

基于三阶段 DEA 模型的新疆耕地利用效率及空间相关分析

田玉梅, 李国平* (塔里木大学历史与哲学学院, 新疆阿拉尔 843300)

摘要 利用三阶段 DEA 模型测算新疆 1999—2018 年的耕地利用效率, 通过计算 Moran's I 分析新疆耕地利用效率的空间相关性。结果表明, 环境变量、统计噪音和管理无效率会影响耕地利用效率; 新疆耕地利用综合效率上升, 受到纯技术效率明显影响; 通过 Moran's I 可以得出新疆耕地利用效率有明显的空间自相关性。综合来看, 新疆耕地利用效率虽整体较好, 但仍需调整要素投入, 实现新疆耕地利用效率最大化。

关键词 三阶段 DEA 模型; 耕地利用效率; Moran's I; 空间相关性; 新疆

中图分类号 F301.2 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)04-0078-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.04.020

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



A Three-stage DEA Model-based Analysis of Arable Land Use Efficiency and Spatial Correlation Based on Three-stage DEA Model in Xinjiang

TIAN Yu-mei, LI Guo-ping (College of History and Philosophy, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300)

Abstract The three-stage DEA model was used to calculate the utilization efficiency of arable land in Xinjiang from 1999 to 2018, and the spatial correlation of arable land utilization efficiency in Xinjiang was analyzed by calculating Moran's I. The results showed that environmental variables, statistical noise and management inefficiency would affect the utilization efficiency of arable land. The comprehensive efficiency of arable land utilization in Xinjiang had risen, which was obviously affected by pure technical efficiency. Through Moran's I, it can be concluded that the utilization efficiency of arable land in Xinjiang had obvious spatial autocorrelation. On the whole, although the utilization efficiency of arable land in Xinjiang was generally good, it was still necessary to adjust the input of factors to maximize the utilization efficiency of arable land in Xinjiang.

Key words Three-stage DEA model; Utilization efficiency of arable land; Moran's I; Spatial autocorrelation; Xinjiang

“三农”问题是全面建成小康社会的突出短板, 耕地是农业生产活动不能代替的基础资源, 与人类生活和社会发展联系密切, 为保证耕地的可持续, 满足人类要求, 2020 年中央一号文件指出: “要坚守耕地和永久农田保护红线, 强化科技支撑和推进人才下乡, 鼓励发展适度规模经营, 坚持从农村实际出发, 尊重农民意愿”^[1], 耕地利用与保护问题不容忽视。

当前, 对于耕地利用效率的研究方法主要有 DEA 模型, 王海力等^[2-4]选择 DEA 模型分析耕地利用效率; 除外, 吴昊玥等^[5-7]采用 SBM-Undesirable 模型测算耕地利用效率。但是, 传统 DEA 模型是假设环境因素不变, 只考虑决策单元的内部效率, 而现实中环境因素并非一致。因此, 有学者提出三阶段 DEA 模型, 该模型能够弥补传统 DEA 模型的缺陷, 在计算效率值时将环境因素考虑进去。如敖贵艳等^[8]用三阶段 DEA 模型分析浙江安吉的碳汇竹林生产效率, 颜聪聪等^[9]用三阶段 DEA 模型分析新疆区域种植业生产效率, 认为环境效率、统计噪音和管理无效率显著影响新疆种植业; 马凤才等^[10]用三阶段 DEA 模型分析辽宁省农业生产效率, 认为环境因素对农业产出效率有影响; 吴振华等^[11]用三阶段 DEA 模型分析河南土地生态效率, 认为三阶段 DEA 剔除环境因素、统计噪音和管理无效率影响, 可以真实反映效率值。该研究选择三阶段 DEA 模型, 测算 1999—2018 年新疆耕地利用效率, 并通过计算 Moran's I 分析其相关性, 意在精准地反映新疆耕地利用效率, 为新疆后续农业发展提供借鉴。

作者简介 田玉梅(1995—), 女, 新疆哈密人, 硕士研究生, 研究方向: 作物学。* 通信作者, 教授, 硕士, 硕士生导师, 从事社会学研究。
收稿日期 2020-07-13

1 资料与方法

1.1 数据来源 耕地生产离不开土地、人力和资本, 耕地利用效率是耕地在农业生产活动中综合利用程度的反映, 与人力、资本等要素结合投入所产生的社会和经济效益密切联系, 明晰反映资源配置和资源价值的情况。该研究数据主要来源《新疆统计年鉴》《中国统计年鉴》以及国家统计公报等^[12]。

1.2 指标选取及研究方法

1.2.1 耕地利用效率的指标选取。关于耕地利用效率指标的选取, 考虑到数据的可获取性, 并借鉴前人研究成果, 研究的统计数据主要选择 1999—2018 年新疆的农作物播种面积、第一产业从业人数、化肥施用折纯量、农业机械总动力 4 项指标作为投入指标, 农业总产值、粮食总产量 2 项指标为产出指标, 从政治和经济两方面考虑, 选取农业人均纯收入和地方财政农业支出为环境指标, 具体见表 1^[13-14]。

表 1 指标及含义
Table1 Indicators and meanings

变量类型 Variable type	指标名称 Index name	指标含义 Index meaning
投入指标 Input indicators	主要农作物播种面积//万 hm ²	土地投入
	第一产业从业人员//万人	人力投入
	化肥施用折纯量//万 t	技术投入
	农业机械总动力//万 kW	资本投入
产出指标 Output indicators	农业总产值//万元	产出水平
	粮食总产量//万 t	产出水平
环境影响因素 Environmental factors	农民人均纯收入//元	经济因素
	地方财政农业支出//万元	政治因素

1.2.2 三阶段 DEA 模型的构建。三阶段 DEA 模型包括传

统 DEA 模型、SFA 模型处理松弛变量、要素调整后的 DEA 测度三部分。该模型剔除了环境因素和随机因素的影响,得到的效率值更加准确真实^[9]。

第 1 阶段:传统 DEA 模型。DEA 模型分为投入导向型和产出导向型,关于耕地利用效率测算在投入导向下研究更有意义。因此,该研究选择研究新疆耕地利用效率的 DEA 模型是投入导向型,选取 BCC 模型计算其综合效率。

第 2 阶段:SFA 模型处理松弛变量。传统 DEA 模型的结果会受到其他因素影响,Fried 等^[15]将其他因素总结为环境因素、管理无效率和统计噪声 3 类,因此,第 2 阶段主要就是运用 SFA 模型分离环境因素和随机因素对效率值的影响,此外,SFA 模型能够充分解释误差项的非对称性。表达式如下:

$S_{ni}=f(Z_i;\beta_n)+v_{ni}+\mu_{ni}(i=1,2,\cdots,I;n=1,2,\cdots,N)$ (1)

式中, n 表示第 n 项投入量; i 表示第 i 个决策单元; S_{ni} 表示第 i 个决策单元第 n 项投入的松弛变量; v_{ni} 表示统计噪声值, μ_{ni} 表示管理无效率值, $v_{ni}+\mu_{ni}$ 表示混合误差项; Z_i 表示环境因素; β_n 表示环境因素的系数。借鉴 Jondrow 等^[16]的做法,运用公式分离管理无效率率 μ ,表达式如下:

$$E(\mu/\varepsilon)=\sigma^*\left[\frac{\phi(\lambda\frac{\varepsilon}{\sigma})}{\phi(\frac{\lambda\varepsilon}{\sigma})}+\frac{\lambda\varepsilon}{\sigma}\right] \tag{2}$$

其中, σ^* 表示标准正态分布密度函数。 $\sigma^*=\frac{\sigma_\mu\sigma_v}{\sigma}$, $\sigma=\sqrt{\sigma_\mu^2+\sigma_v^2}$, $\lambda=\sigma_\mu/\sigma_v$ 。

最后,将管理无效率和统计噪声分离后,调整原来的投入量,表达式如下:

$$X_{ni}^A=X_{ni}+[\max(f(Z_i;\hat{\beta}_n))-f(Z_i;\hat{\beta}_n)]+[\max(v_{ni})-v_{ni}] \tag{3}$$

$(i=1,2,\cdots,I;n=1,2,\cdots,N)$

式中, X_{ni} 和 X_{ni}^A 分别代表调整前和调整后的投入值; $\max(f(Z_i;\hat{\beta}_n))-f(Z_i;\hat{\beta}_n)$ 表示调整的决策单元均处于最差处境; $\max(v_{ni})-v_{ni}$ 表示调整的决策单元均处于最优处境。对劣势决策单元调整较少投入量,对优势决策单元调整较多投入量。

第 3 阶段:要素调整后的 DEA 测度模型。调整后的 DEA 模型得出的效率值由决策单元自身管理效率解释。将调整后的投入量和原始产出值作为投入值和产出值,重复传统 DEA 模型做法,即可得到剔除环境变量、统计噪声和管理无效率的各决策单元的效率值。

1.2.3 探索性空间数据分析。关于空间相关性的分析,莫兰指数运用广泛,该研究选择局部莫兰指数分析 1999—2018 年新疆耕地利用效率的空间相关指数,具体公式如下:

$$I=\frac{n(x_i-x)\sum_i w_{ij}(x_j-x)}{\sum (x_i-x)^2} \tag{4}$$

式中, w_{ij} 表示空间矩阵, n 表示研究单元, x_i 、 x_j 表示样本观测值。

2 结果与分析

2.1 传统 DEA 模型结果分析 运用 DEAP 2.1 软件,估计

BCC 模型效率结果,结果如表 2 所示。1999—2018 年新疆耕地利用效率在逐年提高,2009 年及以后,新疆耕地利用效率逐渐靠近效率前沿面。在计算环境变量、统计噪声和管理无效率影响下,1999—2018 年新疆耕地利用效率的综合效率、纯技术效率和规模效率的均值分别为 0.943、0.963、0.980,其中,1999、2009、2010、2012、2013、2015、2018 年是耕地利用效率的前沿面,2007 年新疆耕地利用效率最低,主要是规模利用效率低。传统 DEA 模型在测算效率时包含了环境变量、统计噪声和管理无效率的影响,导致耕地利用效率值的测算有误差,所以选择第 2 阶段 SFA 模型进行调整。

表 2 1999—2018 年新疆耕地利用效率 DEA 分析结果
Table 2 DEA analysis results of arable land utilization efficiency in Xinjiang from 1999 to 2018

年份 Year	综合效率 Comprehensive efficiency	纯技术效率 Pure technical efficiency	规模效率 Scale efficiency	规模报酬变化 Returns to scale changes
1999	1.000	1.000	1.000	—
2000	0.981	1.000	0.981	irs
2001	0.936	0.954	0.980	irs
2002	0.987	0.990	0.997	drs
2003	0.890	0.966	0.921	irs
2004	0.842	0.866	0.972	irs
2005	0.870	0.871	0.999	drs
2006	0.837	0.844	0.991	drs
2007	0.789	1.000	0.789	irs
2008	0.855	0.877	0.975	irs
2009	1.000	1.000	1.000	—
2010	1.000	1.000	1.000	—
2011	0.966	0.970	0.996	drs
2012	1.000	1.000	1.000	—
2013	1.000	1.000	1.000	—
2014	0.999	1.000	0.999	irs
2015	1.000	1.000	1.000	—
2016	0.956	0.962	0.993	drs
2017	0.956	0.957	0.998	drs
2018	1.000	1.000	1.000	—
均值 Mean	0.943	0.963	0.980	

注:“irs”表示规模报酬递增,“drs”表示规模报酬递减
Note:“irs” means increasing returns to scale,“drs” means decreasing returns to scale

2.2 SFA 模型处理松弛变量 将环境变量作为解释变量,第 1 阶段的投入松弛变量作为被解释变量,借助 Froniter 4.1,得到的 SFA 回归模型的分析结果如表 3 所示。LR 通过 0.01 水平下检验, γ 值等于 1,可以充分解释环境变量对投入要素结果的影响,部分统计量在 0.01 的水平下通过检验,表明环境因素会影响耕地利用效率,投入松弛变量均在 0.01 的水平下通过检验,说明耕地利用效率是否在前沿面与投入变量本身相关^[8]。

在投入松弛变量中,主要农作物播种面积、第一产业从业人员、农业机械总动力、化肥施用折纯量均在 0.01 的水平下显著,农民人均纯收入对第一产业从业人员和化肥施用折纯量在 0.01 水平下显著,对其他变量不显著,在投入方程中均为正值,说明农民人均纯收入与投入松弛变量呈反向变化

关系,地方财政农业支出对投入松弛变量的系数均为负值,地利用效率有促进作用,增加财政支持会减少投入松弛变量,对第一产业从业人员在 0.01 水平下显著,说明财政支持对耕 量,使其投入更合理,提高耕地利用效率^[11]。

表 3 1999—2018 年新疆耕地利用效率 SFA 回归结果

Table 3 SFA regression results of arable land utilization efficiency in Xinjiang from 1999 to 2018

环境变量 Environment variable	主要农作物播种面积 Sown area of main crops	第一产业从业人员 Practitioners in the primary industry	化肥施用折纯量 Chemical fertilizer pure equivalent	农业机械总动力 Total power of agricultural machinery
农民人均纯收入 Per capita net in- come of farmers	0.016 6 (1.02)	0.004 3*** (2.79)	0.000 7*** (3.71)	0.000 6 (0.24)
地方财政农业支出 Local fiscal ex- penditure on agriculture	-0.187 4 (-0.56)	-0.062 3*** (-7.05)	-0.008 8 (-0.01)	-0.003 9 (-0.12)
常数 Constant	-57.676 3*** (-57.63)	-9.886 6*** (-9.89)	-1.718 1* (-1.80)	-3.987 6 (-0.95)
Gamma	29 230.674 0***	1 407.651 3***	27.840 5***	294.181 1***
γ	1.000	1.000	1.000	1.000
log likelihood	-112.940 5	-83.725 1	-44.593 5	-61.662 7
LR 检验 LR test	17.969 3***	15.734 1***	15.906 0***	29.166 1***

注: *、**、*** 分别表示 0.10、0.05、0.01 的水平上显著。括号的数表示 *t* 统计值
Note: *, **, *** mean significant at the level of 0.10, 0.05, and 0.01, respectively. The number in brackets indicates the *t* statistic

2.3 要素调整后的 DEA 测度模型 第 2 阶段通过 SFA 模型计算出调整后的投入值与原始产出值重新运用 DEA 模型计算,得到新疆耕地利用效率的准确值。在剔除环境变量、统计噪音和管理无效率影响下的新疆耕地利用效率值,将第 1 阶段与第 3 阶段的效率值做差,得出效率值变化差,如表 4 所示。调整后的综合效率、纯技术效率和规模效率的均值分别是 0.974、0.981、0.993,其中,2000、2003、2005、2006、2014、

2017 年的综合效率、纯技术效率、规模效率均处在效率前沿面。2006 年效率值增幅最为明显,提升了 1.95%;2003、2005 年效率值增幅分别为 1.24%、1.49%,虽然显示提升,但增幅没有 2006 年显著。2009 年从效率最优变为非效率最优,纯技术效率上升了 2.9%,同时规模效率上升了 1.3%,纯技术效率和规模效率上升引起综合效率提升了 3.3%。

表 4 1999—2018 年新疆耕地利用效率调整后的 DEA 结果分析

Table 4 Analysis of DEA results after adjustment for arable land utilization efficiency in Xinjiang from 1999 to 2018

年份 Year	三阶段 DEA 结果 Three-stage DEA results				效率值变化差 Poor efficiency values change		
	综合效率 Comprehensive efficiency	纯技术效率 Pure technical efficiency	规模效率 Scale efficiency	规模报酬变化 Returns to scale changes	综合效率 Comprehensive efficiency	纯技术效率 Pure technical efficiency	规模效率 Scale efficiency
1999	1.000	1.000	1.000	—	0	0	0
2000	1.000	1.000	1.000	—	-0.019	0	-0.019
2001	0.928	0.949	0.978	irs	0.008	0.005	0.002
2002	0.979	1.000	0.979	drs	0.008	-0.010	0.018
2003	1.000	1.000	1.000	—	-0.110	-0.034	-0.079
2004	0.960	0.972	0.987	irs	-0.118	-0.106	-0.015
2005	1.000	1.000	1.000	—	-0.130	-0.129	-0.001
2006	1.000	1.000	1.000	—	-0.163	-0.156	-0.009
2007	0.867	0.912	0.951	irs	-0.078	0.088	-0.162
2008	0.835	0.857	0.974	irs	0.020	0.020	0.001
2009	0.994	1.000	0.994	drs	0.006	0	0.006
2010	1.000	1.000	1.000	—	0	0	0
2011	0.965	0.966	1.000	—	0.001	0.004	-0.004
2012	1.000	1.000	1.000	—	0	0	0
2013	1.000	1.000	1.000	—	0	0	0
2014	1.000	1.000	1.000	—	-0.001	0	-0.001
2015	1.000	1.000	1.000	—	0	0	0
2016	0.955	0.957	0.998	drs	0.001	0.005	-0.005
2017	1.000	1.000	1.000	—	-0.044	-0.043	-0.002
2018	1.000	1.000	1.000	—	0	0	0
平均 Mean	0.974	0.981	0.993		-0.031	-0.018	-0.013

注:“irs”表示规模报酬递增,“drs”表示规模报酬递减
Note:“irs” means increasing returns to scale,“drs” means decreasing returns to scale

2.4 新疆耕地利用效率的局部自相关分析 选择 Moran’s I 测算新疆耕地利用效率的空间相关指数,反映新疆耕地利用效率的空间差异程度,莫兰指数均通过显著性检验水平,表示 1999—2018 年新疆耕地利用效率存在空间相关性。如图

1 所示,传统效率值的 Moran’s I 是 0.863,调整后效率值是 0.929。莫兰指数随着耕地利用效率值的变化逐渐上升,各相近年份耕地利用效率值收敛趋势明显。2003—2008 年的传统效率值均较低且分散,调整后效率值呈现明显聚集。将环

境变量、统计噪音和管理无效率纳入考虑因素后,新疆耕地利用效率的空间自相关显著性在逐渐增强,效率值的聚集更

加明显^[2,17-18]。

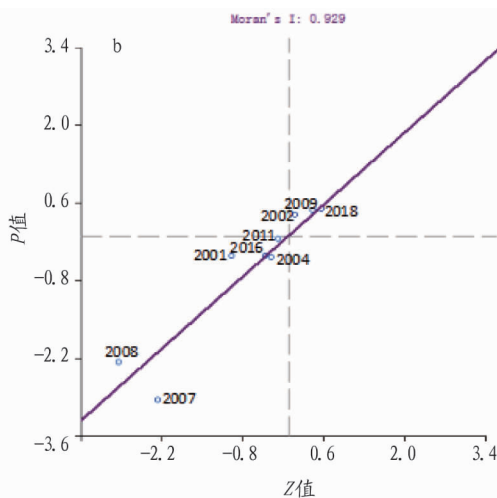
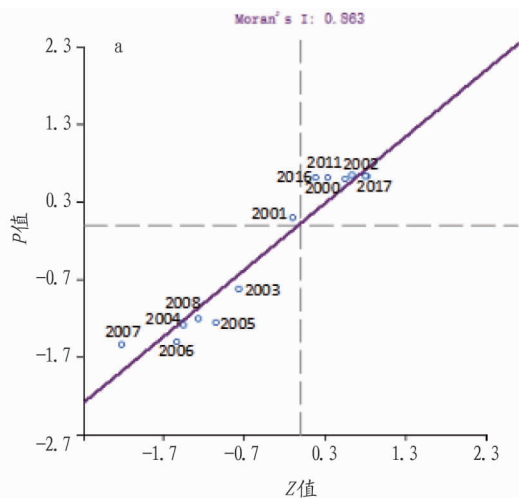


图 1 传统效率值 (a) 和调整后效率值 (b) 莫兰指数

Fig.1 Moran's I of traditional efficiency value (a) and adjusted efficiency value (b)

3 结论与讨论

首先,调整投入要素后的新疆耕地利用效率值相比传统 DEA 模型效率值更加准确真实,调整投入要素后的新疆耕地利用的纯技术效率上升,规模效率上升,反映出环境变量、统计噪音和管理无效率对新疆耕地利用效率有明显影响。其次,综合效率的提升主要是因为纯技术效率和规模效率同时上升,新疆耕地利用效率向最优化发展。最后,通过计算 Moran's I,反映出新疆耕地利用效率有明显的空间自相关性^[10]。

整体来看,新疆耕地利用的要素投入较为合理,综合效率较高,仍然需要进一步优化投入资源配置,实现耕地利用效率最优化。首先,通过农民人均纯收入的增加,改善耕作环境、提高耕地产出,进而提高新疆耕地利用效率;其次,在地方财政充足条件下,通过追加农业资金投入,改善机械条件、提高机械化水平,实现新疆耕地利用效率最大化,运用科技力量,改良作物品质,通过平整耕地,提高耕地产出质量^[2,11]。

参考文献

- [1] 中共中央 国务院.2020 年中央一号文件[EB/OL].(2020-01-03)[2020-03-26].<http://www.china-cer.com.cn/guwen/202001031716.html>.
- [2] 王海力,韩光中,谢贤健.基于 DEA 模型的西南地区耕地利用效率时空格局演变及影响因素分析[J].长江流域资源与环境,2018,27(12):2784-2795.
- [3] 张立新,朱道林,谢保鹏,等.中国粮食主产区耕地利用效率时空格局演变及影响因素:基于 180 个地级市的实证研究[J].资源科学,2017,39

- (4):608-619.
- [4] 谢花林,张道贝,王伟,等.鄱阳湖生态经济区耕地利用效率时空差异及其影响因素分析[J].水土保持研究,2016,23(5):214-221.
- [5] 吴昊玥,黄瀚蛟,何艳秋,等.净碳排放约束下的中国耕地利用效率评价及空间关联研究[J].浙江农业学报,2019,31(9):1563-1574.
- [6] 黄祥芳.面源污染视角下江西省耕地利用效率研究[J].中国农业资源与区划,2018,39(12):177-183.
- [7] 匡兵,卢新海,韩璟,等.考虑碳排放的粮食主产区耕地利用效率区域差异与变化[J].农业工程学报,2018,34(11):1-8.
- [8] 敖贵艳,吴伟光,曹先磊,等.基于三阶段 DEA 模型的碳汇竹林生产效率分析:来自浙江安吉的实证[J].农林经济管理学报,2019,18(5):656-666.
- [9] 颜聪聪,车斌.基于三阶段 DEA 的新疆区域种植业生产效率研究[J].地域研究与开发,2019,38(4):147-152.
- [10] 马凤才,郭喜伟,陈璐.基于三阶段 DEA 模型的辽宁省农业生产效率分析[J].农业经济,2019(4):15-17.
- [11] 吴振华,雷琳.基于三阶段 DEA 模型的农业土地生态效率研究:以河南省为例[J].生态经济,2018,34(10):76-80.
- [12] 张红梅,宋戈.黑龙江垦区耕地利用生态效率及其内部协调性[J].华中农业大学学报(社会科学版),2019(4):160-168,178.
- [13] 方方,何仁伟,何砚.京津冀地区乡村就业非农化对耕地利用效率的影响[J].农业现代化研究,2019,40(2):234-242.
- [14] 陈珏,雷国平,王元辉.黑龙江省耕地集约利用评价与空间差异分析[J].水土保持通报,2011,31(5):154-157,234.
- [15] FRIED H O,LOVELL C A K,SCHMIDT S S,et al.Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J].Journal of productivity analysis,2002,17(1/2):157-174.
- [16] JONDROW J,KNOX LOVELL C A,MATEROV I S,et al.On the estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model[J].Journal of econometrics,1982,19(2/3):233-238.
- [17] 卢新海,唐一峰,易家林,等.基于空间计量模型的耕地利用转型对农业经济增长影响研究[J].中国土地科学,2019,33(6):53-61.
- [18] 张婉渝.基于空间面板模型的我国农业产出效率影响因素研究[D].杭州:杭州电子科技大学,2019.