

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¹

王海力, 韩光中, 谢贤健

(内江师范学院地理与资源科学学院, 四川内江 641112)

【摘要】: 耕地作为粮食生产之基, 是人类社会赖以生存和发展的根源, 其利用效率的高低, 深刻影响着人类文明的发展与进步。以西南地区重庆、四川、贵州、云南 4 省(市) 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年 4 个年度的相关数据为基础, 利用 DEA 模型估算了耕地利用效率, 并通过全局 Moran' I、趋势面分析、指数从全局和局部分析了耕地利用综合效率的时空变化特征, 最后, 借助 GWR 回归模型分析了影响耕地利用效率空间分异的主要因素。结果表明: (1) 2000-2015 年间, 耕地利用效率高值区的城市数量在不断扩大。在空间分布上, 耕地利用效率稳定高值区域主要集中分布在四川省内的达州-德阳-成都-甘孜一线。重庆市耕地利用效率逐年增加的趋势; 四川省持续保持高利用效率, 且变化幅度不大; 而贵州有下降的趋势, 云南省则保持低效率利用状态。(2) 西南地区耕地利用效率主要为正向的空间自相关性, 空间分布趋势呈现出从西向东递增, 以及由南向北倒“U”型递增态势。耕地利用综合效率空间格局分异显著, 具有相对高值(低值)耕地利用效率在空间上呈现较强的组团式集聚分布态势, 冷热点空间极化现象较为明显, 界线分明, 层次清晰, 且随着时间变化, 冷热点区域在空间上的分布态势有由“组团式”向“条带式”分布转变的趋势。(3) 西南地区耕地利用效率时空演变受农民人均纯收入的影响最大, 其次为复种指数, 耕地质量和灌溉指数的影响程度相当, 人均 GDP 对耕地利用效率的影响在逐年增加, 地形因素的影响逐年减弱。

【关键词】: 耕地利用效率 时空格局 影响因素 西南地区

【中图分类号】: F323.211

【文献标识码】: A

【文章编号】: 1004-8227(2018)12-2784-12

DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201812015

耕地是人类赖以生存和发展的关键资源, 随着社会经济的快速发展, 耕地资源投入的增长速度大于产出的增长速度, 导致整体利用效率相对不足^[1]。耕地利用效率的高低是影响实施耕地保护战略的重要参考, 更是国家“粮食安全”的重要基础。工业化、城镇化的快速推进, 耕地资源不断退化, 耕地不断被占用, 大量优质耕地生态环境遭受污染, 耕地后备资源贫乏, 导致耕地资源可持续利用面临巨大挑战^[2]。因此, 科学合理的分析区域耕地利用效率的高低及其时空分异特征, 并探明影响区域耕地利用效率高低的因素, 能为提升区域耕地利用效率, 以及区域耕地利用及保护战略提供科学参考。

当前, 已有诸多学者采用不同的方法对不同尺度上的耕地利用效率进行研究。在利用效率评价方法上, 主流的评价方法为 DEA 模型评价法, 如杨朔等^[3]、李俏等^[4]、梁流涛等^[5]均采用了 DEA 方法对耕地利用效率进行了测度; 或将 DEA 模型与其他方

¹收稿日期: 2018-05-15; 修回日期: 2018-06-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(41401235); 内江师范学院科研项目(17JC12)

作者简介: 王海力(1986~), 男, 硕士, 实验师, 主要从事区域变化与可持续发展研究. E-mail: wanghaili@njtc.edu.cn

法相结合对耕地利用效率进行测度,如刘佳等^[6]基于 DEA-Malmquist 模型对中国沿海地区旅游产业效率时空演化进行了分析,刘海玉等^[7]采用 SBM-DEA 模型对耕地利用效率进行了探讨;其他评价方法有 SFA 模型法^[8],SBM 模型法^[9,10]以及统计分析法^[11,12]。在研究尺度上,大多以全国、省、市、地区为决策单元进行测度,如王良健等^[8]、姚远等^[1]、张荣天等^[2]、叶浩等^[13]以中国为研究区,省级行政单元为决策单元对耕地利用效率进行测度;单玉红等^[14]、丘雯文等^[15]、刘颖等^[16]以省级行政单元为研究区对耕地利用效率进行测度;而张立新等^[17]、罗冲等^[18]、盖兆雪等^[10]、戴劲等^[19]以地区级尺度为研究区对耕地利用效率进行测度。这些研究方法均为进一步研究区域性耕地利用效率提供了较好的借鉴和参考。在关注的内容上,不同学者侧重点不同,但大多学者侧重于耕地利用效率的空间差异及其影响因素,罗冲等^[18]对东北地区耕地利用效率时空差异及其影响因素进行了研究,俞勇军等^[11]对江阴市耕地利用效率及其驱动因素进行分析。此外,除了耕地利用效率外, Li 等^[20]从投入产出的角度,关注了耕地利用强度的变化;聂艳等^[21]基于能值理论分析了武穴市耕地利用效益时空特征;邵晓梅等^[22]、赵京等^[23]关注了耕地利用集约度。在影响因素分析时,不同学者采用的模型和所选择的主导因素差异较大,主要的模型有 Tobit 模型^[3,24,25]、回归分析法^[8]、地理加权回归模型(GWR 模型)^[17],值得注意的是,GWR 模型在分析空间非平稳性现象的影响因素时具有从全局视角估算的普通最小二乘法不具备的优势,GWR 模型从局部关系建模,对影响因素的贡献预估更具优越性。而影响因素选择方面,许恒周等^[26]基于农户调查数据测算了全要素生产状态下的效率,并以农民分化为重点因素探讨了耕地利用效率分异特征;单玉红等^[14]、张晓峰等^[27]、李艳明^[28]、戈大专等^[29]均认为劳动力的转移是影响耕地利用效率时空分异的重要因素;郭军华等^[30]认为城市化水平是提高耕地利用效率的有利因素;许玉光等^[31]重点关注了耕地细碎化所带来的耕地利用效率差异;此外,还要诸多学者选择影响耕地利用效率的主导因素对耕地利用效率时空分异特征进行解释,如王良健等^[8]选择第一产业从业人员、货运总量、劳均耕地规模等 8 个影响因素解释中国各大区域间耕地利用效率高低分布差异现象;张立新等^[17]选择耕地复种指数、耕地质量、科技投入等 5 个影响因素解释了中国粮食主产区耕地利用效率空间分异特征。

综上可知,耕地利用效率评价分析与其影响因素研究是关注的热点内容,而在研究区域上,缺少对西南地区各省域内部耕地利用效率时空分异特征及其影响因素的研究,西南地区是我国长江上游地区主要的粮食生产地,该区域总面积 112.783 万 km²,占全国陆地总面积 11.75%。2015 年耕地总面积约为 11.4002 万 km²,占全国耕地面积的 9.3%(全国耕地总面积 122.143 万 km²),尤其是因耕地条件优越而享有“天府之国”美称的重要省份四川省;从区域层面探明西南地区耕地利用效率的变化及其影响因素,可补充耕地利用效率在西南地区尚未开展研究的空缺,为区域耕地效率的提高、耕地保护战略和政策的制定提供理论和技术参考。因此,本文以西南地区为研究区,从耕地投入产出的角度,利用 DEA 模型及地统计学的空间分析方法,对 2000 年、20005 年、2010 年、2015 年各地级市耕地利用效率及其时空变化特征进行分析,并选择影响耕地利用效率的主导因素,构建 GWR 模型,分析西南地区耕地利用效率的主要影响因素,以期西南地区提高耕地利用效率提供科学参考。

1 研究区概况

21 世纪以来,西南地区是中国实施“西部大开发战略”的重要发展区域之一,包括四川、重庆、贵州、云南、西藏 5 省、区,但由于西藏自治区以畜牧业为主,耕地较少,因此以四川、重庆、贵州、云南四省市为主要研究区(图 1)。西南地区是典型的亚热带季风气候区域,气候热量充足,气温年较差较小;降水丰富,但季节变化较大;光热水资源组合较好。地形多样,有盆地、丘陵、山地、高原等多种地貌类型,受地形限制,西南地区以精耕细作为主。西南地区耕地利用效率的高低,关系着该区域经济发展和农业基础牢固以及战略实施等重要问题。由于西南地区耕地主要集中在四川、重庆、云南和贵州 4 个省、市,西藏地区主要以畜牧业为主,因此,本文以四川、重庆、云南和贵州 4 个省、市为研究区,研究各市耕地利用效率的时空分布特征及其影响因素。

2 数据与方法

2.1 数据来源

研究分析数据主要涉及两个部分:一是空间数据,包括中国省级、市级行政界线,数据来源于中国科学院资源环境科学数据

据中心；DEM 数据（30m 分辨率），来源于地理空间数据云平台（<http://www.gscloud.cn/>）。二是统计数据：包括 2000、2005、2010、2015 年研究区各市耕地面积、第一产业从业人员、农用化肥使用量、农业机械总动力 4 项投入数据，农业产值、粮食总产量 2 项产出数据，以及有关影响因素计算的耕作总面积、人均 GDP、农民人均纯收入等数据；主要来源于《中国区域经济统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》、《中国统计年鉴》以及粮食主产区 4 个省、市的统计年鉴。由于涉及的统计数据在重庆市以全市为单位进行统计的，因此，重庆市以全市为计算单元。



2.2 研究方法

(1) 指标选取。耕地利用效率是耕地资源综合利用程度的反映，可表现为区域内耕地资源及其所承载的资金、劳动力和能源投入与所产生的社会、经济效益相互关系，能有效反映资源配置情况，体现了耕地资源价值的实现程度^[17]。在耕地利用效率评价指标选取方面，参考前人研究，通过土地、资本及劳动力的投入产出之比相对数来量化^[8, 18]。耕地利用效率评价指标选取时，遵循代表性、可获取性原则，从投入、产出两方面构建评价体系。投入指标选取：耕地面积、第一产业从业人员、农用化肥使用量和农业机械总动力共 4 项，前两项分别表征土地、劳动力投入，后两项表征资本投入；产出指标选取：粮食总产量、农业产值共两项指标。

耕地利用效率受自然、社会、经济、种植技术等多种因素的影响^[16]。分析影响耕地利用效率时空演变的主要因素，有利于耕地可持续高效利用。参考前人研究结果，并结合西南地区实际情况，选择平均海拔高程、平均坡度、耕地复种指数、耕地质量等利用等指数、灌溉指数、人均 GDP、农民人均纯收入 7 项指标。其中，前 2 项表示地形方面，中间 3 项分别对应自然条件、耕地资源禀赋、农业生产条件 3 个方面，后 2 项表征地区经济发展水平，从而对耕地利用效率的影响因素进行分析。其中，耕地复种指数是指农作物总播种面积与耕地面积比；耕地质量等别通过加权平均值的方法，计算各县耕地质量等别的自然质量等

指数获取；灌溉指数是指灌溉面积与耕地面积之比；通过 DEM 数据提取海拔高程和坡度，并取各市域单元内的平均值，获得平均高程和平均坡度。

(2) 模型构建。数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)是基于技术效率分析的经典投入产出分析模型，该模型进行分析的基础是分析数据的非参数技术效率，基于相对效率概念，采用数学线性规划评价多投入产出模式下决策单元 DMU 间的相对有效性^[24]。技术效率是指一个生产单元的生产过程达到该行业技术水平的程度。对投入产出分析的相关参数主要涉及综合评价 DMU 内耕地资源要素配置、利用和规模集聚效率的综合效率(Overall Efficiency, OE)，反映特定生产技术水平决定的资源要素配置水平的纯技术效率(Pure Technical Efficiency, PTE)，以及反映耕地资源投入规模集聚效率的规模效率(Scale Efficiency, SE)。研究采用数据包络分析中的规模收益不变(Constant Returnsto Scale, CRS)假设前提下的 CCR 模型，对西南 4 省、市 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年耕地利用综合效率进行测算，该模型为投入导向型模型，由 Charnes 等^[32]研究所得，模型规划式如下：

$$\begin{cases} \text{Min}[\theta - \varepsilon(e^T s^+ + \hat{e}^T s^-)] \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^n X_{jm} \lambda_j + s^- = \theta X_o \quad (m = 1, 2, \dots, M) \\ \sum_{j=1}^n Y_{jr} \lambda_j - s^+ = Y_o \quad (r = 1, 2, 3, \dots, R) \\ \lambda_j \geq 0, s^+ \geq 0, s^- \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中：j 表示待评价单元数量，即研究区中有 j(j=1, 2, ..., n)个市级行政单元(DMU), 每个市级行政单元都有 m 种与耕地利用效率有关的投入变量和 r 种产出变量； X_{jm} 表征 j 市中第 m 种投入总量； Y_{jr} 表征 j 市的第 r 种产出变量。 λ_j 是将各市连接起来形成有效前沿面，用于判断区域空间耕地利用状况的权重变量。 θ 表征耕地投入产出的综合效率，值域为 [0, 1]，值越大，则

综合利用效率越大。 s^+ 表征剩余变量， s^- 为松弛变量； ε 表征非阿基米德无穷小量； e^T 和 $\hat{e}^T$ 分别为隶属于 E^+ 和 E^- 的单位空间向量。综合技术效率包含了规模效率的成分。

当在 CRS 模型的约束条件中加入前提假设条件 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ ，模型(1)可转化为规模报酬可变模型(Variable Return to Scale, VRS 模型)，得出的技术效率排除了规模的影响，即纯技术效率^[33]。过 VRS 模型可把综合效率(TE)分解成纯技术效率(PTE)和规模效率(SE)，且 $TE = PET \times SE$ ^[6]。VRS 模型基于规模报酬可变，所得到的技术效率排除了规模的影响，从而得到纯技术效率指数 θ_b ($\theta_b \in (0, 1]$)。最后，基于综合效率和纯技术效率，可估算规模效率，具体公式为 $SE = \theta / \theta_b$ ($SE \in (0, 1]$)。

2.3 耕地利用效率时空演变分析

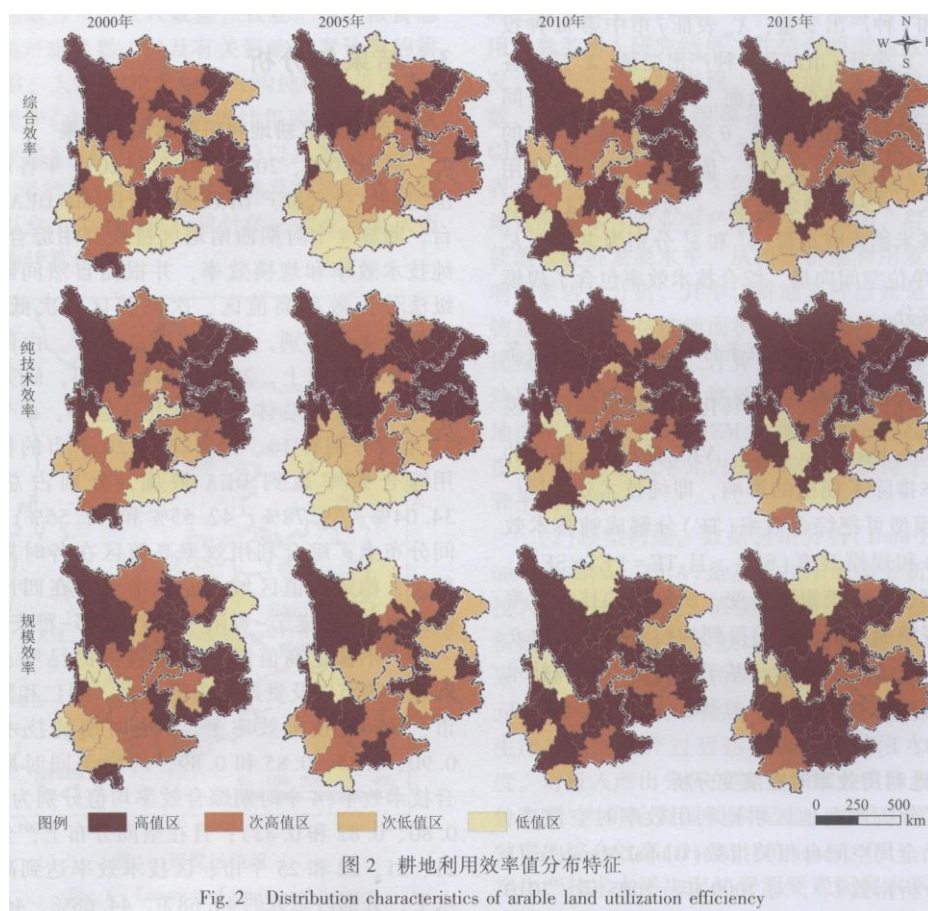
为了分析西南地区耕地利用效率时空演变，本文借助全局空间自相关指数(Global Moran's I)和热点分析指数 C_i^* ，对 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年 4 期的耕地利用效率空间格局特征进行定量分析。其中，Moran's I 是对整个研究区内耕地利用效率空间关联及差异特征的指标，详细计算方法描述可参见文献^[17]；则是探索利用效率在局部空间中的异质性特征，可表征利用效率在局部空间中的分异规律，详细计算方法参见文献^[34]。

2.4 影响因素分析

地理加权回归模型 (Geographically Weighted Regression, GWR) 通过对不同区域影响程度进行估计, 可较为客观的反映参数在不同区域下的空间非平稳性, 使变量间的关系可以随空间位置的变化而变化, 其结果更符合客观实际^[17]。该模型克服了传统的线性回归模型 (OLS 模型) 中, 由于自变量与因变量之间存在空间自相关, 在进行全局或平均估计中引起的估算偏差问题。因此, 本文采用 GWR 法定量估算解释变量和耕地综合利用效率之间影响关系。

3 结果与分析

3.1 西南地区耕地利用效率测算结果



根据 2000、2005、2010 和 2015 年各市域范围内耕地投入和产出数据, 借助 MaxDEA5.2 平台, 测算 4 个时期西南地区耕地利用综合效率、纯技术效率和规模效率, 并根据自然间断点分级法分为效率高值区、次高值区、次低值区、低值区 4 个级别, 结果如图 2 所示。由图 2 可知: 综合效率上, 2000~2015 年间, 研究区内综合利用效率总体上呈现上升趋势, 4 个时期 47 个市分别有 16、14、20 和 20 个市的耕地利用综合效率达到 DEA 最优, 分别占总数的 34.04%、29.78%、42.55%和 42.55%, 在空间分布上, 综合利用效率高值区在各时期差异较大, 稳定高值区域主要集中分布在四川省内的达州-广安遂宁-资阳-德阳-成都-雅安-甘孜一线, 不稳定高值区如云南省内的昆明、曲靖和怒江等市以及贵州省内的遵义、同仁和黔东南等市、区。纯技术效率上, 4 个时期纯技术效率 0.90、0.85、0.85 和 0.89, 均高于同时期的综合技术效率 (4 个时期综合效率均值分别为 0.86、0.80、0.82 和 0.83); 且在空间分布上, 分别有 21、21、22 和 25 个市、区技术效率达到高值区水平, 分别占总数的 44.68%、44.68%、46.80% 和 53.19%。纯技术效率稳定高值区主要集中在以重庆-成都-甘孜一线为中心的市、区, 以及云南省境内的昆明、曲靖和怒江等市、区, 与综合效率空间分布有较大的相似之处。规模效率达高值区个数随着时间的变化而变化, 4 个时期分别有 22、18、28 和 26, 所占比例分别为 47%、38%、60%和 55%。

根据西南地区重庆、四川、贵州、云南 4 个省市对耕地利用效率进行综合测度（表 1）。总体上：根据历年综合技术效率均值可以看出，四川省耕地利用效率相对较高，综合技术效率均值在 2000 年、2005 年和 2015 年为 4 省市中最大值，且在 2000～2015 年间，综合效率、技术效率以及规模效率变化基本稳定，除 2010 年有所降低外，其余 3 个时期均保持在 0.9 以上。其次为重庆市，其耕地利用综合效率有逐年上升的趋势，且重庆市技术效率在 4 个时期均为 DEA 最优值，为 4 个省市中最高值。贵州和云南两省分居第三和第四，两省耕地利用效率在 4 个时期变化较小。值得注意的是，4 个时期，四川、贵州、云南 3 省规模效率均保持在 0.9 以上。从耕地利用综合效率可以看出，2000～2015 年间，重庆市耕地利用效率逐年增加的趋势；四川省持续保持高利用效率，且变化幅度不大；而贵州有下降的趋势，云南省保持低效率利用状态。

3.2 全局空间分异格局

根据全局 Moran’ I 指数计算方法，对西南地区 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年耕地利用综合效率值进行估算，以分析其总体格局分异特征，结果如表 2 所示。4 个时期全局 MoranJI 指数均在 1%水平上通过显著，说明西南地区耕地利用效率呈现向空间自相关性。Moran’ I 指数从 2000 年的 0.178 增加到 2005 年的 0.465，随后有所降低，并保持增加的态势；这一变化趋势表明耕地利用效率的空间相关显著性处于波动增强态势，集聚态势有所凸显；2005 年的陡增同时反应出空间格局发生了较大的变动，集聚性更强。

表 1 2000～2015 年各省、市耕地利用效率
Tab. 1 Arable land utilization efficiency of each province or city

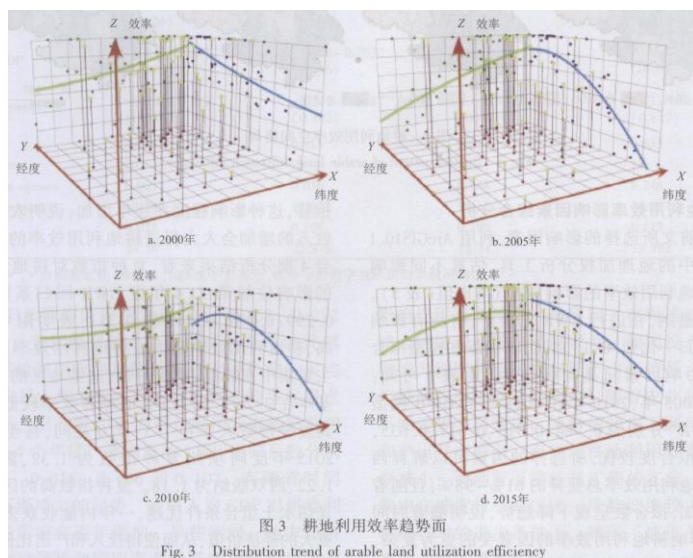
省、市	2000			2005			2010			2015		
	综合	技术	规模	综合	技术	规模	综合	技术	规模	综合	技术	规模
重庆市	0.80	1.00	0.80	0.86	1.00	0.86	0.93	1.00	0.93	0.88	1.00	0.88
四川省	0.93	0.95	0.98	0.92	0.95	0.96	0.86	0.88	0.98	0.92	0.96	0.95
贵州省	0.86	0.90	0.95	0.80	0.83	0.96	0.84	0.85	0.98	0.73	0.78	0.94
云南省	0.77	0.83	0.92	0.66	0.73	0.91	0.76	0.80	0.94	0.78	0.85	0.93

表 2 2000-2015 年西南地区耕地利用效率全局 Moran * I 指数
Tab. 2 Global Moran’ s I index of using efficiency for arable land in the area of southwest from 2000 to 2015

	2000	2005	2010	2015
Moran’ I	0.177 9	0.464 6	0.191	0.293 5
期望值	-0.021 7	-0.021 7	-0.021 7	-0.021 7
Z 得分	3.123 9	7.535	3.571 7	4.876 8
P 检验	0.001	0.001	0.001	0.001

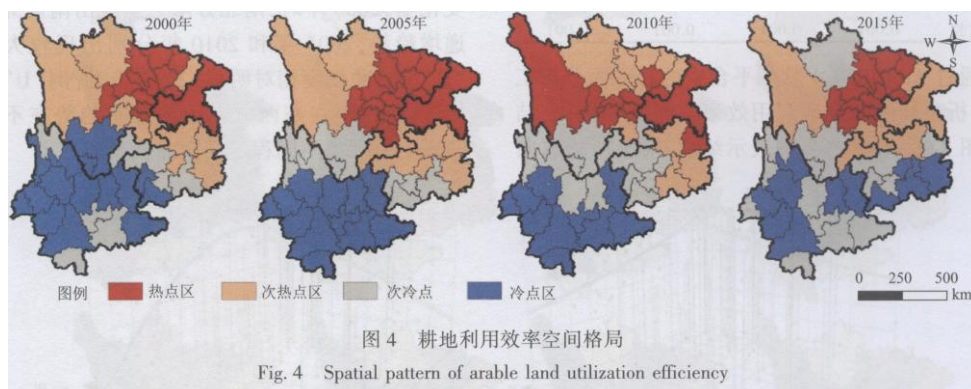
通过 ArcGIS10.1 软件平台中的趋势面分析工具，分析不同时期耕地利用效率空向分异规律，结果如图 3 所示，其中 X 轴表示纬度，箭头所指方向为东方，Y 轴表示经度，箭头所指方向为北方，Z 轴表示耕地利用综合效率。总体上看，西南地区耕地利用效率呈现出从西向东递增，以及由南向北倒“U”型递增态势，即在东北地方向高，西南方向低的分布态势，这主要是由于重庆、成都一线呈现组团式高值分布态势所形成的分布趋势。在时间变化上，2000 年时，南北方向上呈现由南向北直线递增趋势，2005 年和 2010 年分别出现较大的倒“U”型弯曲幅度相对明显，2015 年时，倒“U”弯曲幅度减小；而在东西方向上的分布趋

势在不同时间段上呈现出不同程度的弯曲幅度。



3.3 局部空间格局分异

全局 Moran' I 指数和趋势面分析从全局视角分析了西南地区各市耕地利用效率空间总体相关性。而热点分析则从局部视角探索耕地利用效率空间分异格局的变化特征。借助 ArcGIS10.1 软件平台中的热点分析工具测算不同时期耕地利用效率局部 G_i^* 指数, 并采用自然间断点分类法, 从高到底将 4 期指数 G_i^* 分为热点、次热点、次冷点和冷点 4 个区域, 结果如图 4 所示。由图 4 可知: 西南地区耕地利用效率呈现出较显著的空间分异格局, 即具有相对高值(低值)耕地利用效率在空间上呈现较强的组团式集聚分布态势, 冷热点空间极化现象较为明显, 界线分明, 层次清晰, 且随着时间变化, 冷热点区域在空间上的分布态势有由“组团式”向“条带式”分布转变的趋势。具体表现为: 2000 年度, 耕地利用效率热点区域以分布在成都为中心的区域, 而冷点区域则以“组团式”分布在以楚雄为中心的区域, 云南大部分区域为冷点区。2005 年度, 冷热点区域继续以“组团式”集聚分布态势为主, 而冷热点区域有进一步扩大并集中连片的趋势, 冷点中心则转向以玉溪市为中心。2010 年度, 冷热点区域转变为以“条带状”集聚分布态势, 打破了 2000 年和 2005 年集中连片分布的组团式集聚模式, 热点区域主要集中在重庆-成都-甘孜沿线一带的区域, 而冷点区域则以云南南沿的宏德-西双版纳-文山一带分布, 并占据云南省大部分区域。2015 年时, 冷热点区域集聚模式再次变化, 热点区域呈现出以成都为中心的“组团式”集聚态势, 热点区域所有减小, 值得关注的是, 重庆市则降为次热点区域; 冷点区域则变化为“双核心”集聚的“条带式”分布模式, 出现了以思茅-丽江南北沿线的带状冷点区, 和以昆明-黔西-黔东南东西沿线的带状冷点区, 冷点区域由云南省扩散到贵州省; 表明在 2000-2015 年间, 云南和贵州两省市域范围内的极化现象较为明显。



3.4 耕地利用效率影响因素综合分析

表 3 GWR 模型估计结果

Tab. 3 Estimation results of GWR model

年度	2000	2005	2010	2015
Cond	29.503-51.361	27.296-58.206	25.999-39.751	25.656-35.462
平均高程	-0.321-0.797** (0.349)	-1.197-0.592* (0.080)	-0.711-0.492* (-0.053)	-0.153-0.201 (0.005)
平均坡度	-0.841-0.115*** (-0.239)	-0.365-0.810* (0.058)	-0.405-0.772* (0.043)	-0.253-0.277* (-0.035)
复种指数	0.028-0.601*** (0.299)	0.068-0.945*** (0.271)	0.328-0.772*** (0.549)	0.077-0.824*** (0.311)
耕地质量	-0.720-0.067*** (-0.244)	-0.441-0.431** (-0.165)	-0.439-0.021* (-0.205)	-0.198-0.072* (-0.212)
灌溉指数	-0.021-0.324** (0.124)	* -0.073-0.445** (0.152)	0.057-0.682*** (0.292)	0.106-0.892** (0.119)
人均 GDP	-0.441-0.397* (0.073)	-0.498-0.202* (0.016)	-0.086-0.583* (0.106)	-0.482-0.181* (0.107)
农民人均纯收入	-0.130-0.637*** (0.336)	-0.235-0.968*** (0.402)	-0.053-0.750*** (0.420)	0.133-0.846*** (0.617)
R ²	0.948	0.915	0.617	0.635
Neighbors	30	25	36	38
Residualsquares	0.003	0.036	0.154	0.246
Effictivenumber	10.240	14.912	14.12	14.217
Sigma	0.038	0.108	0.199	0.117
AICc	24.34	25.378	18.34	18.962

注：***、**、*分别表示在 1%、5%、10%水平上显著，括号中的数字表示回归系数的均值。

根据前文所选择的影响因素，利用 ArcGIS10.1 软件平台中的地理加权分析工具，估算不同影响因素对耕地利用效率的影响贡献 GWR 值（表 3）。为了统一量纲，在进行 GWR 分析前，将所有影响因素值域归一化到 $[0, 1]$ 之间，以确保在模型拟合时，不同影响因素间具有可比性。由表 3 可知：2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年的 GWR 模型拟合系数 R^2 分别为 0.984、0.915、0.617、0.635，表明模型拟合度较优，所选择的因素可以解释西南地区耕地利用效率总变异的 61%~98%；且随着年份的增加，拟合数呈现下降趋势，说明随着时间的变化，影响耕地利用效率的因素变的更为复杂，诸多影响因素尚未纳入评估体系由影响因素的回归系数的显著性可知：所选择的影响因素均通过了显著性检验，说明所选择的 7 个因素较好的解释了耕地利用效率的空间分布态势。就回归系数而言：4 个时期中，农民人均纯收入的回归系数在各影响因素中普遍偏高，分别为 0.336、0.402、0.420 和 0.617，表明西南地区经济因素对耕地利用效率的影响作用最大，即农民人均纯收入越高的地区，耕地利用效率也越高；这主要是由于西南地区大多以精耕细作的小农耕作制度为主，农民人均收入高的情况下，可投入农业生产的资金、农机、化肥以及农业基础设施等则越多，以此改善耕地生产条件，提高耕地生产率；此外，随着时间的推移，这种影响程度在逐年增加，说明农民人均纯收入的增加会大大促进耕地利用效率的提高。综合 4 期分析结果来看，复种指数对耕地利用效率的影响位居第二，4 年度 GWR 回归系数分别为 0.299、0.271、0.549 和 0.311，表明附中指数越高，耕地利用效率越大。耕地利用效率高值区域主要集中在成都-重庆一带，这些地区的复种指数基本在 2.2-2.98 之间，而综合效率较低的区域，其复种指数大多在 1.5~2.0 之间，甚至更低，如 2015 年度阿坝州复种指数为 1.32、黔西南为 1.22、西双版纳为 1.18。复种指数高的区域，说明光热水土组合条

件优越,一年内能收获多次,获得更大的经济价值,从而使得投入和产出比例增加,综合效率则高。耕地质量等别与耕地利用效率之间的 GWR 回归系数均为负值,4 个时期的均值分别为-0.244, -0.165, -0.205 和-0.212,综合影响力位居第三;耕地质量等别是表征耕地资源禀赋的重要指标之一,该指标为逆向效应指标,值越大、耕地质量越差^[35];由此可知,耕地质量等别越高的区域,其利用效率越高,这主要是耕地质量越高的区域,其耕地资源禀赋越好,在投入水平相当的情况下,耕地质量越高,产出越多;但其回归系数和均值变化相对较小,说明耕地质量对耕地利用效率的影响较为稳定。灌溉指数是表征农业生产条件的指标,从其回归系数和均值可以看出,该指数对耕地,利用效率的影响与耕地质量的相差不大,4 年度的 GWR 回归系数均值分别为 0.124、0.152、0.292 和 0.119,变化幅度较小,说明灌溉条件的优越程度对耕地利用效率高低具有一定的影响。人均 GDP 与农民人均纯收入均是表征区域经济发展水平的指标,但人均 GDP 对耕地利用效率的影响相对较小,4 个年度,该因素的 GWR 回归系数分别为 0.073、0.016、0.106 和 0.107,有随着时间的变化逐渐增大的趋势,表明人均 GDP 对耕地利用效率的影响在逐年增加;早些年间,地方经济较弱,财政预算和固定资产投资比例多偏向于与社会经济发展高度相关的领域,对于农业发展投入较少;近年来,国家大力推进土地平整、土地修复等工程重点提升中低质量的耕地质量,在此过程中,地方财政的强弱,直接关系到这些工程的实施成效,人均 GDP 高的区域,工程执行力度强,耕地质量提升快,进而促进了耕地利用效率的提升,反之耕地利用效率提升则慢;同时,人均 GDP 高的地区对科技投入和涉农资金投入力度大,进而促进了耕地利用效率的提高。2000~2015 年间,表征地形因素的平均高程和平均坡度的 GWR 系数的绝对值均有逐渐减少的趋势,说明随着时间的推移,地形因素对耕地利用效率的影响作用逐渐减弱;早年间,在海拔越高,坡度越大的区域,耕作环境较差,相同投入下,在高海拔大坡度的地区具有低产出的特征,普遍存在广种薄收的现象;近年来,随着农业耕作技术的不断进步,高海拔区域耕地产出不断增加,投入和产出基本持平,海拔对耕地利用效率的影响逐渐减小;而随着退耕还林工程的实施,耕地基本集中在坡度较小的区域,少数坡度较大的区域在耕种技术的进步条件下,减弱了坡度条件差所带来的产出不足影响。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文基于 2000 年、2005 年、2010 年和 2015 年 4 个年度的相关数据,利用 DEA 模型估算了西南地区耕地利用效率,并通过全局 Moran' I、 G_i^* 指数从全局和局部分析了耕地利用综合效率的时空变化特征,最后,借助 GWR 回归模型分析了形成耕地利用效率空间分异的主要因素,结论如下:

(1) 2000~2015 年间,耕地利用效率高值区的城市数量在不断扩大,4 个时期耕地利用综合效率达到 DEA 最优的城市占比分别为 34.04%、29.78%、42.55%和 42.55%;同时,纯技术效率和规模效率高值区不断在扩大。在空间分布上,耕地利用效率稳定高值区域主要集中分布在四川省内的达州-广安遂宁-资阳-德阳-成都-雅安-甘孜一线。分省、市统计结果表明,重庆市耕地利用效率逐年增加的趋势;四川省持续保持高利用效率,且变化幅度不大;而贵州有下降的趋势,云南省则保持低效率利用状态。

(2) 西南地区耕地利用效率主要为正向的空间自相关性,空间分布趋势呈现出从西向东递增,以及由南向北倒“U”型递增态势,即在东北地方向高,西南方向低的分布趋势。耕地利用综合效率空间格局分异显著,具有相对高值(低值)耕地利用效率在空间上呈现较强的组团式集聚分布态势,冷热点空间极化现象较为明显,界线分明,层次清晰,且随着时间变化,冷热点区域在空间上的分布态势有由“组团式”向“条带式”分布转变的趋势。值得关注的是:在 2015 年度,冷点区域变化为“双核心”集聚的“条带式”分布模式,出现了以思茅-丽江南北沿线的带状冷点区,和以昆明-黔西-黔东南东西沿线的带状冷点区,冷点区域由云南省扩散到贵州省;贵州和云南两省耕地利用效率区域极化效应明显上升。

(3) 本文所选择的 7 个因素对西南地区耕地利用效率时空变化影响,存在不同程度的影响作用。其中,农民人均纯收入影响最大、其次为复种指数,耕地质量和灌溉指数的影响程度相当,人均 GDP 对耕地利用效率的影响在逐年增加,地形因素的影响逐年减弱。

4.2 讨论

总体上,西南地区耕地利用效率普遍偏高,这一结果与张立新等[17]的研究相符。综合效率主要反映了耕地利用投入和产出的相对量表,纯技术效率是衡量决策单元内投入的科技与资源配置是否达到相对最优的产出,而规模效率则是反应一定规模的资金、资源等要素的投入水平上是否达到耕地利用相对最优产出[2]。西南地区耕地质量在时间上总体呈现波动上升趋势,而在空间上高值区逐渐扩大的趋势,除受7个因素的影响外,与其投入的消耗和耕地产出有较大关系;早期时候,投入少,但在投入少的情况下,精耕细作,部分区域的产出达到了当前投入水平下的最产出,成就了高效率耕地利用;随着时间的变化,部分区域投入量增加,但耕地产能在短时期内尚未达到最大值,因此呈现出耕地利用效率下降的趋势,从而导致西南地区耕地利用效率波动上升的趋势。而在贵州地区,由于耕地质量、耕地资源禀赋较差,耕地产出有限,随着投入的逐年增多,势必引起高投入低产出的效应,从而导致耕地利用效率低下。

根据本文分析结果,从提高耕地利用效率的角度,西南地区可从以下几方面着手。首先,在地方财政允许的情况下,加强涉农资金投入;一方面,可增加农民收入,耕地利用的主体始终是农民,农民收入有所增加的情况下,耕作投入的机会成本越大,耕作条件的改善有利于产出的增加,从而提高耕地利用效率;另一方面,改善耕作环境,如灌溉条件、电力条件等,可提高耕地产出,从而提高效率。其次,加大科技投入,改良耕种技术和培育优良品种,尤其是培育高海拔地区的适宜良种,一方面可提局复种指数,另一方面可弱化地形条件以及其他自然条件差导致耕地产出不足的问题。第三,加强耕地整治力度,提高耕地质量;耕地质量越高的情况下,同等的投入条件下,耕地产出会越高。第四,在空间分布上,云南省耕地利用效率有较大的提升空间,贵州地区受限于喀斯特地形,土壤相对贫瘠,因此,利用效率提升空间较小,耕种投入应注重科学性,且应注意投入上限。以上建议仅从耕地利用效率的提升角度提出,但耕地地力具有一定限度,过渡开发利用耕地,将导致耕地地力下降,土壤瘠薄化;因此,在耕地利用效率提升过程中,还应考虑耕地休养生息,以及耕地地力恢复等措施,以保证在耕地利用效率得以提高的同时,耕地地力不下降。

本研究利用DEA模型以及GWR模型分析了I西南地区耕地利用效率时空分析特征及其影响因素,但仍存在诸多不足:首先,在耕地利用效率评价指标选取时,受数据获取渠道的限制,只搜集了统计年鉴中存在的宏观指标,而与农作物品种改良以及农耕技术等指标尚未涉及;其次,耕地利用效率受国家制度、农户意愿、农民对土地价值观念^[36]等因素的影响,这些因素在本文中尚未考虑。第三,在空间尺度上,从市级尺度考虑空间耕地利用效率能宏观的掌握区域状况,结果可为国家和地区及耕地利用决策提供依据;但难以反映市级以下的行政单元内的耕地利用效率变化,进一步研究可在县级尺度的数据基础上,分析耕地利用效率时空变化,以便为市县级耕地利用决策提供更详细的数据参考。

参考文献:

[1] 姚远,李效顺,曲福田,等.中国经济增长与耕地资源变化计量分析[J].农业工程学报,2012,28(14):209-215.

YAO Y, LI X, QU F, et al. Quantitative analysis of relationship between economy growth and cultivated land change in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(14):209-215.

[2] 张荣天,焦华富.中国省际耕地利用效率时空格局分异与机制分析[J].农业工程学报,2015,31(2):277-287.

ZHANG R T, JIAO H F. Spatial-temporal pattern differentiation and its mechanism analysis of using efficiency for provincial cultivated land in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015, 31(2):277-287.

-
- [3] 杨朔, 李世平, 罗列. 陕西省耕地利用效率及其影响因素研究[J]. 中国土地科学, 2011, 25(2): 47-54.
- YANG S, LI S P, LUO L. Study on the farmland use efficiency and its influencing factors in Shanxi province [J]. China Land Science, 2011, 25(2) : 47-54.
- [4] 李俏, 谷国锋, 姚丽, 等. 黑龙江垦区耕地利用效率变化分析[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(4): 30-35.
- Qiao L, GU G, YAO L, et al. The changes of cultivated land use efficiency in Heilongjiang land reclamation area[J] • Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(4) : 30- 35.
- [5] 梁流涛, 曲福田, 王春华. 基于 DEA 方法的耕地利用效率 分析[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(2): 242-246.
- LIANG LT, QU F T, WANG C H. Analsis on cultivated land use efficiency based on DEA [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(2) : 242-246.
- [6] 刘佳, 陆菊, 刘宁. 基于 DEA-Malmquist 模型的中国 沿海地区旅游产业效率时空演化、影响因素与形成机理 [J]. 资源科学, 2015, 37(12) : 2381-2393.
- LIU J, LU J, LIU N. Space-time evolution, influencing factors and forming mechanisms of tourism industry ' s efficiency in Chi-na^ coastal area of based on DEA-Malmquist model [J]. Re-sources Science, 2015, 37(12) : 2381 — 2393.
- [7] 刘玉海, 张丽. 耕地生产率与全要素耕地利用效率—— 基于 SBM-DEA 方法的省际数据比较[J]. 农业技术经济, 2012(6) : 47-56.
- LIU Y H, ZHANG L. The efficiency of farmland productivity and total factor cultivated land use efficiency the compari-son of provincial data based on SBM-DEA method [J]. Agro- technical Economy, 2012, (6) : 47-56.
- [8] 王良健, 李辉. 中国耕地利用效率及其影响因素的区域 差异——基于 281 个市的面板数据与随机前沿生产函数方 法[J]. 地理研究, 2014, 33(11) : 1995-2004.
- WANG L J, LI H. Cultivated land use efficiency and the region-al characteristics of its influencing factors in China: By using a panel data of 281 prefectural cities and the stochastic frontier production function [J]. Geographical Research, 2014, 33(11) : 1995-2004.
- [9] 封永刚, 彭珏, 邓宗兵, 等. 面源污染、碳排放双重视角 下中国耕地利用效率的时空分异[J]. 中国人口 • 资源与 环境, 2015, 25(8) : 18-25.
- FENG Y G, PENG J, DENG Z, et al. Spatial-temporal varia-tion of cultivated land's utilization efficiency in China based on the dual perspective of non-point source pollution and carbon e- mission [J] • China Population, Resources and Environment, 2015, 25(8) : 18-25.
- [10] 盖兆雪, 孙萍, 张景奇. 环境约束下的粮食主产区耕地 利用效率时空演变特征[J]. 经济地理, 2017, 37(12): 163-171.

GAI Z X, ZHANG P, ZHANG J Q. Cultivated land utilization efficiency and its difference with consideration of environmental constraints in major grain producing area[J]. Economic Geogra-phy, 2017, 37(12) : 163-171.

[11] 俞勇军, 陆玉麒. 江阴市耕地变化驱动因素及耕地利用效率定量研究[J]. 经济地理, 2002, 22(4): 440-443.

YU Y J, LU Y Q. Research on the method of renewing base land price in Chongqing[J]. Economic Geography, 2002, 22(4) : 440-443.

[12] 刘春腊, 王鹏, 徐美, 等. 湘西多民族山区耕地利用效率空间差异分析[J]. 冰川冻土, 2013, 35(5): 1308-1318.

LIU C L, WANG P, XU M, et al. Spatial difference analysis of the cultivated land utilization efficiency in the minority nationalities mountain areas in West Hunan [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2013, 35(5) : 1308-1318.

[13] 叶浩, 濮励杰. 我国耕地利用效率的区域差异及其收敛性研究[J]. 自然资源学报, 2011, 26(9): 1467-1474.

YE H, PU L J. Study on the cultivated land use efficiency between different regions of China and its convergence [J]. Journal of Natural Resources, 2011, 26(9) : 1467-1474.

[14] 单玉红, 朱枫, 柯新利. 湖北省耕地利用效率时空分异及农业劳动力的差别化调控[J]. 应用科学学报, 2015, 33(4) : 419-428.

SHAN Y H, ZHU F, KE X L. Spatial and temporal variability in efficiency of arable land usage and differentiated regulation of agricultural workforce in Hubei province [J]. Journal of Applied Sciences, 2015, 33(4) : 419-428.

[15] 丘雯文, 杨子生. 云南省耕地生产效率的时空差异及影响因素[J]. 长江流域资源与环境, 2016, 25(5): 786-793.

QIU W W, YANG Z S. Spatial differences and influences of cultivated land use efficiency in Yunnan province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2016, 25(5):786-793.

[16] 刘颖, 周宝同, 于晓凤, 等. 21 世纪以来四川省耕地变化驱动因素及耕地利用效率定量研究[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(2) : 237-244.

LIU Y, ZHOU B T, YU X F, et al. The quantitative study on the using efficiency and driving factors of changing of cultivated area in Sichuan since the beginning of 21 century [J]. Journal of Sichuan Agricultural University, 2015, 33(2) : 237-244.

[17] 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.

ZHANG L X, ZHU D L, XIE B P, et al. Spatiotemporal pattern evolvement and driving factors of cultivated land utilization efficiency of the major grain producing area in China [J]. Resources Science, 2017, 39(4) : 608-619.

[18] 罗冲, 姜博, 张文琦, 等. 东北地区耕地利用效率时空差异及其影响因素分析[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(10) :

38-44.

LUO C, JIANG B, ZHANG W Q, et al. Analysis of cultivated land use efficiency and its influencing factors for northeast China [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(10) : 38-44.

[19]戴劲,彭文英,连莉,等.基于DEA的东北黑土区耕地利用效率研究——以嫩江县为例[J].干旱区资源与环境,2017, 31(6) : 38-43.

DAI J, PENG W Y, LIAN L, et al. Analysis on cultivated land use efficiency based on DEA in black soils in north-eastern China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(6) : 38-43.

[20] LIZ J, YU X K, GONG C J. Intensity change in cultivated land use in Shandong Province from 1980 to 2010 [J]. IERI Proceedings, 2013(5) : 140-146.

[21] 聂艳, 乌云嘎, 于婧, 等. 基于能值分析的武穴市耕地利用效益时空特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2015, 24(6) : 987-993.

NI Y, WU Y G, YU J, et al. Spatio-temporal variation characteristic of utilization efficiency of cultivated land in Wuxue based on an energy analysis [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015(6) : 987-993.

[22] 邵晓梅, 王静. 小城镇耕地集约利用评价方法比较研究——以浙江省慈溪市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2008, 17(1) : 93-97.

SHAO X M, WANG J. Comparison of intensive cultivated land use appraisal methods of small towns [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2008, 17(1) : 93-97.

[23] 赵京, 杨钢桥. 耕地利用集约度变化及其驱动因素分析——以湖北省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(1) : 30-35.

ZHAO J, YANG G Q. Analysis on intensity degree change of cultivated land use and its driving factors in Hubei [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2012, 21(1) : 30-35.

[24] 戚焦耳, 郭贯成, 陈永生. 农地流转对农业生产效率的影响研究——基于DEA-Tobit模型的分析[J]. 资源科学, 2015, 37(9) : 1816-1824.

QI J E, GUO G C, CHENG Y S. The impact of farmland transfer on agricultural production efficiency based on the DEA-Tobit model [J]. Resources Science, 2015, 37(9) : 1816 - 1824.

[25] 张霞, 刘秀华, 刘勇. 基于DEA的高家镇耕地利用效率及其影响因素研究[J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2012, 37(3) : 72-77.

ZHANG X, LIU X H, LIU Y. A DEA-based study of cultivated land use efficiency and its influencing factors in Gaojia town [J]. Journal of Southwest China Normal University (Natural Science Edition), 2012, 37(3) : 72-77.

[26] 许恒周, 郭玉燕, 吴冠岑. 农民分化对耕地利用效率的影响——基于农户调查数据的实证分析[J]. 中国农村经济, 2012(6) : 31-39.

XU H Z, GUO Y Y, WU G C. The influence of farmers' differentiation on the utilization efficiency of cultivated land — based on the empirical analysis of peasant household survey data [J]. China Rural Economy, 2012(6) : 31-39.

[27] 张晓峰, 王宏志, 纵兆伟, 等. 中国劳动力转移与土地利用效率的空间耦合度研究[J]. 地理与地理信息科学, 2014, 30(3) : 56-61.

ZHANG X F, WANG H Z, ZONG Z W, et al. Space coupling of land use efficiency and labor migration in China [J]. Geography and Geo-Information Science, 2014, 30(3) : 56-61.

[28] 李明艳. 劳动力转移对区域农地利用效率的影响——基于省级面板数据的计量分析[J]. 中国土地科学, 2011, 25 (1): 62-69.

LI M Y. Impacts of labor transfer on the regional farmland use efficiency: A quantitative analysis based on provincial - level panel data[J]. China Land Science, 2011, 25(1) : 62-69.

[29] 戈大专, 龙花楼, 张英男, 等. 中国县域粮食产量与农业劳动力变化的格局及其耦合关系[J]. 地理学报, 2017, 72 (6) : 1063-1077.

GE D Z, LONG H L, ZHANG Y N, et al. Pattern and coupling relationship between grain yield and agricultural labor changes at county level in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(6): 1063-1077.

[30] 郭军华, 倪明, 李帮义. 基于三阶段 DEA 模型的农业生产效率研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2010, (12): 27-38.

GUO J H, NI M, LI B Y. Research on agricultural production efficiency based on Three - Stage DEA model [J]. Quantitative Economic and Technological Economic Research, 2010, (12) : 27-38.

[31] 许玉光, 杨钢桥, 文高辉. 耕地细碎化对耕地利用效率的影响——基于不同经营规模农户的实证分析[J]. 农业现代化研究, 2017, 38(4): 688-695.

XU Y G, YANG G Q, WEN G H. Impacts of arable land fragmentation on land use efficiency: An empirical analysis based on farms of different scales[J]. Research of Agricultural Modernization, 2017, 38(4) : 688-695.

[32] CHARNES A, COOPER W W, RHODES E. Measuring the efficiency of decision making units [J] . European journal of operational research, 1978, 6(2) : 429-444.

[33] BANKER R, CHARNES A, COOPER W. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis[J]. Management Science, 1984, 30 (9) : 1078 - 1092.

[34] 杜挺, 谢贤健, 梁海艳, 等. 基于熵权 TOPSIS 和 GIS 的重庆市县域经济综合评价及空间分析[J]. 经济地理, 2014, 34(6) :

40-47.

DU T, XIE X J, LIANG H Y, et al. County economy comprehensive evaluation and spatial analysis in Chongqing city based on entropy weight-TOPSIS and GIS [J]. Economic Geography, 2014, 34(6) : 40-47.

[35] 张凤荣, 安萍莉, 王军艳, 等. 耕地分等中的土壤质量指标 体系与分等方法[J]. 资源科学, 2002, 24(2): 71-75. ZHANG F R, AN P L, WANG J Y, et al. Soil quality criteria and methodologies of farmland grading [J] . Resources science, 2002, 24(2) : 71-75.

[36] 张玉娇, 陈英, 刘洋, 等. 农民土地价值观对耕地利用 效率的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(10): 19- 25.

ZHANG Y, CHEN Y, LIU Y, et al. The influence of farmers' land values on the cultivated land utilization efficiency [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31 (10) : 19-25.