

# 陕西省耕地利用强度分化特征 及其影响因素研究

周传龙,李莹莹,李丁一,钱振宇,张青峰

(西北农林科技大学资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

**摘要:**采用投入强度和技术效率评估方法对陕西省省域、区域、市域不同尺度的耕地开发利用强度和驱动因子进行分析。结果表明:(1)从陕西省单位耕地面积投入要素的强度分化指数 $P$ 值来看,劳动力和机械投入差距不大( $P$ 值分别为0.409和0.649)且在不同尺度上相对均匀,而生物化学要素投入表现出较大的分化特征,化肥、农药和农膜要素的 $P$ 值分别为0.847、1.026和1.472;(2)从影响因素的解释力 $q$ 值来看,影响陕西省耕地开发强度分化的驱动力表现为:城镇化率(0.866)>耕地质量(0.855)>农民人均可支配收入(0.551)>耕地地形起伏(0.485)>GDP(0.210)>劳均耕地面积(0.202),社会经济条件和耕地自然基本条件对耕地利用强度的影响高于耕地经营利用因素,且社会经济条件是决定耕地利用强度的主导因素;(3)陕西省87.85%县域的耕地开发强度基本处于最高收益配置,生物化学投入要素是陕西省耕地生产效率的主要限制因素。

**关键词:**耕地利用强度;分化特征;影响因子;陕西省

**中图分类号:**S19; F301.2 **文献标志码:**A

## Differentiation characteristics and influencing factors of cultivated land utilization intensity in Shaanxi Province

ZHOU Chuanlong, LI Yingying, LI Dingyi, QIAN Zhenyu, ZHANG Qingfeng

(College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** In this study, investment intensity and technical efficiency evaluation methods were employed to analyze the intensity of cultivated land development and utilization, as well as the driving factors, across different scales in Shaanxi Province, including provincial, regional, and municipal levels. The results showed that: (1) From the perspective of the intensity differentiation index  $P$  value of input factors per unit cultivated land area in Shaanxi Province, there was not much difference in labor and machinery input ( $P=0.409$  and  $P=0.649$ , respectively) and they were relatively uniform at different scales. However, the input of biological chemistry exhibited significant differentiation characteristics, with  $P$  values of 0.847, 1.026, and 1.472 for chemical fertilizer, pesticide, and agricultural film elements, respectively. (2) Based on the explanatory power ( $q$  value) of the influencing factors, the driving forces affecting the differentiation in cultivated land development intensity in Shaanxi Province were ranked as follows: urbanization rate (0.866) > cultivated land quality (0.855) > per capita disposable income of farmers (0.551) > cultivated land topography (0.485) > gross domestic product (0.210) > cultivated land area per laborer (0.202). The influence of socio-economic conditions and natural basic conditions of cultivated land on the intensity of cultivated land utilization was higher than that of cultivated land management and utilization factors, and the socio-economic conditions were the dominant factors determining cultivated land utilization intensity. (3) The development intensity of cultivated land in 87.85% of counties in Shaanxi Province was basically in the highest profit configuration, and biological chemistry input factors were the main limiting factors for

cultivated land production efficiency in Shaanxi Province.

**Keywords:** cultivated land utilization intensity; differentiation characteristic; influencing factors; Shaanxi Province

土地利用强度是定量衡量人类开发利用、管理和保护土地的程度以及衡量土地生产能力的有效方法<sup>[1]</sup>。随着社会经济的发展以及工业与生物化学技术的不断进步,土地利用强度出现不同层次的分化,不同地区的分化情况对进行国土空间规划具有重要意义<sup>[2]</sup>。

耕地是指有一定物质和技术投入,用于粮食产出的作物用地<sup>[3]</sup>。改革开放以来,随着工业化和城镇化进程不断深化,大量耕地特别是优质耕地资源被占用,耕地的非农化现象亦很突出,严重影响到我国的粮食安全<sup>[4]</sup>。在我国耕地资源数量和质量有限的情况下,分析耕地利用强度及其分化现象,成为提高我国耕地生产能力和耕地资源利用效率的重要手段<sup>[5]</sup>,同时可为我国国土空间规划和农业生产提供新思路,从而更好地为耕地利用与保护指明方向<sup>[6]</sup>。

目前,耕地利用强度分析主要有3类计算方法<sup>[1]</sup>:频率指标和面积比例指标方法、产出强度和净初级生产的人力分配(HANPP)评估方法、投入强度和技术效率评估方法。其中,频率指标和面积比例指标方法仅表示人类活动的频率及其所影响的耕地面积比例,并未将土地的投入和产出量考虑在内,仅适合相同投入方式下耕地之间利用强度的比较。HANPP评估方法采用单位面积土地产出和受人为因素干扰的净初级生产力(NPP)的变化来计算产出强度,该方法在比较不同气候类型、不同土地利用方式的土地利用强度之间缺乏科学性,也忽略了人为干扰对除NPP之外其他产出要素的影响。相比之下,投入强度和技术效率评估方法针对不同程度的土地治理目标,综合考虑了投入因素(如劳动力、机械、化学和生物用品)对土地产出的影响,可根据土地整治目标的特点选择不同投入因子和方法,具有良好的普适性<sup>[7-10]</sup>。该方法中,投入强度主要考虑劳动力、技术和货币等资源要素在土地利用中的分配状况<sup>[7]</sup>,投入强度的差异是耕地利用强度分化的重要特征,在空间上表现为投入要素的异质性强弱,即耕地投入在空间分布上的离散程度<sup>[6]</sup>;技术效率评价是投入强度测算的重要方面,常用于比较相似自然因素下不同地区土地利用强度 and 经济技术之间的差异<sup>[11]</sup>。

目前,有关耕地利用强度分化的研究主要从耕

地产出潜力和实际产出之间的差距<sup>[7]</sup>,耕地资源的开发广度、深度、频度和强度<sup>[8]</sup>,耕地投入指标与粮食产量的耦合关系<sup>[4]</sup>,耕地投入要素在一定区域内的分配<sup>[6]</sup>等方面展开,而对耕地投入要素产生的效益、耕地资源的开发分化、耕地利用强度的影响因子等情况缺乏系统研究<sup>[12]</sup>,亦未能综合考虑区域内部耕地投入要素的差异及其影响因子的作用情况。

因此,本文基于2019年陕西省县域层次上耕地生产要素的投入量,建立耕地利用强度及其分化模型,以分析省域、区域和市域尺度耕地利用强度及其分化特征,并利用地理探测器模型和地理加权回归模型,对县域间耕地利用强度及分化的主要影响因素进行诊断,通过数据包络分析方法对市域和县域的耕地生产效率进行剖析,以期对陕西省耕地合理利用和规划提供科学的决策依据。

## 1 研究区概况

陕西省是我国重要的粮食、果品和特色农作物生产基地,总面积约20.56万km<sup>2</sup>,位于105°30'~111°15'E,31°40'~39°35'N,南北长878.0 km,东西宽517.3 km,表现出南北高、中部低、由西向东倾斜的地势特征。陕西省由北向南可分为地理、历史、文化、气候和语言不同的三大地区:陕北、关中和陕南。全省共有10个地级市(西安市、宝鸡市、咸阳市、渭南市、铜川市、延安市、榆林市、安康市、汉中市、商洛市)和107个县级单元(3个县级市、80个县和24个市辖区)。2019年,陕西省耕地面积约为3.01万hm<sup>2</sup>,占全省总土地面积的14.63%,主要集中在陕北和关中地区(占总耕地面积的81%),且半数以上分布在榆林市、渭南市、咸阳市、宝鸡市4个地级市。

## 2 研究方法 with 数据来源

### 2.1 耕地利用强度测算方法

耕地投入结构和投入量的变化是耕地利用强度的主要表现特征,通常用单位耕地面积上劳动力、机械、化学和生物用品的投入量表示<sup>[13]</sup>。本文选取具有代表性的投入要素,分别为农业劳动力、农业机械动力、农用塑料薄膜、化肥和农药共5项。耕地利用强度测算公式如下:

$$I_{ij} = \frac{C_i}{a_j} \quad (1)$$

式中,  $I_{ij}$  为耕地  $j$  投入要素  $i$  的强度指数, 其值越高表明这项投入要素在该耕地上的投入水平越高;  $C_i$  为要素  $i$  的投入量;  $a_j$  为耕地  $j$  的面积 ( $\text{hm}^2$ )。

## 2.2 耕地利用强度分化测度模型

耕地利用强度分化特征可用耕地利用强度统计值的离散性表示, 公式如下:

$$\bar{I}_i = \sum_{j=1}^m \frac{a_j I_{ij}}{A} \quad (2)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^m a_j (I_{ij} - \bar{I}_i)^2}{A - (1 - 1/m)}} \quad (3)$$

$$P_i = \frac{S_i}{\bar{I}_i} \quad (4)$$

$$P = \sqrt[5]{P_1 P_2 P_3 P_4 P_5} \quad (5)$$

式中,  $\bar{I}_i$  为耕地投入要素  $i$  的强度指数加权平均值;  $A$  是耕地总面积 ( $\text{hm}^2$ );  $m$  为耕地  $j$  的总数量;  $S_i$  表示加权标准偏差;  $P_i$  为耕地投入要素  $i$  的强度分化指数;  $P$  为 5 种投入要素的综合分化指数。

## 2.3 地理探测器模型

地理探测器模型<sup>[14]</sup>通过局部方差与全局方差的关系获得影响因素解释力  $q$  值, 从而获得某种因素对空间分异结果的影响程度<sup>[6]</sup>, 以确定不同影响因素的贡献程度。本文选取耕地自然属性因素(耕地地形起伏度、耕地质量)、社会经济要素(农民人均可支配收入、GDP、城镇化率)和耕地经营利用状况(劳均耕地面积)3个方面共6个因子, 探索影响陕西省耕地利用强度和分化指数的主要因素。其中, 耕地质量是耕地利用的基础, 用耕地标准系数进行衡量, 计算方法如下:

$$CLSI_{ij} = \frac{Y_i \cdot MCI_i}{Y_c \cdot MCI_c} \quad (6)$$

式中,  $CLSI_{ij}$  为耕地标准系数;  $Y$  为粮食单产 ( $\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$ );  $MCI$  为复种指数;  $i, c$  分别代表县域和省域尺度。

在进行影响因子的地理探测分析时, 本文使用自然断点法, 将 6 个因子分段表示为 5 个层次<sup>[13]</sup>。

## 2.4 地理加权回归(GWR)模型

地理探测器模型对不同空间位置影响因素作用效应的分异特征会有一定程度的掩盖, 使探测结果不够精确。因此, 本文同时采用可反映空间异质性的 GWR 模型, 用以分析影响耕地利用强度分化因素作用效应在空间上的异质性<sup>[6]</sup>。利用 Geoda 软件中 Moran's  $I$  指数分析陕西省各县域耕地利用强度分化指数  $P$  值在空间上的自相关性, 其中, Moran's  $I$  指数越接近 0, 说明因子空间分布越随机; 利用 ArcGIS 软件分析 6 个因子在空间上作用情况的分异特征。

## 2.5 数据包络分析法(DEA)

耕地利用强度与分化特征的研究表明了研究区域中各种投入要素的使用情况, 但未能详细说明利用强度对耕地的利用活动产生了何种影响。为分析影响关系, 本文使用 DEA 进行研究, 以求获得陕西省耕地开发强度与耕地效率之间的关系。

DEA 方法通过数学规划模型来评估决策单元(DMU)的效率, 用于评价多输入和多输出指标的相对效率, 特别适用于处理具有多指标投入和多指标产出的复杂系统, 能够通过比较不同 DMU 的效率来确定哪些 DMU 相对有效, 哪些需要改进<sup>[15]</sup>。本文以选定的 5 种投入指标作为输入指标, 选取粮食产量、单位耕地农业产值和劳均农林 GDP 作为输出指标, 同时为防止模型因衡量生产绩效而产生假设与实际不符的现象, 采用了规模报酬可变的 BCC 模型进行了相关计算。总技术路线见图 1。

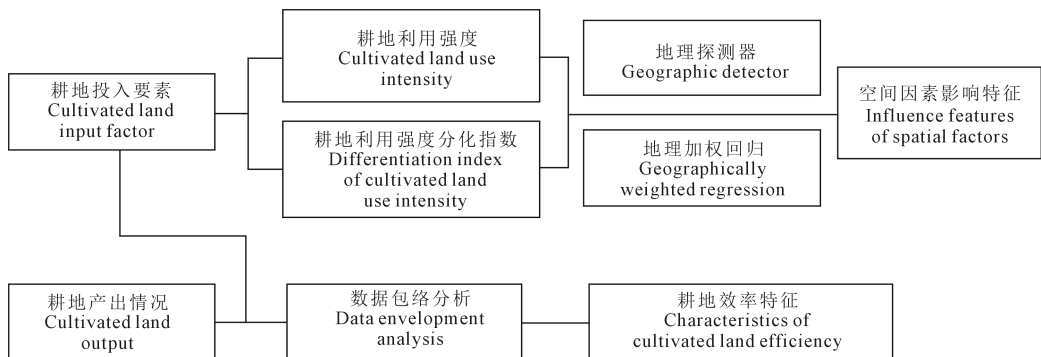


图 1 技术路线图

Fig.1 Technology roadmap

## 2.6 数据来源和处理

劳动力投入、农药投入、农民可支配收入、GDP、城镇化率、农业产值等数据来自2020年陕西省各市统计年鉴。农业机械总功率、化肥投入、农用薄膜投入、耕地规模、粮食产量等数据来自2020年《陕西统计年鉴》<sup>[16]</sup>。耕地地形起伏度、耕地质量数据来自第二次土壤普查数据。数据采用相同的计量标准。

## 3 结果与分析

### 3.1 耕地利用分化特征

3.1.1 省域尺度 陕西省5种投入要素耕地利用强度指数( $I$ )和耕地利用强度分化指数( $P$ )测算结果如图2和表1所示。

整体来看,化肥、机械、农药投入的强度指数呈现南北低、中间高的空间分布特征;劳动力投入的强度指数分布比较均匀,平均为 $3.284 \text{ 人} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,仅灞桥、洛川、黄陵高于 $9 \text{ 人} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,表明陕西省整体耕地数量充足;农用薄膜投入强度呈西高东低的变化特征,大部分县域低于 $1.185 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,其中未央区、阎良区、陇县、凤县、太白县、千阳县的农膜投入强度大于 $75 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,远高于陕西省平均农膜投入水平( $10.01 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )。在化学和生物产品投入方面,化肥、农药、农膜的投入强度分别为 $0.534 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $4.567 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 、 $10.01 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,说明陕西省的农业现代化建设已经取得一定成效。

陕西省省域尺度耕地利用强度分化指数 $P$ 值为0.806,而单项投入要素的 $P$ 值介于0.409~1.472,说明陕西省耕地利用强度具有较为明显的分化特征,其分化程度表现为农膜>农药>化肥>机械>劳动力,且机械和劳动力的投入情况相对均匀;农

膜、农药和化肥投入的分化程度大于全省的综合分化程度且投入强度差异较大,其中农膜要素 $P$ 值为1.472,远高于陕西省整体分化程度(0.806),全省农膜投入存在较大差异。劳动力和机械投入作为基础生产条件在省域尺度上的变化情况相似,但不同地区化学和生物产品的需求具有较大差异。

3.1.2 区域尺度 由陕西省三大区域耕地利用强度分化测算结果(表2)可知,陕北地区 $P$ 值为1.027,远高于汉中和陕南地区,空间上呈现北高南低的格局,说明陕北地区5种要素的投入具有较大差异,而汉中和陕南的要素投入则更为均匀。

由图2和表2可知,5种投入要素的 $I$ 值基本呈现中部高、南北低的分布,这与陕西省人口分布、气候条件、种植习惯和立地条件的空间综合作用相关。汉中地区5种要素投入程度总体上大于陕南和陕北地区,这主要受汉中经济、人口、地势等因素的影响。在劳动力投入上,三大地区 $I$ 值基本相同,地区内部的分化强度相对低于其他要素;在机械要素投入上,汉中地区 $I$ 值为 $9.259 \text{ kw} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,远高于陕南和陕北,表明汉中在农业机械的使用上高于其他两个地区,同时陕北地区机械投入 $P$ 值为0.908,表明该地区内部机械要素的投入分化较大;在化肥投入上,汉中、陕南、陕北地区依次减少,汉中 $I$ 值最高( $0.980 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),陕北最低( $0.205 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),同时陕北地区的化肥投入 $P$ 值为2.176,高于陕南和汉中,说明其区域内化肥要素投入极其不平衡;在农药投入上,汉中的 $I$ 值最大( $6.791 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),是陕南和陕北地区该要素投入的210%左右,且汉中农药投入 $P$ 值为0.854,低于陕南和陕北地区;汉中地区农膜投入 $I$ 值为 $16.030 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,大于其他2个地区,且 $P$ 值为1.429,均表明汉中地膜投入量较大,

表1 2019年陕西省耕地利用强度分化指数

Table 1 Differentiation index of cultivated land use intensity in Shaanxi Province in 2019

劳动力 Labor		机械 Machine		化肥 Chemical fertilizer		农药 Pesticide		农膜 Plastic film		$P$
$\bar{I}_1$	$P_1$	$\bar{I}_2$	$P_2$	$\bar{I}_3$	$P_3$	$\bar{I}_4$	$P_4$	$\bar{I}_5$	$P_5$	
$\text{/(No.} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(kw} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(t} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(kg} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(kg} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		
3.284	0.409	6.085	0.649	0.534	0.847	4.567	1.026	10.01	1.472	0.806

表2 陕西省三大区域要素投入 $P$ 值和 $I$ 值

Table 2  $P$  and  $I$  index of three regional input factors

区域 Region	劳动力 Labor		机械 Machine		化肥 Chemical fertilizer		农药 Pesticide		农膜 Plastic film		$P$
	$\bar{I}_1$	$P_1$	$\bar{I}_2$	$P_2$	$\bar{I}_3$	$P_3$	$\bar{I}_4$	$P_4$	$\bar{I}_5$	$P_5$	
	$\text{/(No.} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(kw} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(t} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(kg} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(kg} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		
陕南 Shannan	3.395	0.317	5.658	0.367	0.342	0.685	3.252	1.462	8.262	0.728	0.611
汉中 Hanzhong	3.418	0.327	9.259	0.592	0.980	0.567	6.791	0.854	16.030	1.429	0.669
陕北 Shanbei	3.089	0.546	3.212	0.908	0.205	2.176	3.135	1.065	5.112	0.993	1.027



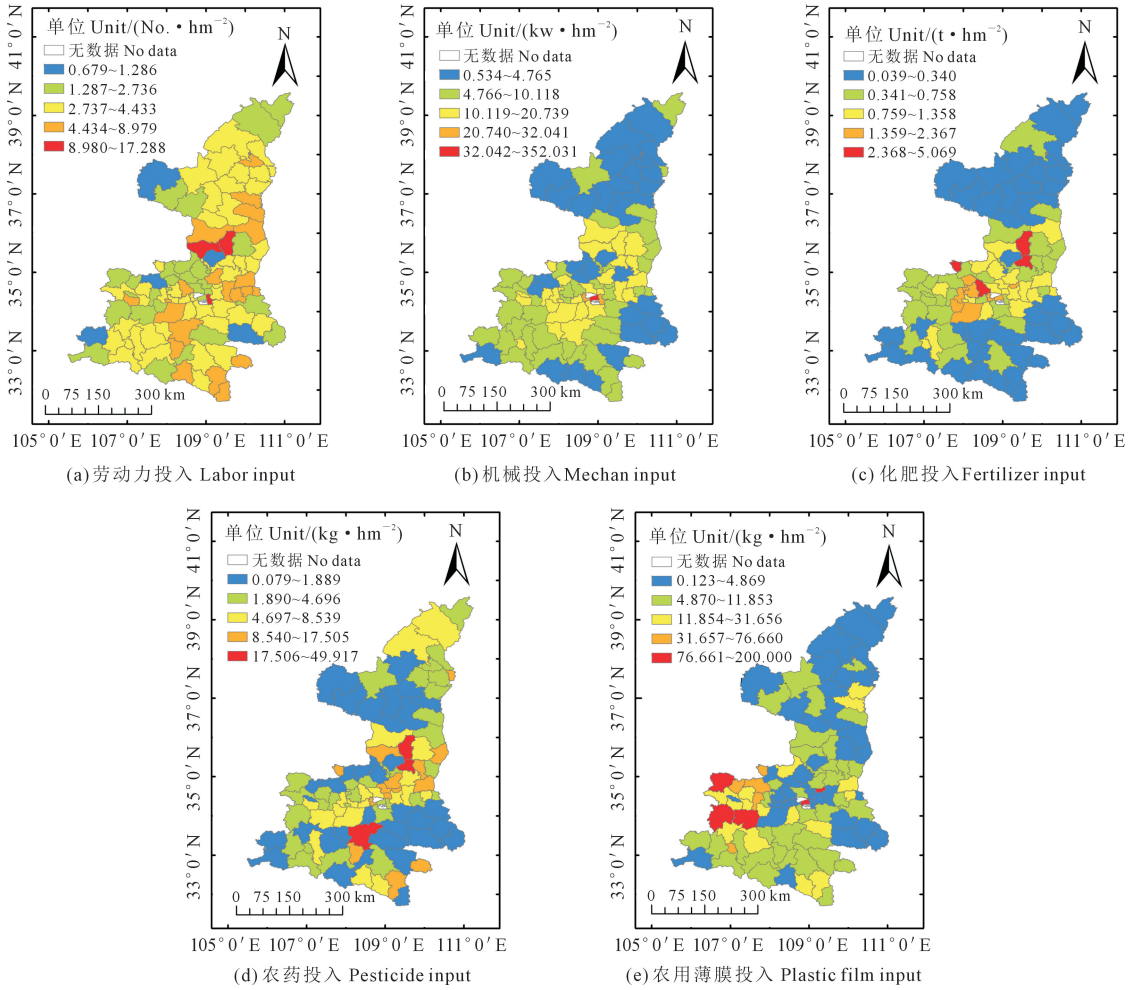


图 2 陕西省耕地投入要素的强度指数空间分布

Fig.2 Spatial distribution of input intensity for cultivated land in Shaanxi Province

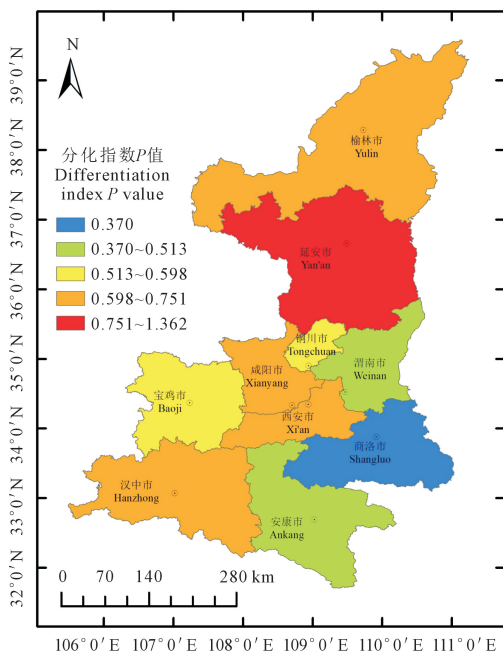


图 3 陕西省各市域耕地利用强度分化指数  
Fig.3 Cultivated land use intensity differentiation index in municipality of Shanxi Province

区域之间的分化更明显。综合来看,每个区域均存在某种投入要素的分化程度较其他要素更大的情况,说明社会经济和种植作物情况会导致 3 个不同区域之间耕地投入要素的分化情况存在较大差异。

3.1.3 市域尺度 以县域 P 值测算为基础,对陕西省 10 个地市的耕地利用分化情况进行测算,结果如图 3 所示。延安市市域 P 值为 1.362,远超陕西省整体水平(0.806);其次为西安市市域( $P=0.751$ ),略低于全省水平,这表明延安市市域范围内各投入要素分布不均衡性高于陕西省整体水平,而西安市市域各要素投入略优于陕西省总体水平。延安市、汉中市和西安市 3 个地级市的 P 值均高于其所在市域,其他地级市 P 值则低于其所在市域。其中,商洛市的 P 值最低,仅为 0.370,说明其内部要素投入最均匀。在空间上,全省尺度上 P 值呈由南向北逐渐增加的趋势;P 值较小的地级市主要集中在陕南地区,较大的地级市集中在陕北地区,与三大区域的分化结果相吻合,也表明陕南地区及其内部各市

的农业发展均衡性高于其他地区。

从各市域投入要素的测算结果(表3)来看,劳动力要素 $I$ 值最大的是安康市( $4.473 \text{ 人} \cdot \text{hm}^{-2}$ ),其次为渭南市和延安市,投入最少的为铜川市( $1.631 \text{ 人} \cdot \text{hm}^{-2}$ );渭南市机械要素 $I$ 值为  $11.160 \text{ kw} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,比最低投入量的榆林市高出  $296.7\%$ ;咸阳市和西安市化肥要素 $I$ 值均大于  $1 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,而榆林市投入最少( $0.146 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ );农药要素 $I$ 值高于全省整体水平( $4.567 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )的市域为渭南市、西安市、安康市和咸阳市,最低的是商洛市,仅为  $0.564 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;农膜要素 $I$ 值在不同市域之间差距最大,宝鸡市( $44.180 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )为铜川市( $3.048 \text{ kg} \cdot$

$\text{hm}^{-2}$ )的  $1350.7\%$ ,宝鸡市是全省投入 $I$ 值( $10.01 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ )的  $4.4$  倍。从5种要素 $P$ 值来看,各市域劳动力投入分布比较均匀, $P$ 值最高的为延安市( $0.662$ ),最低的为渭南市( $0.261$ );农膜投入在各市域内表现出较大的不均衡性,西安市农膜投入 $P$ 值最大( $1.778$ ),其次为咸阳市( $1.671$ ),与第3位的延安市差距较大;农药要素投入 $P$ 值平均为  $0.998$ ,其中延安市最高( $2.623$ );各地级市的机械要素 $P$ 值除延安市最大( $1.019$ )外均在  $0.5$  左右浮动且差距较小。陕西省各市域的劳动力投入间差距较小, $P$ 值均值为  $0.389$  且变化较小;各市域在化学及生物用品上投入差距较大,农膜要素的不均衡性最为明显。

表3 陕西省市域投入要素的耕地利用强度指数和分化指数

Table 3 Cultivated land use intensity and differentiation index of municipal input factors in Shaanxi Province

地级市 Prefecture-level city	劳动力 Labor		机械 Machine		化肥 Chemical fertilizer		农药 Pesticide		农膜 Plastic film		$P$
	$\bar{I}_1$	$P_1$	$\bar{I}_2$	$P_2$	$\bar{I}_3$	$P_3$	$\bar{I}_4$	$P_4$	$\bar{I}_5$	$P_5$	
	$\text{/(No.} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(kw} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(t} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(kg} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		$\text{/(kg} \cdot \text{hm}^{-2}\text{)}$		
西安市 Xi'an City	4.061	0.370	10.200	0.895	1.008	0.444	5.679	0.916	13.910	1.778	0.751
宝鸡市 Baoji City	2.348	0.365	8.424	0.556	0.851	0.547	3.381	0.667	44.180	1.032	0.598
安康市 Ankang City	4.473	0.298	6.011	0.300	0.290	0.570	5.611	1.306	8.578	0.472	0.500
汉中市 Hanzhong City	2.727	0.373	6.426	0.456	0.450	0.806	2.055	0.877	9.898	0.924	0.644
商洛市 Shangluo City	2.359	0.310	3.763	0.257	0.276	0.248	0.564	0.543	5.076	0.642	0.370
铜川市 Tongchuan City	1.631	0.433	3.895	0.366	0.590	0.458	1.562	0.896	3.048	0.929	0.571
渭南市 Weinan City	4.320	0.261	11.160	0.499	0.880	0.590	11.520	0.789	8.813	0.586	0.513
咸阳市 Xianyang City	3.015	0.418	7.869	0.491	1.335	0.626	4.865	0.627	6.642	1.671	0.670
延安市 Yan'an City	4.261	0.662	4.222	1.019	0.364	2.367	2.072	2.623	7.079	1.117	1.362
榆林市 Yulin City	2.657	0.399	2.840	0.813	0.146	0.639	3.527	0.635	4.387	0.843	0.644

## 3.2 耕地利用强度区域影响因素

3.2.1 影响因素的地理探测结果 耕地利用特征是多种因素相互影响的结果。由地理探测结果可知,6个因子对耕地利用强度分化的解释力 $q$ 值存在一定差别,表现为城镇化率( $0.866$ )>耕地质量( $0.855$ )>农民人均可支配收入( $0.551$ )>耕地地形起伏度( $0.485$ )> $GDP$ ( $0.210$ )>劳均耕地面积( $0.202$ )。由此可知,在社会经济基础下,城镇化率对陕西省耕地利用强度分化的影响最大,城镇化程度的提高加剧了生产分配的不平等性,成为影响农户土地利用行为的直接因素;其次为农民人均可支配收入,农民人均可支配收入是农业生产投资的经济基础,收入越高的农户会拥有更多的生产资源,土地的利用方式也会体现出综合性。在自然属性条件下,耕地质量是影响耕地利用强度分化最大的因素,其次是耕地地形起伏度,在耕作技术的发展和相关基础设施的投资建设下地形条件的限制不断减弱。在耕地经营利用状况下,劳动力在单位耕地面积上的投入对耕地利用强度分化的作用较小,这

是由于随着技术的进步和集约化生产的推进,人力已经不再是决定性因素,较少的人也可以发挥较大的作用。总体上,耕地经营利用状况对耕地利用强度分化的影响要弱于其他两个方面,说明社会经济条件和耕地自然基础条件的优劣是影响陕西省耕地利用强度变化的主要原因,社会经济条件则是决定耕地利用强度的主导因素。

3.2.2 影响因素作用的空间分异 由图4可知,陕西省耕地开发强度的Moran's  $I$ 指数为  $0.292$ ,通过显著 $Z$ 检验( $P=0.001$ ),说明各县域的耕地利用开发强度在空间上具有显著的自相关。

通过GWR模型结果(图5)可知,不同因子的回归系数在空间上呈现出明显的分异特征。空间差异最大的因子是农民可支配收入,其对西安市和咸阳市耕地利用分化主要为正向促进作用,对宝鸡市和汉中市则起负向作用;城镇化率效应空间差异最小,以负向作用为主,仅对延安市的部分县域呈现出正向影响。从回归系数的分布来看,地形起伏状况特别是山区和地形过渡地区对耕地利用强度

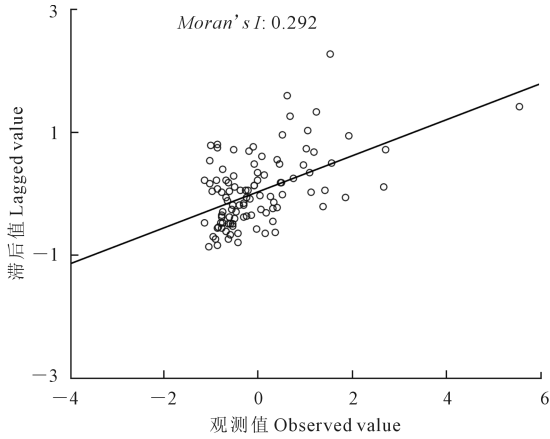


图 4 陕西省耕地开发强度 Moran's I 指数  
Fig.4 Moran's I index of cultivated land development intensity in Shaanxi Province

分化表现出更强的约束作用;耕地质量具有显著的空间差异,其回归系数整体上呈正向效应,表现为负值的县域仅 32 个且主要集中在地形比较复杂的宝鸡市和汉中市;社会经济状况因子 GDP 和城镇化率回归系数空间趋向相似,基本上呈负向效果,而 GDP 的负向效果在关中地区表现更为明显,城镇化率的负向效果在陕南西部表现明显;劳均耕地面积的回归系数空间差异较小,呈现出南北负、中间正的空间特征。

综合来看,社会经济条件对耕地利用强度分化的影响更为明显。耕地自然基础状况因子在省域尺度上的影响要弱于其他两个方面,说明耕地经营利用方式和社会经济条件是影响耕地利用强度更为重要的因素。

### 3.3 耕地利用强度与耕地效率的关系分析

通过 DEA 方法获得陕西省 10 个市域的技术效率、纯技术效率、规模效率和规模报酬特征结果(表 4),同时获得县域规模报酬特征(图 6)。

由表 4 可知,陕西省各市域规模报酬特征不变或递减,说明耕地投入要素已经基本达到饱和状态。西安市、宝鸡市、安康市和渭南市的技术效率均小于 1,说明这 4 个市域的耕地要素存在过度投入现象,耕地投入要素取得的收益并未达到最优水平;从纯技术效率分析,安康市和渭南市市域值小于全省平均值,并未达到最优解。

由图 6 可知,陕西省 87.85%的县域规模报酬特性为不变或递减,说明在现有耕地规模上要素投入增加的成本将少于产出增加的收益,不宜再进行大规模的要素投入。规模报酬递增的县域共 8 个(永寿县、耀州区、三原县、丹凤县、韩城市、安塞县、府谷县、神木市),加大开发强度将获得比较明显的收益。

表 4 陕西省 2019 年耕地生产效率  
Table 4 Cultivated land production efficiency in Shaanxi Province in 2019

地级市 Prefecture-level city	技术效率 Technical efficiency	纯技术效率 Pure technical efficiency	规模效率 Scale efficiency	规模报酬特征 Scale reward characteristics
西安市 Xi'an City	0.815	1.000	0.815	递减 Degression
宝鸡市 Baoji City	0.955	1.000	0.955	递减 Degression
安康市 Ankang City	0.914	0.945	0.967	递减 Degression
汉中市 Hanzhong City	1.000	1.000	1.000	不变 No effect
商洛市 Shangluo City	1.000	1.000	1.000	不变 No effect
铜川市 Tongchuan City	1.000	1.000	1.000	不变 No effect
渭南市 Weinan City	0.610	0.690	0.883	递减 Degression
咸阳市 Xianyang City	1.000	1.000	1.000	不变 No effect
延安市 Yan'an City	1.000	1.000	1.000	不变 No effect
榆林市 Yulin City	1.000	1.000	1.000	不变 No effect
平均值 Mean	0.929	0.963	0.962	

总体上,陕西省耕地开发强度基本处于最高收益配置。耕地投入要素集中在经济较发达地区,考虑到全省耕地强度分化较大,有些区域可能受开发强度的限制而影响陕西省整体的技术效率。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

通过耕地利用强度及其分化指数的测度,可以了解研究区不同投入要素的利用强度和分化程度。本研究通过对陕西省耕地生产效率的相关计算,明确了陕西省不同尺度耕地资源开发方向,也为农业土地空间规划和治理工作提供参考。通过对影响耕地开发强度的 6 个影响因子进行驱动力和空间分异探索,陕西省耕地开发强度与分化特征受社会经济发展的影响较大,自然基础的影响要小于另外两种因素,表明经济和技术的不断发展可以在一定程度上降低自然基础因素产生的限制作用。通过对耕地生产效率的分析发现,单位面积要素投入所对应的单位面积效益产出已经出现饱和状态,提高单位面积要素投入所带来的效益已经出现降低趋势,不宜再进行大规模要素投入。集体经营的规模效益与目前个体经营的效益情况还未深入研究,分析



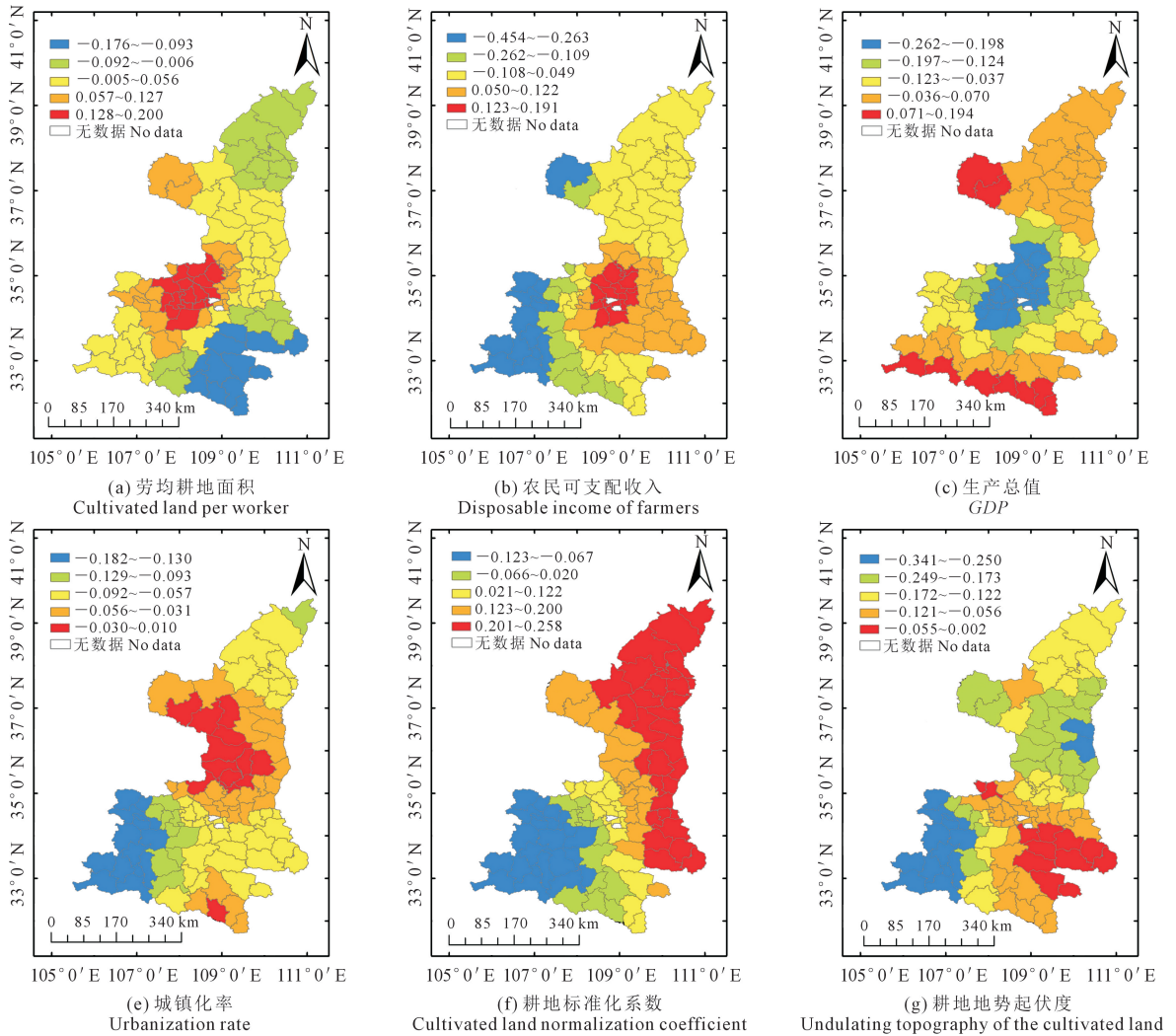


图 5 影响因子回归系数空间分异

Fig.5 Spatial differentiation of regression coefficients of influencing factor

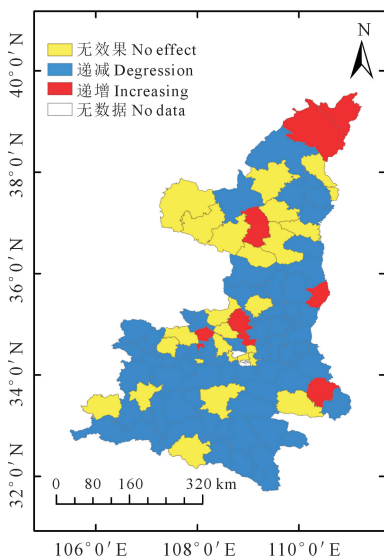


图 6 陕西省县级耕地效率的规模报酬特征

Fig.6 Scale reward characteristics of county-level cultivated land efficiency in Shaanxi Province

不同地区两种经营方式带来的效益,将对陕西省农业土地空间规划提供依据。

本文主要对县域单元数据进行了相关探索,选用的投入强度指标为劳动力、机械、化肥、农药和农膜 5 种要素,存在着尺度和投入要素上的局限性,对耕地单元和农户个体上的异质性与非均质性产生了一定程度的掩盖。同时,根据计算结果可知,基于投入强度和技术效率评估方法计算耕地利用强度具有良好的普适性,对于省域、区域和市域不同尺度上的总体规划有科学参考价值。对陕西省耕地生产效率仅采用 DEA 方法进行了分析,将陕西省耕地开发强度分化特征作为限制条件,创建基于地区分化特征的耕地生产效率计算方法,分析不同分化程度下耕地开发强度的提高潜力,或将成为今后耕地效率研究的重点问题。在今后的研究中可通过扩展研究时间范围,阐明陕西省耕地利用强度变化的时序特征,以进一步完善耕地利用强度在县域尺度上的研究体系。



## 4.2 结 论

利用投入强度和技术效率评估方法,系统分析了陕西省省域、区域、市域不同尺度 5 种耕地投入要素的强度和分化特征,6 个影响耕地利用分化因子的空间异质性,以及耕地开发强度和耕地生产效率之间的关系,结果如下:

(1)在全省层面上,农业劳动力( $I_1 = 3.284 \text{ 人} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $P_1 = 0.409$ )与农业机械( $I_2 = 6.085 \text{ kw} \cdot \text{hm}^{-2}$ ,  $P_2 = 0.649$ )投入的强度、分化情况较为均匀;耕地化学和生物用品需求的分化程度较大( $P_3 = 0.847$ ,  $P_4 = 1.026$ ,  $P_5 = 1.472$ )。区域层面上,3 个区域都各自有一个分化指数较大的投入要素类型,如汉中地区为农膜要素,陕南地区为农药要素,陕北地区为化肥要素,不同区域的经济和作物种植情况使得其投入要素的分化情况存在差异。市域层面上,陕西省耕地强度利用分化存在明显的差异性且其内部的耕地开发强度亦有较大差异,延安市耕地利用强度分化指数(1.362)远高于其他 9 个市域;化学和生物用品的投入强度有较大的不平衡性,而劳动力和机械的投入相对均匀。

(2)陕西省耕地利用开发强度在空间上具有较为显著的自相关特征( $\text{Moran}'s I = 0.292$ );从解释力  $q$  值来看,城镇化因子(0.866)、耕地质量(0.855)和农民人均支配收入(0.551)是主要的影响因子;就耕地自然基础条件和耕地经营利用状况而言,社会经济条件对耕地利用强度和分化特征作用更大,是影响耕地利用强度的主导因素。

(3)陕西省 87.85% 的县域规模报酬特征为不变或递减,耕地开发强度基本处于最高收益配置;耕地投入要素集中在经济较发达地区,生物化学投入要素是陕西省耕地生产效率的主要限制因素。

## 5 政策建议

1)陕西省劳动力和机械投入虽然分化程度较低,但作为基础投入要素,高质量的劳动力与先进的农业机械对耕地开发利用起重要作用。应提高延安市、渭南市、安康市的劳动力素质,通过技术培训、设备支持实现劳动力使用效率的提高;同时加快先进农机的研发推广,增加研发大型智能农机装备、丘陵山区适用小型机械和园艺机械的政策和经济支持。

2)化学和生物要素的耕地投入强度存在较大不平衡性,汉中的投入强度要大于陕南和陕北地区。虽然化学农药的投入在一定水平上提高了耕地产出,但也出现投入过量现象<sup>[17]</sup>,这不仅造成资源浪费,还产生了一系列环境问题。因此,需要通过政策引导,合理控制化肥、农药、农膜在不同区域

的投入使用,减少汉中市市域化肥和农药的使用量,同时合理分配陕南地区农药资源和陕北地区的化肥资源。

3)经济社会因素对陕西省耕地利用强度有较大影响,其在空间上的分布呈现更为明显的分异特征。因此,陕西省的土地市场还需进一步扩大与激活,应制定土地流转政策,与村级规划相结合,实现传统粮食种植向生态绿色经营的转变,减少以传统农户为单位的经营方式,提高多种主体或者集体为单位的耕地经营方式,以延长耕地产业链,增加农民收入,提高耕地的利用水平。

4)陕西省目前的耕地开发强度已基本处于最高收益配置,但不同市域间技术效率仍有较大差异,规模效益也主要以减少和不变为主。安康市和渭南市仍可适当加强技术效率,但鉴于耕地经营利用的主体主要是农户,因此鼓励土地经营权有序向新型农业经营主体流转,适度扩大经营规模,提高耕地生产要素的技术含量和利用效率,充分发挥土地规模效应。同时加强教育宣传,推动农户了解村民联合体、多种托管服务组与耕地产出的联系。

## 参 考 文 献:

- [1] 孙菲菲,张增祥,左丽君,等. 土地利用强度研究进展、瓶颈问题与前景展望[J]. 草业科学, 2020, 37(7): 1259-1271.  
SUN F F, ZHANG Z X, ZUO L J, et al. Current bottlenecks and prospects of the land use intensity[J]. Pratacultural Science, 2020, 37(7): 1259-1271.
- [2] 梁雨晴,赵姚阳. 土地开发强度研究现状[J]. 自然资源情报, 2023, 23(4): 32-37.  
LIANG Y Q, ZHAO Y Y. Research status of land development intensity[J]. Natural Resources Information, 2023, 23(4): 32-37.
- [3] 袁承程,张定祥,刘黎明,等. 近 10 年中国耕地变化的区域特征及演变态势[J]. 农业工程学报, 2021, 37(1): 267-278.  
YUAN C C, ZHANG D X, LIU L M, et al. Regional characteristics and spatial-temporal distribution of cultivated land change in China during 2009-2018[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(1): 267-278.
- [4] 孙英敏. 陕西省耕地利用转型与粮食产量耦合关系研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(7): 14-20.  
SUN Y M. The coupling relationship between the transformation of cultivated land utilization and grain yield in Shaanxi[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(7): 14-20.
- [5] 刘燕红,黄川林,熊凯. 重庆市耕地利用强度与产能潜力评价[J]. 经济研究导刊, 2011, (17): 62-65.  
LIU Y H, HUANG C L, XIONG K. Evaluation of cultivated land use intensity and productivity potential in Chongqing[J]. Economic Research Guide, 2011, (17): 62-65.