

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

伍骏騫¹ 方师乐^{2,3} 李谷成⁴ 徐广彤³

摘要：本文基于 1978~2012 年中国省级面板数据，运用空间 Durbin 模型分析了农业机械化发展水平对粮食产量的直接影响和空间溢出效应。本文主要结论有：第一，农业机械化发展水平对粮食产量有空间溢出效应，即其他区域农业机械化发展水平对本区域粮食产量有显著的正向影响；第二，从时间范围来看，农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应在 1999 年以后更加显著，这契合了中国农业机械跨区作业的演进历史；第三，从空间范围来看，农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应主要发生在纬度不同的区域之间，在同一纬度的不同区域之间该效应并不显著，这契合了中国农业机械跨纬度作业的运行机制。

关键词：空间溢出效应 农业机械化 跨区作业 粮食产量

中图分类号：F323.3 **文献标识码：**A

一、引言和文献综述

随着中国新型城镇化的不断推进，农业劳动力大量流转 to 非农产业，不少地区粮食播种面积减少，保障粮食安全的压力明显加大，而粮食生产过程对生产时间有严格要求，一旦不能及时播种、收割，就会发生粮食减产。在这样的背景下，2013 年，中国粮食产量仍然实现了“十连增”，三大主粮自给率能够保持在 98% 左右^①，其中一个重要原因是农业机械化的不断发展。截止到 2012 年年底，中国农业机械总动力达 10 亿余千瓦，大中型拖拉机 48.5 万台，小型拖拉机 1797.2 万台，分别

*本文研究受到国家自然科学基金项目“空间计量经济学视角下产业集群对农村减贫作用的研究”（编号：71503212）、国家自然科学基金项目“劳动力成本上升对农业生产的影响机理与实证研究”（编号：71473100）和清华大学农村研究博士论文奖学金的资助。本文通讯作者为方师乐。

^①资料来源：《农业部：中国粮食安全有保障 自给率约 98%》，<http://www.chinanews.com/gn/2013/03-11/4633622.shtml>。

是1978年的8.73倍、8.71倍和13.09倍^①。农业机械化的发展实现了机器对劳动力的替代。一方面，在劳动力成本不断上升的背景下，更多的劳动力能够从农业生产中释放出来从事非农产业；另一方面，机械化生产填补了农业生产季节性对劳动力的大量需求，从而避免由生产作业或救灾不及时造成的粮食减产，这对稳定粮食产量和保障粮食安全具有重要意义。

然而，诱导性技术变迁理论认为，在中国这样的人多地少的国家应该发展劳动密集型的“日本模式”，以农业机械化为代表的“美国模式”在中国难以成功。Ruttan（2000）认为，中国家庭联产承包制下的耕地细碎化阻碍了农业机械化的实现，即使农民采用机械生产，也不可能存在相应的专业化劳动力细分市场，在小规模农业生产的背景下实现农业机械化和农业分工是不可能的。这一传统观念加上20世纪80年代以前中国农业机械化的“大跃进”，导致改革开放以后国家对农业机械的科研投入严重不足，这一状况直到2003年出现众多农民工无法返乡抢收小麦和抢种秋粮，才有所改观（张宗毅等，2014）。

实际上，为了规避耕地细碎化对农业发展的约束，中国农民早已通过农业劳动力的跨区域服务实现了农业生产的规模效应。在500年前，中国就出现了横跨数百里提供专业割麦服务的“麦客”（田富强等，2006）。这种跨区粮食收割作业的模式一直延续到了现代，只是农业机械逐步替代了镰刀，农村地区出现了一批从事“翻地、播种、收割的农业机械操作”的农户（刘凤芹，2006），产生了大量的“现代麦客”。自1996年中国开始推广农业机械跨区作业以来，这种作业方式已经逐渐成为农业机械化、市场化的一种较为成熟的模式（高鸣、宋洪远，2014）。因此，实际上土地规模经营既不是农业机械化的充分条件，更不是必要条件；农业机械化与土地家庭承包制是相容的（曹阳、胡继亮，2010）。实现农业机械化有两种形式：一种是农业机械自有自用，主要用于满足自家生产需要；另一种是面向社会化服务体系的大型化、高效率、专业化的农业机械服务，以求在短暂的农业生产季节内完成较多作业量（梅成建，1998；纪月清、钟甫宁，2013）。那种认为中国的自然条件和小农户经营将阻碍农业机械化的发展的观点之所以产生，其原因在于没有考虑农业机械的跨区作业，没有将农业机械放入空间维度考虑其影响的空间溢出效应（纪月清，2010）。

国内外学者在相关文献中也提到了农业机械跨区作业问题。Yang et al.（2013）基于江苏省沛县的案例分析指出，农业机械跨区作业至少可以在部分程度上解释为什么中国在土地高度细碎化、生产分散化的制度安排下依然可以实现农业机械化水平的提升，并保证农业产出的稳定增长。高鸣、宋洪远（2014）认为，中国各省（区）的粮食生产技术效率存在空间收敛现象，其中一个重要原因就是农业机械跨区作业，农业机械跨区作业可以将先进的农业机械技术推广到其他行政区域，从而成为技术溢出的途径和工具。他们进一步发现，农业机械跨区作业使一个区域的小麦收割时间由20多天缩短到5~7天，这不仅减少了劳动力投入，还为农民增收提供了源头。因此，农业机械跨区作业已经成为中国农业机械化发展的重要模式。农业机械跨区作业不仅使第一产业实现了专业化分工，产生了规模效应，并且通过生产要素的空间流动，在不同区域之间产生了空间溢出效应。Zhang et al.

^①根据《中国统计年鉴2013》（国家统计局编，中国统计出版社出版，2013年）数据计算。

(2017)认为,由于劳动力成本上升,农民会把粮食收割等一些农业生产中的劳动密集型环节,外包给专业化的机械作业服务提供者;这些农业服务提供者往往聚集在少数几个,他们提供农业机械跨区作业服务。这种现象能够在一定程度上解释中国农业生产在土地高度细碎化、劳动成本上升的背景下为什么能够稳步发展(杨进等,2013)。Takeshima et al.(2013)也发现,在发展中国家,农业机械化的意义在于替代劳动力,而不是增加耕作规模。

因此,研究农业机械跨区作业有多重意义。从传统经济理论来看,农业难以实现生产环节的分工和专业化似乎是经济学界的共识。斯密(Smith,1776)认为,分工与专业化是经济增长的源泉,但是,农业由于其自身特性,无法实现像工业那样细致的分工。马歇尔(Marshall,1920)认为,“组织”促进分工的形成,并在规模经济、报酬递增等新古典经济学框架下讨论了分工效应。但是,这种分工几乎局限于制造业领域,农业领域的分工十分有限。此后的学者从不同角度论述了农业分工的局限性。例如,农业生产的季节性、中间产出的不可剥离性导致分工会产生较高的协调费用和考核费用(Shi and Yang,1995);农产品的鲜活易腐性导致农业分工伴随着很高的交易费用,并限制了农产品市场规模的扩大(Stigler,1951)。值得一提的是,农业虽然在自身领域内难以实现分工,但是,其专业化水平的提高可以通过购买机器从工业“进口”分工经济而获得(杨小凯、黄有光,2000)。在农业生产过程中,农业机械化是促进农业领域实现专业化生产的路径之一,特别是农业机械跨区作业是增加农业生产迂回度、实现农业生产环节分工的有效形式。因此,从专业化和分工层面研究农业机械跨区作业服务,能够打破新古典理论的农户模型中将农户当作分析单位的假定,从而更好地解释中国农业的发展现状(Zhang et al.,2017)。从计量模型估计来看,如果不考虑农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应,当地农业机械化发展水平对粮食产量的直接影响就会被高估,而农业机械化发展水平对农业产出的总效应(即直接影响和空间溢出效应的总和)会被低估。由于没有考虑空间因素,王跃梅等(2013)得出以农业机械总动力衡量的农业资本对粮食产量没有显著影响的结论。Zhang et al.(2017)也认为,当地农业机械存量对粮食产量并没有显著影响。由于农业机械存量并不是农业机械对当地的供给量,农业机械跨区作业的存在使得当地农业机械存量对粮食产量的影响不显著。这就凸显了本文通过空间计量经济学验证某区域农业机械化发展水平对其他区域粮食产量的空间溢出效应的重要意义。

综上,虽然国内外研究从理论、案例等层面对农业机械跨区作业做了分析,但涉及农业机械跨区作业的实证分析较少,特别是直接验证农业机械跨区作业对粮食产量的空间溢出效应的研究更少。高鸣、宋洪远(2014)分析了粮食生产技术效率的空间自相关性,并强调了农业机械跨区作业是粮食生产技术效率产生空间收敛的重要原因。但是,由于空间自相关性不反映因果关系,其研究不能直接验证农业机械跨区作业对粮食产量的空间溢出效应。

因此,本文拟在已有研究的基础上,重点强调农业机械跨区作业将对粮食产量的空间溢出效应,即一个区域的农业机械发展将通过跨区作业服务对其他区域粮食产量产生重要影响;换言之,一个区域的粮食产量不仅受到当地农业机械化发展水平的影响,还受到其他区域农业机械化发展水平的影响。基于此,本文将从以下几个方面展开研究:①运用空间统计方法,分析农业机械化发展水平

和粮食产量在中国省级层面的空间分布,进一步通过测算农业机械化发展水平的全域 Moran'I 指数,判断农业机械是否存在空间自相关性。②构建空间 Durbin 模型,验证并测算农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应。③考虑到空间溢出效应存在时间和空间差异(参见 Rosenthal and Strange, 2004),本文将进一步测算农业机械化发展水平对粮食产量空间溢出效应的时间范围(temporal scope)和空间范围(geographic scope)。

二、统计分析

改革开放以来,中国粮食产量虽然有所波动,但总体呈上升趋势,2004~2014 年实现了“十一连增”。这表明,虽然大量劳动力由农业部门流向非农部门,但粮食产量并未受到冲击。与此同时,农业机械总动力呈现加速上升的态势,2012 年达到 102559 万千瓦,约为 1978 年的 8.7 倍(见图 1)。2011 年,全国机耕、机播、机收面积分别为 16.03 亿亩、10.94 亿亩、9.90 亿亩,机械化水平分别达到 72.29%、44.93%和 41.41%,农作物耕种收综合机械化水平达到 54.82%^①,中国农业机械化发展已从初级阶段跨越到中级阶段(农业部农业机械化管理司,2008)。从农业机械跨区作业来看,2011 年,跨区机收面积占全国机收总面积的 35.8%,中国农业机械跨区作业规模已经达到了一个非常高的水平(杨进等,2013)。从不同粮食作物来看,小麦耕地和播种环节的机械化水平超过 80%,收获环节的机械化水平超过 90%;水稻收获环节的机械化水平超过 70%;玉米播种环节的机械化水平超过 80%(张宗毅等,2014)。

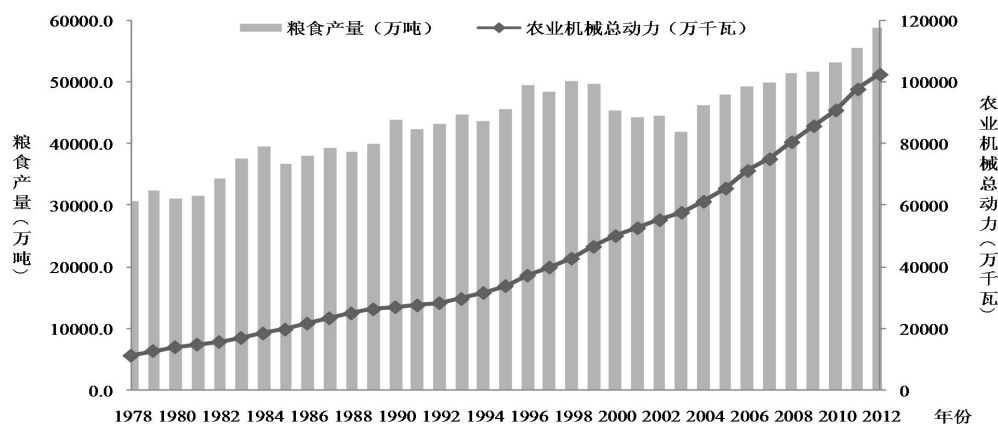


图 1 1978~2012 年中国粮食产量和农业机械总动力

数据来源:《中国统计年鉴》(国家统计局编,中国统计出版社出版,2013)。

图 2 是 2012 年中国各省份粮食产量和农业机械总动力的空间分布图。图 2 中,颜色深浅代表

^①数据来源:农业部,2012:《中国农业机械化年鉴 2012》,中国农业科学技术出版社。

粮食产量的大小，颜色越深，产量越大；柱状图的高度代表农业机械总动力的大小。不管是颜色的深浅还是柱状图的高度，都呈现出区域间梯度渐变的图景，从粮食产量和农业机械总动力观测值高的区域逐级递减，表明粮食产量和农业机械总动力在区域间可能分别存在空间自相关性。对比粮食产量所对应的颜色和农业机械总动力所对应的柱状图，颜色深的区域，柱状图也高；反之则反。这说明，粮食产量和农业机械总动力可能有一定的相关性。另外，农业机械化发展水平高的区域，其周边区域的粮食产量也普遍较高，由此可以从直观上推断，农业机械化发展水平可能不仅仅对本区域的粮食产量有促进作用，还可能通过农业机械跨区作业对其他区域的粮食产量产生空间溢出效应。

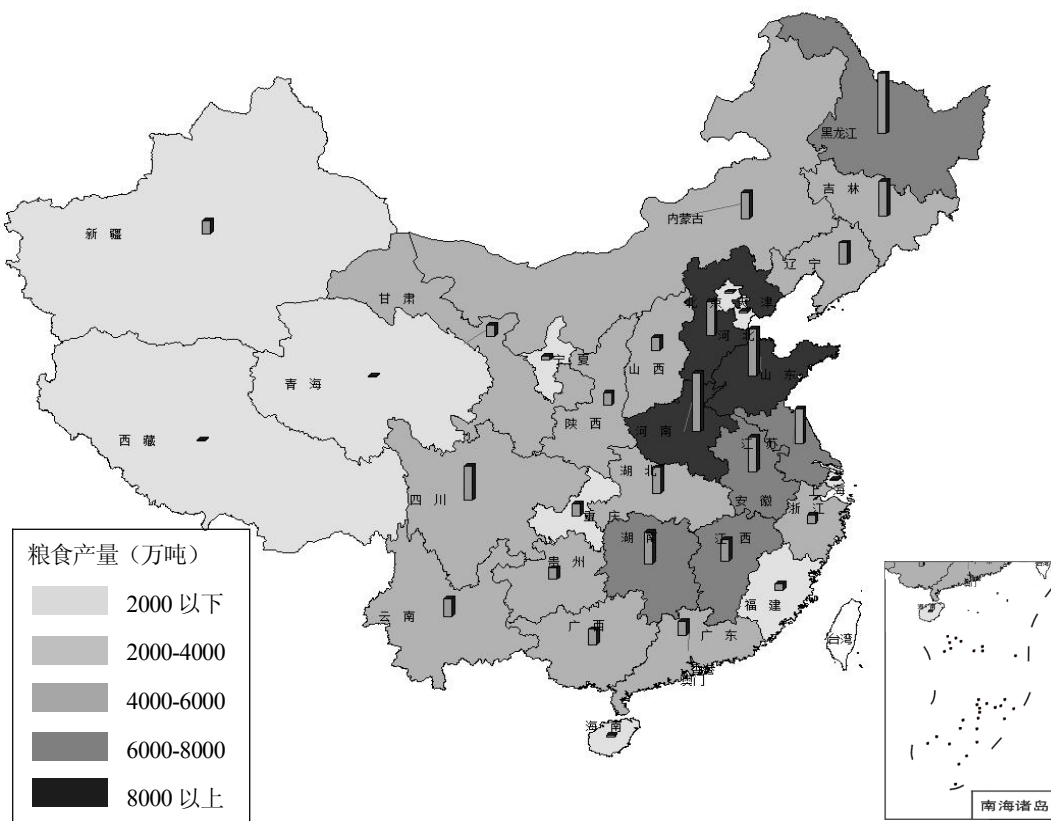


图2 2012年中国各区域粮食产量和农业机械总动力分布情况

数据来源：《中国统计年鉴》（国家统计局编，中国统计出版社出版，2013）。

当然，农业机械化发展水平对粮食产量的直接影响和空间溢出效应需进一步验证。全域 Moran's I 指数是最常用的测量空间自相关性的局部指标，可以用来检测同一指标在不同位置上的空间自相关性，从而度量指标的集聚程度和空间溢出效应。Moran's I 指数的取值范围是 $[-1,1]$ ：取值接近 1，表示区域间指标正向空间自相关；取值接近-1，则表示负向空间自相关；取值为 0，表示不存在空

间自相关。粮食产量和农业机械总动力的全域 Moran's I 指数的定义如下:

$$Moran's\ I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (1)$$

(1) 式中, $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2$, $\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$ 。其中, Y_i 表示第 i 个区域粮食产量 (或农业机械总动力) 的观测值, n 为区域总数。 W 是空间权重矩阵, 是 N 阶对称矩阵, w_{ij} 为矩阵 W 中的

元素。其中, $w_{ij} = w_{ji}$, 对角线元素 $w_{11} = w_{22} \dots = w_{NN} = 0$, w_{ij} 代表 i 区域到 j 区域的经济距离的倒

数, 本文采用省会城市 i 到省会城市 j 的交通时间^①的倒数来表示。如没有特别说明, 本文数据均采用 1978~2012 年中国大陆 28 个省份的统计数据^②, 数据来源于 2000~2013 年《中国统计年鉴》^③和《新中国六十年统计资料汇编》^④。

通过分别计算 1978~2012 年粮食产量和农业机械总动力的全域 Moran's I 指数 (见图 3), 本文发现, 这两个全域 Moran's I 指数都为正, 且都在 1% 的水平上显著。这表明, 粮食产量和农业机械总动力都存在空间自相关性, 即存在一定的空间集聚现象, 尽管不同年份之间粮食产量和农业机械总动力的全域 Moran's I 指数有一定的波动。

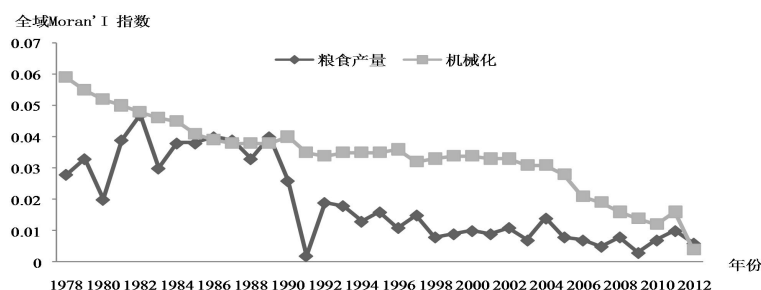


图3 1978~2012年中国各区域粮食产量和农业机械总动力的全域 Moran'I 指数

数据来源: 根据 2000~2013 年《中国统计年鉴》和《新中国六十年统计资料汇编》数据计算。

^①交通时间通过谷歌地图查询省会城市 i 到省会城市 j 驾驶机动车辆所消耗的时间计算。这种衡量方式区分了不同等级道路的单位交通时间, 是目前最贴近实际交通时间的衡量方式。

^②考虑到西藏特殊资源禀赋条件, 本文研究的样本没有包括西藏; 为保持统计口径一致, 将1988年后的海南和1998年后的重庆分别纳入广东和四川。

^③国家统计局编:《中国统计年鉴》, 中国统计出版社, 2000~2013 年。

^④国家统计局编:《新中国六十年统计资料汇编》, 中国统计出版社, 2010 年。

但是,该指数并不能反映集聚的具体区域。此外,该指数只意味着粮食产量和农业机械总动力的统计相关性,不能判断粮食产量和农业机械总动力的因果关系。

三、计量分析

(一) 基本模型设定与估计

上述统计分析在一定程度上反映了农业机械总动力和粮食产量分别具有空间自相关性,但是,农业机械总动力与粮食产量之间的因果关系则需要通过计量经济学方法加以验证。因此,本文将采用空间计量方法验证农业机械总动力对粮食产量的直接影响和空间溢出效应。

本文将空间滞后变量引入计量模型,采用 LeSage and Pace (2009) 构建的一个较空间滞后模型和空间误差模型更一般的空间面板模型——空间 Durbin 模型。该模型同时包含内生变量和外生变量的空间滞后变量,据此捕捉农业机械化的空间溢出效应(参见 Beer and Riedl, 2012)。这一模型具有如下优点:一是无论真实的数据生成过程是空间滞后形式还是空间误差形式,空间 Durbin 模型都能保证系数的无偏估计;二是它对潜在空间溢出效应的规模没有提前施加任何限制(参见 Elhorst, 2010; 伍骏骞等, 2017)。

本文的空间Durbin模型设定形式如下:

$$\ln p_{it} = \alpha_0 + \delta W \times \ln p_{it} + \alpha_1 \ln m_{it} + \alpha_2 \ln f_{it} + \alpha_3 \ln area_{it} + \beta_1 W \times \ln m_{it} + \beta_2 W \times \ln f_{it} + \beta_3 W \times \ln area_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

(2) 式中, i 表示28个省份 ($i=1, 2, \dots, 28$); $\ln p_{it}$ 是因变量, 表示 i 省份在 t 年粮食产量(单位: 万吨)的自然对数; $\ln m_{it}$ 是自变量, 表示 i 省份在 t 年农业机械总动力^①(单位: 万千瓦)的自然对数, 用以衡量农业机械化发展水平。 $W \times \ln p_{it}$ 和 $W \times \ln m_{it}$ 分别为因变量和自变量的空间滞后变量, 由变量与空间权重矩阵相乘所得。另外, 本文选取了影响粮食产量的化肥施用量 f (单位: 万吨)和粮食播种面积 $area$ (单位: 千公顷)作为控制变量。 α_0 为截距项; δ 、 $\alpha_1 \sim \alpha_3$ 、 $\beta_1 \sim \beta_3$ 为待估系数; ε_{it} 表示服从独立同分布的误差项, 其均值为0, 方差为 σ ; μ_i 和 λ_t 分别表示空间

^①选取农业机械总动力作为衡量农业机械化发展水平的指标主要基于以下考虑: ①用农机动力表征农业机械化发展水平甚至是农业现代化水平是主流文献通常采用的方法(例如 Zhang et al., 2017; 杨进等, 2016); ②本文研究的是农业机械跨区服务这一实际发生的现象, 所以采用部分文献提出的诸如“耕种收综合机械化率”等其他指标衡量农业机械化发展水平的做法, 无法满足本文的研究对象的特点, 本文中的农业机械化发展水平实际上指的是农业机械储备量, 用农机动力值表征是最为合理的; ③虽然“农业机械总动力”包含很多种类的农业机械, 不单是参与跨区服务的农业机械, 但一方面, 专门用于种植业生产的农业机械动力在现有的统计年鉴中无法获得, 另一方面, 参考 Lin (1992) 和李宁等 (2017) 的方法, 笔者从“农业机械总动力”剥离出“用于粮食生产的农机动力值”, 发现两者高度相关, 原因可能是中国各省份的农业内部结构相似, 这说明, 本文用前者替代后者是可行的。

和时间上的特定效应。

基于此,本文首先得出空间 Durbin 模型的估计结果(见表1)。值得一提的是,空间 Durbin 模型的估计系数并不是直接影响和空间溢出效应的大小,需要通过偏微分方法求解^①(参见 Lesage and Pace, 2009; Elhorst, 2010; 伍骏骞等, 2017)。因此,本文进一步估计各自变量对粮食产量的直接影响、空间溢出效应和总效应(见表2)。由表1和表2可知,农业机械化发展水平对当地粮食产量的直接影响显著,而空间溢出效应并不显著。该结论似乎并不能验证农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应。其原因可能在于:农业机械的跨区作业,尤其是大型农业机械的跨省服务,是1999年左右才兴起的,不同时间段农业机械化的空间溢出效应可能不同。因此,需要从时间维度进一步探究农业机械化发展水平的空间溢出效应。

表1 Durbin 模型估计结果

	系数	t 值
$\ln m$	0.06***	4.73
$\ln f$	0.16***	13.58
$\ln area$	0.93***	33.89
$W \times \ln p$	15.27***	9.06
$W \times \ln m$	-0.13	-0.15
$W \times \ln f$	1.34	1.18
$W \times \ln area$	-9.13***	-3.29
拟合优度	0.40	

注: *、**和***分别代表在 10%、5%和 1%的水平上显著。

表2 各自变量的直接影响、空间溢出效应和总效应

	直接影响		空间溢出效应		总效应	
	系数	t值	系数	t值	系数	t值
$\ln m$	0.06***	5.74	0.04	0.88	0.10**	1.98
$\ln f$	0.17***	12.82	0.25***	4.15	0.42***	6.60
$\ln area$	0.94***	34.07	0.35***	2.71	1.29***	10.18

注: *、**和***分别代表在 10%、5%和 1%的水平上显著。

(二) 时间维度的空间溢出效应分析

(2) 式的估计结果表明,农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应并不显著;而在实践

^①公式详见文后附录。

中,农业机械作业服务的空间溢出效应已经得到广泛的验证。为了在时间维度上深入探究农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应,本文将样本数据划分为1978~1988年、1989~1998年和1999~2012年3个时间段,对这3个时间段的数据分别进行回归。回归结果如表3所示,空间溢出效应测算结果如表4所示。

表3 时间维度的Durbin模型估计结果

	1978~1988年		1989~1998年		1999~2012年	
	系数	t值	系数	t值	系数	t值
$\ln m$	0.08	1.45	0.07*	1.76	-0.01	-0.56
$\ln f$	0.10***	4.23	0.09***	3.64	0.09***	4.49
$\ln area$	0.27**	2.09	1.18***	11.50	0.74***	21.04
$W \times \ln p$	18.73***	8.12	17.60***	6.41	13.30***	4.34
$W \times \ln m$	0.37	0.12	-9.45**	-2.41	3.35***	2.68
$W \times \ln f$	-0.87	-0.24	10.34**	2.54	2.89	1.12
$W \times \ln area$	-4.18	-0.45	-9.05	-0.97	-2.92	-0.79
拟合优度	0.25		0.23		0.14	

注: *、**和***分别代表在10%、5%和1%的水平上显著。

表4 农业机械化发展水平对粮食产量的直接影响、空间溢出效应和总效应(时间维度)

	直接影响		空间溢出效应		总效应	
	系数	t值	系数	t值	系数	t值
1978~1988年	0.08*	1.74	0.16	0.57	0.24	0.81
1989~1998年	0.05	1.36	-0.64**	-2.05	-0.59*	-1.80
1999~2012年	-4.00×10^{-3}	-0.34	0.18***	3.26	0.18***	3.16

注: *、**和***分别代表在10%、5%和1%的水平上显著。

由以上3个回归结果可见,1978~1988年,农业机械化发展水平的空间溢出效应并不显著;1989~1998年,农业机械化发展水平的空间溢出效应虽然显著,但其符号为负,原因在于该阶段农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应来自农业机械化发展对本区域的粮食产量影响,由于本区域粮食产量对其他区域粮食产量产生负向影响,因此出现了农业机械化发展水平负向的空间溢出效应;1999~2012年,农业机械化发展水平的空间溢出效应显著,且其符号为正。这说明,农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应在这3个时间段是不相同的,分别进行回归分析是必要的。1999~2012年的回归结果表明,农业机械化发展水平对粮食产量有着显著的正向空间溢出效应。1999年正是中国大中型农业机械迅速发展的起步阶段,所以,这种空间溢出效应产生的原因是农业

机械跨省作业的广泛存在。高鸣、宋洪远（2014）也认为，农业机械跨区作业是粮食生产技术效率存在空间收敛的重要原因。这种空间溢出效应发生的时间段也和 Yang et al.（2013）、Zhang et al.（2017）的结论一致。上述两篇文献的研究发现，江苏省沛县是中国最早开始农业机械跨区作业服务的区域之一，其农业机械跨区作业服务始于 1998 年，到 2003 年开始了全国内大范围、长周期的跨区作业服务。

（三）空间维度的空间溢出效应分析

1. 空间溢出效应的空间范围。前文从时间维度探讨了农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应，现有的空间计量经济学分析往往还会考虑空间溢出效应的空间范围。那么，农业机械化发展水平空间溢出效应的空间范围到底有多大呢？地理学第一定律表明，任何事物之间均相关，离得较近的事物之间的相关性总比离得较远的事物之间的相关性要高。实际上，由于运输费用或交易费用的存在，农业机械作业也存在空间溢出效应的强弱之分，距离越远，农业机械跨区作业的成本越大，不确定性因素越多，农业机械化发展水平的空间溢出效应越弱，直至这种空间溢出效应几乎为零。基于此，本文将农业机械化发展水平的空间滞后变量（ $W \times \ln m_{it}$ ）放入模型，模型设定如下：

$$\ln p_{it} = \alpha_0 + \delta W \times \ln m_{it} + \alpha_1 \ln m_{it} + \alpha_2 \ln f_{it} + \alpha_3 \ln area_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

在（3）式的基础上，本文将空间权重矩阵按照空间范围的不同分别做如下设定：①交通时间在“一天之内”的，本文假定空间溢出效应仅产生在交通时间小于一天的空间范围，即交通时间大于一天的区域， w_{ij} 赋值为 0；②交通时间在“两天之内”的，本文假定空间溢出效应仅产生在交通时间小于两天的空间范围，即交通时间大于两天的区域， w_{ij} 赋值为 0。基本模型空间权重矩阵的 w_{ij} 保持不变，仍然采用省会城市 i 到省会城市 j 交通时间的倒数来表示。

基于面板数据的固定效应模型^①的估计结果如表 5 所示。通过比较表 5 中的回归结果，可以发现 3 个回归所测算的农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应均显著，且数值几乎一致。这说明，这种空间溢出效应在“一天之内”的范围内已经完全实现，超过“一天之内”范围的空间溢出效应几乎为零。农业机械化发展水平的空间溢出效应受到距离的约束，距离越远，空间溢出效应越弱，即农业机械化发展水平对粮食产量具有“涟漪效应”（高鸣、宋洪远，2014），而这种“涟漪效应”局限在“一天之内”的距离。

表 5 空间维度的固定效应模型估计结果

	基本模型		一天之内		两天之内	
	系数	t值	系数	t值	系数	t值
$\ln m$	-0.02	-1.47	-0.01	-0.91	-0.02	-1.57

^①本文对面板数据模型进行 Hausman 检验，Hausman 检验结果显示，固定效应模型的估计方法相对更优。

(续表 5)

$\ln f$	0.16***	12.26	0.12***	8.92	0.15***	12.16
$\ln area$	1.02***	36.99	1.06***	38.06	1.02***	37.13
$W \times \ln m$	0.23***	13.26	0.24***	13.63	0.24***	13.44
截距项	-5.68***	-14.74	-5.88***	-15.49	-5.74***	-14.91
拟合优度	0.78		0.78		0.78	

注：*、**和***分别代表在 10%、5%和 1%的水平上显著。

2.跨经纬度的空间溢出效应分析。不同区域的粮食生产周期存在差异，这使得农业机械利用时间差异提供跨区域作业服务成为可能。值得关注的是，农业机械化发展水平对粮食产量的跨经度和跨纬度空间溢出效应有所不同，跨纬度的空间溢出效应比跨经度的空间溢出效应要明显。其原因在于，粮食生产的每个环节对时间点的要求较高，不能错过了耕地、播种、收割的最佳时机，所以，只有相同生产环节有一定时间间隔的区域之间，农业机械跨区作业才有可能。也就是说，这种跨区作业通常跨纬度进行，因为处于同一纬度的区域耕地、播种、收割的时间大体相同，农业机械无法分身两地同时进行跨区作业；而纬度上有差异的区域之间粮食生产环节有时间差，农业机械在一地完成作业后，有充足的时间转移至另一地。

因此，本文选取东三省和豫湘鲁三省这两个典型区域进行比较分析。之所以选取黑龙江、吉林和辽宁这三省，是因为与之纬度相同的省份几乎没有（内蒙古除外），因此，东三省区域可以被当作一个衡量农业机械跨纬度作业的典型区域。之所以选取河南、湖南、山东三省，是因为该区域不仅有农业机械跨经度作业而且有跨纬度作业的可能性，有利于与东三省对照。在模型设定上，本文仍然采用 $W \times \ln m_{it}$ 来衡量空间溢出效应。由此，分别对东三省和豫湘鲁三省进行的固定效应模型估计结果如表 6 所示。可以发现，东三省农业机械化发展水平对粮食产量存在正向且显著的空间溢出效应，而豫湘鲁三省该空间溢出效应不显著。这验证了中国农业机械跨区作业实际上是跨纬度作业的现实，也验证了高鸣、宋洪远（2014）的相关结论，即东三省存在粮食生产技术效率空间收敛的规模效益。

表 6 典型区域空间维度的固定效应模型估计结果

	东三省		河南、湖南和山东	
	系数	t值	系数	t值
$\ln m$	-0.20	-0.94	0.14***	3.52
$\ln f$	0.15**	2.62	0.23***	7.99
$\ln area$	0.47**	2.35	1.24***	12.83
$W \times \ln m$	0.57***	2.99	0.01	0.23
截距项	-5.86**	-2.15	-5.57***	-4.30
拟合优度	0.91		0.92	

注：*、**和***分别代表在 10%、5%和 1%的水平上显著。

四、结论与政策含义

本文从农业机械跨区作业的视角研究了农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应。本文得出的主要结论有：①农业机械跨区作业对粮食产量有空间溢出效应，即其他区域农业机械化发展水平对本区域粮食产量有显著的正向影响；②从时间范围来看，农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应在1999年以后更加显著，这契合了中国农业机械跨区作业的演进历史；③从空间范围来看，农业机械化发展水平的空间溢出效应主要发生在纬度不同的区域，农业机械化发展水平而在同一纬度的区域之间不显著，这契合了中国农业机械跨纬度作业的运行机制。

基于上述研究结论，本文提出以下政策含义：第一，考虑到农业机械作业的规模效应，需要有更好的专业化分工来实现技术进步、效率提高，因此，积极推进农业机械作业服务产业集群的发展，实现农业机械作业服务专业化、规模化、集群化。第二，由于农业机械作业服务具有空间溢出效应，因此，加强各区域的协调与合作，形成一体化农业机械跨区作业服务的信息平台，实现区域间农业机械资源的合理流动和科学调配。

参考文献

- 1.曹阳、胡继亮，2010：《中国土地家庭承包制度下的农业机械化——基于中国17省（区、市）的调查数据》，《中国农村经济》第10期。
- 2.丁志国、赵宣凯、赵晶，2011：《直接影响与空间溢出效应：我国城市化进程对城乡收入差距的影响路径识别》，《数量经济技术经济研究》第9期。
- 3.高鸣、宋洪远，2014：《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》，《管理世界》第7期。
- 4.纪月清、钟甫宁，2013：《非农就业与农户农机服务利用》，《南京农业大学学报（社会科学版）》第5期。
- 5.纪月清，2010：《非农就业与农机支持的政策选择研究》，南京农业大学博士学位论文。
- 6.李宁、何文剑、仇童伟、陈利根，2017：《农地产权结构、生产要素效率与农业绩效》，《管理世界》第3期。
- 7.刘凤芹，2006：《农业土地规模经营的条件与效果研究：以东北农村为例》，《管理世界》第9期。
- 8.梅成建，1998：《农业机械化的投资、经营体制与运作机制状况的问题与对策》，《中国农村经济》第5期。
- 9.农业部农业机械化管理司，2008：《我国农机化发展进入中级阶段》，《农业机械》第6期。
- 10.田富强、胡钢、田富利，2006：《麦客民俗研究》，《西北工业大学学报（社会科学版）》第2期。
- 11.王跃梅、姚先国、周明海，2013：《农村劳动力外流、区域差异与粮食生产》，《管理世界》第11期。
- 12.伍骏骞、阮建青、徐广彤，2017：《经济集聚、经济距离与农民增收：直接影响与空间溢出效应》，《经济学（季刊）》第1期。
- 13.杨进、郭松、张晓波，2013：《中国的农机跨区作业发展——以江苏沛县为例》，《中国农机化学报》第2期。
- 14.杨进、钟甫宁、陈志钢、彭超，2016：《农村劳动力价格、人口结构变化对粮食种植结构的影响》，《管理世界》第1期。

15. 杨小凯、黄有光, 2000: 《专业化与经济组织》, 北京: 经济科学出版社。
16. 张宗毅、刘小伟、张萌, 2014: 《劳动力转移背景下农业机械化对粮食生产贡献研究》, 《农林经济管理学报》第6期。
17. Beer, C. and A. Riedl, 2012, “Modelling Spatial Externalities in Panel Data: The Spatial Durbin Model Revisited”, *Papers in Regional Science*, 91(2): 299-318.
18. Elhorst, J. P., 2010, “Applied Spatial Econometrics: Raising the Bar”, *Spatial Economic Analysis*, 5(1): 9-28.
19. LeSage, J. P. and R. K. Pace, 2009, *Introduction to Spatial Econometrics*, Boca Raton: CRC Press.
20. Lin, J. Y., 1992, “Rural Reform and Agricultural Growth in China”, *American Economic Review*, 82(1): 34-51.
21. Marshall, A., 1920, *Principles of Economics*, London: Macmillan.
22. Rosenthal, S. and W. C. Strange, 2004, “Evidence on the Nature and Sources of Agglomeration Economies”, in Henderson, V., and J. F. Thisse (eds) *Handbook of Regional and Urban Economics*, Elsevier, pp. 2119-2171.
23. Ruttan, V. W., 2000, “Technology, Growth, and Development: An Induced Innovation Perspective”, *Oup Catalogue*, 62(1): 272-273.
24. Shi, H. and X. Yang, 1995, “A New Theory of Industrialization”, *Journal of Comparative Economics*, 20(2): 171-189.
25. Smith, A., 1776, *The Wealth of Nations*, New York: Collier & Son.
26. Stigler, G. J., 1951, “The Division of Labor is Limited by the Extent of the Market”, *Journal of Political Economy*, 59(3): 185-193.
27. Takeshima, H., A. Nin Pratt, and X. Diao, 2013, “Mechanization and Agricultural Technology Evolution, Agricultural Intensification in Sub-Saharan Africa: Typology of Agricultural Mechanization in Nigeria”, *American Journal of Agricultural Economics*, 95(5): 1230-1236.
28. Yang, J., Z. Huang, X. Zhang, and T. Reardon, 2013, “The Rapid Rise of Cross-regional Agricultural Mechanization Services in China”, *American Journal of Agricultural Economics*, 95(5): 1245-1251.
29. Zhang, X., J. Yang, and T. Reardon, 2017, “Mechanization Outsourcing Clusters and Division of Labor in Chinese Agriculture”, *China Economic Review*, 43: 184-195.

附录: 直接影响和空间溢出效应的测算方法 (参见 Lesage and Pace, 2009; Elhorst, 2010; 伍骏骞等, 2017)。

将空间Durbin模型改写成矩阵形式:

$$Y = (I - \rho W)^{-1} \alpha l_N + (I - \rho W)^{-1} (X\beta + WX\theta) + (I - \rho W)^{-1} \varepsilon \quad (1)$$

(1) 式中, I 是单位向量, β 是自变量的待估系数, ρ 是因变量空间滞后变量的待估系数, θ 是自变量空间滞后变量的待估系数, l_N 是 $N \times 1$ 阶单位向量, ε 是空间和时间上的特定效应。(1) 式中, Y 关于第1至第 N 个区域的自变量 X 中第 k 个变量的偏微分矩阵是:

$$\left[\frac{\partial Y}{\partial x_{1k}} \dots \frac{\partial Y}{\partial x_{Nk}} \right] = (I - \rho W)^{-1} [I\beta_k + W\theta_k] \quad (2)$$

(2) 式中, 最右端矩阵中对角线元素的均值捕捉了直接影响, 每行或每列中非对角线元素之和的均值则是间接

影响,也称为“空间溢出效应”。第 k 个变量的变化对因变量的直接冲击是 β_k ,相邻区域空间溢出效应的平均值是

$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{ij} \theta_k$, 其中, $i \neq j$, 这个空间溢出效应是由自变量的待估系数与空间权重矩阵相乘产生的。例如, 本文

中农业机械化发展水平对粮食产量的空间溢出效应实际上指其他区域农业机械化发展水平经经济距离加权的对本区域粮食产量的冲击。(2)式中的 $(I - \rho W)^{-1}$ 通过下式分解(参见LeSage and Pace, 2009):

$$(I - \rho W)^{-1} = I + \rho w + \rho^2 w^2 + \rho^3 w^3 + \dots \quad (3)$$

通过预先设定(3)式右侧 w 和 ρ 的阶数,可以避免矩阵 $I - \rho W$ 特别复杂的求逆过程,就很容易获得每次参数联合抽样的直接影响与空间溢出效应取值。由此可以得到直接影响、空间溢出效应和总效应(丁志国等, 2011)。

(作者单位: ¹西南财经大学中国西部经济研究中心;

²广东省农业科学院;

³浙江大学中国农村发展研究院;

⁴华中农业大学经济管理学院)

(责任编辑: 何 欢)

The Spillover Effect of Agricultural Mechanization on Grain Output in China: From the Perspective of Cross-regional Mechanization Service

Wu Junqian Fang Shile Li Gucheng Xu Guangtong

Abstract: This article uses a Spatial Durbin Model to explore the direct influence and spatial spillover effect of agricultural mechanization on grain output, with panel data covering 28 regions in China during 1978-2012. The main findings are: (1) there is a spatial spillover effect as a result of interregional-service of agricultural mechanization. The mechanization level of one region has a positive effect on the grain output of the regions surrounding it. (2) From the perspective of time dimension, the spatial spillover effect has become more significant since 1999, thus verifying the evolution history of interregional agricultural mechanization service in China. (3) From the perspective of spatial dimension, the spatial spillover effect is mainly achieved by regions with different longitudes, and this effect is insignificant within regions with the same longitude. This testifies the reality that agricultural mechanization service is achieved among localities with different longitudes in China.

Key Words: Spatial Spillover Effect; Agricultural Mechanization; Grain Output