

劳动力价格上涨、粮食生产机械化及其产出效应

易小兰¹, 颜 琰², 张彤彤¹

(1.南京财经大学粮食和物资学院,江苏南京210003;
2.南京财经大学红山学院,江苏南京210003)



摘要 农业机械化是实现现代农业和保障粮食安全的重要基础。基于2001—2020年中国省级面板数据,实证分析劳动力价格对粮食生产机械化的影响以及粮食生产机械化的产出效应,并考察该影响及效应在耕种收各环节上的差异性。研究表明:劳动力价格上涨显著正向影响粮食生产综合机械化水平、机耕水平及机收水平;农机总动力对粮食产出具有显著的空间溢出效应;大中型农机动力及大中型农机机耕、机播及机收动力均对粮食产量具有显著的直接影响和空间溢出效应,且其空间溢出效应均大于直接效应。研究建议加快突破粮食生产的薄弱环节,促进农业社会化服务发展,推动农机资源在省际间合理流动与科学调配,加强小农生产与现代农业的衔接,加速实现粮食生产全程机械化与农业农村现代化。

关键词 劳动力价格; 农业机械化; 粮食产量; 空间溢出效应

中图分类号: F321.1 **文献标识码**: A **文章编号**: 1008-3456(2023)06-0014-12

DOI编码: 10.13300/j.cnki.hnwkxb.2023.06.002

粮食安全是国家实现经济发展和社会稳定的“压舱石”^[1]。党的十八大以来,党中央国务院高度重视粮食安全,提出“确保谷物基本自给、口粮绝对安全”新粮食安全观,把确保粮食等重要农产品供给作为实施乡村振兴战略的首要任务,反复强调要牢牢把住粮食安全主动权,“确保国家粮食安全,把中国人的饭碗牢牢端在自己手中”。面对世界百年未有之大变局,确保粮食产量持续稳定增长比以往更具战略意义和现实意义。

自20世纪90年代起,随着中国工业化和城市化的快速发展,大量农村剩余劳动力从农业转向非农产业^[2],农村青壮年劳动力日益稀缺,资源稀缺性变化引致农业劳动力价格持续上涨^[3]。据布瑞克农业数据库统计,中国粮食生产雇工工资在2003年以后开始迅猛增长,2003—2021年期间,粮食生产雇工工资从18.80元增长至139.71元,粮食生产劳动日工价从11.20元增长至92.20元,19年间两者年均增长率分别高达35.36%和38.06%。民以食为天,农业劳动力价格的不断上涨必将直接影响粮食生产及粮食安全。劳动力价格变化会对技术变革和要素替代产生诱致性作用^[4]。农业劳动力相对农业机械价格的上升可能会诱发农业机械技术需求^[5]。面对劳动力价格上涨的冲击,理性的粮食生产者会积极选择农业机械替代劳动力^[6],机械技术需求不断增加^[7]。虽然劳动力价格上涨为农业机械化发展提供了动力,但现阶段土地小规模经营对农业及粮食生产机械化发展的制约作用仍不可忽视^[8-10]。在人多地少和农地产权结构的约束下,中国农业生产以农户家庭为单位的土地小规模经营普遍存在,即在较长时期内小农户土地小规模经营将仍是全国农业生产经营的主要形式^[11-12]。据第三次全国农业普查,截至2016年底,小农户数量占全国农业经营户总数的比例高达98.1%,小农户的

收稿日期:2022-12-14

基金项目:教育部规划项目“农户粮食产后收储模式选择:行为逻辑、经济效应及政策含义”(23YJA790097);江苏省教育厅高校哲学社会科学项目“粮食产后收储技术模式选择及其对农户收入的影响研究”(2021SJA0289)。

耕地面积占全国总耕地面积的比例超过70%。传统经济学理论认为土地规模化经营是推进农业机械化及实现农业现代化的必由之路,那么,在耕地细碎化的约束下,小农户如何与现代农业衔接?

农机跨区服务在全国范围内的迅速推广缓解了小农户土地小规模经营与农业机械化发展之间的矛盾。实际上,在漫长的农业文明岁月里,为了规避土地小规模经营对农业发展的约束,中国早就出现了农忙季节横跨百里提供专业割麦服务的“麦客”^[13],这种跨区作业模式一直延续到了现代,只是农业机械替代了镰刀^[14]。特别是自21世纪以来,随着农机跨区服务的不断成熟,三大粮食作物农机跨区服务的规模迅速增长。根据《中国农业机械工业年鉴》及布瑞克农业数据库统计,2001—2020年期间,中国小麦、玉米及水稻跨区机收面积分别从5245.81千公顷、47.70千公顷及1050.59千公顷上升到5802.36千公顷、2478.51千公顷及4470.41千公顷,年均增长幅度分别为0.53%、254.80%及16.28%。近年来,全国各地还陆续出现了专业化的农机跨区服务组织,这类服务组织的出现进一步提高了农业的分工程度,促进了小农户和现代农业的有效衔接。

劳动力价格上涨能够在多大程度上促进粮食生产及其耕种收各环节的机械化?劳动力价格上涨对粮食耕种收各环节的机械化水平的影响是否存在差异?粮食生产及其耕种收各环节的机械化能否促进粮食增产?粮食生产及其耕种收的机械化是否存在空间溢出效应?在此背景下,利用2001—2020年全国省级面板数据,实证分析劳动力价格上涨、粮食生产机械化及其产出效应。研究对于稳定粮食生产、保障粮食供给以及实现农业全程机械化具有重要的参考意义。

一、理论分析

根据Hayami等提出的“速水—拉坦”农业诱致性技术创新理论,如果市场没有被扭曲,那么要素价格将能反映要素的相对稀缺水平和变化,农民则会被诱致去寻找能够节约日益稀缺而昂贵要素的技术^[4]。在市场机制的作用下,随着劳动力价格的上涨,理性的粮食生产者会积极选择相对廉价而丰裕的农业机械替代昂贵而稀缺的劳动力,农业机械技术需求不断增加,农业新技术、新装备研发投入随之加大,农业机械化进程加快^[6,15]。由此提出假说:

H₁:劳动力价格上涨能够显著促进粮食生产机械化发展。

同样面临劳动力价格的上涨,粮食耕种收各环节机械替代劳动的程度以及与此相关的机械化进程却大不一样。在粮食耕种收三大环节中,粮食机耕水平与机收水平均稳步上升,而机播水平却落后于前两者。根据农业技术扩散理论,技术扩散是农业技术向技术采纳者传播的过程,主要由技术本身、传播渠道和技术采纳者等部分组成。Rogers也指出技术扩散主要受技术本身、传播渠道、时间参数和社会系统共4个基本要素的影响^[16]。农业技术采纳主体均以农户为主,因此他们所面临的传播渠道、时间参数、社会系统以及技术采纳者几乎相同。由此,机播技术扩散速度低于机耕和机收的原因可能在于机播技术本身。对于三大主粮,小麦机播面积与其机耕及机收面积差距不大,玉米也是如此,而水稻机械种植面积(包括水稻机播、机插及机浅栽面积)则远低于其机耕和机收面积^①。可能的原因在于相比小麦和玉米机播,水稻机械种植存在各种缺点^[17],机械直播可能会导致杂草侵扰、病虫害、稻穗不育性增加和产量停滞等问题^[18-19];而且水稻机插操作相对复杂,如果操作不当,可能会导致水稻幼苗茎基组织挤压和破裂,甚至导致幼苗死亡^[20]。由此提出假说:

H₂:劳动力价格上涨能够显著促进粮食机耕水平和机收水平,但对机播水平的影响可能相对较弱。

农业机械化发展的增产增收效应基本已是学界共识^[21-26]。有关主流文献通常采用粮食耕种收综合机械化水平以及农机总动力表征农业机械化发展。然而我国各地区之间农机动力储备并不平衡,大范围的农机跨区服务普遍存在于我国粮食耕种收各环节之中。依据《中国农业机械化年鉴》的统

① 根据布瑞克农业数据库统计,2020年,小麦机耕、机播及机收面积分别为21806千公顷、21799.3千公顷和22794.2千公顷;玉米机耕、机播和机收面积分别为26273千公顷、33224.7千公顷和29527.1千公顷;水稻机耕及机收面积分别为29416.5千公顷和28189.5千公顷,而水稻机械种植面积(包括水稻机播、机插及机浅栽面积)仅为16931.1千公顷,远低于前两者。

计口径,农机动力的归属地与农机的归属地一致^[27],而粮食耕种收综合机械化水平则是本地农机作业及外地农机跨区到本地进行作业的共同结果。例如,江苏省的农机在四川完成水稻机收,其农机动力仍归属江苏省,但粮食耕种收综合机械化水平及粮食产量则归属四川^[27]。进行跨区服务的是农机及农机总动力,而不是综合机械化率或机械化水平。即便农机动力储备很低的省份仍然可以通过依赖外省农机动力输出来实现其机械化水平的提高,进而促进粮食增产。可见,粮食耕种收综合机械化水平与该省粮食产量之间具有直接关系,而农机总动力则可能没有直接关系。由此提出假说:

H₃:综合机械化水平对粮食产量具有显著正向的直接影响,而农机总动力的直接影响可能并不显著。

农机跨区服务是中国农业机械化发展的重要模式之一。在粮食耕种收各环节中,进行跨区服务的主要是大中型农机,而不是小型农机。近年来,我国大中型农机跨区服务逐步由小麦向水稻、玉米等作物延伸,由机收向机耕、机播等多环节拓展。通过大中型农机跨区服务,有效配置农机资源,将本地先进的农机技术和设备推广到其他地区,把分散的农业机械与分散的农户紧密地联系起来,提高农机利用率,解决本地及邻近地区小农小规模经营实现机械化的难题,进而促进粮食增产。由此提出假说:

H₄:大中型农机动力及大中型农机机耕、机播及机收动力均对粮食产量具有显著的直接影响和空间溢出效应。

二、模型、变量与数据来源

1. 模型与变量

为了检验劳动力价格对粮食生产及其耕种收各环节机械化的影响,建立基准模型如下:

$$M_{it} = \alpha + \beta_1 X_{it} + \beta_2 Z_{it} + \gamma_t + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式(1)中, M_{it} 为被解释变量,表示第*i*省第*t*年粮食生产综合机械化水平、机耕水平、机播水平或机收水平。参考周振等的研究^[28],选取粮食作物耕种收综合机械化率衡量粮食生产综合机械化水平。其中,粮食作物耕种收综合机械化率,根据农业部发布的《农业机械化管理统计报表制度》确定指标权重及加权计算方法,采用粮食机耕水平、机播水平和机收水平并按照0.4、0.3、0.3设置权重进行加权计算。机耕水平为粮食机耕面积占粮食播种面积中应耕作面积的比例,其中机耕面积在2007年以后才按粮食种类进行分类统计,所以2001—2007年的粮食机耕面积采用粮食产值占农业总产值的比例与机耕面积的乘积来表示;应耕作面积为粮食播种面积减去粮食免耕播种面积。机播水平为粮食机播面积占粮食播种面积的比例,机收水平为粮食机收面积占粮食播种面积的比例。 X_{it} 为农业劳动力价格。参考陈书章等^[29]和吴丽丽等^[30]的研究,劳动力价格采用粮食生产劳动日工价进行衡量。此外,为了验证回归结果的稳健性,同时采用农村内部粮食生产雇工工资衡量劳动力价格。由于粮食生产具有强烈的周期性、季节性和地域性,通常农忙时节需要增加大量的劳动力,而农闲时节恰好相反,农村内部粮食生产雇工工资可以较好地反映粮食生产过程中要素价格的变化。 Z_{it} 为一系列控制变量,包括人均耕地面积、单位面积劳动力人数、粮食作物与经济作物的经济效益差、非农经济比、农村老龄化程度、农村居民人均可支配收入以及农机购置补贴。其中,人均耕地面积为耕地面积与农林牧渔劳动力数量的比值。单位面积劳动力人数为单位耕地面积上从事粮食生产活动的劳动力人数,从事粮食生产活动的劳动力总人数采用第一产业劳动力人数乘以粮食产值占比进行估算。农村老龄化程度占比为农村65岁以上人口占农村15岁以上人口的比例。此外,劳动日工价、雇工工资以及农民人均可支配收入均以2001年为基期,采用农村居民消费价格指数进行折算以扣除通货膨胀的影响。模型中加入时间趋势变量 γ_t , μ_i 为个体效应, ε_{it} 为特异扰动项, α 、 β_1 、 β_2 为模型待估参数。

农机跨区服务不仅提高了农机利用率,还将先进的农业生产技术传播到周边地区,成为技术溢出的途径和工具^[31]。构建空间Durbin模型考察粮食生产机械化对粮食产出的直接影响及空间溢出效应,模型形式如下:

$$\ln Y_{it} = \alpha + \beta_1 \ln P_{it} + \beta_2 W_1 \times \ln P_{it} + \beta_3 \ln L_{it} + \beta_4 \ln A_{it} + \beta_5 \ln F_{it} + u_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式(2)中, Y_{it} 为被解释变量,表示省份*i*在第*t*年的粮食产出; P_{it} 为省份*i*在第*t*年的农业机械化发展水平,采用各类农机动力进行衡量^①; L_{it} 为省份*i*在第*t*年从事粮食生产活动的劳动力总人数; A_{it} 为省份*i*在第*t*年的粮食播种面积; F_{it} 为省份*i*在第*t*年的粮食生产中化肥使用量。为减少异方差的影响,被解释变量、解释变量及控制变量均进行对数化处理。 u_i 为个体效应, λ_t 为时间效应, ε_{it} 为扰动项, $\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$ 为模型待估系数。 W_1 为空间权重矩阵,是24阶0—1对称矩阵, w_{ij} 为矩阵 W_1 中的元素,其中 $w_{ij} = w_{ji}$,对角线元素 $w_{11} = w_{22} = \dots = w_{mm} = 0$; $w_{ij} = 0$ 表示两个省份不邻;当 $w_{ij} = 1$ 时,表明两个省份相邻。为考察粮食生产及其耕种收各环节机械化的直接影响及空间溢出效应,将空间滞后变量 $W_1 \times \ln P_{it}$ 引入计量模型。为验证空间Durbin模型估计结果的稳健性,采用地理距离矩阵 W_2 代替模型中的0—1空间权重矩阵 W_1 进行回归,其中空间地理距离矩阵 W_2 的设置参考方师乐等的研究^[27], w_{ij} 为两个省会城市之间的距离的倒数($w_{ij} = 1/d_{ij}$, d_{ij} 为*i*省与*j*省的省会城市之间的距离)。

2. 数据来源与说明

研究采用2001—2020年全国24个省(市、自治区)相关数据构成的面板数据。由于北京、上海、天津、宁夏、海南和西藏部分数据缺失,予以剔除。这些缺失数据的地区均非粮食主产区,剔除后不会影响研究结果的稳健性。

有关数据主要来源于官方统计年鉴与布瑞克农业数据库。其中,机耕面积、机播面积、机收面积、粮食免耕播种面积、粮食机械化耕种收面积、农机总动力、大中型农机动力、小型农机动力来源于布瑞克农业数据库、中经网统计数据库及各省份官方统计年鉴;计算从事粮食生产活动劳动力人数的相关数据、粮食产出、粮食播种面积以及耕地面积来自《中国农村统计年鉴》;计算非农经济比所需的相关数据来源于《中国统计年鉴》;劳动日工价、农村内部雇工工资、经济作物与粮食作物的经济效益差等数据来源于《全国农产品成本收益资料汇编》;计算农村老年化程度相关数据、农村居民人均可支配收入以及化肥使用量来自《中国农村统计年鉴》以及各省份的官方统计年鉴;农机购置补贴来自于《国内外农业机械化统计资料(1949—2004)》《全国农业机械化统计资料汇编(2005—2013)》以及《中国农业机械工业年鉴》。主要变量的描述性统计见表1。

三、结果分析

1. 劳动力价格对粮食生产及其耕种收机械化水平的影响

(1)劳动力价格对综合机械化水平的影响。为考察面板数据异方差、序列相关等问题,分别进行组内异方差沃尔德检验、组内自相关沃尔德检验与组内同期相关的Breusch—Pagan LM检验。结果显示,异方差沃尔德检验与组内自相关沃尔德检验的P值均小于0.01,强烈拒绝“组间同方差”“不存在组内自相关”的原假设;Breusch—Pagan LM检验的P值为0.152,截面相关性并不显著。以上三种检验结果表明,面板数据具有截面异方差、序列相关的性质。为此,我们首先基于Driscoll—Kraay标准误运用固定效应模型估计(FE)作为基准,其次采用可行广义最小二乘法(FGLS)来进行估计。

表2汇报了劳动力价格对粮食生产综合机械化水平影响的估计结果,其中,第(1)~(2)列采用劳动日工价作为解释变量进行估计,(3)~(4)列采用农村内部雇工工资替代劳动日工价以进行检验。由表2可知,劳动日工价及雇工工资对综合机械化水平的影响均显著为正,可见劳动力价格上涨显著促进了综合机械化水平的提高,验证了 H_1 。其经济学解释在于,农业劳动力价格的上涨能够推动农业生产者对粮食生产投入要素进行优化组合,采用农业机械替代劳动力,进而促进粮食生产综合机械化水平的提高。此外,控制变量的影响方向基本与预期一致。农村老龄化程度的回归系数均显著

① 农机总动力采用农业机械总动力进行衡量,大中型(小型)农机动力采用大中型(小型)拖拉机总动力进行衡量,大中型农机机耕(机播或机收)动力为农业机械总动力×粮食机耕(机播或机收)面积占机械化耕种收总面积的比例×大中型拖拉机动力占拖拉机总动力的比例,小型农机机耕(机播或机收)动力为农业机械总动力×粮食机耕(机播或机收)面积占机械化耕种收总面积的比例×小型拖拉机动力占拖拉机总动力的比例。

表1 变量描述性统计

变量	均值	标准差	最小值	最大值
综合机械化水平/%	46.313	23.830	1.871	95.766
机耕水平/%	60.702	25.030	4.471	99.003
机播水平/%	32.314	31.126	0.000	98.803
机收水平/%	41.127	28.028	0.181	94.039
劳动日工价/元	28.260	16.789	6.635	82.874
雇工工资/(元/日)	45.998	22.930	10.325	97.930
人均耕地面积/亩	8.344	6.232	2.734	44.140
单位面积劳动力/(人/公顷)	0.416	0.196	0.121	1.371
经济效益差/%	-4.996	22.878	-65.620	101.000
非农经济比/%	87.590	4.877	74.700	96.600
农村老龄化程度/%	15.439	5.050	1.560	32.876
农民人均可支配收入/元	5483.347	3178.749	1396.370	20223.380
农机购置补贴/百万元	592.095	844.189	0.000	9542.451
粮食产出/万吨	2239.891	1372.275	403.760	6747.610
农机总动力/万千瓦	3505.665	2707.433	178.210	13353.020
大中型农机动力/万千瓦	484.318	600.940	0.520	3148.780
小型农机动力/万千瓦	649.711	757.850	5.470	3830.160
大中型农机机耕动力/万千瓦	414.562	346.957	5.854	1850.081
小型农机机耕动力/万千瓦	662.705	452.839	67.889	2422.111
大中型农机机播动力/万千瓦	288.180	409.399	0.000	2258.902
小型农机机播动力/万千瓦	419.587	640.667	0.000	2712.755
大中型农机机收动力/万千瓦	321.105	379.826	1.666	2129.338
小型农机机收动力/万千瓦	510.515	533.846	9.915	2372.130
劳动力总人数/万	178.528	119.686	8.857	671.981
粮食播种面积/千公顷	4347.287	2384.385	634.000	11854.550
化肥使用量/万吨	214.013	123.555	66.100	716.100

为负,说明在控制了其他影响因素的情况下,农业农村老龄化程度越高的地区,综合机械化水平越低。这可能是由于老龄人口更擅长传统种植方式,再加上对农业机械化的认知不足,其机械使用率会相对较低。农民人均可支配收入与农机购置补贴的影响均显著为正,说明农民人均可支配收入越高、农机购置补贴金额越大,综合机械化水平也越高。随着农民人均可支配收入及农机购置补贴的增加,农户家庭农业机械投入相应加大,综合机械化水平得到提升。此外,人均耕地面积、单位面积劳动力、经济效益差和非农经济比对综合机械化水平的影响均为正,但估计结果不显著或不完全显著。

粮食生产机械化可能会反过来影响农业劳动力价格,即劳动力价格与粮食生产的综合机械化水平之间可能存在内生性问题,研究尝试通过采用工具变量来克服由内生性问题导致的估计偏误。相关实证研究中,较为常见的是选取上期劳动力价格作为工具变量,上期劳动力价格与当期劳动力价格的相关度较高,但综合机械化水平难以对上期劳动力价格产生影响。因此,选择上期劳动日工价和上期雇工工资作为工具变量能够在一定程度上缓解反向因果对实证结果造成的影响。此外,还采用最低工资标准作为工具变量。各省最低工资标准会影响农村劳动力务工工资水平,进而影响农业劳动力价格,最终影响综合机械化水平。由于最低工资政策2003年底通过,部分省份2004年开始实施,所以将最低工资以2004年为基期进行折算。对工具变量分别进行了不可识别检验与弱工具变量检验,检验结果表明,上述工具变量均通过了有效性检验。由于所采用的面板数据存在异方差,同时采用2SLS和GMM方法进行参数估计,此时GMM比2SLS方法更有效率。表3汇报了工具变量估计结果,其中,(1)~(2)列估计结果显示劳动日工价对综合机械化水平的影响在1%的统计水平上显著为正,(3)~(4)列估计结果显示雇工工资对综合机械化水平的影响在1%的统计水平上显著为正,

表2 劳动力价格对粮食生产综合机械化水平的影响

N=480

变量	FE(1)	FGLS(2)	FE(3)	FGLS(4)
劳动日工价	0.306** (0.118)	0.286** (0.113)		
雇工工资			0.261** (0.110)	0.214** (0.107)
人均耕地面积	0.232 (0.316)	0.495* (0.289)	0.184 (0.371)	0.480 (0.312)
单位面积劳动力	0.127 (0.077)	0.112 (0.077)	0.153* (0.077)	0.139* (0.078)
经济效益差	0.032 (0.020)	0.024 (0.020)	0.048** (0.018)	0.039** (0.019)
非农经济比	0.311 (0.344)	0.420 (0.325)	0.422 (0.357)	0.521 (0.339)
农村老龄化程度	-0.934*** (0.244)	-1.028*** (0.245)	-0.822*** (0.251)	-0.946*** (0.249)
农民人均可支配收入	19.968*** (5.795)	19.524*** (5.464)	19.068*** (5.461)	20.092*** (5.576)
农机购置补贴	0.571*** (0.171)	0.575*** (0.168)	0.362** (0.133)	0.375*** (0.138)
Regional dummy	Yes	Yes	Yes	Yes
Time trend	Yes	Yes	Yes	Yes
Constant	-156.163** (56.922)	-161.591*** (56.111)	-162.075*** (55.224)	-177.422*** (53.114)
R ²	0.848		0.847	

注: *、**和***分别表示在10%、5%和1%水平下显著;括号里是稳健标准误。下同。

这与表2的回归结果高度一致。

(2)劳动力价格对耕种收机械化水平的影响。选择上期劳动日工价、上期雇工工资以及最低工资标准作为工具变量,并采用GMM方法估计劳动力价格对耕种收机械化水平的影响。表4展示了劳动力价格对耕种收机械化水平影响的估计结果。其中,(1)~(3)列的回归结果显示劳动日工价对机耕、机播及机收水平的影响,(4)~(6)列采用雇工工资替代劳动日工价进行估计。结果表明:劳动力价格对机耕、机播及机收水平的影响均为正,但对机播水平的影响不显著,这表明劳动力价格上涨有效促进了粮食机耕和机收环节机械化水平的提升;从回归系数的大小来看,劳动日工价及雇工工资对机播水平的正向影响均远小于机耕与机收水平。估计结果验证了H₂。对于三大粮食作物,小麦种植已基本实现全程机械化,其耕种收机械化水平较高;玉米机播水平甚至略高于机耕和机收水平;仅水稻机播水平远远落后于其机耕与机收水平。

2. 农机动力对粮食产出的直接影响与空间溢出效应

(1)空间自相关检验。通过空间Durbin模型考察各类农机动力对粮食产出的直接影响与空间溢出效应。在进行计量分析之前需要考察各类农机动力与粮食产出之间是否具有空间自相关性。全域莫兰指数是现有研究文献中常用的测量相应变量是否具有空间自相关性的指标。全域莫兰指数的取值范围在-1到1之间,指数值大于0表示正相关,空间上表示为高值与高值聚集;指数值小于0表示负相关,在空间上表示为低值与低值聚集。各类农机动力的全域莫兰指数的定义如下:

$$Moran's I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (3)$$

表3 工具变量估计结果

N=408

变量	2SLS(1)	GMM(2)	2SLS(3)	GMM(4)
劳动日工价	0.293*** (0.075)	0.283*** (0.078)		
雇工工资			0.200*** (0.066)	0.188*** (0.069)
人均耕地面积	0.046 (0.190)	0.057 (0.236)	0.101 (0.185)	0.124 (0.237)
单位面积劳动力	0.162*** (0.035)	0.178*** (0.040)	0.170*** (0.034)	0.179*** (0.042)
经济效益差	0.058*** (0.019)	0.055*** (0.019)	0.045** (0.019)	0.044** (0.018)
非农经济比	0.426** (0.199)	0.403* (0.223)	0.270 (0.195)	0.246 (0.226)
农村老龄化程度	-0.780*** (0.148)	-0.841*** (0.156)	-0.914*** (0.144)	-0.950*** (0.152)
农民人均可支配收入	13.952*** (3.807)	15.429*** (4.023)	19.551*** (3.049)	20.474*** (3.713)
农机购置补贴	2.126*** (0.426)	2.105*** (0.499)	2.847*** (0.398)	2.877*** (0.531)
Constant	-138.504*** (29.571)		-170.263*** (26.607)	
R ²		0.811		0.818

表4 劳动力价格对耕种收机械化水平的影响

N=408

变量	(1)			(2)		
	机耕水平(1)	机播水平(2)	机收水平(3)	机耕水平(4)	机播水平(5)	机收水平(6)
劳动日工价	0.373*** (0.118)	0.007 (0.076)	0.459*** (0.110)			
雇工工资				0.242** (0.100)	0.100 (0.068)	0.417*** (0.109)
人均耕地面积	-0.145 (0.254)	-0.152 (0.306)	0.495 (0.341)	-0.069 (0.261)	-0.125 (0.303)	0.614* (0.328)
单位面积劳动力	0.017 (0.067)	0.165*** (0.030)	0.432*** (0.060)	0.015 (0.072)	0.181*** (0.033)	0.419*** (0.062)
经济效益差	0.094*** (0.031)	-0.032* (0.019)	0.098*** (0.032)	0.079** (0.031)	-0.029 (0.019)	0.074** (0.031)
非农经济比	1.204*** (0.318)	-0.420 (0.259)	0.194 (0.329)	0.991*** (0.333)	-0.405 (0.259)	-0.075 (0.328)
农村老龄化程度	-1.566*** (0.241)	-0.228 (0.152)	-0.380 (0.244)	-1.703*** (0.240)	-0.198 (0.152)	-0.616*** (0.231)
农民人均可支配收入	11.999* (6.464)	11.908*** (3.719)	21.588*** (5.816)	18.971*** (5.797)	15.173*** (3.377)	26.030*** (5.540)
农机购置补贴	2.416*** (0.651)	2.235*** (0.551)	1.696** (0.692)	3.359*** (0.683)	2.142*** (0.532)	3.056*** (0.742)
R ²	0.719	0.46	0.782	0.724	0.458	0.795

式(3)中, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 为样本方差, $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, x_i 表示第 i 省各类农机动力或粮食产出, n 为省份总数。

图1展示了各变量全域莫兰指数图。2001—2020年期间,粮食产出、农机总动力、大中型农机动

力及小型农机动力的全域莫兰指数都为正值,且均在1%的统计水平上显著,这表明粮食产出及各类农机动力在空间上高值聚集,普遍存在较高程度的空间自相关性,即各类农机动力对粮食产出的影响可能存在空间溢出效应。

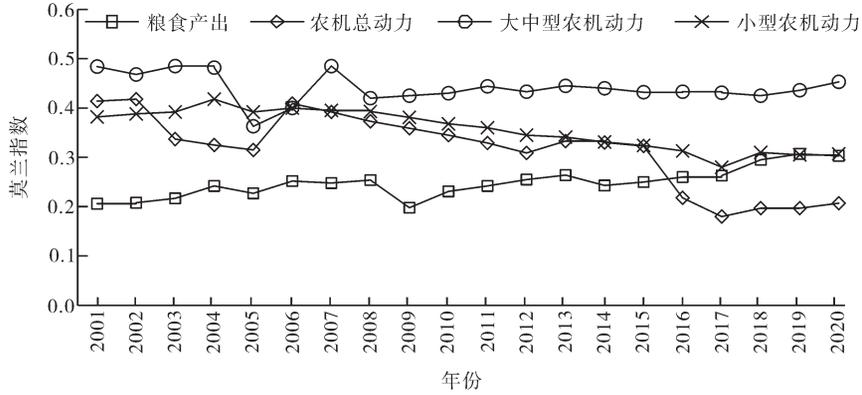


图1 各变量全域莫兰指数

(2)综合机械化水平和农机总动力对粮食产出的影响。表5报告了综合机械化水平和农机总动力对粮食产出的影响。表5(1)列显示综合机械化水平在1%的显著水平下正向影响粮食产出,而表5(2)列中农机总动力对粮食产出的影响虽为正但并不显著,这与预期一致,我国存在较大规模的农机跨区服务,农机总动力较高的省份可能存在动力输出,而农机总动力较低的省份则可以依赖外省动力输入(购买跨区农机服务),因此,各省综合机械化水平对粮食产出的直接影响显著为正,但不考虑空间效应的农机总动力虽为正但在统计上并不显著,验证了H₃。

表5 综合机械化水平和农机总动力对粮食产出的影响

N=480

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
综合机械化水平	0.005*** (0.001)			
ln农机总动力		0.047 (0.055)	0.011 (0.034)	0.008 (0.017)
W _x × ln农机总动力			0.064* (0.036)	0.068* (0.039)
ln劳动力总人数	0.005 (0.033)	-0.083* (0.047)	-0.020 (0.036)	-0.006 (0.017)
ln粮食播种面积	0.742*** (0.086)	0.775*** (0.096)	0.598*** (0.081)	0.661*** (0.037)
ln化肥使用量	0.243** (0.090)	0.351*** (0.105)	0.172** (0.082)	0.216*** (0.034)
Constant	-0.028 (0.471)	-0.635 (0.538)		
Spatial rho			0.466*** (0.081)	0.488*** (0.072)
R ²	0.772	0.718	0.702	0.615

为进一步考察农机总动力的空间溢出效应,(3)列在(2)列的基础上加入了0—1空间权重矩阵W₁与农机总动力的交互项,结果显示农机总动力对粮食产出的直接影响为正但仍不显著,而W₁与农机总动力交互项则显著为正,说明农机总动力对粮食产出具有显著的空间溢出效应;且估计结果中的空间相关系数Spatial rho也显著为正,这意味着在其他影响因素不变的情况下,农机总动力对粮食产出的影响存在通过空间上的邻近关系传播的溢出效应,即能够通过农机动力扩散带动邻近地区的机械化,进而促进邻近地区粮食增产。(4)列在(3)列的基础上采用空间地理距离权重矩阵W₂替换空

间权重矩阵 W_1 , 其估计结果与(3)列基本一致, 说明估计结果具有稳健性与有效性。此外, (2)~(4)列中, 粮食播种面积和化肥使用量均显著为正, 这与理论预期结果相吻合, 说明粮食播种面积和化肥投入的增加能够促进粮食增产; 但劳动力总人数的回归系数均为负, 这显然与常识不符。农机跨区服务是中国农业机械化发展的重要模式之一, 也是技术溢出的主要媒介^[32]。而我国进行跨区服务的农机主要是大中型农机, 在分析中将农机总动力作为一个整体进行研究可能并不准确。

(3)大中型农机动力及大中型农机机耕、机播及机收动力对粮食产出的影响。在区分大中型农机动力和小型农机动力的基础上, 进一步考察大中型农机动力和小型农机动力对粮食产出的直接影响和空间溢出效应。表6(1)列首先考虑没有空间溢出效应的固定效应模型, (2)列在(1)列的基础上加入了空间权重矩阵 W_1 与大中型农机动力的交互项及其与小型农机动力的交互项, (3)列则在(2)列的基础上采用空间地理距离权重矩阵 W_2 替换空间权重矩阵 W_1 。回归结果表明: 第一, 在考虑到大中型农机和小型农机在跨区服务上的差异后, 表6中各模型的拟合程度均优于表5; 第二, 大中型农机动力对粮食产出具有显著正向的直接影响和空间溢出效应, 而小型农机动力对粮食产出的直接影响和空间溢出效应均不显著, 该结论符合理论预期; 第三, 劳动力总人数、粮食播种面积及化肥使用量的回归系数均为正, 进一步验证了表6中区分大中型农机动力与小型农机动力的回归结果优于表5。

表5和表6中空间滞后变量的估计系数并不能代表相应效应值的大小, 因此, 采用偏微分的方法计算其直接影响、空间溢出以及总体效应^[32-33], 其中, 总体效应为直接影响与空间溢出效应之和, 如表7所示。表7(1)~(3)列采用空间权重矩阵 W_1 计算, (4)~(6)列采用空间地理距离权重矩阵 W_2 计算。结果表明, 第一, 农机总动力对粮食产出的直接影响和空间溢出效应均为正, 但其直接影响并不显著, 与回归方程及实际情况一致, 由于农机跨区作业, 农机总动力并不会显著直接影响本地粮食产出; 第二, 大中型农机动力的直接影响和空间溢出效应均显著为正, 而小型农机动力为负且不显著, 这与预期相符, 进行跨区作业的主要是大中型农机, 大中型农机动力不仅能够显著促进本地粮食增产, 还能通过农机跨区服务带动邻近地区机械化发展, 进而促进邻近地区粮食增产; 第三, 横向对比发现, 无论在空间权重矩阵 W_1 还是 W_2 下, 农机总动力及大中型农机动力的空间溢出效应值均超过了其相应的直接效应值, 可见, 农机总动力及大中型农机动力的提高不仅促进本地粮食生产, 更多的是促进了要素空间流动, 形成了空间溢出效应。

表7 农机动力对粮食产出的直接影响、溢出效应及总体效应

变量	(1)			(2)		
	(1)直接影响	(2)溢出效应	(3)总体效应	(4)直接影响	(5)溢出效应	(6)总体效应
农机总动力	0.023 (0.037)	0.126** (0.062)	0.149 (0.083)	0.012 (0.018)	0.135** (0.058)	0.146 (0.060)
大中型农机动力	0.039** (0.019)	0.079*** (0.024)	0.119*** (0.029)	0.025** (0.011)	0.107*** (0.018)	0.132*** (0.014)
小型农机动力	-0.052 (0.024)	-0.074 (0.071)	-0.125 (0.078)	-0.036 (0.012)	-0.082 (0.067)	-0.118 (0.068)

表6 大中型、小型农机动力对粮食产出的直接影响和空间溢出效应 N=480

变量	Ln粮食产出		
	(1)	(2)	(3)
Ln大中型农机动力	0.089*** (0.022)	0.033* (0.019)	0.025** (0.011)
Ln小型农机动力	-0.052 (0.019)	-0.048 (0.024)	-0.036 (0.013)
$W_x \times$ Ln大中型农机动力		0.040** (0.018)	0.095*** (0.021)
$W_x \times$ Ln小型农机动力		-0.032 (0.047)	-0.074 (0.059)
Ln劳动力总人数	0.030 (0.042)	0.056 (0.035)	0.100 (0.019)
Ln粮食播种面积	0.638*** (0.085)	0.539*** (0.071)	0.629*** (0.036)
Ln化肥使用量	0.217** (0.084)	0.101*** (0.070)	0.123*** (0.029)
Constant	0.231 (0.422)		
Spatial rho		0.366*** (0.079)	0.387*** (0.088)
R^2	0.784	0.787	0.802

表8汇报了耕种收各环节农机动力对粮食产出的直接影响和空间溢出效应,其中(1)~(3)列采用空间权重矩阵 W_1 计算,(4)~(6)列采用空间地理距离权重矩阵 W_2 计算。由表8可得,第一,大中型农机机耕、机播及机收动力对粮食产出的直接影响、溢出效应及总体效应均显著为正,可见大中型农机无论是机耕、机播还是机收动力不仅均可促进本地粮食增产,还可通过农机跨区服务提升邻近地区粮食耕种收机械化水平,进而促进邻近地区粮食增产;第二,小型农机机耕、机播及机收动力对粮食产出的直接影响及总体效应均不显著,但小型农机机耕及机收动力的溢出效应均显著为负,说明本地小型农机的增加可能会使得邻近地区大中型农机更多地到本地进行跨区机耕及机收服务,进而负面影响邻近地区粮食产出;第三,横向对比发现,无论是大中型农机还是小型农机,其机耕、机播及机收动力空间溢出效应的绝对值均大于对应的直接效应的绝对值,说明耕种收动力对粮食产出的影响也更多的体现在空间溢出效应上。表7与表8的估计结果验证了 H_4 。

表8 耕种收各环节农机动力对粮食产出的直接影响、溢出效应及总体效应

变量	(1)			(2)		
	(1)直接影响	(2)溢出效应	(3)总体效应	(4)直接影响	(5)溢出效应	(6)总体效应
大中型农机机耕动力	0.019** (0.008)	0.066*** (0.015)	0.086*** (0.016)	0.009* (0.008)	0.132*** (0.017)	0.141*** (0.014)
小型农机机耕动力	-0.017 (0.011)	-0.157*** (0.028)	-0.175 (0.031)	0.011 (0.012)	-0.374*** (0.039)	-0.363 (0.039)
大中型农机机播动力	0.033*** (0.008)	0.115*** (0.015)	0.148*** (0.016)	0.016** (0.007)	0.205*** (0.016)	0.221*** (0.015)
小型农机机播动力	-0.032 (0.007)	-0.050 (0.015)	-0.082 (0.017)	-0.033 (0.007)	-0.054 (0.020)	-0.087 (0.020)
大中型农机机收动力	0.017* (0.008)	0.080*** (0.015)	0.097*** (0.015)	0.005* (0.017)	0.164*** (0.031)	0.169*** (0.027)
小型农机机收动力	-0.015 (0.009)	-0.052* (0.022)	-0.066 (0.025)	-0.004 (0.018)	-0.159*** (0.058)	-0.163 (0.059)

四、结论与启示

农业机械化进程的推进直接关系到小农户和现代农业发展的有机衔接。基于省级面板数据,实证分析劳动力价格对粮食生产机械化的影响,以及机械化的产出效应,并考察其环节性差异。主要结论如下:第一,劳动力价格上涨显著促进了粮食生产综合机械化水平、机耕水平及机收水平的提升,但对机播水平的影响不显著;第二,农机总动力对粮食产出的影响存在通过空间上的邻近关系传播的溢出效应;第三,大中型农机动力以及大中型农机机耕、机播及机收动力不仅能够促进本地粮食增产,还能够通过农机跨区服务提升邻近地区机械化水平,进而促进邻近地区粮食增产;第四,各类农机动力的空间溢出效应绝对值均超过了其相应的直接效应绝对值,粮食生产机械化发展的增产作用更多的体现在空间溢出效应上。

伴随中国经济发展,劳动力价格上涨已经成为必然趋势。那么在劳动力成本上升的情况下,如何保持粮食生产的比较优势和竞争力则是我们面临的现实问题。劳动力价格上涨虽然在一定程度上增加了粮食生产的用工成本,但也会为粮食生产的技术创新、转型升级和可持续发展提供外部推力。根据上述研究结论,启示如下:第一,面对劳动力成本上升的趋势,政策制定者应充分认识到现阶段推动农业生产发展路径转变的必要性和紧迫性,出台相应的政策加快推动传统农业向现代农业转变,着力促进粮食生产的专业化、标准化、规模化、集约化;第二,针对我国部分农村地区粮食生产力水平低、生产方式较为粗放的实际,应加快转变农业生产方式,全面提高粮食生产物质装备水平,大力培育有文化、懂技术、会经营的新型农民,依靠科技进步和提高劳动者素质来进一步提升农

业劳动生产率,通过提高劳动生产率来缓解劳动力成本上升的影响;第三,应充分利用劳动力价格上涨带来的驱动力,持续推进理念创新和技术创新,重点突破粮食生产机械化的最急需、最关键、最薄弱的环节,加大对水稻播种环节新技术、新装备的研发投入力度,加快实现粮食生产全程机械化;第四,粮食生产机械化面临着小农为主体和土地小规模经营的约束,为加快促进小农户与现代农业的衔接,应加快推进农业社会化服务发展,特别是代耕代种、代管代收、全程托管等社会化服务,在分工经济的基础上加快实现机械作业的专业化和规模化,通过专业化和规模化的机械服务来实现规模经济;第五,大中型农机动力对粮食产出具有显著的直接影响和空间溢出效应,且空间溢出效应大于直接影响,因此,各地区应加强协调与合作,构建农机跨区服务信息服务平台,通过信息服务平台实现信息共享,推动农机资源在省际间进行合理流动与科学调配,延长农机跨区服务时间与跨区空间距离,不断促进农机跨区服务对象的多样化与作业环节的全程化,加速实现农业农村现代化。

参 考 文 献

- [1] 付华,李萍.农业机械化发展对粮食生产的影响——基于机械异质性和区域异质性的分析[J].财经科学,2020(12):40-55.
- [2] 陈锡文.工业化、城镇化要为解决“三农”问题做出更大贡献[J].经济研究,2011,46(10):8-10.
- [3] 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):4-9,110.
- [4] HAYAMI Y, RUTTAN V W. Factor prices and technical change in agricultural development: the United States and Japan, 1880-1960[J].Journal of political economy,1970,78(5):1115-1141.
- [5] 蔡键,唐忠,朱勇.要素相对价格、土地资源条件与农户农业机械服务外包需求[J].中国农村经济,2017(8):18-28.
- [6] 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[J].经济学(季刊),2016,16(1):45-66.
- [7] 蔡昉,王美艳.农村劳动力剩余及其相关事实的重新考察——一个反事实法的应用[J].中国农村经济,2007(10):6-14.
- [8] RUTTAN V W. Technology, growth, and development: an induced innovation perspective [J]. Oup catalogue, 2000, 62(1): 272-273.
- [9] 杨宏力,李宏盼.农地确权对农民收入的影响机理及政策启示[J].经济体制改革,2020(4):86-93.
- [10] 刘长全,王术坤,李婷婷.小农农业现代化背景下农户生产经营行为特征与差异[J].经济与管理,2022,36(4):1-8.
- [11] 贺雪峰,印子.“小农经济”与农业现代化的路径选择——兼评农业现代化激进主义[J].政治经济学评论,2015(6):45-65.
- [12] 李根丽,杨美春,刘天军.农地流转能否提升劳动力市场有效性——以“三权分置”改革为背景[J].经济学家,2023(8):117-128.
- [13] 徐勇.中国农户制传统与农村发展道路——以俄国、印度的村社传统为参照[J].中国社会科学,2013(8):102-123,206-207.
- [14] 刘凤芹.农业土地规模经营的条件与效果研究:以东北农村为例[J].管理世界,2006(9):71-79,171-172.
- [15] 蒋乃华,卞智勇.社会资本对农村劳动力非农就业的影响——来自江苏的实证[J].管理世界,2007(12):158-159.
- [16] ROGERS E M. Diffusion of innovations [M].5th ed.New York:The Free Press,2003.
- [17] HE A, YUAN B, JIN Z, et al. Comparative study on annual yield, water consumption, irrigation water use efficiency and economic benefits of different rice-oilseed rape rotation systems in central China[J].Agricultural water management,2021,247:1-12.
- [18] NGUYEN V N, FERRERO A.Meeting the challenges of global rice production[J].Paddy water environment,2006(4):1-9.
- [19] FAROOQ M, SIDDIQUE K H M, REHMAN H, et al. Rice direct seeding: experiences, challenges and opportunities [J].Soil and tillage research,2011,111(2):87-98.
- [20] JIN X, YUAN Y, JI J, et al.Design and implementation of anti-leakage planting system for transplanting machine based on fuzzy information [J].Computers and electronics in agriculture, 2020, 169: 1-9.
- [21] YAMAUCHI F. Rising real wages, mechanization and growing advantage of large farms: evidence from Indonesia[J].Food policy, 2016, 58: 62-69.
- [22] TAKESHIMA H, NIN PRATT A, DIAO X.Mechanization and agricultural technology evolution, agricultural intensification in sub-Saharan Africa [J].Agricultural economics,2013,95(5):1230-1236.
- [23] ZHANG X, YANG J, REARDON T. Mechanization outsourcing clusters and division of labor in Chinese agriculture [J].China economic review,2017,43:184-195.
- [24] YANG J, WANG H, JIN S, et al. Migration, local off-farm employment and agricultural production efficiency: evidence from China [J]. Journal of productivity analysis, 2016, 45(3):274-259.
- [25] PENG J, ZHAO Z, LIU D.Impact of agricultural mechanization on agricultural production, income, and mechanism: evidence

- from Hubei province, China [J]. *Frontiers in environmental science*, 2022(10):133-153.
- [26] 伍骏骞,方师乐,李谷成,等.中国农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应分析——基于跨区作业的视角[J]. *中国农村经济*, 2017(6):44-57.
- [27] 方师乐,卫龙宝,伍骏骞.农业机械化的空间溢出效应及其分布规律——农机跨区服务的视角[J]. *管理世界*, 2017(11):65-78.
- [28] 周振,马庆超,孔祥智.农业机械化对农村劳动力转移贡献的量化研究[J]. *农业技术经济*, 2016(2):52-62
- [29] 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.
- [30] 吴丽丽,李谷成,周晓时.中国粮食生产要素之间的替代关系研究——基于劳动力成本上升的背景[J]. *中南财经政法大学学报*, 2016(2):140-148,160.
- [31] 高鸣,宋洪远.粮食生产技术效率的空间收敛及功能区差异——兼论技术扩散的空间涟漪效应[J]. *管理世界*, 2014(7):83-92.
- [32] LESAGE J P, PACE R K. *Introduction to spatial econometrics* [M]. Boca Raton: CRC Press, 2009.
- [33] ELHORST J P. *Applied spatial econometrics: raising the bar* [J]. *Spatial economic analysis*, 2010, 5(1):9-28.

Rising Labor Price, Mechanization of Grain Production, and Its Output Effect

YI Xiaolan, YAN Yan, ZHANG Tongtong

Abstract Agricultural mechanization is an important foundation for realizing modern agriculture and ensuring food security. Based on the provincial panel data of China from 2001 to 2020, this paper empirically analyzes the impact of labor price on the mechanization of grain production and the output effect of grain production mechanization, and examines the differences of these impacts and effects at different stages of grain plowing, sowing and harvesting. The results indicate that the increase in labor price has a significant positive impact on the mechanization level of grain production, plowing and harvesting. Moreover, the total power of agricultural machinery has a significant spatial spillover effect on grain output and the power of large and medium-sized agricultural machinery, as well as the power of large and medium-sized agricultural machinery for plowing, sowing, and harvesting all have significant direct impact and spatial spillover effect on grain output where the spatial spillover effect is greater than its direct effect. It is suggested that we should try to achieve breakthroughs in the weak stages of grain production, actively promote the development of agricultural socialized services, and promote the rational flow and scientific allocation of agricultural machinery resources among provinces, strengthen the connection between smallholders and modern agriculture, so as to accelerate the realization of the whole process mechanization of grain production and agricultural and rural modernization.

Key words labor price; agricultural mechanization; grain output; spatial spillover effects

(责任编辑:金会平)