

水土资源约束下灌溉和机械投入 对水稻生产效率的影响

刘颖¹, 刘芳², 秦安琪¹

(1.北方工业大学经济管理学院, 北京100144;
2.华中农业大学经济管理学院, 湖北武汉430070)



摘要 立足水土资源禀赋, 分析灌溉和机械投入对水稻生产效率的区域差异影响, 对优化资源配置具有重要意义。根据长江中下游和东北地区859份调研数据, 运用SFA方法进行分析, 结果表明: ①在长江中下游地区, 灌溉投入对水稻生产效率无显著影响, 机械投入影响为正且与人均耕地规模相互促进; ②在东北地区, 灌溉和机械投入均具有正向影响, 且灌溉投入与水资源条件存在替代作用, 耕地细碎化削弱机械投入的影响, 机械投入与人均耕地规模表现出互补作用; ③关于技术非效率, 灌溉条件对长江中下游和东北地区的影响分别为正向和负向, 且长江中下游地区受人均耕地规模影响, 东北地区受耕地细碎化影响。因此, 差异化投入灌溉和机械要素是提高水稻供给能力的重要途径。

关键词 水土资源; 灌溉投入; 机械投入; 生产效率; 区域差异

中图分类号: F323.2 **文献标识码**: A **文章编号**: 1008-3456(2023)03-0067-12

DOI编码: 10.13300/j.cnki.hnwkxb.2023.03.007

日益稀缺和时空分布不均衡的水土资源, 是制约我国粮食生产的重要因素。受水土资源影响, 不同地区的技术要素投入不尽相同。中央一号文件连续多年针对“三农”问题, 提出要加大灌溉和农业机械等农业生产技术的研发和推广使用, 以优化资源配置。灌溉和机械等技术要素投入作为农作物生产的内生变量, 是农户进行生产决策时的重要支撑, 也是研究在水土资源约束背景下影响农作物生产效率的重要因素。党的二十大报告中明确指出要“全方位夯实粮食安全根基”, 而粮食安全的根基则是能力安全^[1], 本文选取我国65%以上人口的主粮水稻作为研究对象, 立足水土资源禀赋, 分析灌溉和机械投入对水稻生产效率的影响, 可以为完善区域农业发展政策提供重要参考, 也有助于提高粮食生产能力, 夯实粮食安全根基, 从而掌握国家粮食安全战略主动性。

一、文献回顾

目前, 有关水土资源对粮食生产效率影响的研究有以下观点。首先, 关于水资源的影响, 普遍的观点认为充足的水资源是水稻生产效率重要保障。如崔岩等^[2]以及谭忠昕等^[3]的研究结果表明, 水资源有利于提高粮食生产效率, 并与其他投入要素存在一定的替代性。其次, 关于耕地资源的影响, 大量研究已证实耕地细碎化和耕地规模对粮食生产效率具有一定影响。但关于耕地细碎化程度和耕地规模对粮食生产的作用方向和作用大小, 由于研究区域、对象和方法的不同, 结论各异。如Schultz^[4]和王亚辉等^[5]认为规模和地块的分散程度、小规模耕地之间的田埂会对生产要素的合理配置带来不利影响, 增加了技术非效率。但也有学者认为耕地细碎化程度不仅不会降低农业生产率, 甚至还认为耕地细碎化对农业生产有利^[6]。

有关灌溉和机械投入对粮食生产效率影响的研究主要有以下几个方面的观点。首先, 关于灌溉投入的影响, 一种观点认为灌溉投入对粮食生产效率具有显著正向影响。如阿布都热合曼^[7]和王帅

等^[8]基于微观调研数据分析发现,节水灌溉技术的投入对技术效率与水土资源利用效率均具有显著影响。另一种观点认为灌溉投入对农作物生产效率的影响不显著。如张启楠等^[9]和黄馨亿等^[10]基于区域差异对比分析得出,粮食主产区和广东省部分地区的有效灌溉面积对粮食生产效率未产生显著影响,且不同区域之间存在一定差异。其次,关于机械投入的影响,传统观点认为,机械投入对劳动力具有显著的替代效应,对生产效率没有显著影响,然而另一种观点认为,随着农业机械的创新和进步,机械投入也会对生产效率带来影响^[11-12]。如 Paudel 等^[13]和栾健等^[14]均认为,机械投入可以显著提高粮食的生产效率;赵丹丹等^[15]和彭超等^[16]认为农业机械作业对粮食生产效率影响的边际效应呈递减趋势。

国内外关于水土资源、灌溉和机械投入与粮食生产效率的研究已有不少真知灼见,但仍有以下两个问题需进一步探讨:(1)我国水稻生产重心呈现向耕地资源丰富且连片化程度较高的北方地区不断转移的特征,这一趋势在一定程度上缓解了耕地资源对水稻生产约束的问题,但随之而来的水资源约束困境愈发明显。鲜有研究在水稻重心北移背景下,对比分析水土资源禀赋差异下,灌溉和机械投入对农作物生产效率影响的区域差异。(2)根据技术变迁理论,在考虑水土资源约束时,水稻生产的灌溉和机械投入调整会有两种影响。一是在灌溉和机械投入调整过程中,会面临水资源和耕地资源的过程约束,二是在灌溉和机械投入调整后,水稻生产会受到灌溉和机械投入以及水资源和耕地资源共同作用的结果约束。两种影响构成了在分析灌溉和机械投入对水稻生产影响时的约束条件,但鲜有研究将水土资源作为约束条件纳入分析框架来分析对水稻生产效率的影响。另外,长江中下游地区是我国水稻传统种植优势区,其多山地、丘陵、耕地集中连片程度低的特点,对农业机械作业造成一定阻力^[16]。而作为典型水稻增产优势区的东北地区,增加的水稻种植规模加大了当地的水资源压力,随着近年来东北地区灌溉投入不断增加,这在很大程度上削弱了该地区水稻生产的水资源限制。即在同为水稻主产区的两个地区,“水多地少”的长江中下游地区,和“水少地多”的东北地区,呈现出不一致的生产调整趋势。因此,本文基于长江中下游和东北地区部分省份的微观调研数据,针对水土资源约束下灌溉投入和机械投入对不同区域水稻生产效率的影响展开分析,以期在不同水土资源条件下,通过调整灌溉和机械投入为提高水稻生产效率提供一定的决策参考。

二、研究方法、研究区域与变量选取说明

1. 模型设定

数据包络分析法(DEA)和随机前沿函数分析法(SFA)是关于生产效率的两个应用较为广泛和主流的方法。SFA方法一般需要事先利用LR检验对生产函数设定形式检验,不仅可以判断模型的适用性,还可以判断变量的显著性水平。DEA相较于SFA没有做到分离误差项和效率项^[17],并且SFA技术效率受到随机因素影响会由于其对于生产投入、随机误差项和非效率项的划分而更加明显,微观数据分析使用SFA方法得到的结果更稳健^[18]。考虑本文的微观数据样本特点,借鉴已有研究^[19],采用SFA方法估计灌溉投入和机械投入对水稻生产效率的影响。

设定农户水稻生产模型如式(1):

$$\ln y_i = \beta_0 + \sum_j \beta_j \ln x_{ij} + v_i - \mu_i \quad (1)$$

其中, i 表示农户, y_i 表示农户 i 的水稻产量, x_{ij} 表示农户 i 在进行水稻生产时的第 j 种要素投入, β_0, β_j 表示系数, v_i 表示随机误差项, $v_i \sim N(0, \sigma_v^2)$, μ_i 表示非效率项,反映的是农户 i 进行水稻生产技术效率离前沿面的距离, $\mu_i \sim N(0, \sigma_\mu^2)$, $v_i - \mu_i$ 为生产函数的随机扰动项。 $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_\mu^2$, $\gamma = \sigma_\mu^2 / (\sigma_v^2 + \sigma_\mu^2)$,选用极大似然法(MLE)来估计以代替 σ_v^2 和 σ_μ^2 。 γ 的取值范围是0到1,与 σ_μ^2 的变化趋势相同。如果两者趋近于0,此时随机误差项就是随机扰动项的主要来源;相反地,如果两者趋近于1,此时技术非效率项就是随机扰动项的主要来源。

基于上述设定的无效率项,农户 i 的水稻生产技术效率计算公式如式(2):

$$TE_i = \frac{E(y|x_i, \mu_i)}{E(y|x_i, \mu_i = 0)} \quad (2)$$

其中, E 表示括号中内容的期望值, TE_i 是指技术非效率, 数值在 0 和 1 之间; 完全非效率是指 $TE_i = 0$; 完全技术效率 $TE_i = 1$, 即生产技术效率处于前沿面的状态。鉴于水稻生产技术效率的影响因素较多, 通过设定如下模型来对水稻生产技术非效率进一步分析:

$$u_i = \delta_0 + \sum_m \delta_m z_{im} + \varepsilon_i \quad (3)$$

式(3)中, u_i 表示农户 i 的技术无效率项, z_{im} 表示影响农户技术无效率项的影响因素, δ_0 、 δ_m 表示系数, ε_i 表示随机扰动项。

2. 研究区域选取与说明

基于研究目的, 首先确定调研范围。湖南和湖北省的水资源充足, 具有生产水稻的天然优势, 但由于地形地貌限制, 耕地资源有限, 是长江中下游平原地区典型代表。根据往年统计数据, 东北地区是水稻增产优势区, 耕地资源丰富, 同时具备一定的水稻生长的水资源条件, 并面临着水资源不断减少的困境, 吉林省的水稻生产水平介于辽宁省和黑龙江省之间, 能反映东北地区水稻生产增加的一般水平, 因此, 确定吉林省为东北地区的样本省份。采取分层随机抽样方法, 以得到最终调研区域, 并于 2020 年前往调研区域进行访谈。其中, 湖南省选取安仁县、隆回县、耒阳市、浏阳市、华容县和新晃县; 湖北省选取洪湖市、枣阳市、当阳市、罗田县、谷城县、建始县; 吉林省选取永吉县、昌邑区、榆树市、农安县、长岭县、扶余县。剔除无效问卷, 最终使用水稻种植户的调研问卷数总共 859 份。需要说明的是, 本文对调研区域的选取目的不是为了比较该省内的区域差异, 是为了实现更具有一般性的研究数据和结果, 而在一定程度上确定调研样本覆盖范围。当然, 由于区域之间差异可能对回归结果造成的影响, 在进行实证分析时会通过控制以村为单位的地区控制变量减轻这种影响。

调研样本的描述性统计分析结果见表 1。在户主年龄方面可以看出我国老年人参与农业生产比例最高, 符合我国目前老龄化的实际。在受教育程度方面, 超过半数的户主仅有初中文化水平, 占比达到 50.87%, 小学文化水平的户主占比达到 33.41%, 反映出我国农业户主的受教育水平较低, 符合我国第三次农业普查的情况。在兼业方面, 有 69.03% 的户主只从事自家农业生产活动, 近 1/3 的户主既从事农业生产, 也从事其他生产性活动, 符合我国农业外部条件改善的情况。由家庭调查数据可以看出农业种植收益较低。在家庭经营规模方面, 拥有 5 亩及以下的农户占比高达 39%, 拥有 10~50 亩的农户, 占比为 38.77%, 相比之下, 拥有 50 亩以上的农户仅占 4.42%, 符合人均耕地较少的基本国情。在灌溉条件方面, 灌溉用水条件一般的占比最高为 50.87%, 良好和较差的占比较为接近, 均在 20%~30%。

表 1 受访农户的基本信息统计

| 统计指标 | | 样本数 | 占比/% | 统计指标 | | 样本数 | 占比/% |
|-------|--------|-------|----------|-----------|-----------|-------|-------|
| 性别 | 男 | 824 | 95.93 | 家庭收入 | [0,5]万元 | 439 | 51.11 |
| | 女 | 35 | 4.07 | | (5,10]万元 | 237 | 27.59 |
| 年龄 | 30岁以下 | 3 | 0.35 | | (10,20]万元 | 127 | 14.78 |
| | 31~40岁 | 69 | 8.03 | | (20,50]万元 | 51 | 5.94 |
| | 41~50岁 | 213 | 24.80 | | 50万元以上 | 5 | 0.58 |
| | 51~60岁 | 304 | 35.39 | 经营规模 | [0,5]亩 | 335 | 39.00 |
| 60岁以上 | 270 | 31.43 | [5,10]亩 | | 153 | 17.81 | |
| 文盲 | 20 | 2.33 | [10,50]亩 | | 333 | 38.77 | |
| 受教育程度 | 小学 | 287 | 33.41 | [50,100]亩 | 24 | 2.79 | |
| | 初中 | 437 | 50.87 | 100亩及以上 | 14 | 1.63 | |
| | 高中或中专 | 110 | 12.81 | 较差 | 250 | 29.10 | |
| | 大专及以上 | 5 | 0.58 | 灌溉条件 | 一般 | 437 | 50.87 |
| 兼业情况 | 是 | 266 | 30.97 | | 良好 | 172 | 20.03 |
| | 否 | 593 | 69.03 | | | | |

3. 变量选取与说明

基于前文分析, 围绕要素投入和技术非效率影响因素, 选取机械投入、灌溉投入、劳动投入、其他投入等 4 个变量作为生产函数的投入变量, 选取户主年龄、性别、受教育程度、家庭收入、兼业情况、人

均耕地规模、耕地细碎化、灌溉条件等变量作为技术非效率变量。反映耕地细碎化程度的常用指标包括辛普森指数、地块数和地块平均面积等^[20-21],鉴于数据限制,参考余威震等^[22]的做法,将地块平均面积的倒数作为反映耕地细碎化程度的指标,采用地块数和耕作面积做稳健性分析。需要说明的是,土地生产率是以往研究中常用的用以衡量生产效率的指标之一,它指的是土地单产或价值^[23],所以单位面积水稻产量即为生产效率的体现。另外,本文探讨的是单位面积水稻生产的投入产出情况,因此,土地投入不再纳入生产函数模型^[24],但考虑农业生产效率会受土地投入影响呈现倒“U”型,所以在分析水稻生产效率受土地投入影响时,进行了分组回归。变量说明及其描述性分析见表2。

表2 变量选取及描述性统计

| 变量 | 变量说明 | 均值 | 标准差 |
|-------|--------|---|---|
| 被解释变量 | 水稻产量 | 水稻亩均产量/千克 | 550.33 216.19 |
| | 灌溉投入 | 灌溉所支付的亩均电费(水费)/元 | 48.06 19.77 |
| 投入变量 | 机械投入 | 包括燃油费等在内使用农业机械的亩均费用/元 | 260.03 72.97 |
| | 劳动力投入 | 生产过程中劳动力的亩均总投入/小时 | 88.32 28.67 |
| | 其他投入 | 包括种子、化肥、农药和除草剂等在内的其他所有亩均支出/元 | 304.98 120.00 |
| | 年龄 | 户主的实际年龄 | 55.13 10.28 |
| | 性别 | 户主性别:男=1;女=0 | 0.96 0.20 |
| | 受教育程度 | 户主的受教育情况:文盲=1;小学=2;初中=3;高中或中专=4;大专及以上=5 | 2.76 0.74 |
| | 技术非效率 | 家庭收入 | 家庭年收入:[0,5]万元=1;(5,10]万元=2;(10,20]万元=3;(20,50]万元=4;大于50万元=5 |
| 影响因素 | 兼业情况 | 户主的兼业情况:兼业=1;否则=0 | 0.31 0.46 |
| | 耕地细碎化 | 地块平均面积的倒数 | 1.16 1.02 |
| | 地块数 | 家庭经营的耕地地块数 | 8.64 48.88 |
| | 耕地面积 | 家庭经营的耕地总面积/亩 | 10.41 42.77 |
| | 人均耕地规模 | 家庭平均每人经营的耕地数量/亩 | 3.92 12.73 |
| | 灌溉条件 | 农户对灌溉水资源的评价:较差=1;一般=2;良好=3 | 1.91 0.94 |

注:数据系根据调研整理计算得出。

对于生产函数投入变量:①作为高耗水作物的水稻,灌溉用水量会由于灌溉技术的差异而产生较大的不同^[25-26]。根据研究团队以往调研的实际情况,除个别地区以村小组为单位进行统一灌溉,需要支付一定的水费之外,大多数农户以自家或者以相邻几户家庭为单位为水稻生长提供灌溉用水,需要支付的仅是电费,已有文献中也有同样将灌溉费用作为分析效率指标的做法^[27],为了便于统一分析,将水费或电费作为灌溉投入的量化指标。②机械投入是指水稻生产的耕、种、收等环节所使用自家机械所需要的燃油费等,同时包括雇佣提供服务农业机械化服务的费用支出。③在耕整地、插秧、施肥等环节需要投入一定的劳动力投入,这种劳动力投入常常是农户自身或通过劳动力雇佣以实现水稻生产,所以将雇佣劳动力投入和农户自身劳动力投入以及“监工”三者之和作为劳动力投入。④另外,将除机械投入、灌溉投入、劳动力投入之外的所有物质投入的费用之和作为其他投入。

对于技术非效率影响变量,除年龄、性别、受教育程度、家庭收入和兼业情况之外,选取耕地细碎化、地块数、耕地面积、人均耕地规模和灌溉条件作为自然资源禀赋的表征变量。主要原因是:不同地区水土资源具有不同特征,差异化的水土资源构成了水稻生产中要素投入的约束条件,而耕地细碎化、地块数、耕地面积、人均耕地规模等均是反映耕地资源特征的重要指标。耕地细碎化是反映耕地资源优劣的常用指标之一,尽管耕地细碎化不是水稻生产经营所需要的投入要素,但是耕地细碎化可能会影响耕、种、收等生产经营的整个过程,本文认为耕地细碎化在技术非效率层面上呈正向作用;地块数作为耕地细碎化程度选取的替代变量之一,如果耕地面积一定,地块数同耕地细碎化程度呈现同向变动的关系,在技术非效率层面,本文认为地块数的作用为正;耕地面积如果在地块数不变的情况下,会随着耕地细碎化的降低而增加,本文认为耕地面积在技术非效率层面之下呈负向作用;

人均耕地规模越大,越有利于农业机械的“深耕”等的作业,对水稻生产能力的提高可能均有促进作用,在技术非效率层面,本文认为人均耕地规模的作用方向可能为负;对水稻生产造成重要影响因素之一就是灌溉条件,灌溉条件越好,水稻生长所需的灌溉用水量越充足,越有利于保障水稻生产,在技术非效率层面,本文认为灌溉条件的作用方向可能为负。

除此之外,本文控制了以村级为单位的地区控制变量,以对其他不可观测因素所可能产生的遗漏变量问题进行规避。同时,由于不同资本产品的物质单位不同,借鉴农业农村部的处理方式,统一使用价值量进行计算。

三、实证结果分析

1. 随机前沿生产函数估计结果分析

基于模型设定,对灌溉和机械投入影响水稻生产效率进行随机前沿分析,同时,为了研究灌溉投入和水资源、机械投入和耕地资源的关系,参考王晓兵等^[28]的做法,在进行模型估计时直接在引入它们的交互项为投入变量,采用LR检验和极大似然法(MLE)及BC95模型进行分析,估计结果见表3。另外,为了更加清晰地对比生产投入要素与技术非效率影响因素的估计结果,文中将两者拆开分别进行汇报。由表3可知,机械投入和其他投入的系数显著为正,即增加农业机械投入和其他投入可以提高水稻生产效率。但是,水稻生产效率不会受到灌溉投入和劳动力投入的影响,不符合预期。由于长江中下游地区和东北地区的水稻生产效率存在区域异质性,所有调研样本整体回归会掩盖这种差异性,因此,本文按地区分别进行随机前沿结果分析,回归估计结果见表4,回归(2)为长江中下游地区估计结果,回归(3)为东北地区估计结果。

(1)长江中下游地区的随机前沿生产函数估计结果分析。对长江中下游地区,灌溉投入对提高水稻生产效率影响不显著,即由于该地区水资源较丰裕,农户在对水稻生产进行灌溉投入时,灌溉用水效率普遍较低^[25],从而出现“灌溉效率悖论”现象^[29-30],灌溉投入对水稻生产效率的提高未具有显著影响。机械投入的系数显著为正,即样本地区的地形具有多样化特征,尽管地形对机械投入具有约束性,但农户往往使用的是自家拥有或是邻里之间租赁的中小型机械,水稻生产精细化,因而对水稻生产效率的提高具有促进作用。劳动力投入的系数显著为正,即水稻在粮食中属于“精细化”作物,对劳动力投入需求相对较大,增加劳动力投入可以提高水稻生产效率。其他投入的系数显著为正,即种子、化肥和农药等中间投入品对水稻生产效率仍具有较强的支撑作用。

对交互项,机械投入和人均耕地规模交互项的系数显著为正,即在人均耕地规模较为丰富的地区,机械投入对水稻生产效率提高的影响会增加。但是,灌溉投入和灌溉条件、机械投入和耕地细碎化不存在显著的相互作用关系。即当水资源较丰富时,灌溉条件差异不大,灌溉投入与灌溉条件没有明显的替代作用。关于耕地细碎化的影响,由于耕地细碎化带来的田埂增多等情况不利于农业机械作业^[5],从而影响机械投入对水稻生产效率的作用,另外,耕地细碎化将地块分成多种生产方式^[31],促使水稻生产的机械作业更加精细。因此,机械投入与耕地细碎化之间不存在显著的相互作用关系,详见表4。

(2)东北地区的随机前沿生产函数估计结果分析。对东北地区,水稻生产效率受到灌溉投入的影响显著为正,东北地区农户对水资源不断减少具有一定的感知度,在进行生产时注重水资源的利

表3 灌溉和机械投入对水稻生产影响的随机前沿生产函数估计结果

| 变量 | 回归(1) | |
|-------------|----------|----------|
| | 系数 | 标准误 |
| 灌溉投入 | 0.184 | 0.161 |
| 机械投入 | 0.207** | 0.085 |
| 劳动力投入 | 0.121 | 0.431 |
| 其他投入 | 0.225*** | 0.047 |
| 灌溉投入×灌溉条件 | 0.010*** | 0.002 |
| 机械投入×耕地细碎化 | -0.002 | 0.002 |
| 机械投入×人均耕地规模 | 0.007*** | 0.000 |
| σ^2 | | 0.159 |
| γ | | 0.802*** |
| LR检验值 | | 82.54 |

注:*,**、***分别表示在10%、5%与1%的水平上显著,后表同。

表4 不同地区灌溉和机械投入对水稻生产影响的随机前沿生产函数估计结果

| 变量 | 回归(2) | | 回归(3) | |
|-------------|----------|----------|-----------|----------|
| | 系数 | 标准误 | 系数 | 标准误 |
| 灌溉投入 | 0.150 | 0.164 | 0.144*** | 0.013 |
| 机械投入 | 0.161* | 0.086 | 0.152*** | 0.055 |
| 劳动力投入 | 0.135** | 0.060 | -0.164 | 0.588 |
| 其他投入 | 0.385*** | 0.077 | 0.466** | 0.212 |
| 灌溉投入×灌溉条件 | -0.005 | 0.006 | -0.009*** | 0.002 |
| 机械投入×耕地细碎化 | -0.003 | 0.005 | -0.001*** | 0.000 |
| 机械投入×人均耕地规模 | 0.005*** | 0.002 | 0.002*** | 0.000 |
| σ^2 | | 0.123 | | 0.182 |
| γ | | 0.772*** | | 0.798*** |
| LR 检验值 | | 84.92 | | 58.60 |
| Mean E | | 0.834 | | 0.812 |

用率,因此,增加灌溉投入对提高水稻生产效率效果显著。机械投入的系数显著为正,这是由于该地区耕地资源丰富且平坦连片化程度高,水稻生产具有得天独厚的规模比较优势。劳动力投入的系数不显著,即该地区水稻生产高度机械化,对劳动力的需求较低,增加劳动力投入对水稻生产效率无显著影响。其他投入的系数显著为正,即增加化肥和农药等其他投入对提高水稻生产效率依然具有促进作用。

对交互项,在影响水稻生产效率时,灌溉投入对灌溉条件存在一定的替代作用,当灌溉条件较差,增加灌溉投入对水稻生产效率的提高作用会被削弱,而当灌溉条件较好,提高水稻生产效率所需要的灌溉投入较少。机械投入和耕地细碎化交互项的系数显著为负,即机械投入会受到耕地细碎化的制约,当耕地细碎化程度较高,增加机械投入对水稻生产效率提高的作用降低,而当耕地细碎化程度较低,提高一定程度的水稻生产效率,需要的机械投入较少。机械投入和人均耕地规模交互项的系数显著为正,即机械投入和人均耕地规模具有一定的互补作用,当人均耕地规模较大,增加机械投入对水稻生产效率提高的作用会更加凸显,而当人均耕地规模较小,增加机械投入对水稻生产效率提高的作用较小。

2. 水土资源约束下技术非效率的影响因素分析

水稻生产技术非效率影响因素的估计结果见表5,技术非效率(1)为长江中下游地区估计结果,技术非效率(2)为东北地区估计结果。因为 μ_i 在随机前沿函数中为负,所以若影响因素的系数为正值,影响因素与 μ_i 为正相关,与技术效率则为负向相关。

表5 不同地区技术非效率影响因素估计结果

| 变量 | 技术非效率(1) | | 技术非效率(2) | |
|--------|-----------|-------|----------|-------|
| | 系数 | 标准误 | 系数 | 标准误 |
| 年龄 | 0.001 | 0.002 | 0.000 | 0.000 |
| 性别 | -0.006 | 0.006 | 0.002 | 0.010 |
| 受教育程度 | -0.002 | 0.004 | -0.006 | 0.009 |
| 家庭收入 | -0.001** | 0.001 | -0.007** | 0.003 |
| 兼业情况 | 0.003 | 0.102 | 0.005 | 0.046 |
| 人均耕地规模 | -0.002*** | 0.001 | -0.001 | 0.002 |
| 耕地细碎化 | 0.003 | 0.011 | 0.007*** | 0.001 |
| 灌溉条件 | -0.010** | 0.005 | -0.005* | 0.003 |
| 地区控制变量 | 已控制 | | 已控制 | |

对两个地区,灌溉条件对技术非效率均具有显著影响。然而,长江中下游地区的农户对于水稻种植所采取的灌溉方式一般为“粗放型”,灌溉用水常常存在过量的现象,当灌溉条件良好时,农户在进行水稻生产时的技术效率反而会下降;对东北地区,水资源逐渐稀缺,在不影响收益的前提下,东

北地区的农户会采取效率较高的灌溉方式^[30],水稻生产技术效率的提高会受到灌溉条件的影响。耕地资源对两个地区技术非效率具有显著影响,但人均耕地规模对长江中下游地区技术非效率具有负向影响,对东北地区水稻生产技术非效率无显著影响。耕地细碎化对东北地区技术非效率具有正向影响,对长江中下游地区无显著影响。即尽管耕地资源状况越好,越有助于发挥农业机械的增产增效作用,但农户会根据不同的耕地资源选择不同的农业机械进行生产,技术非效率受到不同地区的人均耕地规模和耕地细碎化产生的影响也不同。

水稻生产技术非效率与年龄、性别、受教育程度、兼业情况之间的影响均不显著。主要原因如下:年龄越大的农户,丰富种植经验的优势与学习种植新技术和知识的劣势大致相抵,年龄对提高技术效率的影响不显著;尽管男性户主有更强的体力和精力,但女性是种粮主力^[32],性别的影响不显著;由于水稻生产的成本较低,因而对于技能、知识水平和受教育程度对是否能进行水稻种植的影响较小;尽管从事兼业活动减少对水稻生产投入的时间和精力会带来的不利影响,但这种不利影响会被兼业带来的提高农资购买能力和农业生产技术水平的提高而抵消。

3. 稳健性检验

为了进一步检验结果稳健性,将反映耕地细碎化程度的变量由地块数和耕地面积进行替换和控制,以避免由地块数较少时耕地面积也较小带来的内生性问题,结果见表6。从整体回归结果来看,水稻生产效率不受到灌溉投入的显著影响,但受到机械投入较为显著的正向影响,不受到劳动力投入的显著影响,但受到其他投入较为显著的正向影响,与前文估计结果一致。

为比较分析不同地区的结果差异,对两个地区分别进行稳健性检验,结果见表7,回归(5)为长江中下游地区估计结果,回归(6)为东北地区估计结果。对长江中下游地区,机械投入、劳动力投入、其他投入、机械投入和人均耕地规模交互项对水稻生产效率具有显著正向影响,灌溉投入无显著影响;对东北地区,水稻生产效率会受到机械投入、灌溉投入、其他投入、机械投入和耕地面积交互项、机械投入和人均耕地规模交互项的正向影响,受到灌溉投入和灌溉条件交互项、机械投入和地块数交互项的显著负向影响。另外,劳动力投入的影响不显著。与前文估计结果一致。

同样地,对不同地区技术非效率的影响因素做稳健性检验,结果见表8,技术非效率(3)为长江中下游地区估计结果,技术非效率(4)为东北地区估计结果。灌溉条件对两个地区的技术非效率影响均显著为负;人均耕地规模对长江中下游地区技术非效率影响为负;耕地面积对东北地区技术非效率影响为负,地块数则为负。与前文估计结果一致。

4. 进一步分析与讨论

考虑因经营规模不同的土地投入与产出可能呈非线性关系,根据经营规模将调研样本划分,分别讨论水土资源约束下灌溉和机械投入对水稻生产效率的影响。结合样本分布特点,划分标准参考罗丹等^[33]的做法,将长江中下游地区样本按经营规模(亩)分为:(0,20]、(20,50]、(50,100]、大于100,样本数分别为:470、54、46、39;对东北地区样本按经营规模(亩)分为:(0,50]、(50,100]、(100,150]、大于150。样本数分别为:124、55、39、32。

(1)长江中下游地区的随机前沿生产函数估计结果分析。由表9可知,灌溉投入的影响依次为负向显著、正向不显著、正向不显著、正向显著,即小规模水稻生产的灌溉投入存在剩余,随着经营规模的扩大,灌溉投入对水稻产出的促进作用增加。除(0,20]组的机械投入对水稻生产的影响为正向不

表6 灌溉和机械投入对水稻生产影响的随机前沿生产函数稳健性检验

| 变量 | 回归(4) | |
|-------------|----------|----------|
| | 系数 | 标准误 |
| 灌溉投入 | 0.224 | 0.161 |
| 机械投入 | 0.169** | 0.074 |
| 劳动力投入 | 0.123 | 0.428 |
| 其他投入 | 0.421*** | 0.044 |
| 灌溉投入×灌溉条件 | -0.003** | 0.001 |
| 机械投入×地块数 | -0.005 | 0.005 |
| 机械投入×耕地面积 | 0.001 | 0.007 |
| 机械投入×人均耕地规模 | 0.008*** | 0.001 |
| σ^2 | | 0.150 |
| γ | | 0.862*** |
| LR 检验值 | | 135.240 |

表7 不同地区灌溉和机械投入对水稻生产影响的随机前沿生产函数稳健性检验

| 变量 | 回归(5) | | 回归(6) | |
|-------------|----------|----------|-----------|----------|
| | 系数 | 标准误 | 系数 | 标准误 |
| 灌溉投入 | 0.120 | 0.146 | 0.109** | 0.052 |
| 机械投入 | 0.141** | 0.026 | 0.121*** | 0.006 |
| 劳动力投入 | 0.193*** | 0.007 | -0.217 | 0.592 |
| 其他投入 | 0.432*** | 0.110 | 0.521*** | 0.008 |
| 灌溉投入×灌溉条件 | -0.001 | 0.002 | -0.001*** | 0.000 |
| 机械投入×地块数 | -0.002 | 0.002 | -0.001*** | 0.000 |
| 机械投入×耕地面积 | 0.004 | 0.005 | 0.007*** | 0.001 |
| 机械投入×人均耕地规模 | 0.004** | 0.002 | 0.003*** | 0.000 |
| σ^2 | | 0.138 | | 0.140 |
| γ | | 0.754*** | | 0.736*** |
| LR 检验值 | | 73.39 | | 63.50 |
| Mean E | | 0.833 | | 0.795 |

表8 不同地区技术非效率影响因素稳健性检验

| 变量 | 技术非效率(3) | | 技术非效率(4) | |
|--------|-----------|-------|-----------|-------|
| | 系数 | 标准误 | 系数 | 标准误 |
| 年龄 | 0.000 | 0.000 | -0.001 | 0.001 |
| 性别 | -0.004 | 0.004 | -0.005 | 0.007 |
| 受教育程度 | -0.001 | 0.001 | -0.002 | 0.002 |
| 家庭收入 | -0.007** | 0.003 | -0.006*** | 0.001 |
| 兼业情况 | 0.002 | 0.006 | -0.004 | 0.025 |
| 人均耕地规模 | -0.002*** | 0.001 | -0.003 | 0.594 |
| 地块数 | 0.001** | 0.000 | 0.001*** | 0.000 |
| 耕地面积 | 0.009 | 0.010 | -0.001* | 0.001 |
| 灌溉条件 | -0.008* | 0.004 | -0.002*** | 0.000 |
| 地区控制变量 | 已控制 | | 已控制 | |

表9 长江中下游地区的随机前沿生产函数估计结果

| 变量 | (1)(0,20] | (2)(20,50] | (3)(50,100] | (4)100以上 |
|-------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 灌溉投入 | -0.101*** (-0.001) | 0.093 (-0.185) | 0.034 (-0.046) | 0.100* (-0.059) |
| 机械投入 | 0.251 (-0.269) | 0.267* (-0.157) | 0.120*** (-0.031) | 0.137*** (-0.034) |
| 劳动力投入 | 0.200** (-0.095) | 0.173*** (-0.029) | 0.161 (-0.111) | 0.170 (-0.866) |
| 其他投入 | 0.316*** (-0.053) | 0.319*** (-0.114) | 0.327*** (-0.012) | 0.339* (-0.189) |
| 灌溉投入×灌溉条件 | -0.006 (-0.007) | -0.002 (-0.002) | 0.003 (-0.004) | -0.001* (-0.001) |
| 机械投入×耕地细碎化 | -0.003 (-0.976) | -0.002 (-0.051) | -0.0007* (0.000) | -0.003 (-0.185) |
| 机械投入×人均耕地规模 | 0.004*** (0.000) | 0.006* (-0.003) | 0.005 (-0.007) | 0.002 (-0.002) |
| σ^2 | 0.152 | 0.150 | 0.148 | 0.147 |
| γ | 0.703*** | 0.727*** | 0.726*** | 0.704*** |
| LR 检验值 | 26.98 | 26.31 | 27.78 | 26.01 |
| Mean E | 0.829 | 0.758 | 0.842 | 0.843 |

注:括号内为标准误,后表同。

显著之外,其他组别的机械投入对水稻生产均具有显著正向影响,即机械投入对规模较大的水稻生产具有显著影响。除(50,100]、大于100组的水稻生产不受劳动力投入的显著影响之外,剩余两个组别中劳动力投入会对水稻生产影响显著为正。由于水稻在粮食中属于精细化作物,在小规模组别中适量的劳动力投入对水稻生产具有促进作用,随着水稻生产规模的扩大,农业机械作业的投入会体现出较大优势,劳动力投入所产生的边际效用下降。在所有组别之中,其他投入会对水稻生产影响显著为正,水稻生产中其他投入仍是重要因素。

对交互项,(50,100]和大于100组的系数不显著,其余组别的机械投入和人均耕地规模交互项的系数均显著为正,即在规模较大时,机械投入与人均耕地规模之间存在一定互补作用。而灌溉投入和灌溉条件的交互项、机械投入和耕地细碎化的交互项基本都未达到显著水平,与整体分析估计结果基本一致。

(2)东北地区的随机前沿生产函数估计结果分析。由表10可知,灌溉和机械投入两个因素对水稻生产影响显著为正,且在东北地区表现更为突出。劳动力投入对水稻生产的影响依次为负向不显著、正向显著、负向不显著、负向不显著,随着水稻生产规模的扩大,采用农业机械作业会体现出较大优势,劳动力投入所产生的边际效用下降。所有组别之中,其他投入会对水稻生产影响显著为正,水稻生产中其他投入仍是重要因素。

表10 东北地区的随机前沿生产函数估计结果

| 变量 | (1)(0,50] | (2)(50,100] | (3)(100,150] | (4)150以上 |
|-------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 灌溉投入 | 0.126** (-0.063) | 0.111*** (-0.037) | 0.138* (-0.077) | 0.105*** (-0.004) |
| 机械投入 | 0.141*** (-0.028) | 0.133** (-0.060) | 0.146*** (-0.008) | 0.140*** (-0.035) |
| 劳动力投入 | -0.135 (-0.216) | 0.1437* (-0.085) | -0.142 (-0.230) | -0.143 (-0.857) |
| 其他投入 | 0.468*** (-0.052) | 0.501*** (-0.167) | 0.502*** (-0.185) | 0.522** (-0.261) |
| 灌溉投入×灌溉条件 | -0.001* (0.000) | -0.001*** (0.000) | -0.002** (-0.001) | -0.001* (-0.001) |
| 机械投入×耕地细碎化 | -0.002* (-0.001) | -0.002** (-0.001) | -0.003 (-0.003) | -0.003* (-0.002) |
| 机械投入×人均耕地规模 | 0.005*** (-0.001) | 0.004** (-0.002) | 0.004* (-0.002) | 0.004 (-0.003) |
| σ^2 | 0.141 | 0.159 | 0.140 | 0.137 |
| γ | 0.788*** | 0.790*** | 0.736*** | 0.742*** |
| LR 检验值 | 202.84 | 212.37 | 200.10 | 230.44 |
| Mean E | 0.827 | 0.827 | 0.802 | 0.837 |

对交互项,所有组别的灌溉投入和灌溉条件之间均存在显著的替代作用,由于近些年该地区的水资源减少较为明显,所以增加灌溉投入可以削弱灌溉条件的限制。机械投入与耕地细碎化交互项的系数依次为负向显著、负向显著、负向不显著、负向显著,从前三组的显著性水平上来看,该种影响程度基本呈现出倒“U”型。而除大于150组的影响不显著之外,机械投入和人均耕地规模的交互项均对水稻生产效率具有显著正向影响,即只有在经营规模小于或等于150亩时,机械投入和人均耕地规模对水稻生产效率的交互作用才比较明显。

(3)不同地区技术非效率的影响因素分析。同样地,按经营规模划分,分析技术非效率对水稻生产影响的区域差异。估计结果见表11和12。

对长江中下游地区,技术非效率受到人均耕地规模和灌溉条件的影响为负,即增加人均耕地规模对技术效率的提高表现出正向促进作用,但由于农户对于水稻种植所采取的灌溉方式一般为“粗放型”,所以灌溉条件对技术非效率也具有一定的负向作用。(0,20]组的结果显示技术非效率受到家

表11 长江中下游地区的技术非效率影响因素估计结果

| 变量 | (1)(0,20] | (2)(20,50] | (3)(50,100] | (4)100以上 |
|--------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 年龄 | -0.001 (-0.002) | -0.001 (-0.008) | -0.001 (-0.003) | 0.001 (-0.109) |
| 性别 | -0.006 (-0.358) | -0.006 (-0.469) | 0.004 (-0.078) | -0.004 (-0.012) |
| 受教育程度 | 0.002 (-0.003) | -0.002 (-0.008) | -0.002 (-0.036) | -0.002 (-0.019) |
| 家庭收入 | -0.001** (-0.001) | -0.001 (-0.050) | 0.001 (-0.003) | -0.001 (-0.002) |
| 兼业情况 | 0.002 (-0.007) | 0.003* (-0.001) | -0.002 (-0.178) | -0.002 (-0.076) |
| 人均耕地规模 | -0.002** (-0.001) | -0.002* (-0.001) | -0.002*** (-0.001) | -0.002* (-0.001) |
| 耕地细碎化 | -0.003 (-0.003) | 0.002 (-0.765) | 0.003* (-0.002) | 0.002* (-0.001) |
| 灌溉条件 | -0.009* (-0.005) | -0.010*** (-0.003) | -0.010*** (-0.003) | -0.010*** (-0.002) |
| 地区控制变量 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 |

表12 东北地区的技術非效率影响因素估计结果

| 变量 | (1)(0,50] | (2)(50,100] | (3)(100,150] | (4)150以上 |
|--------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 年龄 | 0.000 (-0.003) | 0.001 (-0.001) | 0.000 (-0.013) | 0.000 (-0.003) |
| 性别 | -0.007 (-0.090) | 0.006 (-0.076) | 0.006 (-0.010) | 0.006 (-0.074) |
| 受教育程度 | 0.002 (-0.086) | -0.002 (-0.007) | -0.002 (-0.003) | -0.002 (-0.004) |
| 家庭收入 | 0.007*** (-0.001) | 0.007 (-0.007) | 0.007** (-0.003) | 0.007 (-0.952) |
| 兼业情况 | -0.005 (-0.085) | -0.004 (-0.004) | -0.004 (-0.250) | -0.004 (-0.007) |
| 人均耕地规模 | -0.001 (-0.015) | -0.002* (-0.001) | -0.001 (-0.005) | 0.001 (-0.019) |
| 耕地细碎化 | 0.006* (-0.003) | -0.007 (-0.010) | 0.007 (-0.008) | 0.007 (-0.010) |
| 灌溉条件 | -0.005** (-0.002) | 0.006** (-0.003) | -0.005 (-0.055) | -0.005** (-0.002) |
| 地区控制变量 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 |

庭收入的影响显著为负,即家庭收入对小规模水稻生产的稳定性更能对技术效率的提高表现出正向促进作用。除此之外,在(0,20]和(20,50]组的兼业情况对技术非效率的影响为正,说明这两组的水稻生产技术效率会受到农户兼业的负面作用;耕地细碎化现象在长江中下游地区普遍存在,耕地细碎化对技术效率的影响为负向。

对东北地区,人均耕地规模对技术非效率的影响依次为负向不显著、负向显著、负向不显著、正向不显著,人均耕地规模的作用随着经营规模的增加先增加后减少,呈现倒“U”型;耕地细碎化在小规模组中对技术非效率表现出了正向影响,这是由于小规模组的耕地细碎化程度往往较高,限制了农业机械技术的应用,所以技术效率受到耕地细碎化程度的负向影响也就较为显著。灌溉条件对技术非效率表现为负向影响,除(100,150]组之外,均达到显著水平,即灌溉条件是制约东北地区技术效率提高的重要因素,如表12。

总之,按经营规模分组的估计结果与未分组的估计结果基本一致,即经营规模的影响未对前文结论带来较大差异,也在一定程度上证明前文结论的可靠性。

四、结论与建议

1. 结论

基于以上研究结果,关于水土资源约束下灌溉和机械投入对水稻生产效率的影响,主要结论如下:1)对长江中下游地区,水稻生产效率受到灌溉投入的影响不显著,但受到机械投入的显著正向影响。原因是该地区水资源较丰裕,农户在水稻生产时,灌溉用水效率普遍较低,水稻生产效率受到农业灌溉投入的改善的影响作用并不明显,而受到劳动力投入和其他投入的影响作用较为显著。同时,机械投入与人均耕地规模表现出了相互促进作用。2)对东北地区,机械投入和灌溉投入与水稻生产效率呈正相关,即增加机械投入和灌溉投入是提高水稻生产效率的重要途径之一,水稻效率受到劳动力投入和其他投入的影响作用显著,但前者作用为负,后者作用为正。同时,灌溉投入和灌溉条件之间存在一定的替代作用,耕地细碎化对机械投入的影响具有一定的削弱作用,而机械投入与人均耕地规模表现出互补作用。3)从技术非效率的影响因素来看,灌溉条件对长江中下游地区水稻生产的技术非效率具有正向影响,而对东北地区具有负向影响。除此之外,耕地资源对两个地区技术非效率的影响也具有差异性,长江中下游地区技术非效率主要是受到人均耕地规模的影响,而东北地区则主要是受到耕地细碎化的影响。

2. 政策建议

为提高水稻生产效率,结合研究结论,本文建议如下:1)针对灌溉投入和机械投入可以显著提高水稻生产效率的地区,应加大农业灌溉和机械市场的投入,保证农业灌溉和机械的供给,以提高水稻种植户的灌溉和机械投入率。2)因地制宜进行技术的推广与使用,尽管我国水稻生产的农业机械投入普遍较高,但针对山地等特殊地形难以使用大中型农业机械作业的情况,在农业机械技术的研发上应该大力支持,以便研发出适用于各地的技术。3)针对水资源丰富地区,应提高水稻种植户的节约意识,调整水稻生产投入方案,避免水资源的浪费。4)应提高耕地连片化程度,这样不仅可以为农业机械作业提供有利条件,而且有利于提高水稻生产效率,推进农业现代化建设。

参 考 文 献

- [1] 顾仲阳,常钦,王浩,等.全方位夯实粮食安全根基[N].人民日报,2022-11-09(1).
- [2] 崔岩,吴丽美,曲建华,等.河南省农业水资源生产配置效率测算[J].河南农业大学学报,2014,48(4):501-504,511.
- [3] 谭忠昕,郭翔宇.基于超效率DEA模型的中国粮食生产用水效率评价[J].农业机械学报,2019,50(8):280-288.
- [4] SCHULTZ T W. The economic organization of agriculture[M]. New York: McGraw Hill, 1953.
- [5] 王亚辉,李秀彬,辛良杰.耕地地块细碎程度及其对山区农业生产成本的影响[J].自然资源学报,2019,34(12):2658-2672.
- [6] BIZIMANA C, NIEUWOUDT W, FERRER S. Farm size, land fragmentation and economic efficiency in Southern Rwanda[J]. *Agrekon*, 2004, 43(2): 244-262.
- [7] 阿布都热合曼·阿布迪克然木.参与式灌溉管理对农户膜下滴灌技术采用及水土资源利用效率影响研究[D].南京:南京农业大学,2018.
- [8] 王帅,赵荣钦,杨青林,等.碳排放约束下的农业生产效率及其空间格局——基于河南省65个村庄的调查[J].自然资源学报,2020,35(9):2092-2104.
- [9] 张启楠,张凡凡,陈学军.我国粮食主产区生产效率测算研究[J].价格理论与实践,2018(9):155-158.
- [10] 黄馨亿,任向宁,马涛,等.地理探测器与Tobit模型在粤西地区粮食生产效率及影响因子分析中的比较应用[J].农业资源与环境学报,2020,37(6):818-828.
- [11] 焦长权,董磊明.从“过密化”到“机械化”:中国农业机械化革命的历程、动力和影响(1980~2015年)[J].管理世界,2018,34(10):173-190.
- [12] 周晓时.农户农业机械使用的生产效应研究[D].武汉:华中农业大学,2019.
- [13] PAUDEL G P, DILLI BAHADUR K C, RAHUT D B, et al. Scale-appropriate mechanization impacts on productivity among smallholders: evidence from rice systems in the mid-hills of Nepal[J]. Elsevier sponsored documents, 2019, 85.
- [14] 栾健,韩一军.干旱灾害与农田灌溉对小麦生产技术效率的影响[J].资源科学,2019,41(8):1387-1399.
- [15] 赵丹丹,周宏,顾佳丽.农业生产集聚:能否促进耕地利用效率——基于面板门槛模型再检验[J].农业技术经济,2022(3):49-60.

- [16] 彭超,张琛.农业机械化对农户粮食生产效率的影响[J].华南农业大学学报(社会科学版),2020,19(5):93-102.
- [17] 范丽霞,李谷成.全要素生产率及其在农业领域的研究进展[J].当代经济科学,2012,34(1):109-119,128.
- [18] 刘维哲,常明,王西琴.基于随机前沿的灌溉用水效率及影响因素研究——以陕西关中地区小麦为例[J].中国生态农业学报,2018,26(9):1407-1414.
- [19] 陈实.湖北省水稻生产技术采用及其效应研究[D].武汉:华中农业大学,2019.
- [20] 纪月清,熊焱白,刘华.土地细碎化与农村劳动力转移研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(8):105-115.
- [21] 宋浩楠,栾敬东,张士云,等.土地细碎化、多样化种植与农业生产技术效率——基于随机前沿生产函数和中介效应模型的实证研究[J].农业技术经济,2021(2):18-29.
- [22] 余威震,罗小锋,唐林,等.土地细碎化视角下种粮目的对稻农生物农药施用行为的影响[J].资源科学,2019,41(12):2193-2204.
- [23] 李谷成,冯中朝,范丽霞.小农户真的更加具有效率吗?来自湖北省的经验证据[J].经济学(季刊),2009(10):95-124.
- [24] 沈雪,张俊彪,张露,等.基于农户经营规模的水稻生产技术效率测度及影响因素分析——来自湖北省的调查数据[J].农业现代化研究,2017,38(6):995-1001.
- [25] 常明,王西琴,贾宝珍.中国粮食作物灌溉用水效率时空特征及驱动因素——以稻谷、小麦、玉米为例[J].资源科学,2019,41(11):2032-2042.
- [26] 李静,马潇臻.资源与环境约束下的产粮区粮食生产用水效率与影响因素研究[J].农业现代化研究,2015,36(2):252-258.
- [27] 高雪.气候变化与农户适应性对水稻灌溉效率的影响——以湖北省水稻种植户为例[J].节水灌溉,2020(12):46-50,56.
- [28] 王晓兵,许迪,侯玲玲,等.玉米生产的机械化及机械劳动力替代效应研究——基于省级面板数据的分析[J].农业技术经济,2016(6):4-12.
- [29] 王哲,陈煜.技术进步一定会带来一个区域农业用水总量下降吗——基于河北省面板数据实证分析[J].农业技术经济,2020(6):81-89.
- [30] 杨鑫,穆月英.农业技术采用、时间重配置与农户收入[J].华中农业大学学报(社会科学版),2020(4):50-60,176.
- [31] 许庆,尹荣梁,章辉.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[J].经济研究,2011,46(3):59-71,94.
- [32] 魏君英,张银,何蒲明.关于农民种粮意愿影响因素的调查研究[J].经济纵横,2015(1):110-113.
- [33] 罗丹,李文明,陈洁.粮食生产经营的适度规模:产出与效益二维视角[J].管理世界,2017(1):78-88.

Effects of Irrigation and Mechanical Inputs on Rice Production Efficiency Under Constraints of Water and Soil Resources

LIU Ying, LIU Fang, QIN Anqi

Abstract Based on water and soil resources, analyzing the regional differences of the impact of irrigation and mechanical inputs on rice production efficiency is of great significance for optimizing resource allocation. SFA analysis based on 859 survey data in the middle and lower reaches of the Yangtze River and Northeast China shows that in the middle and lower reaches of the Yangtze River, irrigation input has no significant impact on rice production efficiency while the impact of mechanical input is positive and promotes the per capita cultivated land scale in a reciprocal manner. In the northeast of China, both irrigation and mechanical inputs have positive effects, and there is a substitution effect between irrigation input and water resources conditions. Cultivated land fragmentation weakens the impact of mechanical input, and mechanical input and per capita cultivated land scale show a complementary effect. As for technical inefficiency, the impact of irrigation conditions in the middle and lower reaches of the Yangtze River and Northeast China is positive and negative respectively, and the middle and lower reaches of the Yangtze River are affected by the per capita scale of cultivated land, while the northeast is affected by the fragmentation of cultivated land. Therefore, differential irrigation input and mechanical factors are important ways to improve the rice supply.

Key words water and soil resources; irrigation input; mechanical input; production efficiency; regional differences

(责任编辑:陈万红)