

何坚坚, 庞 博, 张鹏岩, 等. 区域耕地复种指数时空差异测算及可挖掘潜力分析——以中原经济区为例[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(16): 249–255.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.16.060

# 区域耕地复种指数时空差异测算及可挖掘潜力分析 ——以中原经济区为例

何坚坚, 庞 博, 张鹏岩, 闫宇航, 岑云峰

(河南大学环境与规划学院, 河南开封 475004)

**摘要:**耕地复种指数是反映耕地利用程度的指标, 分析中原经济区耕地复种指数时空差异及可挖掘潜力对发展农业生产、保障粮食安全具有重要作用。借助 ArcGIS 10.1 和 Stata 14.0 软件, 运用区域差异度量模型、复种潜力指数和空间自相关模型对 2005—2014 年中原经济区复种指数时空差异和驱动力以及可挖掘复种潜力指数的空间分布特征进行研究。主要结论如下: (1) 2005—2014 年中原经济区复种指数整体呈现波动下降的趋势, 在空间尺度上, 耕地复种指数以安徽地区最高, 河南地区次之, 山西地区最低; 而复种指数增长最快的是山东地区, 复种指数年均增长率为 5.55%, 河南地区耕地复种指数所下降, 其复种指数年均下降率为 0.65%, 安徽地区、河北地区和山西地区耕地复种指数变化较为平稳; (2) 自然环境因素对耕地复种指数及复种潜力指数均起着重要的作用, 可挖掘复种潜力指数呈现出西北部可挖掘性高, 而中部、东南部地区可开发利用程度小的趋势; (3) 中原经济区县域可挖掘复种潜力指数表现为空间上的正相关关系和强烈的集聚效应; (4) 中原经济区的产业非农化比重和人口非农化比重对耕地复种指数产生负向作用, 人均家庭纯收入、农业政策和人均经营性耕地面积对耕地复种指数产生正向作用。依据区域耕地复种指数时空差异和可挖掘潜力的特点, 制定相关政策, 从而提高区域耕地复种指数, 保障区域粮食安全。

**关键词:** 复种指数; 潜力指数; 时空差异; 可挖掘潜力; 中原经济区

**中图分类号:** F326.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)16-0249-07

粮食是关系国计民生的特殊商品和重要的战略储备资源, 粮食安全是国家安全的重要组成部分<sup>[1-2]</sup>。耕地资源是农业生产最基本的物质条件, 耕地数量和质量的直接影响粮食产量<sup>[3]</sup>, 土地是人类进行生产和生活活动的承载空间<sup>[4-5]</sup>, 对于人类社会经济发展具有重要意义<sup>[6]</sup>。耕地是土

地的精华, 担负着保障国家粮食安全、满足工业化和城市化用地需求以及生态环境建设等功能<sup>[7]</sup>。随着我国社会经济的不断发展、城市化进程的不断加快和人口数量的增长, 大量优质耕地资源被侵占。同时, 随着我国人口数量不断增长, 人们生活水平不断提高, 对粮食的需求日益增加<sup>[10-11]</sup>, 这与耕地减少形成尖锐的矛盾, 严重威胁我国粮食安全和生态安全<sup>[8-9]</sup>, 人多地少的基本国情和城市的扩张决定了我国必须集约利用土地<sup>[12]</sup>, 大力提高土地利用效率<sup>[13]</sup>, 强化耕地数量、质量和生态保护的“三位一体”<sup>[14]</sup>, 确保我国粮食安全。

近年来, 对粮食安全的研究集中在耕地面积变化的影响, 对复种指数变化及其影响的研究较少<sup>[15]</sup>。复种作为我国传统的、重要的农作物种植制度在提高粮食产量和实现耕地集约节约利用方面发挥着不可替代的作用<sup>[16]</sup>。研究表明, 我国因复种指数增加的粮食产量对同期粮食增产的贡献率达

收稿日期: 2017-11-30

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 41601175); 河南省哲学社会科学规划项目(编号: 2014CJJ016); 河南省科技发展计划项目(编号: 152102310303); 河南省高校科技创新团队支持计划(编号: 16IRTSTHN012)。

作者简介: 何坚坚(1992—), 女, 安徽淮北人, 硕士研究生, 主要从事土地资源管理研究。E-mail: JJHe0401@163.com。

通信作者: 张鹏岩, 博士, 副教授。主要从事资源利用与环境保护研究。E-mail: pengyanzh@126.com。

[8] 李 森, 张世熔, 罗洪华, 等. 不同施肥处理土壤水溶性有机碳含量特征及动态变化[J]. 农业环境科学学报, 2013, 32(2): 314–319.

[9] 吕国红, 周广胜, 周 莉, 等. 土壤溶解性有机碳测定方法与应用[J]. 气象与环境学报, 2006, 22(2): 51–55.

[10] 窦 森, 周桂玉, 邵 晨, 等. 土壤提取液中有机碳量测定方法的比较[J]. 东北林业大学学报, 2013, 41(2): 99–101.

[11] 李淑芬, 俞元春, 何 晟. 土壤溶解性有机碳的研究进展[J]. 土壤与环境, 2002, 11(4): 422–429.

[12] 盛 浩, 宋迪思, 王翠红, 等. 土壤溶解性有机碳四种测定方法的对比和转换[J]. 土壤, 2015, 47(6): 1049–1053.

[13] Blair G J, Lefroy R D B, Lisle L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management

index for agricultural systems[J]. Australian Journal of Agricultural Research, 1995, 46(7): 1459–1466.

[14] 赵亚南, 柴冠群, 张珍珍, 等. 稻麦轮作下紫色土有机碳活性及其对长期不同施肥的响应[J]. 中国农业科学, 2016, 49(22): 4398–4407.

[15] 于 荣, 徐明岗, 王伯仁. 土壤活性有机质测定方法的比较[J]. 土壤肥料, 2005(2): 49–52.

[16] Tirol – Padre A, Ladha J K. Assessing the reliability of permanganate – oxidizable carbon as an index of soil labile carbon[J]. Soil Science Society of America Journal, 2004, 68(3): 969–978.

[17] 张同英, 王彩霞, 尚杰峰. 影响高锰酸钾标准溶液制备准确性的因素探析[J]. 安徽化工, 2014, 40(3): 97–98.

1/3<sup>[15]</sup>。对于如何提高复种指数很多学者从提高复种指数的数量方面来研究,而关于如何提高复种指数潜力的研究则相对较少。而现阶段,在粮食单位产量没有大的技术突破、耕地保有量逐年下降的情况下,充分利用和挖掘现有耕地资源的生产潜力,是继续提高我国粮食自给能力、保障我国粮食安全的根本途径。衡量耕地资源利用程度的基本指标是耕地复种指数<sup>[17]</sup>,而耕地复种指数及复种潜力指数的研究大致分为 2 种:即以遥感为基础的植物净初级生产力(NPP)监测<sup>[18-20]</sup>和以统计数据为基础的耕地复种指数计算<sup>[21-22]</sup>。基于遥感的复种指数方法基本上都是以长时间序列植被指数数据为基础,采用各种平滑去噪手段拟合得到作物生长曲线,从而进行复种指数提取<sup>[23]</sup>。遥感方法可以较为准确地把握不同区域间的差异情况,并可以在长时间序列对植被复种指数进行监控<sup>[24]</sup>,因此,在复种指数领域研究中得到较为广泛的应用<sup>[25]</sup>。Peng 等运用遥感技术对中国东南部地区的复种指数时空变化进行研究,并对其结果可信度进行验证,取得了较好的研究成果<sup>[26]</sup>。以遥感监测方法为基础,谢花林等对中国 1998—2012 年的复种指数进行评估,发现不同区域间复种指数差异较大,且东北地区为复种指数增长极,而中部地区为增长谷值区,但中部地区复种指数水平最高,东北地区复种指数水平最低<sup>[27]</sup>。统计数据法可以综合考虑各类作物种植类型及种植区域对复种指数的影响,在计算复种潜力指数上具有方便、快捷的优点<sup>[28-29]</sup>,何文斯等、谢花林等、赵永敢等、金妹兰等均运用该方法在各自研究中取得较好效果<sup>[27,30-32]</sup>。此

外,运用空间自相关模型对以耕地为基础的相关指标进行研究也取得了较好的研究成果<sup>[33-35]</sup>。

为了精确对研究区的复种指数进行评估,本研究以统计数据法为基础,运用 ArcGIS 10.1 软件,在复种指数研究的基础上,对研究区的耕地复种潜力进行挖掘,并结合空间自相关等空间度量模型,对研究区复种指数的空间分布进行精确定量研究。近年来,中原经济区经济发展和城市化进程较快,弃耕、占耕的问题不断凸显,人地矛盾突出,因此开展中原经济区耕地复种指数时空分析及发展潜力研究,探讨如何在有限的耕地上充分挖掘耕地潜力,对保障国家粮食安全生产和区域农业生产的可持续发展具有一定的理论和现实意义。

## 1 研究区与研究方法

### 1.1 研究区概况

中原经济区地处中国中心地带(图 1),黄河中下游,包括河南全省、安徽、山西、河北及山东等省份的部分地区。土地总面积约 28.9 万 km<sup>2</sup>,占全国土地总面积的 3.01%。2015 年人口总数约 1.56 亿人,占全国总人口的 11.41%,耕地总面积 1 396.11 万 hm<sup>2</sup>,占全国耕地总面积的 10.34%,人均耕地面积约 0.089 hm<sup>2</sup>,低于全国人均耕地面积(0.099 hm<sup>2</sup>)。中原经济区处于温带-亚热带和湿润-半湿润气候区,属于温带大陆性季风气候,雨热同期,全年无霜期长为 275~308 d,光照充足,地形西高东低,黄淮海平原广布,适宜进行大面积粮食生产。



图1 研究区概况

### 1.2 数据来源

本研究数据来源主要包括 2006—2015 年《河南统计年鉴》、2006—2015 年《安徽统计年鉴》、2006—2015 年《山东统计年鉴》、2006—2015 年《山西统计年鉴》和 2006—2015 年《河北统计年鉴》,以及国家和政府有关部门发布的公告及相关数据。气温和降水数据来源于气象站实际监测,其数据来源于中国气象数据共享服务网,可信度较高。

### 1.3 研究方法

**1.3.1 复种指数** 复种指数(multiple crop index)是反映水土光与自然资源利用程度的指标,其实质是沿时间序列,反映

某一种植制度对耕地的利用程度<sup>[36]</sup>,可运用公式(1)进行计算:

$$MCI = \frac{A_s}{A_c} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $MCI$ 为耕地复种指数(%); $A_s$ 为农作物总播种面积(hm<sup>2</sup>); $A_c$ 为耕地总面积(hm<sup>2</sup>)。

**1.3.2 区域差异度量** 衡量不同地区间不平等的组间差异、组内差异和总差异作为泰尔指数的最大特色之处,而被广泛应用到多个领域<sup>[37-40]</sup>。为了衡量中原经济区不同区域尺度间存在差异与否,本研究运用泰尔指数测度了组间差异和组

内差异对总差异的贡献度,泰尔指数用于复种指数测算的公式<sup>[41]</sup>为:

$$T = \sum_{n=1}^m \left[ \left( \frac{1}{n} \right) \times \left( \frac{MCI_n}{MCI_y} \right) \times \ln \left( \frac{MCI_n}{MCI_y} \right) \right]. \quad (2)$$

式中: $m$ 是省份数量; $MCI_n$ 是 $n$ 省的复种指数; $MCI_y$ 是全国平均复种指数, $T$ 的取值范围为 $T \in [0, \ln n]$ 。

本研究按地区和地级市 2 个尺度对中原经济区耕地复种水平进行区域差异分析,分析组间( $T_{br}$ )和组内差异( $T_{wr}$ )。

$$T = T_{br} + T_{wr}. \quad (3)$$

组间差异  $T_{br}$  公式为:

$$T_{br} = \sum_{i=1}^m \left[ \left( \frac{Q_i}{Q} \right) \times \left( \frac{MCI_i}{MCI_y} \right) \times \ln \left( \frac{MCI_i}{MCI_y} \right) \right]. \quad (4)$$

式中: $m$ 是区域数量; $Q_i$ 是区域 $i$ 中所包含的地区和地级市的个数; $Q$ 是中原经济区所包含地区和地级市的总个数; $MCI_i$ 是区域 $i$ 的平均复种指数; $MCI_y$ 是全国的平均复种指数。

1.3.3 复种潜力指数 温度和降水是影响复种指数潜力大小的基本因素,本研究根据范锦龙提出的运用积温和降水与复种指数外包络线方程<sup>[36]</sup>计算复种潜力。计算模型为:

$$M_T = \begin{cases} 100, T < 3\ 400 \\ (T - 3\ 400) \times 0.125 + 100, 3\ 400 \leq T < 4\ 200 \\ 200, 4\ 200 \leq T < 5\ 200 \\ 300, T \geq 5\ 200 \end{cases}; \quad (5)$$

$$M_R = \begin{cases} 100, R < 500 \\ (R - 500) \times 0.14 + 200, 500 \leq R < 1\ 200 \\ 300, R \geq 1\ 200 \end{cases}. \quad (6)$$

式中: $M_T$ 表示气温影响的复种潜力, $M_R$ 表示降水影响的复种潜力,复种潜力  $M_p = \min(M_T, M_R)$ 。

$$M_d = M_p - MCI. \quad (7)$$

式中: $M_d$ 为耕地可开发潜力。

1.3.4 全局空间自相关 为了衡量复种潜力指数在中原经济区的分布特征,对其是否具有空间自相关性进行描述,特引入全局空间自相关模型对其空间特征进行衡量。计量过程中多选用 Moran's I 指数、全局 Geary's C 和全局 Getis - Ord G 等统计量对研究区总体空间关联和空间差异平均值进行分析<sup>[42]</sup>。本研究选用 Moran's I 统计量对中原经济区复种潜力指数进行分析,如式(8)所示:

$$\text{Moran's I} = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} (x_i - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (8)$$

$n$ 为县域单元总数; $x_i, x_j$ 分别为复种潜力指数在县域水平和中原经济区全区水平上的观测值; $\bar{x}$ 为中原经济区平均复种潜力指数水平; $w_{ij}$ 为空间权重矩阵。

为了更好地描述全局 Moran's I 的显著性水平,引入标准化  $Z$  值对其进行检验<sup>[43]</sup>,如式(9)所示:

$$Z_{\text{score}} = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{VAR}(I)}}. \quad (9)$$

$E(I)$ 为 Moran's I 的期望值; $\text{VAR}(I)$ 表示 Moran's I 的方差。当  $Z_{\text{score}} > 1.96$  或  $Z_{\text{score}} < -1.96$  ( $\alpha = 0.05$ ) 时,表明县域复种潜力指数在空间上存在显著的自相关性。由于 Moran's I 的取值介于  $[-1, 1]$ ,在给定的显著性水平 ( $\alpha = 0.05$ ) 下,若 Moran's I  $> 0$ ,表明存在正相关性,且越接近于 1 相关性越强,

反之亦然。

1.3.5 局部空间自相关 全局空间自相关可以对整个区域的复种潜力指数的相关程度进行描述,由于本研究的基本单元为县域单元,不同空间单元间在自相关水平上存在相当差异<sup>[44]</sup>,仅运用全局空间自相关不能对其空间分布特征及关系进行有效表达。为弥补上述公式不足,引入局部空间自相关分析不同县域单元与临近区域空间差异程度及显著性水平,进而精确衡量不同县域单元的空间特性,如式(10)~(11)所示:

$$\text{Moran's I} = \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^m w_{ij} (x_j - \bar{x})}{S^2}; \quad (10)$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2. \quad (11)$$

$S^2$ 为县域复种潜力指数比例的方程, $m$ 为某空间单元 $i$ 的临近县域单元数目。与全局空间自相关相似,在给定的显著性水平 ( $\alpha = 0.05$ ) 下,若 Moran's I  $> 0$ ,表明不同县域单元差异小,即空间集聚度高,反之空间差异性显著,分散程度高。

1.3.6 耕地复种指数变化驱动力计量模型 耕地复种指数受到多种因素影响,本研究选取产业非农化、人口非农化、人均家庭纯收入、农业政策和人均经营性耕地面积等指标,构建了回归模型分析影响中原经济区耕地复种指数的驱动力因素<sup>[16]</sup>,结合  $F$  检验、豪斯曼 (Hausman) 检验为回归模型选取更为准确的计算方式,进而运用最小二乘虚拟变量法 (LSDV) 对回归模型进行求解,具体如公式(12):

$$MCI_{it} = \varphi_{it} + \alpha_1 RJCSR_{i,t+1} + \alpha_2 RKFNH_{i,t+1} + \alpha_3 CYFNH_{i,t+1} + \alpha_4 RJGDMJ_{i,t+1} + \varepsilon_{it}. \quad (12)$$

式中: $i$  ( $i = 1, \dots, 5$ ) 表示第  $i$  个地区; $t$  ( $t = 2005, \dots, 2014$ ) 表示第  $t$  年; $\varphi_{it}$  为常数项; $\varepsilon_{it}$  为随机误差项; $MCI_{it}$  表示第  $i$  地区第  $t$  年的复种指数; $RJCSR_{i,t+1}$  表示第  $i$  地区第  $t+1$  年的农村人均家庭纯收入的对数,收入对农民在耕地投入方面具有不可忽视的影响,故本研究选取农村家庭纯收入来分析不同收入水平下其对耕地复种指数的影响; $RKFNH_{i,t+1}$  表示第  $i$  地区第  $t+1$  年的人口非农化比重的对数,本研究以非农业人口占总人口的比重来表示城市化率,大量农民尤其是青壮年劳动力外出打工使得农业劳动力短缺进而导致复种指数下降; $CYFNH_{i,t+1}$  表示第  $i$  地区第  $t+1$  年的产业非农化比重的对数,第二产业和第三产业的发展一方面会和第一产业争夺劳动力,另一方面也会为农业生产提供资金、技术等支持,会在不同程度上影响复种指数的变化; $RJGDMJ_{i,t+1}$  表示第  $i$  地区第  $t+1$  年的农民人均耕地面积,人均耕地面积越大越有利于进行规模经营,进而提高耕地复种指数。为了消除数据的异方差,对以上解释变量进行取对数处理。

## 2 结果与分析

### 2.1 复种指数及可挖掘复种潜力指数时空变化

经式(1)计算得出中原经济区 2005—2014 年复种指数变化及空间分布(图 2、图 3)。研究期间,中原经济区耕地复种指数呈波动变化,但整体表现为下降趋势,2014 年相比于 2005 年下降 10.68%,年际下降率为 1.07%。在时间尺度上,中原经济区复种指数变化可以分为 3 个阶段:2005—2007

年递增阶段、2008—2011 年递减阶段、2012—2014 年平稳下降阶段。(1)2005—2007 年,中原经济区耕地复种指数的增加主要是由于农作物播种面积的不断扩大,在耕地面积小幅度变化的基础上,播种面积大幅度变化引起了复种指数的逐年递增状态。(2)2008—2011 年,中原经济区复种指数下降明显,其主要原因归结于极端天气的出现,该阶段中原经济区同期气温相较于其他年份高出 1.6℃,为 1961 年以来同期最高值,因极端天气而带来的农作物损失十分严重。(3)2012—2014 年,中原经济区复种指数呈现平稳下降趋势,下降幅度较小,在自然环境稳定的前提下,该现象主要来源于耕地的撂荒和农业劳动力的转移,期间播种面积共降低

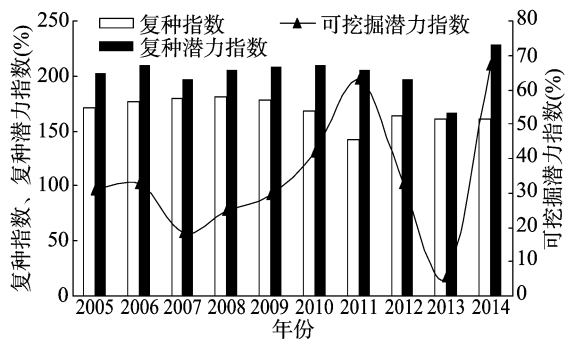


图2 2005—2014 年中原经济区耕地复种指数及其潜力变化

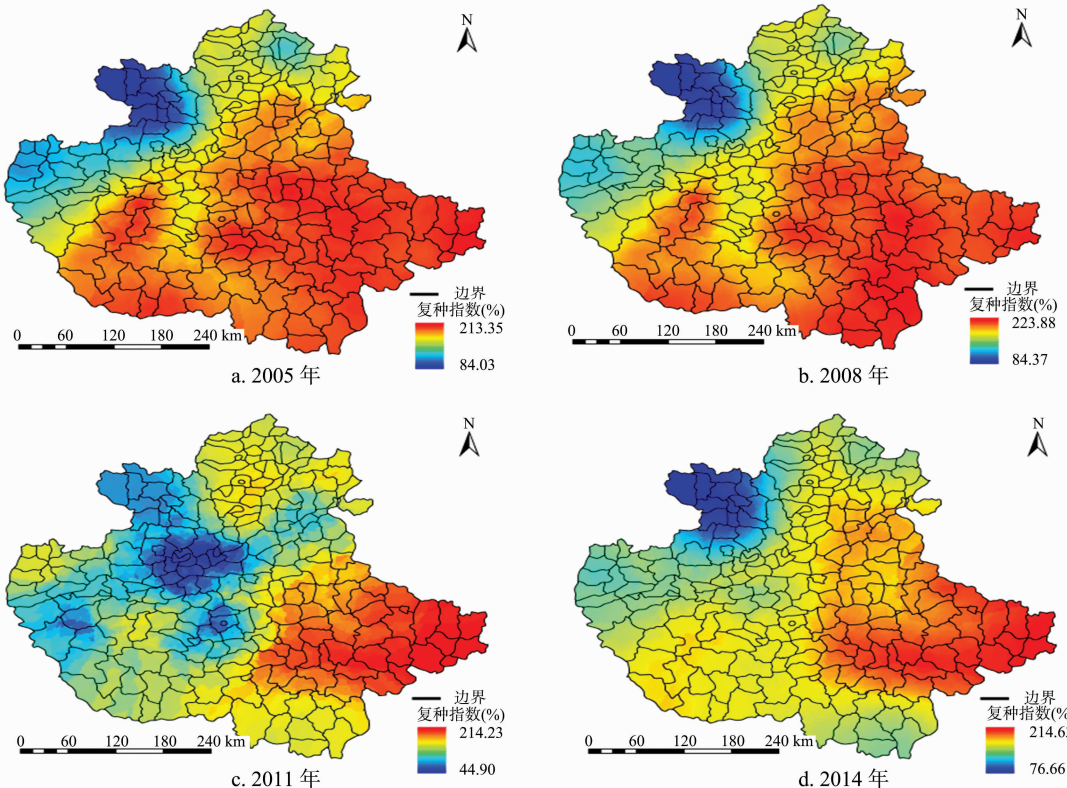


图3 2005、2008、2011、2014 年中原经济区复种指数空间分布

37.26 万  $\text{hm}^2$ ,第二、三产业的不断发展对农业劳动力造成极大冲击,从而形成耕地资源的浪费。

由区域差异度量模型计算可知,2005—2014 年中原经济区耕地复种指数的地区间差异整体呈缩小的趋势,5 个地区间差异的组间差异贡献率始终保持在 70% 以上,但是中原经济区 5 个地区之间的组间差距在逐渐缩小(图 4),从 2005 年的 0.022 下降到 2014 年的 0.009,下降幅度为 59.09%,而中原经济区 5 个地区间的组内差距在增大,从 2005 年的 0.003 上升到 2014 年的 0.007,上升幅度为 133.33%。

为了进一步研究中原经济区 5 个地区之间内部的差异,本研究测算了中原经济区市域尺度复种指数内部构成的泰尔指数(图 5)。中原经济区市域尺度耕地复种指数的组间差异反映了市域间的差异性,而组内差异反映了不同地级市内部县域的差异。由图 5 可知,2005—2014 年中原经济区市域尺度耕地复种指数的总差距整体呈波动下降的趋势,市域组间差距是中原经济区市域尺度耕地复种指数差异的主要原因。其中

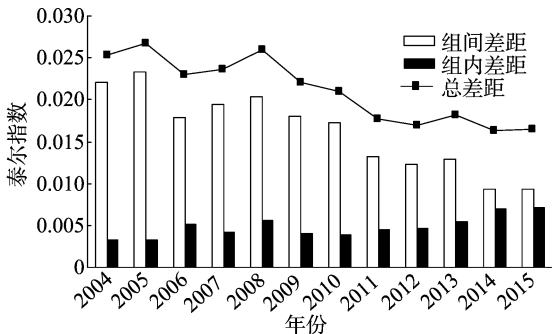


图4 2005—2014 年中原经济区 5 地区耕地复种指数的泰尔指数值之间的组间差异、组内差异及总差异

市域组间差距在 2005—2014 年呈现先下降后上升然后下降,但是总体上升的趋势,这和之前提到的中原经济区 5 个地区之间的组内差距在增大是相吻合的,而市域尺度的组内差距呈现下降的趋势,从 2005 年的 0.019 下降到 2014 年的 0.012。



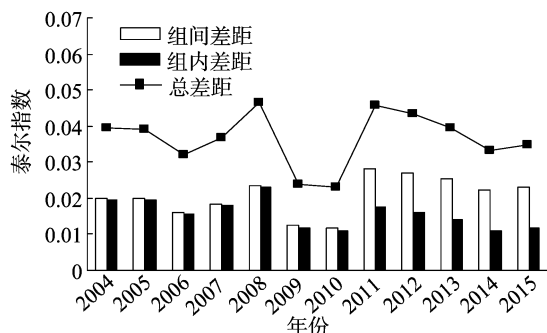


图5 2005—2014 年中原经济区县域耕地复种指数的泰尔指数值之间的组间差异、组内差异及总差异

## 2.2 中原经济区可挖掘复种潜力指数空间分析

经式(8)(9)计算得出,2005、2008、2011、2014 年中原经济区各县域可挖掘复种潜力指数存在正相关关系(表 1)。

为了更加清晰地对中原经济区县域单位的空间特性进行表述,建立 LISA 图对该地区的空间集聚效应进行表达(图 6)。2005 年 LISA 集聚图相比 2008 年差距较小,2008 年低低

表 1 全局空间自相关结果分析

年份	Moran's I	Z - score	相关关系
2005	0.54	2.65	显著、正相关、集聚
2008	0.58	2.93	显著、正相关、集聚
2011	0.33	1.65	不显著、正相关、集聚
2014	0.54	2.72	显著、正相关、集聚

注:均处于  $\alpha=0.05$  的显著性水平。

集聚区域明显少于 2005 年,但分布区基本不变。2005 年中原经济区西部的高高集聚单位明显减少,全区整体的分布情况大致从西北向东南以高高集聚—低高集聚—高低集聚—低低集聚态势分布。2011 年相比 2005、2008 年差异较大,高高集聚区向研究区中部转移,而低低集聚区向东部地区转移,这说明 2011 年中原经济区可挖掘潜力指数较大的区域多集中在中原经济区东部地区,而复种指数高挖掘潜力区多集中在西北部地区。2014 年该区的集聚效应又逐渐变为 2005 年态势,但低低集聚区集中于中东部地区,而南部地区则出现高挖掘潜力集聚区。

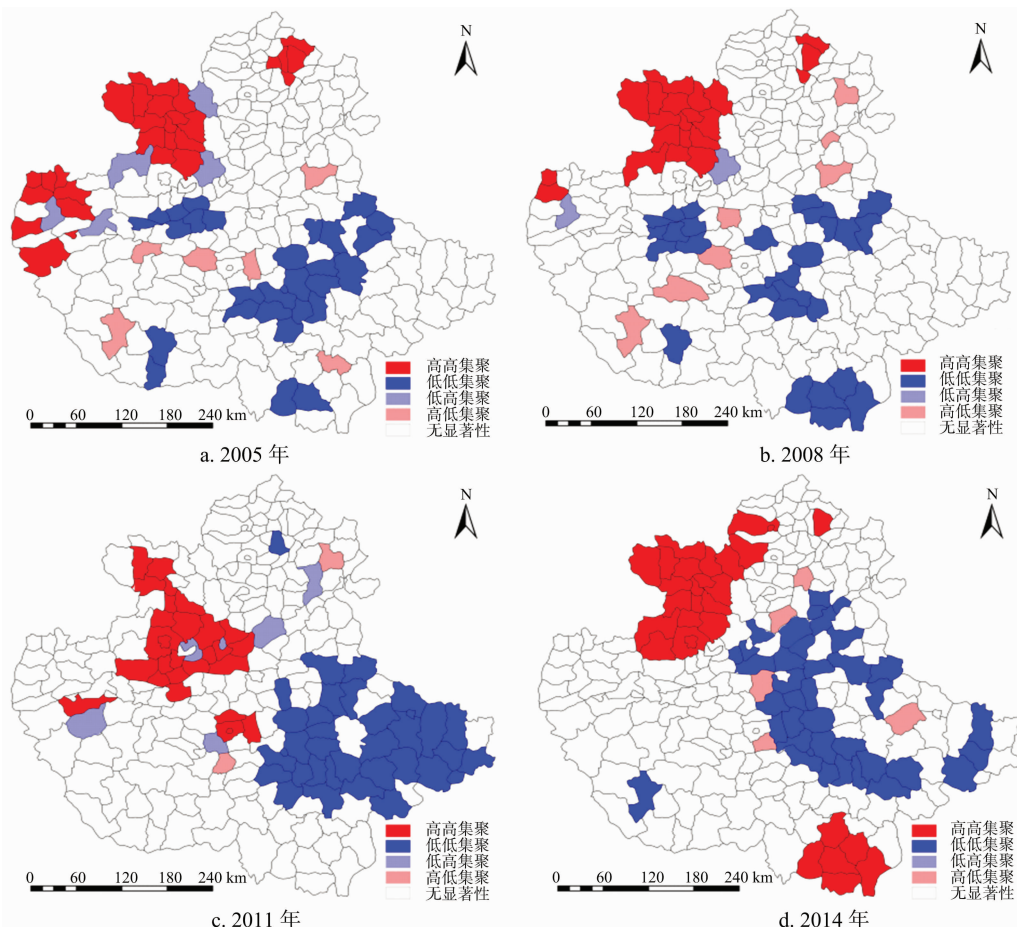


图6 2005、2008、2011、2014 年中原经济区可挖掘复种指数 LISA 集聚

## 2.3 中原经济区耕地复种指数差异驱动力分析

将 2005—2014 年中原经济区市级面板数据代入 Stata 14.0 进行回归分析。其中  $F$  检验结果更适合于变截距模型;运用豪斯曼(Hausman)检验得出  $P$  值为 0,且为随机效应模型的基本假设(个体效应与解释变量不相关)得不到满足,则

模型支持选择固定效应模型;最后利用最小二乘虚拟变量法(LSDV)进行固定效应模型估计。计算结果见表 2。

各个解释变量对中原经济区 5 地区 30 市的耕地复种指数的影响程度见表 2。就与耕地复种指数相关关系而言,产业非农化和人口非农化对其具有负向拉动作用,而人均家庭

表 2 面板数据回归结果

变量	系数	标准误差	T 统计值	P 值
<i>C</i>	2.99	0.24	12.64	0
<i>RJCSR</i>	0.07	0.03	2.36	0.02
<i>CYFNH</i>	-0.55	0.15	-3.7	0
<i>RKFNH</i>	-0.08	0.02	-3.49	0
<i>NYZC</i>	0.05	0.03	1.83	0.069
<i>RJGDMJ</i>	0.36	0.08	4.79	0

注： $R^2=0.93$ ； $P$  值( $F$  检验) = 0.00； $P$  值(Hausman 检验) = 0.00。  
纯收入、农业政策和人均经营性耕地面积对其施以积极的正向推动力。具体分析如下：

产业非农化比重对耕地复种指数产生了显著的负向作用。产业非农化比重每增加 1% 将导致耕地复种指数下降 55% 个绝对值的单位量，随着中原经济区经济的发展，尤其是第二产业和第三产业的快速发展，大量的耕地面积被非农业用地占用，第二、三产业发展带来的城镇化水平的提高，建设用地占用耕地的现象屡见不鲜，人地矛盾进一步尖锐，耕地复种指数降低。

人口非农化比重对耕地复种指数产生了较大的负向作用，人口非农化比重每增加 1%，耕地复种指数将下降 8% 个单位量。一方面，随着第二产业和第三产业的发展，2014 年河南省第二产业产值比重占生产总值的 51.99%，第二产业主要是劳动力密集型产业需要大量劳动力，另一方面，城镇化水平不断提高，农业非农人口进一步上升，同时农村大量青年劳动力外出务工，农村劳动力老弱化和劳动力缺乏都导致播种面积下降，耕地被荒废闲置，复种指数下降。

人均耕地面积对耕地复种指数产生了明显的正向作用，人均耕地面积每增加 1% 将会使耕地复种指数上升 36% 个单位量。说明规模化和机械化的农业生产能够进一步提高耕地集约节约利用水平，带来耕地复种指数的提高，促进农业现代化。

农村人均纯收入对耕地复种指数产生了正向作用，人均纯收入每增加 1%，耕地复种指数将提高 7% 个单位量。说明中原经济区农村当前还处于耕地复种指数随着人均纯收入的增加而上升的阶段，农民收入增长，为了从耕地中获取更多的收益，农民会因为耕地收入增加而进一步增加对土地的人力资源投入和物力资源投入。

农业政策对耕地复种指数产生了正向影响，耕地政策每增加 1%，耕地复种指数增加 5% 个单位量。2012 年国务院正式批复建设中原经济区，并将中原经济区定位为国家重要的粮食生产和现代化农业基地，优惠政策的实施对中原经济区提高农业专业化、集约化水平具有重要作用。

3 结论与讨论

3.1 结论

耕地复种指数影响区域未来农业发展和粮食安全。本研究通过对 2005—2014 年中原经济区复种指数的计算，结合研究区气象监测站台的气温和降水数据，计算该区研究期间内的复种潜力指数，进而从空间和时间 2 个维度对中原经济区县域的可挖掘复种潜力指数进行分析。具体结论如下：

(1) 2005—2014 年中原经济区复种指数整体上呈现波动

下降的趋势，且变化幅度比较明显。耕地复种指数以安徽地区最高，河南地区次之，山西地区最低。从泰尔指数的大小来看，2005—2014 年中原经济区耕地复种指数的地区间差异整体呈缩小的趋势，5 个地区之间的组间差异是中原经济区耕地复种指数地区间差异的主要原因；进一步研究发现 2005—2014 年中原经济区市域尺度耕地复种指数的总差距呈波动下降的趋势，市域组间差距是中原经济区市域尺度耕地复种指数差异的主要原因；中原经济区耕地复种指数的区域总体差异呈现逐年缩小的趋势，其原因主要和地区经济发展水平的高低具有一定的关系。

(2) 研究区县域空间集聚变化较大，但是从全区角度来说，中原经济区可挖掘复种指数基本呈现自西北向东南方向递减的趋势。2005、2008、2011、2014 年全球 Moran's I 分别为 0.54、0.58、0.33、0.54，均表现为空间上的正相关关系和强烈的集聚效应，除 2011 年受自然因素影响较大外，其余年份在  $\alpha=0.05$  的显著性水平下均呈现显著性相关关系。县域单元的可挖掘复种潜力指数存在地区上的差异性，集聚效应虽然受自然因素影响，但基本规律仍为高高集聚多出现在西北部地区，而低低集聚多出现在东部地区。

(3) 各个指标变量对研究区耕地复种指数的影响程度不一。就与耕地复种指数相关关系而言，产业非农化和人口非农化对其具有反向拉动作用，而人均家庭纯收入、农业政策和人均经营性耕地面积对其施以积极的正向推动力。说明随着第二产业和第三产业的发展，第二、三产业吸引大量农村劳动力进城务工，导致农村剩余劳动力日益减少，大量耕地因此被闲置和撂荒，进而导致耕地复种指数下降。耕地面积对复种指数的影响是不可忽视的，在相同的气候条件下，耕地面积的变动直接影响复种指数的变化。

3.2 讨论

复种指数可以在一定程度上说明耕地资源的利用情况，对研究区未来耕地资源的合理利用提供相关意见和建议。但由于农业技术的不断进步，高科技种植的出现使得复种指数在一定程度上将无法准确衡量一个地区的粮食发展水平，因而更为全面地考量农业技术水平等相关因素对复种指数的影响将是该区未来需要研究的方向之一。耕地面积对复种指数的研究起到关键性作用，在耕地面积一定的情况下，发达的耕种技术和适宜的气候环境将有利于复种指数的提高，在城市化快速推进的同时，如何在保存好现有耕地的同时，提高复种指数，将是该领域未来研究的又一重要方向。

统计数据法相比遥感影像法较为便捷，且统计数据由政府官方发布，数据资料较为全面，精确性相对较高。但其本身研究的滞后性使得其无法在未来研究中广泛应用。基于已有的耕地复种指数数据，建立合适的复种指数预测模型，加之运用气象监测手段预测的未来气候变化，将在一定程度上克服统计数据法的弊端，并使其可以在未来研究中得以应用。

参考文献：

[1] 金涛. 中国粮食生产时空变化及其耕地利用效应[J]. 自然资源学报, 2014, 29(6): 911-919.  
[2] Godfray H C J, Beddington J R, Crute I R, et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people[J]. Science, 2010, 327(5967):

- 812-818.
- [3] 刘 洛,徐新良,刘纪远,等. 1990—2010 年中国耕地变化对粮食生产潜力的影响[J]. 地理学报,2014,69(12):1767-1778.
- [4] 龙华楼. 论土地利用转型与土地资源管理[J]. 地理研究,2015,34(9):1607-1618.
- [5] Song W, Deng X. Land-use/land-cover change and ecosystem service provision in China[J]. Science of the Total Environment, 2017(576):705-719.
- [6] 刘彦随. 土地综合研究与土地资源工程[J]. 资源科学,2015,37(1):1-8.
- [7] 蔡运龙,霍雅勤. 中国耕地价值重建方法与案例研究[J]. 地理学报,2006,61(10):1084-1092.
- [8] 彭 冲,陈乐一,韩 峰. 新型城镇化与土地集约利用的时空演变及关系[J]. 地理研究,2014,33(11):2005-2020.
- [9] 郑华伟,丑建立,刘友兆. 江苏省城市土地集约利用与城市化关系的计量分析[J]. 长江流域资源与环境,2013,22(8):1019-1026.
- [10] 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.
- [11] 王国刚,刘彦随,陈秧分. 中国省域耕地集约利用态势与驱动力分析[J]. 地理学报,2014,69(7):907-915.
- [12] 张鹏岩,何坚坚,康国华,等. 基于循环经济视角的河南省耕地利用集约度时空差异研究[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(12):104-111.
- [13] 宫斌斌,刘 帅,杨 宁,等. 东北三省粮食产量结构变动分析与对策建议——基于偏离-份额分析法[J]. 江苏农业科学,2017,45(19):128-131.
- [14] 张 超,乔 敏,郇文聚,等. 耕地数量、质量、生态三位一体综合监管体系研究[J]. 农业机械学报,2017,48(1):1-6.
- [15] 闫慧敏,刘纪远,曹明奎. 近 20 年中国耕地复种指数的时空变化[J]. 地理学报,2005,60(4):559-566.
- [16] 史新敏,李洪民,张爱君,等. 苏北地区黑小麦和紫山药一年两熟制高效种植模式[J]. 江苏农业科学,2015,43(12):120-121.
- [17] 王立辉,黄进良,孙俊英. 基于时序 MODIS-EVI 监测华中地区耕地复种指数[J]. 长江流域资源与环境,2010,19(5):529-535.
- [18] 唐鹏钦,姚艳敏,吴文斌,等. 基于遥感技术的耕地复种指数研究进展[J]. 中国农业资源与区划,2010,31(2):21-27.
- [19] 申 健,常庆瑞,李粉玲,等. 2000—2013 年关中地区耕地复种指数遥感动态监测[J]. 农业机械学报,2016,47(8):280-287.
- [20] 杨 忍,刘彦随,陈玉福,等. 环渤海地区耕地复种指数时空变化遥感反演及影响因素探测[J]. 地理科学,2013,33(5):588-593.
- [21] 李 茂. 河南省耕地和粮食灰色关联分析[J]. 地理科学进展,2002,21(2):163-172.
- [22] 张 浩,李世平,靳亚亚,等. 河北省耕地利用效率空间差异及影响因素[J]. 水土保持研究,2016,23(3):185-191.
- [23] 张 伟,李爱农,雷光斌. 复种指数遥感监测研究进展[J]. 遥感技术与应用,2015,30(2):199-208.
- [24] 李 鹏,姜鲁光,封志明,等. 鄱阳湖区粮食供给功能的空间格局分析[J]. 自然资源学报,2011,26(2):190-200.
- [25] 周 辉,王卫东,李星敏,等. 基于长时间序列 NDVI 的陕西省耕地复种指数遥感监测分析[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(3):189-195.
- [26] Peng D L, Li C J, Huang J F. Crop monitoring using a multiple cropping index based on multi-temporal MODIS data[J]. African Journal of Agricultural Research, 2012,7(26):3828-3838.
- [27] 谢花林,刘桂英. 1998—2012 年中国耕地复种指数时空差异及动因[J]. 地理学报,2015,70(4):604-614.
- [28] 朱利群,王 静,李 静,等. 基于比较优势理论的作物生产发展外显优势度评价[J]. 资源科学,2010,32(1):42-49.
- [29] 左丽君,张增祥,董婷婷,等. 耕地复种指数研究的国内外进展[J]. 自然资源学报,2009,24(3):553-560.
- [30] 何文斯,吴文斌,余强毅,等. 1980—2010 年中国耕地复种可提升潜力空间格局变化[J]. 中国农业资源与区划,2016,37(11):7-14.
- [31] 赵永敢,李玉义,逢焕成,等. 西南地区耕地复种指数变化特征和发展潜力分析[J]. 农业现代化研究,2010,31(1):100-104.
- [32] 金姝兰,侯立春,徐 磊. 长江中下游地区耕地复种指数变化与国家粮食安全[J]. 中国农学通报,2011,27(17):208-212.
- [33] 聂 艳,罗 毅,于 婧,等. 基于空间自相关的湖北省耕地压力时空演变特征[J]. 地域研究与开发,2013,32(1):112-116.
- [34] 陈藜黎,宋 戈,邹朝晖,等. 基于改进局部空间自相关分析的萝北县耕地保护分区[J]. 资源科学,2016,38(10):1871-1882.
- [35] 张孝宇,张安录. 武汉市耕地非农化的空间自相关分析[J]. 长江流域资源与环境,2015,24(5):781-788.
- [36] 范锦龙,吴炳方. 复种指数遥感监测方法[J]. 遥感学报,2004,8(6):628-636.
- [37] 白雪梅,王俊杰. 用泰尔指数分析省区人均 GDP 差异[J]. 辽宁工程技术大学学报,2006,8(5):483-485.
- [38] 康晓娟,杨冬民. 基于泰尔指数法的中国能源消费区域差异分析[J]. 资源科学,2010,32(3):485-490.
- [39] 苑林娅. 中国收入差距不平等状况的泰尔指数分析[J]. 云南财经大学学报,2008,24(1):30-37.
- [40] 彭定寰,王 磊. 财政调节、福利均等化与地区收入差距——基于泰尔指数的实证分析[J]. 经济学家,2013(5):21-28.
- [41] 马亚兰,刘普幸,程 英. 甘肃省近 30 年来耕地空间动态变化与驱动力分析[J]. 干旱区地理,2010,33(2):293-299.
- [42] 任 平,吴 涛,周介铭. 基于 GIS 和空间自相关模型的耕地空间分布格局及变化特征分析——以成都市龙泉驿区为例[J]. 中国生态农业学报,2016,24(3):325-334.
- [43] 谢花林,李秀彬,张燕婷,等. 基于 ESDA 的京津冀地区草地变化空间分异[J]. 自然资源学报,2012,27(7):1224-1232.
- [44] 孟欢欢,李同昇,于正松,等. 安徽省乡村发展类型及乡村性空间分异研究[J]. 经济地理,2013,33(4):144-148.