

引用格式: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.] DOI: 10.18402/resci.2017.04.03

# 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

张立新<sup>1,2</sup>, 朱道林<sup>1,2</sup>, 谢保鹏<sup>1,2</sup>, 杜挺<sup>1,2</sup>, 王兴<sup>1,2</sup>

(1. 中国农业大学资源与环境学院, 北京 100193;

2. 国土资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100193)

**摘要:** 本文通过构建DEA模型测度了1994-2014年全国粮食主产区13个省份180个城市的耕地利用效率, 利用空间统计模型分析其时空格局演变特征, 并运用地理加权回归模型探究了粮食主产区耕地利用效率时空演变的主要影响因素。研究结果表明: ①1994-2014年, 粮食主产区耕地利用效率总体上呈波动上升的趋势, 且具有明显的阶段性变化特征, 但整体效率值并不高; ②全国粮食主产区耕地利用效率空间差异性显著; 粮食主产区耕地利用效率热点区域空间极化现象明显, 且随着时间的推移而逐渐变化, 呈现出“两核集聚”、“多核极化”、“两核极化”的演变特征; ③自然条件是粮食主产区耕地利用效率时空演变的基础因素, 耕地资源禀赋、地区经济发展水平、农业生产条件是重要影响因素, 而地区科技水平对耕地利用效率的作用不断增强。

**关键词:** 耕地利用效率; 时空格局; 演变特征; 影响因素; 粮食主产区; 中国

DOI: 10.18402/resci.2017.04.03

## 1 引言

耕地作为土地之精华、粮食生产之根基, 是人类社会赖以生存和发展的最基本资源, 在农业和国民经济发展中起着不可替代的作用<sup>[1]</sup>。然而, 随着中国经济高速运行、工业化与城镇化的快速发展, 耕地非农化日趋加剧<sup>[2]</sup>, 耕地抛荒、撂荒、低效粗放利用等现象也愈演愈烈<sup>[3]</sup>。此外, 耕地质量下降也是当前中国耕地资源利用面临的严峻问题之一<sup>[4]</sup>。因此分析耕地利用效率现状, 揭示其时空演变规律, 探讨耕地利用效率提升基本路径, 对制定区域差别化耕地集约利用政策, 推动农业可持续发展具有重要的价值。粮食主产区是中国商品粮生产的核心区域, 贡献了全国3/4的粮食<sup>[5]</sup>, 对农业发展、主

要农产品有效供给起着引擎作用<sup>[6]</sup>; 该区域耕地资源的有效利用不仅会直接影响到粮食生产, 更关系到国家粮食安全问题。因此, 系统研究粮食主产区耕地利用效率及其时空演变特征具有重要的现实意义。

关于耕地利用效率的研究国内外积累了不少成果, 相比较而言, 国外文献的研究日趋成熟, 其关注的问题从耕地利用效率评价逐步向耕地利用强度及其变化方向转变。如Yang等基于全要素投入效率概念, 对中国耕地利用效率及其影响因素进行了研究<sup>[7]</sup>。Wang等利用多元线性回归模型和主成分分析法分析了河南省耕地资源的利用效率及其影响因素<sup>[8]</sup>。Li等从投入和产出的角度, 分析了山

收稿日期: 2016-10-20; 修订日期: 2017-01-16

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项经费资助项目(201211001)。

作者简介: 张立新, 女, 山西怀仁人, 博士生, 主要研究方向为土地经济及土地资源利用与管理。E-mail: daxin897@126.com

通讯作者: 朱道林, E-mail: dlzhu@cau.edu.cn

2017年4月

东省耕地利用强度的变化<sup>[9]</sup>。Song等从政策发展的视角分析了中国耕地利用变化情况<sup>[10]</sup>。国内文献在耕地资源利用效率研究方面也取得了一定的成果。在研究内容上,国内文献侧重于耕地利用效率的测度与评价,并逐步关注耕地利用效率的空间差异及其影响因素。如俞勇军等对江阴市耕地变化驱动因素及耕地利用效率进行了定量研究<sup>[11]</sup>。廖成泉等评价了湖北省耕地资源利用效率<sup>[12]</sup>。杨朔等对陕西省耕地利用效率及其影响因素进行了研究<sup>[13]</sup>。叶浩等对中国耕地利用效率进行分析并探究其区域差异特征<sup>[14]</sup>。刘玉海等研究了转型时期中国农业全要素耕地利用效率及其影响因素及作用机制<sup>[15]</sup>。研究方法上,学者采用多种模型研究耕地利用效率及其影响因素,包括DEA模型<sup>[16]</sup>、随机前沿生产函数<sup>[17]</sup>、SBM模型<sup>[18]</sup>来测度耕地利用效率,并利用Tobit模型<sup>[19]</sup>来研究耕地利用效率的影响因素。

从上述国内文献来看,一方面,在研究内容上,目前主要侧重对全国、省、市耕地利用效率进行评价分析,但缺少对中国粮食主产区各省际内部耕地利用效率差异的研究,而粮食主产区是中国粮食生产的重要基地和粮食安全的重要保障,区域内耕地占全国耕地面积的70.27%,探究粮食主产区耕地利用效率更具典型性。另一方面,以往学者在探究耕地利用效率影响因素时,多采用全局回归模型,往

往容易忽视影响因素在空间上的差异。地理加权回归模型(GWR)是一种有效处理回归分析中空间非平稳性现象的建模技术,该方法依据回归系数在各地地理位置处的估计值随空间的变化情况,对回归关系的空间非平稳性进行探索和分析<sup>[20]</sup>,相对于普通最小二乘法只能在全局或者平均意义上对参数进行估计,无法反映空间局部变化这一不足来说,该模型具有一定的优越性。因此,本文以中国粮食主产区的180个地级市为例,运用DEA模型及空间地统计方法,对1994-2014年粮食主产区各地级市耕地利用效率现状及其时空演变特征进行分析,在构建地理加权回归模型(GWR)之后,探究了粮食主产区耕地利用效率的影响因素,以为耕地资源高效利用和区域土地管理决策提供科学依据。

## 2 研究区概况、研究方法与数据来源

### 2.1 研究区概况

粮食主产区是指地理、土壤、气候、技术等条件适合种植粮食作物、粮食产量高、种植比例大,并且具有一定经济优势的地区<sup>[21]</sup>。根据财政部2013年颁发的《关于改革和完善农业综合开发政策措施的意见》<sup>[22]</sup>,本文全国粮食主产区包括河北、内蒙古、黑龙江、吉林、辽宁、山东、河南、江苏、安徽、江西、湖北、湖南和四川共13个省、自治区(图1)。该区域总面积约为378万km<sup>2</sup>,占全国陆地总面积的

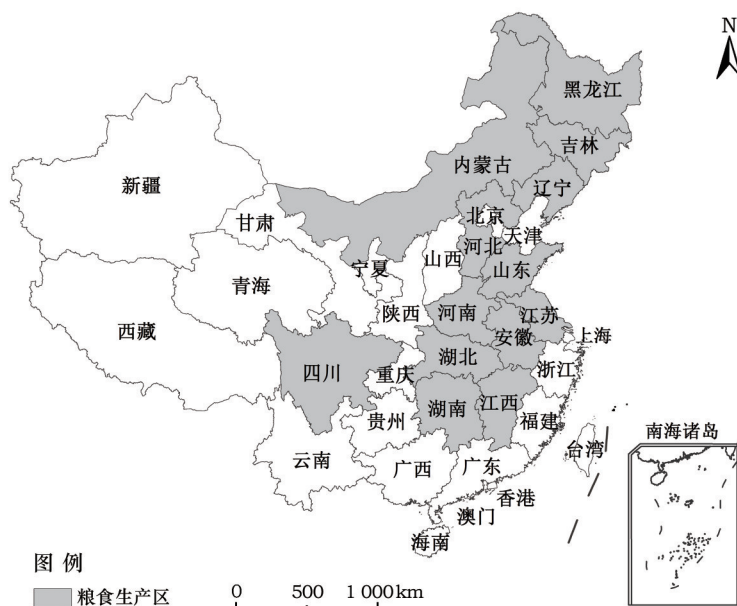


图1 中国粮食主产区分布

Figure 1 Location of the major grain producing area in China

39.33%。2013年,区域耕地总面积约为85.53万 $\text{km}^2$ ,占全国耕地面积的70.27%。粮食主产区大多数区域地处平原或低丘区,区域内自然条件优越,气候湿润或半湿润,雨量充沛,光、热、水资源组合较好,土壤质量好,区内聚集了中国相当数量的优质农田<sup>[23]</sup>。粮食主产区是中国粮食生产的重要基地,对保障国家粮食安全、推动国民经济发展和巩固农业基础与战略地位具有十分重要意义<sup>[24]</sup>。本文以粮食主产区内的180个地级市为单位进行分析研究。

## 2.2 耕地利用效率测算方法

### 2.2.1 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<sup>[19]</sup>。根据柯布道格拉斯生产函数,结合以往学者研究<sup>[14,15]</sup>,将区域耕地利用效率通过土地、资本及劳动力的投入产出之比相对数来衡量<sup>[12]</sup>。遵循代表性、可获取性等指标选取原则,从耕地利用投入和产出两方面选取指标,构建耕地利用率评价体系。在投入指标上,土地选取耕地面积 $I_1$ 表征,劳动力选取第一产业从业人员 $I_2$ 表征,资本选取农用化肥使用量 $I_3$ 和农业机械总动力 $I_4$ 等4项指标表征;在产出上,选取农业产值 $O_1$ 、粮食总产量 $O_2$ 等2项指标表征(表1)。

### 2.2.2 模型构建

数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA),是一种基于被评价对象间相对比较的非参数技术效率分析方法,以相对效率概念为基础,运用数学线性规划评价多投入多产出模式下决策单元DMU间的相对有效性<sup>[25,26]</sup>。本文首先采用规模

报酬不变模型(CRS)下的投入导向型来对耕地利用综合效率进行测算。构建出粮食主产区耕地利用效率规模报酬不变模型如下:

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

模型对 $j$ 个城市耕地利用效率进行评价,将每个城市视为一个决策单元( $j=1,2,\dots,n$ );每个城市(DMU)都有 $m$ 种投入变量和 $r$ 种产出变量; $X_{jm}$ 为第 $j$ 个地区的第 $m$ 种投入总量; $Y_{jr}$ 为第 $j$ 个地区的第 $r$ 种产出的总量; $\lambda_j$ 为权重变量,使各个有效点连接起来形成有效前沿面,从而判断各地区的耕地利用效率状况;式中 $\theta$  ( $0 < \theta \leq 1$ )表示耕地投入产出的综合效率指数 $\theta$ 表值越接近1,表示耕地利用综合效率越高, $\theta=1$ 表示综合效率最优; $\lambda_j$ 为权重变量; $s^+$ 为剩余变量; $s^-$ 为松弛变量; $\varepsilon$ 为非阿基米德无穷小量; $e^T = (1, 1, \dots) \in E^r$ 与 $\bar{e}^T = (1, 1, \dots) \in E^m$ 均为单位空间向量。

若在CRS模型的约束条件中加入假设条件 $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$ ,方程(1)可以转化为规模报酬可变模型(VRS模型),通过VRS模型可把综合效率(简称TE)分解成纯技术效率(简称PTE)和规模效率(简称SE),且综合效率表示为纯技术效率和规模效率的乘积<sup>[27]</sup>。利用VRS模型可测得纯技术效率指数 $\theta_o$  ( $0 < \theta_o \leq 1$ )。规模效率可以通过方程 $SE = \theta/\theta_o$ 计算得到,其中 $0 < SE \leq 1$ 。

通过模型测算粮食主产区耕地利用效率,得到综合效率(TE)反映各地区耕地资源要素配置、利用和规模集聚效率综合度量;纯技术效率(PTE)反映特定生产技术水平决定的资源要素配置水平;规模效率(SE)反映耕地资源投入规模集聚的效率。

## 2.3 耕地利用效率时空演变空间统计模型

### 2.3.1 全局空间自相关指数

Global Moran's I指数测度空间相邻或相近区域单元属性值在整个研究区域内空间相关性的总体趋势<sup>[28,29]</sup>。全局Moran's I指数:

表1 耕地投入-产出指标

Table 1 The input and output indicators of cultivated land

指标	变量	指标说明	备注
投入指标	$I_1$	耕地面积	反映耕地利用情况
	$I_2$	第一产业从业人员	反映劳动力投入情况
	$I_3$	农用化肥使用量	表示生产投入的资本部分
	$I_4$	农业机械总动力	表示生产投入的资本部分
产出指标	$O_1$	农业产值	反映农业生产情况
	$O_2$	粮食总产量	反映农业生产情况



2017年4月

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (2)$$

式中  $n$  为研究对象的个数;  $X_i$  与  $X_j$  分别为  $i$ 、 $j$  区域的观测值;  $W_{ij}$  为空间权重矩阵(空间相邻为1,不相邻为0);  $S^2$  为观测值的方差;  $\bar{X}$  为观测值的平均值。在给定显著水平下,若 Moran's I 值为正,表示粮食主产区耕地利用效率整体呈显著空间集聚;若 Moran's I 值为负,则说明粮食主产区耕地利用效率整体呈显著空间分异。

### 2.3.2 热点分析指数

热点分析  $G_i^*$  指数,用于分析不同空间区域的热点区和冷点区,从而测度局部空间自相关特征:

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} X_j}{\sum_{j=1}^n X_j} \quad (3)$$

式中  $W_{ij}$  为空间权重矩阵(空间相邻为1,不相邻为0);如果  $G_i^*$  显著为正,则表明  $i$  周围的值相对较高(高于均值),属于热点区(高值簇);反之,如果  $G_i^*$  显著为负,则表明  $i$  周围的值相对较低(低于均值),属于冷点区(低值簇)。

本文采用 Global Moran's I 指数,  $G_i^*$  指数来测度粮食主产区耕地利用效率的空间格局特征。其中全局 Moran's I 指数是对效率在整个区域空间特征的描述,以此来衡量城市间空间关联及差异特征;在此基础上采用局部  $G_i^*$  指数描述效率局部空间异质特征,以此判别局部空间分异规律。

## 2.4 耕地利用效率影响因素分析方法

### 2.4.1 变量选取

粮食主产区耕地利用效率的变化受自然条件、

经济发展、技术水平等多种因素的共同影响,厘清耕地利用效率时空演变的主要影响因素,对实现粮食主产区耕地的高效利用具有参考意义。本文从自然条件、耕地资源禀赋、农业生产条件、地区经济发展水平、地区科技水平5方面考虑各因素对耕地利用效率时空演变的影响。考虑到数据可获取性,结合相关学者研究,选取耕地复种指数<sup>[13]</sup>、耕地质量等别<sup>[16]</sup>、灌溉指数<sup>[4]</sup>、人均GDP<sup>[12]</sup>、科技投入<sup>[19]</sup>5项具体指标来表征以上各影响因素(表2)。

### 2.4.2 地理加权回归模型构建

传统的线性回归模型(OLS模型)仅对参数进行平均或全局估计,其前提是数据本身在统计上是独立且均匀分布,当自变量为空间数据并存在空间自相关性,将会导致空间数据分析产生偏差。地理加权回归模型(Geographically Weighted Regression, GWR)通过对不同区域的影响程度进行估计,能够反映参数在不同空间下的空间非平稳性,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<sup>[31]</sup>。GWR模型扩展了传统的回归框架,在全局回归模型的基础上进行局部的参数估计模型结构如下:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_j) + \sum_{k=1}^t \beta_k(u_i, v_j)(x_{ik}) + \varepsilon_i \quad (4)$$

式中  $\beta_0(u_i, v_j)$  为常数项;  $\beta_k(u_i, v_j)$  为样点城市的回归参数;  $t$  为粮食主产区城市个数;  $x_{ik}$  为粮食主产区城市变量数;  $\varepsilon_i$  为随机误差项。

因此,以各城市耕地利用综合效率为因变量,上述5个影响因素为解释变量,通过GWR空间加权二乘法(WLS)对1994年、2004年、2014年粮食主产区180个城市数据建立模型,对影响粮食主产区耕

表2 耕地利用效率影响因素的指标选取及说明

Table 2 The description and explanation of driving factors of cultivated land utilization efficiency

具体指标(变量)	指标说明	变量类型	指标预期方向
耕地复种指数(MULC)	农作物总播种面积与耕地面积之比	连续变量	+
耕地质量等别(QUALITY)	依据各县耕地质量等别测算出的加权平均值	连续变量	-
人均GDP(PCGDP)	人均GDP	连续变量	+
灌溉指数(IRRIGA)	灌溉面积与耕地面积之比	连续变量	+
科技投入(TECL)	地区科技支出占财政支出的比例	连续变量	+

注:根据“中国耕地质量等级调查与评定”对中国耕地质量等别类型的划分,将中国耕地划分为1~15等,1等地质量最好,15等地质量最差<sup>[30]</sup>。

地利用效率的因素进行分析。

## 2.5 数据来源

研究所需基础数据为1994-2014年中国粮食主产区180个地级市的农业投入产出及影响因素数据,包括城市耕地总面积、第一产业从业人员、农用化肥使用量、农业机械总动力、农业产值、粮食总产量。数据来源于《中国区域经济统计年鉴》<sup>[32]</sup>、《中国城市统计年鉴》<sup>[33]</sup>、《中国统计年鉴》<sup>[34]</sup>、《中国农村统计年鉴》<sup>[35]</sup>以及粮食主产区13个省、自治区的统计资料。需要说明的是,由于行政区划变动以及数据可得性等问题,河南省的济源市、湖北省的神农架林区、天门市、潜江市、仙桃市数据全部剔除,不在180个城市样本中,四川省的眉山市、资阳市、湖南省的湘西土家族苗族自治州、湖北省的恩施土家族苗族自治州部分年份数据有缺失。为了消除价格因素的影响,以1994年为基期,对受价格变动影响的产值数据进行了平减,确保数据的可比性。

## 3 结果及分析

### 3.1 粮食主产区耕地利用效率测算结果

结合公式(1)及计算指标,利用DEA模型,借助MaxDEA计算软件,得到粮食主产区耕地利用综合效率、纯技术效率和规模效率(图2)。粮食主产区耕地利用综合效率总体上呈现波动上升的趋势,从1994年的0.7165上升到2014年的0.7608,且阶段性变化特征明显。其中,1994-2004年,10年间粮食主产区耕地利用综合效率,表现出波动下降的态势,生产要素投入不足使得综合效率均值在2004年下降至20年间最低0.5998;2004-2014年,10年间耕地利用综合效率平均值呈现逐渐上升的态势,在2014

年上升至0.7608,达到最优水平的76%。表明了特定生产条件下,当农业生产要素投入增加到一定程度,且对增加的这些投入资源实现合理利用,推动了综合效率的提升;同时,耕地利用效率在2004年后逐步回升,可能与国家2004年之后逐步减免农业税有一定关系。纯技术效率与综合效率数值总体上接近,规模效率的值则远高于综合效率,但是二者在1994-2014年间的变化趋势则与综合效率大体上保持一致。

图3则展示了中国粮食主产区各地级市在1994年、2004年和2014年不同时段耕地利用效率情况。就综合效率而言,1994年、2004年、2014年粮食主产区180个地级市分别有17、7、20个市的耕地利用综合效率达到DEA最优值,分别占总数的9.44%、3.88%、11.11%;就不同省份而言,湖北、吉林、黑龙江、四川等地的综合利用效率很高,而内蒙古、河北、河南等地的综合利用效率则相对较低。就纯技术效率而言,1994年、2004年、2014年粮食主产区纯技术效率平均值分别为0.7636、0.6749、0.8088,均高于当年的综合效率平均水平,且分别有34、19、36个城市技术效率达到最优,占到总数的18.89%、10.56%和20.00%;纯技术效率空间分布特征与综合效率分布特征较一致。就规模效率而言,1994年、2004年、2014年粮食主产区规模效率平均值分别为0.9383、0.8889、0.9407,远高于综合效率和纯技术效率,且整体上呈现波动上升趋势;在1994年、2004年和2014年,分别有17、7、21个城市规模效率达到DEA最优,占到总数的9.44%、3.88%、11.67%;规模效率达到DEA最优的个数与

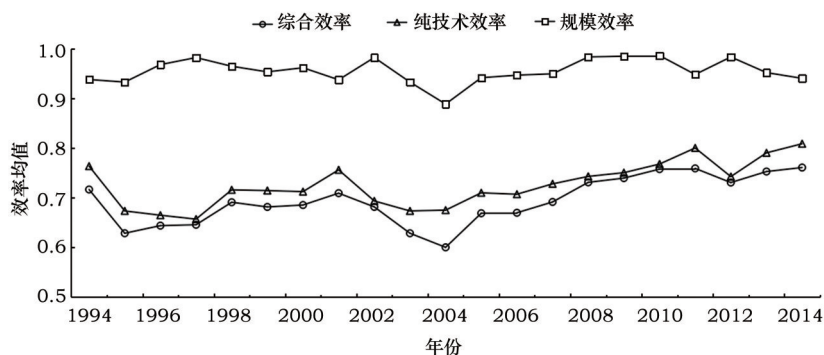


图2 1994-2014年中国粮食主产区耕地利用效率均值

Figure 2 Mean value of cultivated land utilization efficiency in the major grain producing area from 1994 to 2014

2017年4月

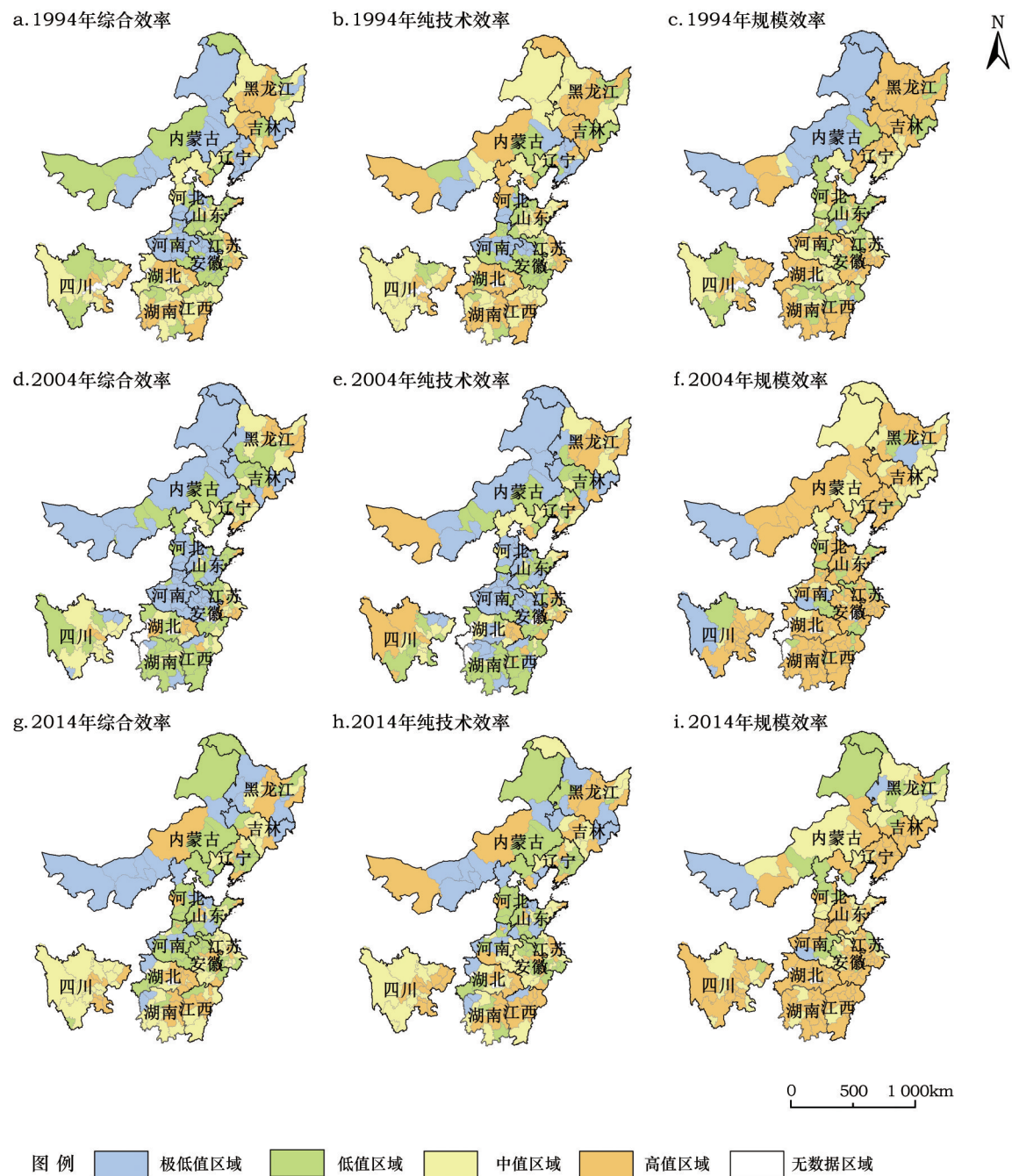


图3 1994年、2004年、2014年中国粮食主产区各城市耕地利用效率值分布

Figure 3 Cultivated land utilization efficiency value distribution of each city in the major grain producing area in 1994, 2004 and 2014

综合效率较一致,但空间分布特征不一致。规模效率  
高值城市在各个省份均有分布,且分布较集中。

### 3.2 耕地利用效率时空格局演变特征

#### 3.2.1 总体空间格局演化特征

本文利用GeoDa095分析软件,研究了1994年、  
2004年、2014年粮食主产区耕地利用综合效率值的

全局Moran's I指数,用以分析粮食主产区耕地利用  
综合效率总体格局演化特征。1994年、2004年、  
2014年粮食主产区耕地利用综合效率值的全局  
Moran's I指数均在1%的水平上,通过显著性检验,  
表明粮食主产区耕地利用效率呈现正向空间自相  
关性。1994-2014年粮食主产区耕地利用效率全局



Moran's I值由0.1184提高到0.2430,呈现增长趋势,这表明粮食主产区耕地利用效率的空间相关显著性有所增强,集聚态势有所凸显。然而,全局Moran's I值的变化幅度不大,说明粮食主产区耕地利用效率空间分布格局相对稳定,未发生较大的变动(表3)。

表3 1994年、2004年、2014年粮食主产区耕地利用效率全局Moran's I指数

Table 3 Global Moran's I index of cultivated land utilization efficiency in the major grain producing area in China in 1994, 2004 and 2014

	1994年	2004年	2014年
Moran's I	0.118 4	0.163 5	0.243 0
期望值	-0.053 5	-0.053 5	-0.053 5
Z得分	5.817 2	7.929 7	9.598 4
P检验	0.001	0.001	0.001

3.2.2 局部空间格局演化特征

在粮食主产区耕地利用综合效率空间分异总体特征的基础上,本文进一步对其局部空间集聚格局演化特征进行探究。利用ArcGIS10.0软件中空间统计模块(Spatial Statistics Tools)计算出1994年、2004年、2014年粮食主产区各市耕地利用综合效率的局域 $G_i^*$ 指数,采用自然断点法将 $G_i^*$ 值由高到低分为4类:效率热点区、次热点区、次冷点区、冷点区,并绘制粮食主产区耕地利用综合效率空间格局局部集聚演变图(图4)。

从图4可以看出,粮食主产区耕地利用综合效

率整体上呈现较显著的空间差异分布格局。即出现相当数量的地区耕地利用效率高值(低值)区域在空间上集聚,呈现高高集聚或低低集聚分布格局。热点区空间极化现象明显,且其随着时间的推移而逐渐变化。具体而言:

(1)1994年综合效率热点区域表现出“两核集聚”的空间格局。该年度粮食主产区耕地利用综合效率形成了两个高值集聚区域,分别位于长江中下游平原和东北平原,形成了两个热点“极核”;冷点地区主要集中在河南省、安徽省东部以及河北南部的城市,这些区域形成了耕地利用效率低值集聚区(图4a)。

(2)2004年综合效率热点区域形成“多核极化”的空间格局。该年度粮食主产区耕地利用综合效率形成了多个高值集聚的“极核”,其中第一个“极核”分布于黑龙江省,第二个“极核”以辽宁沈阳市为中心向外辐射,第三个“极核”呈带状分布于江苏南部、安徽东部以及江西东部的城市,第四个“极核”主要涵盖四川省多数城市。冷点区域仍以河南省为中心,辐射到山东西部、安徽西北、以及湖北北部的部分城市(图4b)。

(3)2014年综合效率热点区域仍形成“两核极化”的空间格局,但呈现出明显的层次性。与1994年相比,高值“极核”所在区域发生变化,其中一个“极核”位于分布湖南、江西、江苏地区,另一个“极核”则涵盖了四川省;低值集聚的冷点区域打破了

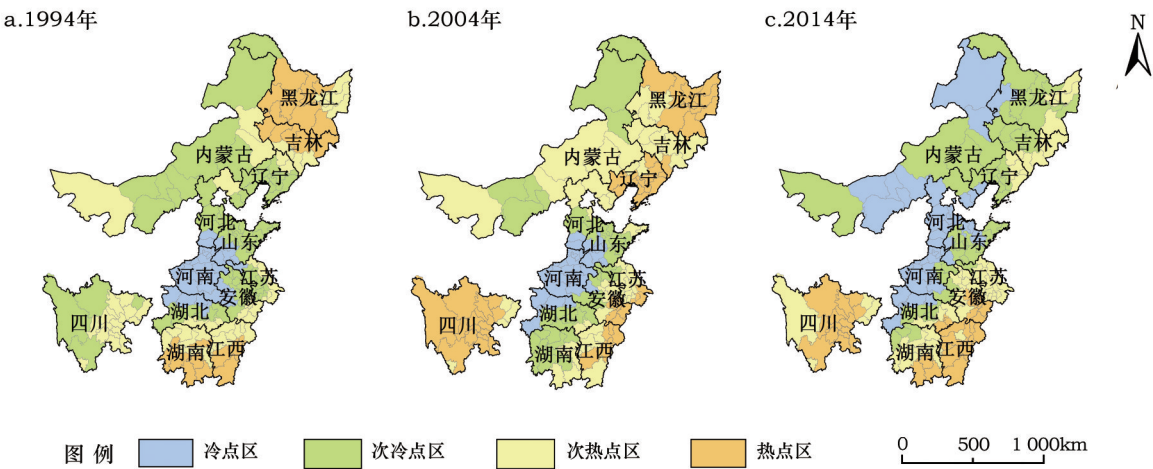


图4 1994年、2004年、2014年中国粮食主产区耕地利用效率空间格局

Figure 4 Spatial pattern of cultivated land utilization efficiency in the major grain producing area in 1994, 2004 and 2014

2017年4月

1994年和2004年度集中连片分布格局,涵盖区域有所扩展,形成了多个冷点集聚区。这一时期综合效率的集聚趋势由东南方向朝西北方向依次递减,表现出较明显的“热点-次热点-次冷点-冷点”层次分布特征(图4c)。

### 3.3 耕地利用效率时空演变影响因素

本文利用ArcGIS10.2地理加权回归模块估算了耕地利用效率的GWR值(如表4所示)。1994年、2004年、2014各年份拟合系数 $R^2$ 分别为0.710、0.795、0.801,调整后的拟合系数 $R^2$ 分别为0.664、0.750、0.774,表明该模型的拟合优度较高,可以解释耕地利用效率总变异的66%~77%。

#### 3.3.1 自然条件对耕地利用效率的影响

复种指数在1%的水平上呈正向显著,这说明自然条件对粮食主产区耕地利用效率的提升具有显著作用。同时从回归系数来看,1994年、2004年、2014年复种指数的回归系数均值分别为0.466、0.341、0.537,在各因素中最高,这说明与其他因素相比,自然条件对耕地利用效率的影响作用最大。耕地利用效率高值区域主要集中于湖北、湖南、江

苏一带(图3),且这些区域在1994年、2004年和2014年的复种指数的均值分别为2.45、2.12、2.55,而效率低值主要集中在内蒙古地区,这些地区的复种指数仅为0.89。这主要是因为长江中下游平原地形平坦、光热条件优越、水资源丰富,优越的自然条件使得这些地区的粮食生产力较高,从而提高了其耕地利用效率,而内蒙古处于干旱区降水量少而不匀,缺乏自然条件优势。因此,自然条件是决定粮食主产区耕地利用效率空间分布格局的基础。

#### 3.3.2 耕地资源禀赋对耕地利用效率的影响

模型中耕地质量等别在1%水平上表现出显著,说明耕地资源禀赋对粮食主产区耕地利用效率的影响显著。1994-2014年耕地质量等别回归系数均为负,表明耕地质量等别数值越低即耕地质量越高,土地利用效率越高。此外,回归系数区间和各时期平均数的绝对值(0.252、0.235、0.275)变化不大,这说明耕地资源禀赋对耕地利用效率影响相对稳定,但作用大小存在空间差异。以上三个时期中,湖北、湖南、江苏、耕地质量等别均值分别为6.2、8.5、6.1,内蒙古均值为13.5,上述区域耕地质量

表4 1994年,2004年,2014年GWR模型自变量回归系数

Table 4 The independent variable regression coefficient of GWR model in 1994, 2004 and 2014

变量	1994年	2004年	2014年
<i>Cond</i>	1.165~142.365	10.249~127.714	20.466~159.278
<i>MULC</i>	0.175~0.696*** (0.466)	0.130~0.528*** (0.341)	0.232~0.838*** (0.537)
<i>QUALITY</i>	-0.335~-0.194*** (-0.252)	-0.285~-0.081*** (-0.235)	-0.360~-0.213*** (-0.275)
<i>PCGDP</i>	0.117~0.310** (0.225)	0.057~0.182** (0.150)	0.200~0.428** (0.315)
<i>IRRIGA</i>	-0.303~-0.211** (0.139)	-0.247~-0.235** (0.123)	0.113~-0.264** (0.190)
<i>TECL</i>	-0.200~-0.041* (0.011)	-0.013~-0.101* (0.093)	0.167~-0.378* (0.205)
<i>Bandwidth</i>	1.703	1.994	2.355
<i>Residual Squares</i>	2.688	3.226	4.193
<i>Effective Number</i>	26.490	39.735	45.033
<i>Sigma</i>	0.129	0.335	0.206
<i>AICc</i>	266.664	158.329	146.967
$R^2$	0.710	0.795	0.801
Adjusted $R^2$	0.664	0.750	0.774

注:\*\*\*、\*\*、\*分别为1%、5%、10%显著水平,括号中的数字表示回归系数的均值。



等别与耕地利用效率高低值在空间分布上表现出显著的一致性。这表明耕地资源禀赋的区域差异使得耕地的粮食生产能力存在着空间异质性,从而影响着耕地利用效率的空间分布。

### 3.3.3 经济发展水平对耕地利用效率的影响

人均GDP指标的估计系数在模型中始终表现为正向显著,且通过了5%水平的显著检验,这说明经济发展水平越高的地区,耕地利用效率也越高。显著性检验及回归系数区间表明经济发展水平是粮食主产区耕地利用效率时空演变的关键因素。一方面,在经济发展水平较高的地区,可以增加更多的资金投入、农业科技以及政策支持,从而改善了区域农业生产条件,提高了耕地产出效率。另一方面,随着经济水平的发展,粮食主产区城市建设用地面积从2004年的3796km<sup>2</sup>增加到2014年的28260km<sup>2</sup>,增加了6倍多,城镇用地的迅速扩张,加剧了对耕地的侵占,这促使人们提高对耕地的利用效率,使得耕地的利用向集约化发展。

### 3.3.4 农业生产条件对耕地利用效率的影响

灌溉指数的回归系数通过了5%的显著性水平检验,说明农业生产条件对粮食主产区耕地利用效率的影响显著。从回归系数作用方向来看,农业生产条件对耕地利用效率影响呈现由负向作用到正向作用的过度变化。1994-2004年,回归系数负值城市比例从16%下降到9%,2014年回归系数值均为正,这表明农业生产条件对耕地利用效率的影响存在明显的区域差异。此外,1994-2014年三个时期回归系数均值变化较小,表明农业生产条件对耕地利用效率空间演变作用相对稳定。随着农业基础设施的完善,部分地区通过改善区域农业设施条件,促进农业机械化发展,从而提高了区域耕地利用效率。

### 3.3.5 地区科技水平对耕地利用效率的影响

科技水平的回归系数通过了10%的显著检验,说明该因素对耕地利用效率有影响作用,但其回归系数有负有正,1994年、2004年回归系数为负值的城市分别占到了研究区城市总数的23%和11%,负值数量在逐渐减少,到2014年回归系数均为正。此外,回归系数数值区间和平均值也逐渐增大。这种变化趋势表明,科技水平对耕地利用效率影响越来

越大。传统时代,各地区农业发展对科学技术的利用普遍不高,对耕地利用效率的作用较小;但随着农业现代化的发展,各区域科学技术水平投入力度增加,一定程度促进了先进农业生产技术推广,提高了地区耕地资源利用效率,导致科技水平在耕地利用效率提升方面的作用越来越突出。

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

本文运用DEA模型测度了1994-2014年粮食主产区耕地利用效率,利用Global Moran's I、G<sub>i</sub><sup>\*</sup>指数空间统计模型分析了耕地利用综合效率的时空格局演变特征,最后通过地理加权回归模型探讨了粮食主产区耕地利用效率空间差异形成的主要因素,得到如下结论:

(1)1994-2014年,粮食主产区耕地利用效率总体上呈现波动上升的趋势,且具有明显的阶段性变化特征,但整体效率值并不高。1994年、2004年、2014年综合效率达到DEA最优的城市分别只占到粮食主产区城市总数的9.44%、3.88%、11.11%。此外,全国粮食主产区耕地利用效率表现出显著的空间差异性。

(2)粮食主产区耕地利用综合效率表现出正向空间自相关性,局部空间格局演变特征表现为耕地利用综合效率在空间上集聚,呈现高高集聚或低低集聚分布格局。其中,耕地利用综合效率高值集聚的热点区域,1994年表现出“两核集聚”的空间格局,2004年形成“多核极化”的分布格局,2014年则进一步演化为“两核极化”格局,并呈现出明显的层次性。耕地利用综合效率低值集聚的冷点区域,1994年主要分布于河南省、安徽省东部以及河北南部地区,2014年范围逐渐向北扩展,辐射至内蒙古的部分地区。

(3)粮食主产区耕地利用效率的时空演变是自然条件、耕地资源禀赋、地区经济发展水平、农业生产条件、地区科技水平共同作用的结果。其中自然条件是基础因素,耕地资源禀赋、地区经济发展水平、农业生产条件是重要的影响因素,而地区科技水平对耕地利用效率的作用在不断增强。

### 4.2 讨论

本文以地级市为基本研究单元,通过对全国粮

2017年4月

食主产区耕地利用效率的测度及时空格局演化的分析,较全面掌握了粮食主产区耕地利用效率的时空格局演变特征以及主要影响因素,可为未来制定耕地资源高效利用和区域土地管理决策提供科学借鉴。从研究结果来看,粮食主产区耕地利用效率总体上呈现波动上升的趋势,这与叶浩等<sup>[14]</sup>、王良建等<sup>[17]</sup>的研究结果一致。此外与刘玉海等<sup>[15]</sup>、张荣天等<sup>[19]</sup>的研究相比,通过对耕地利用效率影响因素的探究,发现耕地质量等别(耕地资源禀赋)对耕地利用效率有显著的影响。本研究尚存在一些不足之处:首先,考虑到数据的可获取性及操作性,粮食主产区耕地利用效率评价指标涉及投入、产出两方面,要素指标的选取仍有待后续改进;其次,气候、农业政策、农产品价格乃至耕地流转价格等,是否也会对耕地利用效率产生影响,值得深入探究;最后,粮食主产区耕地利用效率影响因素之间的相互作用机理及未来相关优化对策有待在后续研究中进一步完善。

## 参考文献(References):

- [1] 刘彦随,乔陆印. 中国新型城镇化背景下耕地保护制度与政策创新[J]. 经济地理, 2014, 34(4): 1-6. [Liu Y S, Qiao L Y. Innovating system and policy of arable land conservation under the new-type urbanization in China[J]. *Economic Geography*, 2014, 34(4): 1-6.]
- [2] 邹红艳,谭清美,朱平. 城乡一体化进程中耕地利用变化的驱动因素及区域比较[J]. 农业工程学报, 2013, 29(21): 201-213. [Huan H Y, Tan Q M, Zhu P. Driving factors of cultivated land use change in city and countryside integration process and region comparisons[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(21): 201-213.]
- [3] 黄季焜. 中国的食物安全问题[J]. 中国农村经济, 2005, (10): 4-10. [Huang Jikun. The Food Safety Problems in China[J]. *Chinese Rural Economy*, 2005, (10): 4-10.]
- [4] 张鹏岩,秦明周,闫江虹,等. 河南省耕地资源利用效益的影响因素及特征分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013, 23(1): 162-169. [Zhang P Y, Qin M Z, Yan J H, et al. Study on impact factors and characteristic of cultivated land resources' utilization benefit in Henan province[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(1): 162-169.]
- [5] 邹金浪,杨子生. 不同城市化水平下中国粮食主产区耕地集约利用差异及其政策启示-以江西省和江苏省为例[J]. 资源科学, 2013, 35(2): 370-379. [Zou J L, Yang Z S. Cultivated land use and policy implications in Chinese main grain producing areas with different urbanization levels[J]. *Resources Science*, 2013, 35(2): 370-379.]
- [6] 陈秧分,李先德. 中国粮食产量变化的时空格局与影响因素[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 1-10. [Chen Y F, Li X D. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of grain yield change in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2013, 29(20): 1-10.]
- [7] Yang C H, Wu L, Lin H L. Analysis of cultivated land efficiency in China's agriculture[J]. *Agriculture Economics*, 2010, 56(5): 231-242.
- [8] Wang K Y, Zhang P Y. The research on impact factors and characteristic of cultivated land resources use efficiency- take Henan Province, China as a case study[J]. *IERI Procedia*, 2013, 5: 2-9.
- [9] Li Z J, Yu X K, Gong C J. Intensity change in cultivated land use in Shandong Province from 1980 to 2010[J]. *IERI Procedia*, 2013, 5: 140-146.
- [10] Song X Q, Ou Y Zhu, Li Y S, et al. Cultivated land use change in China, 1999- 2007: Policy development perspectives[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(6): 1061-1078.
- [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. Quantitative studies on the using efficiency and driving factors of changing of cultivated land in Jiangyin city[J]. *Economic Geography*, 2002, 22(4): 440-443.]
- [12] 廖成泉,胡银根,章晓曼. 基于四阶段DEA-Tobit的湖北省耕地资源利用效率及其影响因素研究[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(5): 876-882. [Liao C Q, Hu Y G, Zhang X M. Research on the efficiency and the influencing factors of arable land utilization in Hubei Province based on the four-stage DEA and Tobit model[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2015, 36(5): 876-882.]
- [13] 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 Sciences*, 2011, 25(2): 47-54.]
- [14] 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.]
- [15] 刘玉海,武鹏. 转型时期中国农业全要素耕地利用效率及其影响因素分析[J]. 金融研究, 2011, (7): 114-127. [Liu Y H, Wu P. China agricultural total factor of cultivated land use efficiency and its influencing factors analyze in the transition period[J].

- Journal of Financial Research*, 2011, (7): 114-127.]
- [16] 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 L T, Qu F T, Wang C H. Analysis on cultivated land use efficiency based on DEA[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(2): 242-246.]
- [17] 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 regional 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.]
- [18] 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 B, et al. Spatial-temporal variation of cultivated land's utilization efficiency in China based on the dual perspective of non-point source pollution and carbon emission[J]. *China Population Resources and Environment*, 2015, 25(8): 18-25.]
- [19] 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.]
- [20] 艾福利, 庞西磊, 汤庆园, 等. 基于地理加权回归模型的浙江省台风经济损失影响因子分布规律研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2013, 49(1): 61-67. [Ai F L, Pang X L, Tang Q Y. Impact factor distribution for economic losses due to typhoon in Zhejiang province by geographical weighted regression[J]. *Journal of Beijing Normal University (Natural Science)*, 2013, 49(1): 61-67.]
- [21] 刘亚彬, 刘黎明, 许迪, 等. 基于信息扩散理论的中国粮食主产区水旱灾害风险评估[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 1-7. [Liu Y B, Liu L M, Xu D, et al. Risk assessment of flood and drought in major grain-producing areas based on information diffusion theory[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(8): 1-7.]
- [22] 中华人民共和国财政部. 关于改革和完善农业综合开发政策措施的意见[EB/OL]. (2014-08-20)[2016-10-20]. [http://www.ycsnlw.com/nczy/html/231/231-yqnykf\\_201481310957.html](http://www.ycsnlw.com/nczy/html/231/231-yqnykf_201481310957.html). [Ministry of finance of the People's Republic of China. Opinions on Reforming and Improving the Agricultural Comprehensive Development Policies and Measures[EB/OL]. (2014-08-20)[2016-10-20]. [http://www.ycsnlw.com/nczy/html/231/231-yqnykf\\_201481310957.html](http://www.ycsnlw.com/nczy/html/231/231-yqnykf_201481310957.html).]
- [23] 蒋和平, 崔凯. 我国粮食主产区农业现代化指标体系的构建和测算及发展水平评价[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(6): 646-651. [Jiang H P, Cui K. Construction and measuring of agricultural modernization evaluation index system on major grain producing areas in China[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2011, 32(6): 646-651.]
- [24] 刘影, 肖池伟, 李鹏, 等. 1978-2013年中国粮食主产区“粮-经”关系分析[J]. 资源科学, 2015, 37(10): 1891-1901. [Liu Y, Xiao C W, Li P, et al. Relationship of grain output and economic development from 1978 to 2013 in the major grain producing area of China[J]. *Resources Science*, 2015, 37(10): 1891-1901.]
- [25] 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, Chen 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.]
- [26] Charnes A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *European Journal of Operational Research*, 1978, 2(6): 429-444.
- [27] 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 China's coastal area of based on DEA-Malmquist model[J]. *Resources Science*, 2015, 37(12): 2381-2393.]
- [28] 张荣天, 焦华富. 转型期省际城镇土地利用绩效格局演变与机理[J]. 地理研究, 2014, 33(12): 2251-2262. [Zhang R T, Jiao H F. Performance of urban land use pattern evolution and mechanism in China during the transformation period[J]. *Geographical Research*, 2014, 33(12): 2251-2262.]
- [29] 王芳, 高晓路. 内蒙古县域经济空间格局演化研究[J]. 地理科学, 2014, 34(7): 818-824. [Wang F, Gao X L. Spatial pattern evolution of the economy in Inner Mongolia at the county level [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(7): 818-824.]
- [30] 程锋, 王洪波, 郎文聚. 中国耕地质量等级调查与评定[J]. 中国土地科学, 2014, 28(2): 75-82. [Cheng F, Wang H B, Yun W J. Study on investigation and assessment of cultivated land quality grade in China[J]. *China Land Sciences*, 2014, 28(2): 75-83.]
- [31] 庞瑞秋, 腾飞, 魏冶. 基于地理加权回归的吉林省人口城镇化动力机制分析[J]. 地理科学, 2014, 21(10): 1210-1217. [Pang R Q, Teng F, Wei Y. A GWR-based study on dynamic mechanism of population urbanization in Jilin Province[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 21(10): 1210-1217.]
- [32] 国家统计局. 中国区域经济统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2000-2014. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook for Regional Eco-



2017年4月

- onomy[M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2000-2014.]
- [33] 国家统计局. 中国城市统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1995-2015. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China City Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 1995-2015.]
- [34] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1995-2015. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. Statistical Yearbook of China[M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 1995-2015.]
- [35] 国家统计局. 中国农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 1995-2015. [National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China Rural Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 1995-2015.]

## Spatiotemporal pattern evolvement and driving factors of cultivated land utilization efficiency of the major grain producing area in China

ZHANG Lixin<sup>1,2</sup>, ZHU Daolin<sup>1,2</sup>, XIE Baopeng<sup>1,2</sup>, DU Ting<sup>1,2</sup>, WANG Xing<sup>1,2</sup>

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Key Laboratory of Agricultural Land Quality, Ministry of Land and Resources, Beijing 100193, China)

**Abstract:** Cultivated land utilization efficiency was measured and evaluated using the method of DEA (data envelopment analysis) for 180 cities in the major grain producing area of China. At the same time, ArcGIS was used to explore the spatiotemporal characteristics of cultivated land utilization efficiency evolution. The spatial distribution and driving factors are discussed using Geographically Weighted Regression (GWR). We found that the rising trend of cultivated utilization efficiency appeared in major grain producing areas over the whole period from 1994 to 2014, which had significant periodic variation characteristics with low values. There was significant spatial heterogeneity of cultivated land use efficiency in a major grain producing area. It could be found that spatial polarization appeared in hotspot areas of cultivated land use efficiency, and gradually changed over time. Hotspot areas diffused from “two core” clustering to “multicore” clustering, and then to “two core” clustering. The spatiotemporal characteristic evolvement of cultivated land use efficiency resulted from the comprehensive effects of natural conditions, cultivated land resource endowments, regional economic development level and agricultural production conditions.

**Key words:** cultivated land utilization efficiency; spatiotemporal pattern; evolvement; driving factors; major grain producing area; China