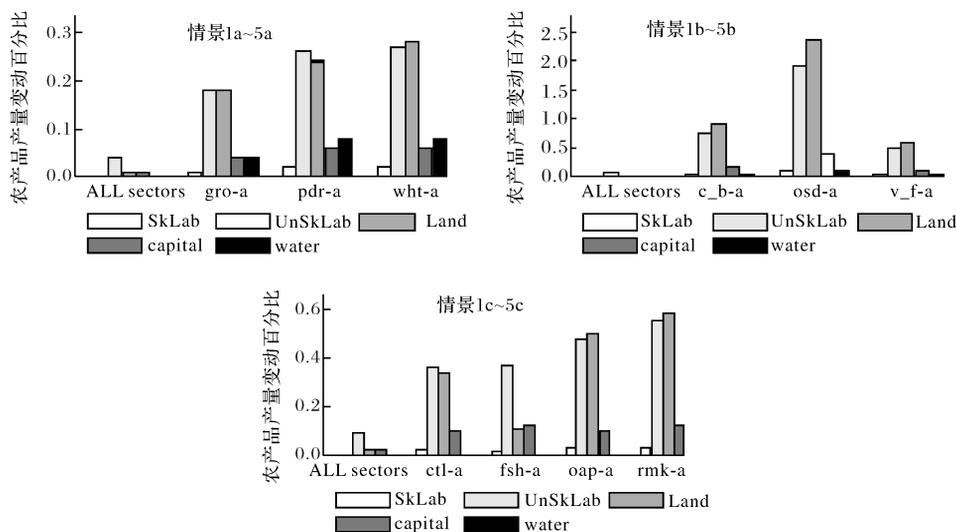
三、模拟结果分析

采用 CGEBox^[25] 软件平台,本文基于 GTAP 模型模拟分析了不同要素增进型技术进步对中国粮食安全的影响。

1. 模拟结果

基于模拟方案情景设置,本文中所提出的五类要素增进型技术进步均有利于提高各类农产品产量。下文将针对不同类型的要素增进型技术进步对农产品产量及人均营养元素供给的影响进行详细分析。

(1) 农产品产量变化。图 2 展示了当发生要素增进型技术进步时,三类农产品部门的农产品产量相对于基准产量的变动百分比。



注: ALL sectors 为农业部门产品的总产量; pdr-a、wht-a、gro-a 分别为水稻、小麦、其它谷物的产量; v_f-a、c_b-a 及 osd-a 分别为蔬菜水果、糖类及油料三类产品的产量; ctl-a、fsh-a、oap-a 及 rmk-a 分别为畜牧类、渔产品、其它肉产品及奶类产品产量。SkLab、UnSkLab、Land、capital、water 分别为熟练劳动力增进型、非熟练劳动力增进型、土地增进型、资本增进型、水资源增进型五类要素增进型技术进步。

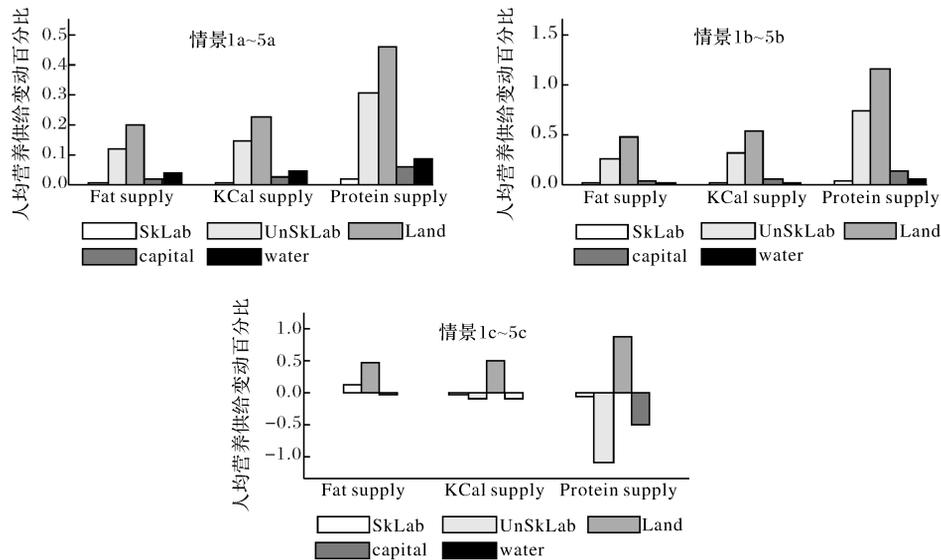
图 2 相对基准结果农产品产量变动百分比

首先,从粮食生产部门来看,五类要素增进型技术进步均能有效地提高水稻、小麦和其他谷物的产量。其中,土地和非熟练劳动力在粮食生产投入中所占比重最大,所以土地和非熟练劳动增进型技术进步对粮食部门的增产作用最为显著。然而,由于土地及非熟练劳动力在三种不同粮食作物中所占比例存在差异,土地和非熟练劳动力增进型技术进步对三类粮食作物的增产作用存在差异。具体而言,当土地和非熟练劳动增进型技术进步发生后,对其他谷物产量的增长作用最为明显,小麦次之,水稻最低。从要素增进型技术进步发生在粮食部门对农产品总产量的影响来看,熟练劳动力增进型和水资源增进型技术进步对其影响并不显著;而非熟练劳动力增进型、土地增进型以及资本增进型三类技术进步均有效地提高了农产品总产量,其中非熟练劳动力增进型技术进步对农产品部门的增产作用最为显著。由于粮食产品在所有农产品中占比较低,因此当要素增进型技术进步仅发生在粮食生产部门时,农产品总产量的增长幅度远小于粮食部门各类粮食产量的增长幅度。

其次,从作物部门来看,五类要素增进型技术进步均有利于果蔬、糖类、油料等作物增产。其中非熟练劳动力增进型技术进步对作物部门的增产作用最大,土地增进型技术进步的作用次之,其原因在于作物部门生产中农业非熟练劳动及土地在要素总投入中所占的比重较高。从中国农产品总产量变化来看,作物部门发生非熟练劳动力增进型、土地增进型以及资本增进型三类技术进步均会有效地提高农产品总产量。其中,非熟练劳动力增进型技术进步对农业部门的增产作用最为显著。由于作物产品在所有农产品中占比较低,五类要素增进型技术进步仅发生在作物部门时,农产品总产量的增长幅度会远小于作物部门产量的增长幅度。

最后,从肉类和奶类生产部门来看,除水资源增进型技术进步外,其他四类要素增进型技术进步均有利于提高肉类和奶类生产部门的农产品产量。然而,由于不同农产品生产中的要素投入比例存在差异,五类要素增进型技术进步对四类农产品的增产作用也具有显著的差异。具体而言,土地增进型技术进步对奶产品及其他类肉产品的增产作用最明显,非熟练劳动力增进型技术进步次之;而非熟练劳动力增进型技术进步冲击对牛羊马类产品产量的影响最大,土地增进型技术进步冲击次之。由于渔产品生产非熟练劳动力所占比重较大而土地要素占比较低,因此非熟练劳动增进型技术进步的增产作用相对较大,土地增进型技术进步对促进渔产品增产的作用则相对较小。从农产品的总产量来看,肉类和奶类生产部门发生非熟练劳动力增进型技术进步、土地增进型技术进步以及资本增进型技术进步均能够有效地提高农产品的总产量。其中,非熟练劳动力增进型技术进步对农产品部门的增产作用最为显著。

(2)人均营养元素供给变化。此处将重点分析要素增进型技术进步冲击对人均营养元素供给的影响,图3展示了当作物部门、粮食部门和肉类与奶类部门分别发生要素增进型技术进步时,脂肪、热量以及蛋白质人均供给相对于基准结果的变动百分比。



注: Fat supply、KCal supply 和 Protein supply 分别为脂肪、热量和蛋白质三类营养物质人均供给; Sklab、UnSklab、Land、capital、water 分别为熟练劳动力增进型、非熟练劳动力增进型、土地增进型、资本增进型和水资源增进型五类要素增进型技术进步。

图3 相对基准结果营养指标变动百分比

图3显示,当作物部门和粮食部门受到土地增进型技术进步冲击,三种人均营养元素供给量均会增加,其中人均蛋白质供给增长幅度最大,人均热量次之,人均脂肪供给增长幅度最小。当肉类和奶类部门受到土地增进型技术进步冲击时,除了人均脂肪的供给下降外,热量与蛋白质的人均供给均呈上升趋势,其中人均蛋白质供给的增长幅度大于人均热量供给的增长幅度。从土地增进型技术进步技术冲击不同农产品部门对人均营养元素供给的影响差异来看,当技术进步发生在作物生产部门时,各种人均营养元素供给增长幅度最大;技术冲击肉类和奶类生产部门时增长幅度次之;而技术进步发生在粮食生产部门时,增长幅度则最小。

从资本增进型技术进步来看,当技术冲击作物部门和粮食部门时三类营养元素人均供给量均增加,但增长幅度远小于发生土地增进型技术进步时的增长幅度;若技术冲击肉类和奶类部门,三类人均营养元素供给量则会出现小幅度下降。从要素增进型技术进步冲击对三类人均营养元素供给的冲击大小来看,人均蛋白质供给所受冲击最大,人均热量供给次之,人均脂肪供给所受冲击最小。

从非熟练劳动力增进型技术进步来看,当作物部门和粮食部门发生要素增进型技术进步时,三类人均营养元素供给量均会增加。然而,当肉类和奶类部门发生非熟练劳动增进型技术进步时,人均脂肪供给均会增加,人均热量与蛋白质的供给则会减少。总体来看,非熟练劳动增进型技术进步的冲击会增加人均脂肪供给,但对于其他两类人均营养元素供给的影响方向则不确定。从人均营养元素供给结构变化来看,三类营养元素增加幅度从小到大排序为:人均蛋白质、人均热量和人均脂肪。

从熟练劳动力增进型和水资源增进型技术进步的冲击方向来看,人均营养元素供给量的变化方向与受到非熟练劳动力增进型技术进步冲击时的变动方向是一致的。然而,这两类要素增进型技术进步对人均营养元素供给冲击幅度的影响小于非熟练劳动力增进型技术进步对人均营养元素供给的冲击。而从要素增进型技术进步对三类人均营养元素供给的冲击大小来看,人均蛋白质供给所受冲击最大,人均热量供给次之,人均脂肪供给最小。

通过模拟分析三类农产品部门发生要素增进型技术进步对粮食安全的影响发现:①从农产品产量来看,要素增进型技术进步增加了各类农产品产量及农产品总产量。同时,由于不同农产品部门中要素使用比例的差别,不同类型的要素增进型技术进步对农产品增产的作用存在差异,其中土地和非熟练劳动增进型技术进步的增产作用最显著。②从对人均营养元素供给的影响来看,不同类型的要素增进型技术进步对人均营养元素供给的影响方向不同。具体而言,三类农产品部门受到土地增进型技术进步的冲击时,三类人均营养元素供给均会提高。而非熟练劳动增进型和资本增进型技术进步发生在作物和粮食部门时,有利于提高三类人均营养元素供给。水资源增进型技术进步则对人均营养元素供给的影响较小,可忽略不计。③当要素增进型技术进步冲击不同的农业部门时,人均营养元素供给所受到的影响也存在差异。当粮食部门和作物部门发生要素增进型技术进步冲击时,五类要素增进型技术进步均使得三类人均营养元素供给增加;当肉类和奶类部门发生土地增进型技术进步时,三类人均营养元素供给会增加,而其它类型的要素增进型技术进步则会导致人均蛋白质和人均热量供给的降低,以及人均脂肪供给的增加。

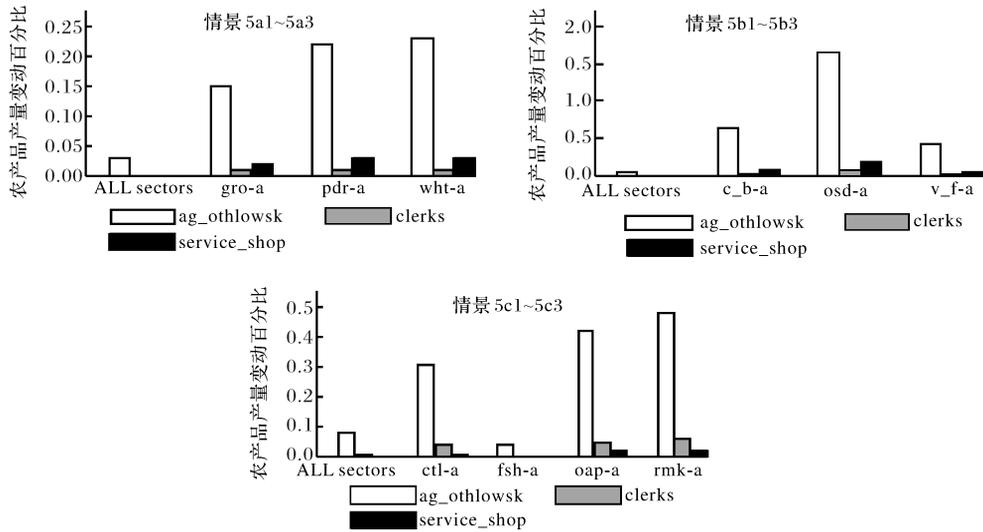
2. 对非熟练劳动增进型技术进步的进一步分析

从上一节的分析可以发现,非熟练劳动力增进型技术进步对粮食安全具有重要作用。因此,进一步对非熟练劳动力进行细分,从而比较提高不同类型的非熟练劳动力的生产效率对粮食安全的影响。本文参考 CGEBox 软件的设定,将非熟练劳动力细分为三类:职员、服务与商店人员和农业及其他非熟练劳动力,从而模拟不同类型的非熟练劳动力增进型技术进步对粮食安全的影响,具体情景设置如表 3 所示:

表 3 情景设置

情景	发生技术进步冲击的部门	技术进步类型	技术进步率
情景 5a1	粮食部门	农业及其他非熟练劳动力增进型	5%
情景 5a2		服务与商店人员增进型	5%
情景 5a3		职员增进型	5%
情景 5b1	果蔬、糖类、油料等作物	农业及其他非熟练劳动力增进型	5%
情景 5b2		服务与商店人员增进型	5%
情景 5b3		职员增进型	5%
情景 5c1	肉类和奶类	农业及其他非熟练劳动力增进型	5%
情景 5c2		服务与商店人员增进型	5%
情景 5c3		职员增进型	5%

(1)农产品产量变化。通过情景模拟发现,当进一步细分了非熟练劳动力时,三类非熟练劳动增进型技术进步均有利于提高农产品产量。具体的模拟结果见图 4。

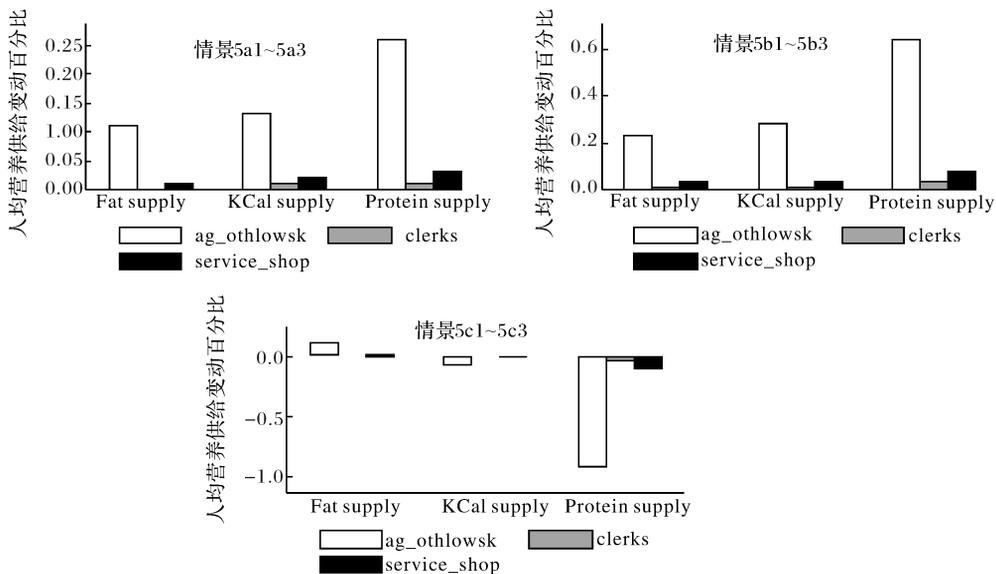


注: ALL sectors 为农业部门产品的总产量; pdr-a、wht-a、gro-a 分别为水稻、小麦、其它谷物的产量; v_f-a、c_b-a 及 osd-a 分别为蔬菜水果、糖类及油料三类产品的产量; ctl-a、fsh-a、oap-a 及 rmk-a 分别为畜牧类、水产品、其它肉类产品及奶类产品产量。ag_othlowsk、clerks、service_shop 分别为农业及其他非熟练劳动力增进型、服务与商店人员增进型、职员增进型三类技术进步。

图 4 相对基准结果农产品产量变动百分比

从细分非熟练劳动力的模拟结果来看,三类非熟练劳动力增进型技术进步均有利于各类农产品增产,其中农业及其他非熟练劳动力增进型技术进步对各类农产品的增产作用最为显著。而不同类型的非熟练劳动增进型技术进步对三类农产品部门产量的影响也存在差异。具体而言,农业及其他非熟练劳动力增进型技术进步对作物生产部门的增产作用最大,对肉类和奶类生产部门的增产作用次之,对粮食部门三类产品的增产作用最小。相对于农业及其他非熟练劳动力增进型技术进步而言,其它两类增进型技术进步对农作物产量的冲击相对较小。

(2)人均营养元素供给变化。通过情景模拟发现,不同类型的非熟练劳动力增进型技术进步对三类人均营养元素供给的影响存在明显差异,模拟结果如图 5 所示:



注: Fat supply、KCal supply 和 Protein supply 分别为脂肪、热量和蛋白质三类营养物质人均供给; ag_othlowsk、clerks、service_shop 分别为农业及其他非熟练劳动力增进型、服务与商店人员增进型、职员增进型三类技术进步。

图 5 相对基准结果营养指标变动百分比

图5显示,在细分非熟练劳动力的情景下,三类非熟练劳动力增进型技术进步均会影响脂肪、热量和蛋白质的人均供给。具体而言,当三类农业部门分别受到要素增进型技术进步冲击时,农业及其他非熟练劳动力增进型技术进步对三类人均营养元素供给的冲击最大;服务与商店人员增进型技术进步冲击次之;职员增进型技术进步冲击最小。从要素增进型技术进步冲击对三类人均营养元素供给的影响差异来看,人均蛋白质供给所受冲击最大,人均热量供给次之,人均脂肪供给最小。

(3)总结。通过分析三类农产品部门发生要素增进型技术进步时农产品产量及人均营养元素供给相对于基准结果的变动百分比发现:从农产品产量来看,三类非熟练劳动力增进型技术进步均有利于提高各类农产品产量,其中农业及其他非熟练劳动力增进型技术进步的增产作用最为显著;从人均营养供给来看,三种非熟练劳动力增进型技术进步中农业及其他非熟练劳动力增进型技术进步对人均营养元素供给的冲击最为显著;而从要素增进型技术进步冲击对三类人均营养元素供给的影响大小来看,人均蛋白质供给受到的冲击最大,而人均脂肪供给受到的冲击则最小。

四、结论与启示

基于标准GTAP模型,本文利用CGEBox软件模拟分析了不同类型的要素增进型技术进步对粮食安全的影响。模拟结果发现:①从农产品产量来看,土地和非熟练劳动力增进型技术进步对农产品的增产作用最大。进一步细分非熟练劳动力发现,农业及其他非熟练劳动力增进型技术进步对农产品的增产作用最为显著。从要素增进型技术进步冲击的部门不同对农产品总产量的影响来看,作物(果蔬、糖类、油料等作物)部门发生要素增进型技术进步冲击时农产品总产量增长幅度最大。②在人均营养元素供给方面,无论哪个农业生产部门发生土地增进型技术进步,均能有效提高三种人均营养元素供给。当粮食生产部门及作物(果蔬、糖类、油料等作物)部门发生非熟练劳动力增进型技术进步时,能够有效地提高三种人均营养元素供给;肉类和奶类生产部门发生非熟练劳动力增进型技术进步则会降低人均热量和人均蛋白质的有效供给。

基于以上结论,得出如下政策启示:①在中国农村劳动力短缺及耕地有限的背景下,技术进步是保证农产品增产的有效手段。而土地和非熟练劳动力增进型技术进步能够最大限度地促进我国农产品增产。在农业生产中,提高土地生产效率的手段主要包括套种、轮作以及推广测土配方施肥,在保持土壤肥力的同时提高土地生产效率。而在提高非熟练劳动力生产效率方面,对非熟练劳动力进行培训,推广现代耕作技术,是提高非熟练劳动力生产效率的重要手段。因此,应推广新型耕作模式及科学的施肥技术,从而提高土地生产效率。与此同时,政府应组织农户进行技术培训,推广现代耕作技术,提高非熟练劳动力生产效率。②在考虑营养供给的情况下,要素增进型技术进步对粮食安全的影响与只考虑农产品产量的结论相似。在大多数情况下,就土地增进型和非熟练劳动力增进型技术进步而言,无论技术进步来自哪个农业生产部门,均能有效提高三种人均营养元素的供给。基于此,在考虑营养供给时的政策含义与仅考虑农产品产量的政策含义基本一致,即在技术进步路径选择上应选择土地增进型及非熟练劳动力增进型技术进步,从而最大限度地保障国内营养供给安全。

本文的边际贡献在于:在界定中国粮食安全指标时,同时考虑粮食产量与营养供给指标;同时,对农业生产要素进行进一步细分,并比较农业技术进步路径对中国粮食安全的影响。与此同时,本文还存在一定的局限性,本文仅从比较静态的视角考察了要素增进型技术进步对粮食安全的影响,而未探究动态条件下要素增进型技术进步对粮食安全的影响。

参 考 文 献

- [1] 颜玉华.耕地红线是我国粮食安全生命线[J].调研世界,2011(4):29-33.
- [2] 王通.联根式流动:中国农村人口阶层分化与社会流动的隐蔽性特征[J].求实,2018(5):77-89.
- [3] 王琛,吴敬学,钟鑫.中国农业技术类型对粮食综合生产能力影响的实证分析[J].农业现代化研究,2014,35(5):513-518.
- [4] ADENLE A A, WEDIG K, AZADI H. Sustainable agriculture and food security in Africa: the role of innovative technologies and

- international organizations[J]. *Technology in society*, 2019(58):101-143.
- [5] 杨静,陈亮,冯卓.国际农业垄断资本对发展中国家粮食安全影响的分析——兼对保障中国粮食安全的思考[J].*中国农村经济*, 2017(4):75-87.
- [6] 钟甫宁.正确认识粮食安全和农业劳动力成本问题[J].*农业经济问题*, 2016, 37(1):4-9.
- [7] 尹朝静,李谷成,葛静芳.粮食安全:气候变化与粮食生产率增长——基于 HP 滤波和序列 DEA 方法的实证分析[J].*资源科学*, 2016, 38(4):665-675.
- [8] 耿宇宁,刘婧.劳动力转移与技术进步对粮食产量的门槛效应分析[J].*经济问题*, 2019(12):96-103.
- [9] 杨义武,林万龙,张莉琴.农业技术进步、技术效率与粮食生产——来自中国省级面板数据的经验分析[J].*农业技术经济*, 2017(5):46-56.
- [10] 彭小辉,史清华,朱喜.中国粮食产量连续增长的源泉[J].*农业经济问题*, 2018(1):97-109.
- [11] ILIYASU A, MOHAMED Z, HASHIM M. Productivity growth, technical change and efficiency change of the malaysian cage fish farming; an application of malmquist productivity index approach[J]. *Aquaculture international*, 2015, 23(4):1013-1024.
- [12] PAN Y, SMITH S C, SULAIMAN M, et al. Agricultural extension and technology adoption for food security: evidence from Uganda[J]. *American journal of agricultural economics*, 2018, 100(4):1012-1031.
- [13] HABTEMARIAM L T, MGENI C P, MUTABAZI K D, et al. The farm income and food security implications of adopting fertilizer micro-dosing and tied-ridge technologies under semi-arid environments in central Tanzania[J]. *Journal of arid environments*, 2019(166):60-67.
- [14] 涂涛涛,马强,李谷成.极端气候冲击下中国粮食安全的技术进步路径选择——基于动态 CGE 模型的模拟[J].*华中农业大学学报(社会科学版)*, 2017(4):30-36.
- [15] PAK J. Contributing factors for Protein Calorie Malnutrition in District Mardan[J]. *Pakistan journal of medical research*, 2017, 56(2):44-47.
- [16] JOINER L A. The relationship between middle school lexile growth and school nutrition[D]. Statesboro: Georgia Southern University, 2018.
- [17] 李云森,罗良.贫困与农村孩子的一般认知能力发展[J].*劳动经济研究*, 2018, 6(6):44-68.
- [18] 刘欢.人力资本投入对农村贫困家庭的减贫效应分析——基于健康、教育、社会保险、外出务工比较视角[J].*经济经纬*, 2017, 34(5):43-48.
- [19] BANERJEE A, DUFLO E. *Poor economics: a radical rethinking of the way to fight global poverty*[M]. New York: Public affairs, 2013.
- [20] LEGG W. Sustainable Agricultural Development for Food Security and Nutrition: What Roles for Livestock? [R]. *Agricultural economics society*, 2017.
- [21] MARIVOET W, ULIMWENGU J, SEDANO F. Spatial typology for targeted food and nutrition security interventions[J]. *World development*, 2019(120):62-75.
- [22] VAN DER MENSBRUGGHE D. The standard GTAP model in GAMS, Version 7[J]. *Journal of global economic analysis*, 2018, 3(1):1-83.
- [23] HICKS J R. *The theory of wages*[M]. London: Macmillan, 1932:113-156.
- [24] ACEMOGLU D. Technical change, inequality, and the labor market[J]. *Journal of economic literature*, 2002, 40(1):7-72.
- [25] BRITZ W, VAN DER MENSBRUGGHE D. CGEBox: a flexible, modular and extendable framework for CGE analysis in GAMS [J]. *Journal of global economic analysis*, 2018, 3(2):106-177.
- [26] 刘莉,张文爱.我国农业全要素生产率增长与空间溢出效应——基于 31 个省市区 2000—2014 年数据的实证分析[J].*西部论坛*, 2017, 27(6):49-57.
- [27] 陈径天,温思美,陈倩儿.农村金融发展对农业技术进步的作用——兼论农业产出增长型和成本节约型技术进步[J].*农村经济*, 2018(11):88-93.

(责任编辑:陈万红)