

DOI: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2025.02.042

韩佳敏, 孟梅. “双碳”目标下新疆耕地利用生态效率时空演变特征及原因分析[J]. 中国农机化学报, 2025, 46(2): 287—294

Han Jiamin, Meng Mei. Analysis on characteristics and causes of spatial and temporal evolution of cropland utilization eco-efficiency in Xinjiang under the “dual-carbon” target [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2025, 46(2): 287—294

“双碳”目标下新疆耕地利用生态效率时空演变特征 及原因分析^{*}

韩佳敏, 孟梅

(新疆农业大学, 乌鲁木齐市, 830000)

摘要:以新疆作为研究区域,选择新疆的 14 个地州市作为样本点,从碳源和碳汇的视角构建指标体系,运用超效率 DEA—SBM 模型测度新疆耕地利用生态效率,并从时间和空间的角度进行分析,利用 GML 指数模型和核密度估计探究新疆耕地利用生态效率的动态演变特征,最后基于冗余率对耕地利用生态效率的损失原因进行分析。结果表明:新疆耕地利用生态效率的平均值是 0.84,处于中等偏上的水平,呈现出“升—降—升”的趋势。2011—2020 年,新疆 *MI* 指数均大于 1,核密度的曲线中心出现向右平移的趋势,说明新疆耕地利用生态效率在不断提高,处于规模报酬递增的阶段。新疆耕地利用生态效率未达到相对有效地区的投入和非期望产出都存在一定的冗余,不合理的投入以及大量碳和污染的排放是造成耕地利用生态效率无效的主要原因。因此,提出加大农业科学技术的研发,完善基础设施的建设;调整生产要素的投入比例,提高耕地利用生态效率;促进区域协调发展,缩小地区差距等建议。

关键词:新疆;耕地利用;生态效率;超效率 DEA—SBM 模型;时空演变

中图分类号:F301.2; S341.1 **文献标识码:**A **文章编号:**2095-5553 (2025) 02-0287-08

Analysis on characteristics and causes of spatial and temporal evolution of cropland utilization eco-efficiency in Xinjiang under the “dual-carbon” target

Han Jiamin, Meng Mei

(Xinjiang Agricultural University, Urumqi, 830000, China)

Abstract: Taking Xinjiang as the research region, fourteen prefectural and municipal cities in Xinjiang were selected as the sample sites, the indicator system was constructed from the perspective of carbon source and sink, the ecological efficiency of cropland utilisation in Xinjiang was measured by using the super-efficiency DEA—SBM model and the analysis was conducted from the perspectives of time and space, and then the dynamic evolution characteristics of ecological efficiency of cropland utilisation in Xinjiang was explored by using the GML index model and the kernel density estimation. Finally, the causes of the loss of ecological efficiency of cropland use were analyzed based on the redundancy rate. The results showed that the average value of the eco-efficiency of cropland use in Xinjiang was 0.84, which was in the middle-upper level, and showed the trend of ‘rising-declining-rising’. During 2011—2020, the *MI* index in Xinjiang was greater than 1, and the centre of the curve of the kernel density was shifted to the right, indicating that the eco-efficiency of cropland use in Xinjiang was improving, and it was in the stage of increasing returns to scale. The inputs and non-desired outputs of Xinjiang’s cropland utilisation eco-efficiency have not reached the relatively efficient region, and also have some redundancy, and irrational inputs as well as a large amount of carbon and pollution emissions are the main reasons for the ineffectiveness of cropland utilisation eco-efficiency. Therefore, the following suggestions are put forward to increase the research and development of agricultural science and technology, improve the construction of infrastructure, adjust the

收稿日期:2023 年 11 月 1 日 修回日期:2023 年 12 月 18 日

^{*} 基金项目:国家自然科学基金项目(72164035)

第一作者:韩佳敏,女,1997 年生,新疆昌吉人,硕士;研究方向为土地可持续利用。E-mail: 1506543795@qq.com

通讯作者:孟梅,女,1973 年生,乌鲁木齐人,博士,教授;研究方向为土地经济及可持续利用。E-mail: 706935497@qq.com

input ratio of production factors to improve the ecological efficiency of cropland use, and promote the coordinated development of the region to narrow the regional gap.

Keywords: Xinjiang; cropland utilization; eco-efficiency; super-efficiency DEA—SBM model; spatio-temporal evolution

0 引言

耕地作为我国最稀缺的生产资料,是保障国家粮食安全的根本,同时维持耕地的可持续利用是实现国民经济健康发展的重要保障。随着社会经济的快速发展,对耕地的需求不断增加导致耕地质量下降,粮食安全受到威胁。同时在耕地利用的过程中,高污染、高消耗的生产模式也造成严重的生态问题,比如化肥、农药的残留和碳排放的增多等。2020年,习近平主席在联合国大会上制定了碳达峰碳中和的目标;2021年中央一号文件聚焦生态保护与粮食安全;二十大提出要全面落实粮食安全党政同责。在碳达峰碳中和的背景下,在确保粮食安全的同时还要发展绿色农业的要求下,对耕地利用生态效率进行科学、合理地评价,对促进我国耕地的可持续发展有着重要的现实意义。

目前,我国对生态效率的应用研究主要集中在行业和区域两个层面,企业和产品层面因微观数据较难获得故研究的相对较少。其中,学者们在行业层面从第一、二、三产业的角度出发对农业^[1]、工业^[2]、产业^[3]、旅游业^[4]等方面展开了大量的探索,并取得相关的成果。但是对耕地利用生态效率方面的研究相对较少,还未建立起统一的耕地利用生态效率的指标体系。前期学者们的研究主要集中在耕地利用效率方面,但随着环境问题的突出以及对耕地利用效率的认识加深,研究内容也从单指标的投入、产出逐渐转变为多指标投入、产出的综合评价指标体系,从只考虑耕地的资源和经济效率逐渐加入耕地的生态效率,形成以“资源—社会经济—环境”的复合系统为研究范围的耕地利用生态效率。对于耕地利用生态效率的研究内容主要集中在效率的测度与评价^[5]、时空演变特征^[6]和影响因素^[7]等方面。关于测算生态效率的方法有很多,对于不同的问题、不同的研究内容,所用到的测算方法也有所不同。比如:生态足迹分析法和能值分析法^[8]、综合评价法^[9]、数据包络法^[10]等。

综上所述,本文选择目前学术界涉及较少的地区—新疆作为研究对象,从碳源和碳汇的角度构建耕地利用生态效率的指标体系,运用非期望产出的超效率 DEA—SBM 模型测度新疆 2011—2020 年间的耕地利用生态效率,并从时间和空间的角度进行分析,接着利用 GML 指数模型和核密度估计探究新疆耕地利用生态效率的动态演变特征,最后基于冗余率对耕地

利用生态效率的损失原因进行分析。

1 研究方法 with 数据说明

1.1 研究方法

1.1.1 超效率 DEA—SBM 模型

在传统 DEA 模型的结果分析中,得出的效率值相同且为 1,但这些效率值的高低却无法进一步区分。为解决这一问题,Andersen 等^[11]提出了对有效 DMU 进一步区分其有效程度的方法,就是超效率模型。Tone^[12]在此基础上提出了 SBM 超效率模型,该模型能够对大于 1 的超效率值做进一步的比较,并且加入松弛变量后解决了传统 DEA 模型的测量误差问题。因此在传统 DEA 模型的基础上构建非导向的 DEA—SBM 超效率模型,同时加入非期望产出指标来测算耕地利用生态效率,计算如式(1)所示。

$$\rho = \min \frac{1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{a_1 + a_2} \left(\sum_{r=1}^{a_1} \frac{s_r^+}{y_{ro}} + \sum_{h=1}^{a_2} \frac{s_h^{b-}}{y_{ho}} \right)}$$

$$\sum_{j=1, j \neq o}^m x_{ij} \lambda_j + s_i^- \leq x_{io}; \quad \sum_{j=1, j \neq o}^m y_{rj} \lambda_j - s_r^+ \geq y_{ro};$$

$$\sum_{j=1, j \neq o}^m y_{hj} \lambda_j + s_h^{b-} \geq y_{ho}; \quad \lambda, s^-, s^+, s^{b-} \geq 0 \quad (1)$$

式中: ρ ——研究区域内各地州的耕地利用生态效率值;

n, a_1, a_2 ——投入、期望产出与非期望产出的个数;

s^-, s^+, s^{b-} ——投入、期望产出及非期望产出的松弛变量;

x_{io}, y_{ro}, y_{ho} ——各地州在某阶段的投入产出值;

λ ——权重向量。

1.1.2 GML 指数模型

Malmquist 指数模型根据参比的方式,可分为相邻、固定、全局序列和窗口等,选取全局参比 Malmquist 指数模型(GML)。GML 指数 MI 可分解为技术效率变化 EC 和技术变化 TC 。其中, EC 可进一步分解为纯技术效率变化 PEC 和规模效率变化 SEC ; TC 可进一步分解为纯技术变化 PTC 和规模技术变化 STC 。计算如式(2)所示。

$$MI = EC \times TC = PEC \times SEC \times PTC \times STC \quad (2)$$

1.1.3 核密度估计

假设随机变量 x 的密度函数为 $f(x)$, 如式(3)所示。

$$f(x)=\frac{1}{Nh}\sum_{i=1}^N K(\frac{x_i-x}{h})$$
 (3)

式中： x_i ——各区域耕地利用效率值的观测值；
 x ——各区域耕地利用效率值的均值；
 N ——研究区域个数；
 h ——带宽；
 $K(\bullet)$ ——核函数。

1.2 指标选取与数据来源

1.2.1 指标选取

耕地利用生态效率的本质是在耕地利用的过程中,一定生产要素的投入所能实现经济、社会产出最大化与环境污染最小化的程度。参考刘蒙罢^[13]、文高辉^[14]、胡贤辉^[15]等的研究,并且结合当前的双碳背景,尝试将耕地碳汇加入期望产出中。再根据新疆耕地利用的实际情况和数据的可得性,从投入、期望产出和非期望产出 3 个方面构建新疆耕地利用生态效率的指标体系,如表 1 所示。

表 1 耕地利用生态效率指标
Tab. 1 Indicators of eco-efficiency of cropland utilization

指标	变量	变量说明
投入指标	耕地投入	农作物播种面积/hm ²
	劳动投入	第一产业从业人员/人
	机械投入	农业机械总动力/kW
	化肥投入	化肥施用折纯量/t
	灌溉投入	节水灌溉面积/hm ²
期望产出指标	耕地碳汇	农作物在生长发育周期内的碳吸收/t
	农作物产量	农作物总产量/t
	农业产值	农业总产值/万元
非期望产出指标	碳排放量	耕地利用碳排放总量(包括化肥、柴油、翻耕产生的碳排放)/t
	面源污染排放量	化肥利用过程中的残留量/t

其中,耕地碳汇主要计算的是农作物在生长发育周期内的碳吸收,选取粮食作物(水稻、小麦、玉米、豆类、薯类)、经济作物(油料作物、棉花)和其他类作物(蔬菜、瓜果)计算农作物的碳吸收,计算如式(4)所示^[16]。

$$C=\sum_i^n(C_i\times Q_i\times(1-w_i)/H_i)$$
 (4)

式中： C ——农作物碳吸收总量；
 w_i ——第 i 种作物的含水率；
 C_i ——第 i 种农作物的碳吸收率；
 Q_i ——第 i 种农作物经济产量；
 H_i ——第 i 种作物的经济系数。
借鉴前人的研究成果^[17]确定各类农作物

C_i, w_i, H_i 的取值。

耕地面源污染主要来自于化肥中氮肥、磷肥和复合肥的残留量,具体的计算方式参照陈敏鹏^[18]、赖斯芸^[19]等的研究,计算如式(5)所示。

$$E=TN\times\rho_i+TP\times\eta_i$$
 (5)

式中： TN ——含氮的总和；
 TP ——含磷的总和(包括氮肥、磷肥和复合肥中的氮、磷含量)。

参考已有文献[20],磷肥的使用量乘以系数 43.66%,复合肥中的氮磷含量系数均按 16.65% 计算。在耕地利用的过程中,碳排放主要来自于:化肥施用产生的碳排放;农用机械消耗柴油时产生的碳排放;翻耕过程中导致的碳流失。根据前人的研究^[21]选取的各类碳源对应的碳排放系数如下:化肥 0.895 6 kg/kg、柴油 0.592 7 kg/kg、翻耕 312.6 kg/km²。

1.2.2 数据来源

以新疆维吾尔自治区(新疆)为研究对象,选择新疆的 14 个地州市为研究样本(不包含新疆生产建设兵团)。根据数据的可获得性和连续性等原则,选取新疆 2011—2020 年的数据进行研究,具体数据来源于《新疆统计年鉴》和 14 个地州市的统计年鉴,个别缺失数据通过线性插值法进行补充。

2 结果分析

2.1 新疆耕地利用生态效率测算结果分析

2.1.1 基于时间变化的耕地利用生态效率结果分析

基于 MaxDEA9.1 软件的计算,测度 2011—2020 年新疆耕地利用生态效率值(表 2)。从整体来看,新疆耕地利用生态效率的平均值是 0.84,未能达到相对有效的状态,处于中等偏上的水平。从各地区的耕地利用生态效率的平均值来看,排名前 3 的依次是喀什地区、乌鲁木齐市和克拉玛依市,效率值均大于 1,达到相对有效的状态。而剩余 11 个地州市的效率值均小于 1,未能达到相对有效的状态,依次是:伊犁、巴州、吐鲁番市、阿克苏地区、昌吉、克州、博州、塔城地区和田地区、哈密市和阿勒泰地区。其中,哈密市和阿勒泰地区的生态效率值相对较低,说明在耕地利用的过程中存在资源浪费和环境污染等问题。

从变化趋势来看,新疆耕地利用生态效率呈现出“升—降—升”的趋势(图 1)。2011—2012 年新疆耕地利用生态效率值无明显变化;2012—2013 年新疆耕地利用生态效率值呈现出明显上升,其中乌鲁木齐市、吐鲁番市、阿克苏地区和克州的生态效率均有大幅度提高,2013 年的农作物产量和农业产值较 2012 年均得到

提高,是耕地利用生态效率提高的主要原因之一;2013—2014 年耕地利用生态效率值出现下降,从 0.914 下降到 0.784,原因是随着科学技术的发展,化肥农药逐渐替代农家肥,大量的使用造成面源污染,影响了生态效率值;2015—2020 年耕地利用生态效率值逐步上升,从 2015 年的 0.777 提高到 2020 年的 1.121,从耕地利用效率未有效达到相对有效的状态。

表 2 2011—2020 年新疆 14 个地州市耕地利用生态效率值

Tab. 2 Eco-efficiency values of cropland utilization in fourteen Xinjiang prefectures and cities, 2011—2020

地区	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	平均值	排名
乌鲁木齐市	0.658	0.715	1.466	1.023	1.008	0.750	0.789	1.086	1.267	1.621	1.038	2
克拉玛依市	1.013	1.177	1.154	0.664	0.780	1.006	0.581	1.030	1.043	1.786	1.023	3
吐鲁番市	1.244	0.684	1.004	1.107	0.656	0.701	0.660	1.198	1.014	1.307	0.958	6
哈密市	0.441	0.437	0.477	1.009	0.447	0.447	0.452	0.527	0.744	0.636	0.562	13
昌吉	1.023	0.666	0.837	0.890	0.772	0.670	0.707	0.574	0.627	1.677	0.844	8
伊犁	1.017	1.009	1.005	0.887	1.001	1.003	1.030	0.657	1.036	1.125	0.977	4
塔城地区	0.540	0.544	0.568	0.642	0.798	1.002	1.007	0.560	0.597	1.004	0.726	11
阿勒泰地区	0.398	0.431	0.432	0.416	0.403	0.344	0.369	0.365	0.357	0.624	0.414	14
博州	0.658	1.003	1.002	0.566	0.697	0.603	0.598	0.582	1.034	1.035	0.778	10
巴州	1.011	1.017	1.014	0.717	0.909	1.027	0.867	1.004	1.002	1.029	0.960	5
阿克苏地区	0.533	0.610	1.012	0.599	1.004	1.005	1.009	1.005	1.003	1.006	0.879	7
克州	0.448	0.526	1.190	0.833	0.775	0.781	0.845	1.256	0.740	0.744	0.814	9
喀什地区	0.808	1.003	1.022	1.033	1.023	1.018	1.723	1.063	1.000	1.083	1.078	1
和田地区	0.693	0.635	0.613	0.596	0.606	0.586	0.542	0.792	1.014	1.017	0.709	12
平均值	0.749	0.747	0.914	0.784	0.777	0.782	0.798	0.836	0.891	1.121	0.840	—

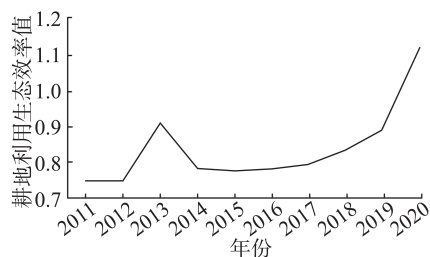


图 1 2011—2020 年新疆耕地利用生态效率平均值

Fig. 1 Average value of ecological efficiency of cropland utilization in Xinjiang, 2011—2020

2.1.2 基于空间变化的耕地利用生态效率结果分析

根据上文计算出的耕地利用生态效率值,利用 ArcGIS 软件的自定义法,对 2011 年、2014 年、2017 年和 2020 年新疆的耕地利用生态效率进行可视化,如图 2 所示。

从图 2 可知,新疆耕地利用生态效率在不断的变好。其中,塔城地区、阿克苏地区、伊犁、博州和巴州的耕地利用生态效率值处于不断提升的状态;克拉玛依市、吐鲁番市、和田地区和昌吉的生态效率值出现连续两年的下降后均在 2020 年得到提升且效率值处于相对有效的状态;乌鲁木齐、哈密市和阿勒泰地区均在 2017 年出现小幅度的下降后,通过调整得到提升;而克

说明随着国家对粮食安全、耕地的可持续发展和环境保护等问题的重视,新疆也积极响应国家号召,制定并颁布一系列方案与文件,切实有效地提高新疆整体耕地利用的生态效率。例如:2014 年新疆制定了《全区环境保护工作要点》;2017 年发布了《新疆维吾尔自治区环境保护“十三五”规划》;2018 年印发了《新疆维吾尔自治区土壤污染防治工作方案》等。

州和喀什地区的效率值在不断的提升,但在 2020 年出现小幅度的下降。

2.2 耕地利用生态效率的动态演变特征

2.2.1 基于 GML 指数的动态演变分析

基于 GML 指数模型对新疆的耕地利用生态效率进行动态演变分析(表 3)。从整体来看,2011—2020 年新疆的 MI 指数均大于 1,说明新疆整体的耕地利用生态效率呈现出不断上升的状态,处于规模报酬递增的阶段。 MI 指数的平均增长率为 9.6%,是技术效率变化和技术变化共同作用得到的。其中,技术变化的年均增长为 8.2%,说明技术进步是耕地利用的 MI 指数增长的主要原因。在 2011—2020 年内,除 2013—2016 年的 MI 指数出现下降,其余年份 MI 指数的变化率均为正数且呈现出逐年增加的趋势。从分解的指数来看,纯技术效率变化指标除 2015—2016 年小于 1,其余年份均大于 1;而规模效率变化指标在 2011—2012 年、2013—2014 年和 2018—2019 年小于 1,其余年份均大于 1;纯技术效率变化和规模效率变化的平均值分别是 1.170 和 1.153,说明纯技术效率对提高技术效率的贡献更多,未来新疆在重视科学技术发展的同时,也要注意各要素的投入比例,探索最佳投入

比例,形成规模化发展。

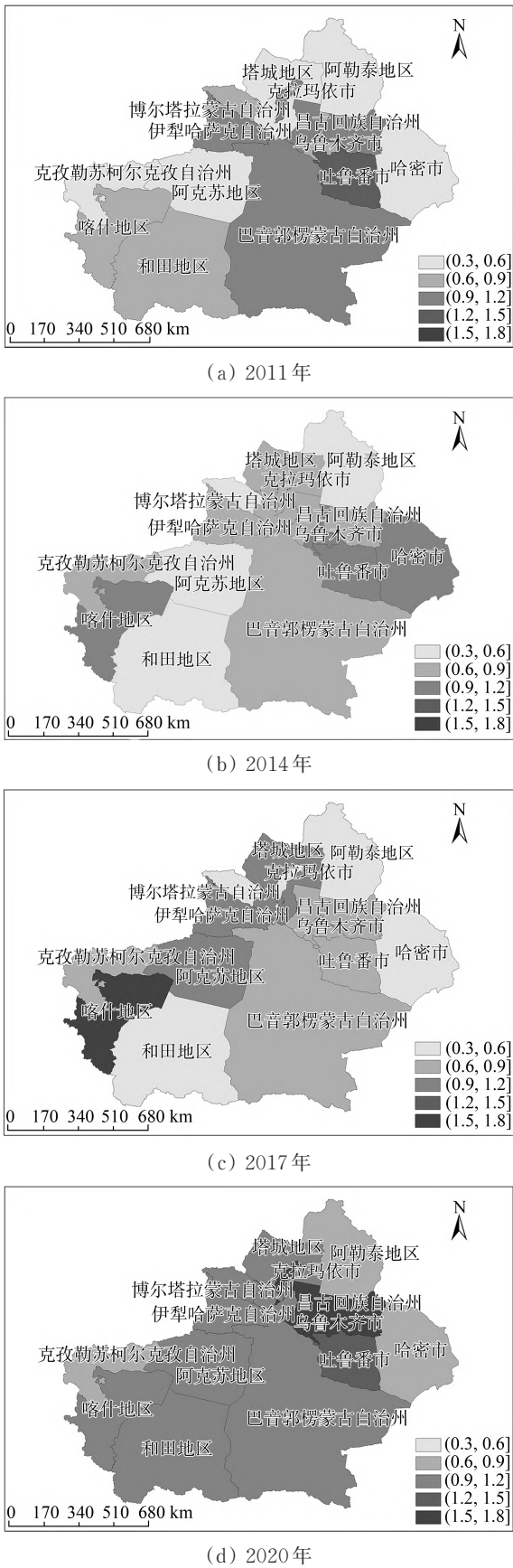


图 2 新疆耕地利用生态效率时空演变
Fig. 2 Spatial and temporal evolution of ecological efficiency of cropland utilization in Xinjiang

表 3 2011—2020 年新疆耕地利用生态效率
年均 GML 指数及分解

Tab. 3 Annual average GML index and decomposition of ecological efficiency of cropland utilization in Xinjiang, 2011—2020

年份	MI	EC	TC	PEC	SEC	PTC	STC
2011—2012	1.195	1.030	1.159	1.863	0.988	1.000	2.460
2012—2013	1.288	1.064	1.204	1.100	2.181	2.294	1.035
2013—2014	0.904	1.047	0.903	1.235	0.912	0.831	1.283
2014—2015	0.993	1.049	0.950	1.217	1.028	0.998	1.173
2015—2016	0.959	0.934	1.061	0.874	1.250	1.422	0.930
2016—2017	1.048	1.010	1.043	1.015	1.002	1.002	1.054
2017—2018	1.077	1.138	0.963	1.129	1.006	1.010	0.991
2018—2019	1.168	0.965	1.213	1.043	0.982	1.130	1.113
2019—2020	1.233	1.032	1.247	1.055	1.027	1.380	0.988
平均值	1.096	1.030	1.082	1.170	1.153	1.230	1.225

2.2.2 基于核密度估计的动态演变分析

基于 Stata16 软件,运用核密度估计法对新疆 2011 年、2014 年、2017 年和 2020 年的生态效率进行估计(图 3)。从图 3 可知,核密度的曲线中心出现向右平移的趋势,说明新疆耕地利用生态效率在不断提高,与上文的结果保持一致。从形状上来看,核密度曲线主要呈现出单峰的形态,极化现象明显。从 2017 年开始核密度曲线出现右拖尾的现象,到 2020 年右拖尾现象更加明显并有第二峰出现的迹象,说明经过不断的发展,新疆 14 个地州市逐渐出现地区差异。生态效率较好的地区能够合理配置各种生产要素、积极落实耕地可持续发展等相关政策,而生态效率较差的地区在耕地利用的过程中存在资源使用不合理、不重视科学技术等问题。未来各地州市之间应加强沟通交流,让先进的地区带动落后的地区,协同发展,缩小差距。

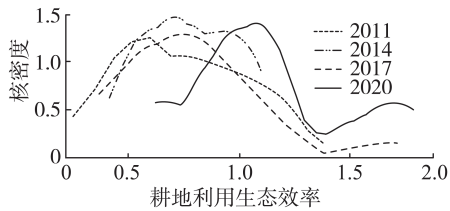


图 3 新疆耕地利用生态效率核密度估计
Fig. 3 Estimation of kernel density of eco-efficiency of cropland utilization in Xinjiang

2.3 基于冗余率的耕地利用生态效率损失原因分析

为进一步了解新疆部分地州市耕地利用生态效率未能达到相对有效的原因,利用超效率 SBM 模型测算结果中的松弛改进值,计算出耕地利用过程中投入和非期望产出的冗余率(表 4)。

从生产过程来看,新疆耕地利用生态效率未达到相对有效地区的投入和非期望产出都存在一定的冗余,不合理的投入导致大量碳、污染的排放是造成耕地利用生态效率无效的主要原因。从各生产要素的投入来看,投入冗余最高的是第一产业从业人员,年均冗余率为 29.39%,剩余依次是:节水灌溉面积、农业机械总动力、化肥施用折纯量和农作物播种面积;从非期望产出来看,污染排放量的年均冗余率为 19.19%,其次是碳排放量的年均冗余率为 14.17%。其中,第一产业从业人员,除昌吉需要增加劳动力外,其余各地州市均需转移过剩劳动力;节水灌溉设施的全面普及提高

了水资源的利用效率,但是新疆的水资源较为匮乏,在未来的耕地过程中除了保持农作物的正常生长外,还需注重节约用水,更加科学合理的进行耕地灌溉;化肥的大量投入和农业机械的不科学使用,是导致碳排放和污染排放量增多的主要原因,形成较高的产出冗余,是造成新疆部分地州市耕地利用生态效率值较低的主要原因之一;播种面积的冗余说明耕地利用存在不合理的情况,管理及经营方式也存在问题,使得耕地利用的整体效率降低。

因此,新疆耕地利用生态效率较低的地州市,在未来耕地利用的过程中,首先,应提高农业的现代化程度,淘汰低效率的生产工具,研发高质量、高效率的机械,解放劳动力;其次,应减少化肥等要素的投入量,用农家肥或有机肥代替,减少对环境的污染;最后,应根据各地州市的实际情况,科学合理的管理耕地,落实耕地灌溉的实际需求。

表 4 2011—2020 年新疆部分地州市耕地利用年均投入产出冗余率

Tab. 4 Average annual input-output redundancy rate of cropland utilization in selected prefectures and cities in Xinjiang, 2011—2020 %

地区	投入冗余率					非期望产出冗余率	
	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	节水灌溉面积	碳排放量	污染排放量
吐鲁番市	3.84	-12.35	0.60	-1.98	-7.09	-8.44	-10.20
哈密市	-30.85	-44.60	-28.73	-26.04	-45.69	-39.58	-37.61
昌吉	-4.76	1.28	-13.77	-12.82	-22.00	-12.52	-20.79
伊犁	-1.99	-9.49	-1.17	-1.84	-2.59	-1.78	-1.45
塔城地区	-2.63	-48.79	-10.10	-20.18	-26.29	-16.52	-24.06
阿勒泰地区	-51.31	-74.38	-37.46	-28.41	-63.89	-38.37	-45.11
博州	-0.49	-34.69	-2.62	-18.62	-8.37	-13.77	-26.28
巴州	2.17	-11.54	-1.25	-3.58	-3.25	-3.63	-3.52
阿克苏地区	0.61	-23.60	-7.15	-10.31	-1.06	-9.55	-10.23
克州	-6.40	-9.55	-10.51	-8.13	3.39	-5.67	-15.54
和田地区	-10.37	-55.62	-28.16	-5.74	-28.17	-6.09	-16.32
平均值	-9.29	-29.39	-12.76	-12.51	-18.64	-14.17	-19.19

3 结论与建议

3.1 结论

基于 2011—2020 年新疆耕地利用生态效率的时空演变特征及原因的分析,得出以下结论:(1)新疆耕地利用生态效率的平均值是 0.84,处于中等偏上的水平,呈现出“升—降—升”的趋势。(2)2011—2020 年新疆的 MI 指数均大于 1,核密度的曲线中心出现向右平移的趋势,说明新疆的耕地利用生态效率在不断的提高,处于规模报酬递增的阶段。(3)新疆耕地利用生态效率未达到相对有效地区的投入和非期望产出都存在一定的冗余,不合理的投入以及大量碳和污染的排放是造成耕地利用生态效率无效的主要原因。

3.2 建议

根据研究结果发现,新疆整体的耕地利用生态效率处于不断提升的阶段,同时存在大量的碳、污染等要素的冗余,影响耕地利用的生态效率,且 14 个地州市之间也逐渐产生差异。因此,提出以下建议。

1) 加大农业科学技术的研发,完善基础设施的建设。根据 GML 指数分解的结果可知,技术变化和技术效率是提高耕地利用生态效率的主要原因。未来在不断完善农业的水利、电力等设施建设的基础上,加强农业科技人才队伍的建设,培养大量的农业科研人员,积极研发适合新疆农业现代化的科学技术,如推进测土配方施肥、秸秆还田循环型和新品种研发等。

2) 调整生产要素的投入比例,提高耕地利用生态

效率。根据冗余率的分析得出,投入要素中的第一产业从业人员、节水灌溉面积、化肥施用折纯量和农业机械总动力都存在一定的冗余。针对第一产业从业人员,政府部门一方面应加大对农村劳动力的技能培训,另一方面应促进农村劳动力进行非农就业;新疆的水资源主要用于农业用水,应科学、合理的安排农业用水,积极使用先进的滴水灌溉技术,提高水资源的利用效率;化肥的使用可以使农作物茁壮生长,但同时也造成环境污染,应制定化肥的使用标准,进行精准施肥,同时提倡用有机肥代替化肥的使用;农业机械是解放人力的关键,应积极淘汰老旧、高消耗的机械,引进新型清洁的机械。调整各生产要素的投入比例,是提高耕地利用生态效率的重要环节。

3) 促进区域协调发展,缩小地区差距。根据研究发现,新疆各地区之间的耕地利用生态效率逐渐产生了差距,政府部门应根据各地州的现实问题因地制宜的制定配套政策,充分发挥各地州的优势产业,同时让先进地区去影响带动周围落后的地区,达到“点带面”的作用,从而协调各地区的发展,并逐渐缩小差距。

参 考 文 献

- [1] 张荧楠, 张兰婷, 韩立民. 农业生态效率评价及提升路径研究——基于山东省17个地级市的实证分析[J]. 生态经济, 2021, 37(4): 118—124, 131.
- [2] 张樨樨, 曹正旭. 长江经济带工业生态效率时空演变及影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(3): 493—502.
- [3] 顾典, 徐小晶. 中国产业结构优化升级对生态效率的影响[J]. 生态经济, 2020, 36(6): 58—67.
- [4] 钱宏健, 方叶兵, 陆林, 等. 长三角城市群旅游生态效率时空演化特征及其影响因素研究[J]. 资源开发与市场, 2022, 38(3): 350—359.
- [5] 周显芳, 卢远. 基于MODIS EVI的左江流域耕地利用效率评价[J]. 水土保持研究, 2010, 17(3): 79—81, 86.
- [6] 刘玉洁, 张安录, 刘蒙罢. 长江中下游粮食主产区城镇化与耕地利用生态效率耦合协调度时空格局分析[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(8): 106—118.
Liu Yujie, Zhang Anlu, Liu Mengba. Analysis on the spatiotemporal pattern of coupling degree of urbanization and cultivated land use eco-efficiency in main grain producing areas in the mid and lower reaches in Yangtze River [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(8): 106—118.
- [7] 马林燕, 张仁慧, 潘子纯, 等. 中国省际耕地利用生态效率时空格局演变及影响因素分析——基于2000—2019年面板数据[J]. 中国土地科学, 2022, 36(3): 74—85.
Ma Linyan, Zhang Renhui, Pan Zichun, et al. Analysis of the evolution and influencing factors of temporal and spatial pattern of eco-efficiency of cultivated land use among provinces in China: Based on panel data from 2000 to 2019 [J]. China Land Science, 2022, 36(3): 74—85.
- [8] 孙玉峰, 郭全营. 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 710—717.
Sun Yufeng, Guo Quanying. Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach [J]. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 710—717.
- [9] 王波, 方春洪. 基于因子分析的区域经济生态效率研究——以2007年省际间面板数据为例[J]. 环境科学与管理, 2010, 35(2): 158—162.
Wang Bo, Fang Chunhong. Research on the regional eco-efficiency based on factor analysis: Evidence from provincial data 2007 [J]. Environmental Science and Management, 2010, 35(2): 158—162.
- [10] 李首涵, 杨萍, 李忠德, 等. 基于DEA—SBM模型的黄河三角洲现代农业生态效率评价[J]. 湖北农业科学, 2018, 57(13): 98—103.
- [11] Andersen P, Petersen N C. A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis [J]. Management Science, 1993, 39(10): 1261—1264.
- [12] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis [J]. European Journal of Operational Research, 2002, 143(1): 32—41.
- [13] 刘蒙罢, 张安录, 文高辉. 长江中下游粮食主产区耕地利用生态效率区域差异与空间收敛[J]. 自然资源学报, 2022, 37(2): 477—493.
Liu Mengba, Zhang Anlu, Wen Gaohui. Regional differences and spatial convergence in the ecological efficiency of cultivated land use in the main grain producing areas in the Yangtze Region [J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(2): 477—493.
- [14] 文高辉, 刘蒙罢, 胡贤辉, 等. 洞庭湖平原耕地利用生态效率空间相关性与空间效应[J]. 地理科学, 2022, 42(6): 1102—1112.
Wen Gaohui, Liu Mengba, Hu Xianhui, et al. Spatial correlation and spatial effect of cultivated land use ecological efficiency in the Dongting Lake plain [J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(6): 1102—1112.
- [15] 胡贤辉, 刘蒙罢, 文高辉. 中国耕地集约利用与生态效率耦合协调时空分异特征研究[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(10): 2282—2294.
- [16] 罗怀良. 中国农田作物植被碳储量研究进展[J]. 生态环境学报, 2014, 23(4): 692—697.
Luo Huailiang. Advances on carbon storage in crops of China [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(4): 692—697.

- [17] 韩召迎, 孟亚利, 徐娇, 等. 区域农田生态系统碳足迹时空差异分析——以江苏省为案例[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(5): 1034—1041.
- Han Zhaoying, Meng Yali, Xu Jiao, et al. Temporal and spatial difference in carbon footprint of regional farmland ecosystem: Taking Jiangsu province as a case [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2012, 31(5): 1034—1041.
- [18] 陈敏鹏, 陈吉宁, 赖斯芸. 中国农业和农村污染的清单分析与空间特征识别[J]. 中国环境科学, 2006(6): 751—755.
- Chen Minpeng, Chen Jining, Lai Siyun. Inventory analysis and spatial distribution of Chinese agricultural and rural pollution [J]. China Environmental Science, 2006(6): 751—755.
- [19] 赖斯芸, 杜鹏飞, 陈吉宁. 基于单元分析的非点源污染调查评估方法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2004(9): 1184—1187.
- Lai Siyun, Du Pengfei, Chen Jining. Evaluation of non-point source pollution based on unit analysis [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2004(9): 1184—1187.
- [20] 崔叶辰, 韩亚丽, 吕宁, 等. 基于超效率SBM模型的农业生态效率测度[J]. 统计与决策, 2020, 36(21): 87—90.
- Cui Yechen, Han Yali, Lü Ning, et al. Measurement of agro-ecological efficiency based on super-efficient SBM modeling [J]. Statistics & Decision, 2020, 36(21): 87—90.
- [21] 李波, 张俊飏, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(8): 80—86.
- Li Bo, Zhang Junbiao, Li Haipeng. Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(8): 80—86.

(上接第 286 页)

- Shi Linrong, Zhao Wuyun, Sun Wei. Parameter calibration of soil particles contact model of farmland soil in northwest arid region based on discrete element method [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(21): 181—187.
- [5] 刘宏俊, 张文毅, 纪要, 等. 基于离散元法的稻麦周年地区土壤仿真物理参数标定[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(12): 153—159.
- Liu Hongjun, Zhang Wenyi, Ji Yao, et al. Parameter calibration of soil particles in annual rice wheat region based on discrete element method [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(12): 153—159.
- [6] 向伟, 吴明亮, 吕江南, 等. 基于堆积试验的黏壤土仿真物理参数标定[J]. 农业工程学报, 2019, 35(12): 116—123.
- Xiang Wei, Wu Mingliang, Lü Jiangnan, et al. Calibration of simulation physical parameters of clay loam based on soil accumulation test [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(12): 116—123.
- [7] 刘坤宇, 苏宏杰, 李飞宇, 等. 基于响应曲面法的土壤离散元模型的参数标定研究[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(9): 143—149.
- Liu Kunyu, Su Hongjie, Li Feiyu, et al. Research on parameter calibration of soil discrete element model based on response surface method [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(9): 143—149.
- [8] 宋少龙, 汤智辉, 郑炫, 等. 新疆棉田耕后土壤模型离散元参数标定[J]. 农业工程学报, 2021, 37(20): 63—70.
- Song Shaolong, Tang Zhihui, Zheng Xuan, et al. Calibration of the discrete element parameters for the soil model of cotton field after plowing in Xinjiang of China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(20): 63—70.
- [9] 王国强, 郝万军, 王继新. 离散单元法及其在EDEM上的实践[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2010.
- [10] 胡国明. 颗粒系统的离散元素法分析仿真: 离散元素法的工业应用与EDEM软件简介[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2010.
- [11] 李艳洁, 吴腾, 林剑辉, 等. 基于离散元法的贯入圆锥对沙土颗粒运动特性分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 55—61.
- [12] 李俊伟, 佟金, 胡斌, 等. 不同含水率黏重黑土与触土部件互作的离散元仿真参数标定[J]. 农业工程学报, 2019, 35(6): 130—140.
- Li Junwei, Tong Jin, Hu Bin, et al. Calibration of parameters of interaction between clayey black soil with different moisture content and soil-engaging component in northeast China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(6): 130—140.
- [13] 任露泉. 土壤粘附力学[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [14] Ucgul M, Saunders C, Fielke J M. Discrete element modelling of tillage forces and soil movement of a one-third scale mouldboard plough [J]. Biosystems Engineering, 2017, 155: 44—54.
- [15] Sun J Y, Wang Y M, Ma Y H, et al. DEM simulation of bionic subsoilers (tillage depth > 40 cm) with drag reduction and lower soil disturbance characteristics [J]. Advances in Engineering Software, 2018, 119: 30—37.
- [16] 郝新敏, 杨元, 黄斌香. 聚四氟乙烯微孔膜及纤维[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.