

中国耕地景观细碎度时空变化特征及其影响因素

王 学¹, 徐晓凡^{1,2}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘 要: 耕地细碎化是中国耕地利用效率提高和农业现代化转型的关键制约因素。2014 年以来中央政府试图通过鼓励土地经营权流转以实现耕地细碎度降低和适度规模经营耕地的目标。然而, 少有研究开展中国全域尺度的耕地细碎化趋势分析, 土地经营权流转政策的相关实施效果也尚不明晰。该研究基于长时序土地利用数据, 辅以景观格局指数、趋势分析和动态面板模型等方法, 对 1990—2020 年中国耕地景观细碎度的时空变化特征进行了识别, 并剖析了土地流转政策实施对耕地景观细碎化的影响。结果表明, 1) 中国耕地景观细碎度大致呈“平原、盆地低、山地、高原高”的分布格局, 东北平原、黄淮海平原、长江中下游平原以及四川盆地、准噶尔和塔里木盆地等地区耕地景观细碎度低, 而二三级地势阶梯过渡地带以及黄土高原、云贵高原和东南丘陵等地区耕地景观相对细碎; 2) 1990—2020 年中国耕地景观细碎度大致呈“持续细碎化-细碎化改善-波动细碎化”变化特征, 其中 2004—2013 年耕地景观整体呈细碎化趋势, 超过 70% 的县域耕地斑块密度 (Patch Density, PD) /形状指数 (Landscape Shape Index, LSI) 显著增加、聚集度指数 (Aggregation Index, AI) 显著减小, 集中分布在黄淮海平原、长江中下游平原、四川盆地以及两广地区, 但 2014—2020 年 70% 的省份耕地景观细碎度有所改善, 以两广地区表现最为典型; 3) 土地流转政策显著降低了耕地景观细碎度, 此外, 区域土地利用变化、非粮化耕地利用、坡度以及灌溉条件等因素也是影响中国耕地景观细碎度变化的重要因素。该研究从全域尺度剖析了中国耕地景观细碎度的时空变化特征并揭示土地流转政策等因素对其的影响, 研究结果可为区域耕地景观细碎度变化以及不同土地利用/生态系统类型变化分析提供新思路。

关键词: 土地利用; 空间格局; 动态模型; 耕地细碎化; 景观格局指数; 趋势分析; 土地流转

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.16.002

中图分类号: S17

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2022)-16-0011-10

王学, 徐晓凡. 中国耕地景观细碎度时空变化特征及其影响因素[J]. 农业工程学报, 2022, 38(16): 11–20. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.16.002 <http://www.tcsae.org>

Wang Xue, Xu Xiaofan. Spatiotemporal characteristics and influencing factors of landscape fragmentation of cultivated land in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2022, 38(16): 11–20. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.16.002 <http://www.tcsae.org>

0 引 言

耕地资源是保障国家粮食安全的基石, 同时也在农业现代化建设和乡村振兴过程中担负着重要使命^[1-3]。然而, 中国耕地细碎化问题突出, 一方面影响了耕地规模利用效应的发挥, 成为制约农业生产效率提高和农业现代化转型的关键因素^[4-5]; 另一方面, 在农业生产要素价格不断上涨和农业劳动力非农转移趋势下, 细碎化耕地的经营效益低下, 严重降低了农民的生产积极性并引发了较为普遍的耕地粗放利用、甚至撂荒现象, 给国家粮食安全造成了一定威胁^[6-7]。

为了降低耕地细碎度、提高农业生产率和优化土地资源配置, 国家在 2014 年印发了《关于引导农村土地经营权有序流转 发展农业适度规模经营的意见》, 鼓励土地经营权有序流转, 推进耕地适度规模经营。此后, 国家及地方政府颁发了多项政策法规文件, 以保障农村土

地经营权流转的顺利实施。截至 2020 年, 全国流转耕地面积占承包经营耕地总面积的比例已达 34%^[8]。然而, 需要指出的是, 土地经营权流转与耕地经营规模之间并不一定是线性相关关系, 低水平、零散化的土地流转甚至可能会在一定程度上加剧当地的耕地细碎化程度^[9-11]。因此, 土地经营权流转相关政策实施后, 中国耕地细碎度的变化情况并不十分明晰。

近年来, 耕地细碎化研究多围绕其内涵的两个方面, 也即权属细碎化和景观细碎化展开^[3]。其中, 耕地权属细碎化主要从生产经营主体这一微观视角出发, 强调细碎化是产权主体无限细分的过程, 相关研究多借助农户调查数据, 进行不同规模经营主体的耕地利用效率对比以及细碎化对耕地利用方式的影响评估^[12-15]; 耕地景观细碎化则侧重宏观视角, 认为细碎化是耕地地块在形态上不断分割、变小, 且空间上不相连的过程, 相关研究多借助土地利用数据和景观格局指数, 进行景观细碎化特征分析及影响因素识别^[16-19]。总体而言, 受研究对象和数据可获取性的制约, 已有研究多局限在区域或局地尺度, 且多为某一时点的结果, 中国全域长时序耕地细碎度变化研究并不多见^[20]。

收稿日期: 2022-06-07 修订日期: 2022-08-09

基金项目: 国家自然科学基金项目 (42171264)

作者简介: 王学, 博士, 副研究员, 研究方向为土地利用变化。

Email: wangxue@igsnrr.ac.cn

鉴于此, 本文聚焦中国全域耕地景观细碎度的变化特征, 利用长时间序列土地利用数据, 辅以景观格局指数、趋势分析和计量模型, 对 1990—2020 年中国耕地景观细碎度的时空变化特征进行分析; 同时结合区域土地利用情况、农业生产管理情况、耕地资源禀赋特征、区域发展水平等, 剖析土地流转政策对耕地景观细碎化的影响并识别耕地景观细碎化的其他影响因素。该项研究不仅能够揭示土地经营权流转政策实施前后中国全域耕地景观细碎度的变化情况, 为耕地适度规模经营以及优化利用等相关政策制定提供科学参考, 还可为区域耕地景观细碎度变化以及不同土地利用/生态系统类型变化分析提供新思路和新方法。

1 数据与方法

1.1 数据来源

耕地分布数据是进行耕地景观细碎度分析的关键基础数据。本文所用的耕地分布数据来源于中国 1990—2020 年长时间序列土地利用数据集 (China Land Cover Dataset, CLCD), 空间分辨率为 30 m。该数据集是基于 Google Earth Engine 平台和 30 余万张 Landsat 影像、利用从中国土地利用/覆被数据集^[21]以及 Google Earth 影像中提取的训练样本和随机森林分类法, 获取的 1990—2020 年全国逐年土地利用数据 (共 31 期), 划分了耕地、林地、灌木林地、草地、水域、冰雪、裸地、不透水面和湿地共 9 种土地利用类型 (每种土地利用类型不再细分)^[22]。对比发现, CLCD 数据集的整体准确性优于 MCD12Q1、ESACCI_LC、FROM_GLC 和 GlobeLand30 等数据集, 总体精度达到 79.31%, 其中各年份耕地的总体精度大都超过 80%。

除 CLCD 数据集, 进行耕地景观细碎化影响因素分析时还需要使用气象数据、DEM 数据和统计数据。其中, 气象数据包括 2000—2020 年全国逐年 1 km×1 km 分辨率年均温和年降水量数据, DEM 数据空间分辨率为 30 m×30 m, 两者均来源于中科院资源环境科学与数据中心; 统计数据主要包括 2008—2020 年各省份 (港澳台数据暂缺; 经计算, 西藏基本无耕地, 文中忽略未统计) 耕地灌溉面积、粮食作物和农作物播种面积、生态退耕面积、农村人口数量、城镇人口和总人口、第一产业增加值和地区生产总值, 来源于历年的《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国人口与就业统计年鉴》等。

1.2 研究方法

1.2.1 景观格局指数计算

耕地地块在形态上不断分割变小、在空间上互不相连和形状各异可被视为耕地景观细碎化的主要表征。已有研究通常采用斑块数量 (Number of Patches, NP)、斑块面积 (Total Class Area, CA)、斑块密度 (Patch Density, PD)、最大斑块指数 (Largest Patch Index, LPI)、形状指数 (Landscape Shape Index, LSI)、聚集度指数 (Aggregation Index, AI)、分离度指数 (Landscape Division Index, DIVISION)、凝聚度指数 (Patch Cohesion Index, COHESION) 等多个景观格局指数进行耕地景观细碎度

评估^[19-20]; 也有研究为降低指数间的冗余性, 利用多个指数构建综合性指标, 对区域或局地耕地景观细碎度变化特征进行分析^[23-24]。本文从耕地斑块的易耕性和易规模利用视角出发, 结合耕地景观细碎化内涵以及已有研究成果, 选用了表征耕地斑块大小、形状规则程度和空间连通性的 3 个关键指数, PD、LSI 和 AI, 以更直观地揭示全国耕地景观细碎度变化情况。具体来说, PD 为单位面积的耕地斑块数量, 侧重从区域内耕地斑块的相对大小和密集程度这一角度测量耕地景观细碎度。PD 越大, 耕地斑块面积越小, 易耕性越差, 耕地细碎度也越高。LSI 为某一耕地斑块形状与相同面积的规则图形 (此处为正方形) 之间的偏离程度, 侧重从耕地斑块形状规则程度这一视角衡量耕地细碎度。相同 PD 条件下, LSI 越接近 1, 耕地斑块形状越接近易于耕作的正方形, 否则耕地斑块形状越不规则, 越难耕作, 耕地景观细碎度也越高。AI 为耕地斑块的空间连通程度, 侧重从耕地斑块空间位置是否离散这一视角衡量耕地景观细碎度。相同 PD 和 LSI 条件下, AI 越大, 耕地斑块分布越集中连片, 越容易实现规模利用; 反之, 耕地斑块更趋分散分布, 耕地景观也更为细碎化。总体而言, 三个指标各有侧重, 又互为补充, 能够对耕地景观细碎度进行较为全面地评估。

具体计算式如下:

$$PD_i = N_i / CA_i \quad (1)$$

$$LSI_i = 0.25E_i / \sqrt{CA_i} \quad (2)$$

$$AI_i = \left[1 + \sum_{j=1}^{N_i} P_{ij} \ln(P_{ij}) / 2 \ln(N_i) \right] \times 100 \quad (3)$$

式中 PD_i 、 LSI_i 和 AI_i 分别为县域 i 内耕地的斑块密度指数 (个/km²)、斑块形状指数和聚集度指数; N_i 、 CA_i 和 E_i 分别为县域 i 内耕地的斑块数量 (个)、面积 (km²) 和斑块边界总长度 (km); P_{ij} 为县域 i 内耕地斑块 j 的周长 (km)。一般而言, 县域 i 的 PD_i 和 LSI_i 的值越高、 AI_i 的值越低, 其耕地斑块越细碎、形状越不规则、空间连通性也越差, 相应地耕地景观细碎化程度越高; 反之, 则相反。

考虑到本文耕地景观细碎度指标的计算以县域为基本单元, 且涵盖 1990—2020 年共计 31 个年份的数据, 常用的 Fragstats 软件难以满足如此巨大的计算任务, 因此采用 Python 编程实现。

1.2.2 趋势分析

自然地理学界通常采用趋势分析获取长时序的气温、降水、归一化植被指数和净初级生产力等自然地理要素的变化趋势^[25-27]。主要思路是通过一元线性回归、非参数化趋势度等方法进行上述地理要素的变化趋势识别, 同时借助 T 检验、Mann-Kendall 统计检验等方法进行显著性检验。本文将趋势分析应用于县域长时序耕地景观细碎度指数的变化分析。具体来说, 利用一元线性回归模型对县域耕地景观细碎度指数进行拟合, 通过斜率 (Slope) 综合反映其变化趋势; 构造 t 统计量并计算其值, 进而查阅 t 分布表获取可表征显著性水平的 P 值。相关计算式如下:

$$\text{Slope}_i = \frac{(n \cdot \sum_{t=1}^n t \cdot \text{LF}_{it} - \sum_{t=1}^n t \sum_{i=1}^n \text{LF}_{it})}{n \cdot \sum_{t=1}^n t^2 - (\sum_{t=1}^n t)^2} \quad (4)$$

$$t_i = \frac{\text{Slope}_i}{\sqrt{\sum_{t=1}^n e_{it}^2 / (n-2) \sum_{t=1}^n t^2}} \quad (5)$$

式中 Slope_{*i*} 为县域 *i* 某个耕地景观细碎度指数的变化趋势；LF_{*it*} 为县域 *i* 第 *t* 年的某个耕地景观细碎度指数值（PD_{*i*}、LSI_{*i*} 或 AI_{*i*}）；*n* 为研究年份；*e_{it}* 为样本残差；当 Slope_{*i*}>0 时，表示研究时段内县域 *i* 该项耕地景观细碎度指数呈增加趋势；当 Slope_{*i*}<0 时，表示该时段内县域 *i* 该项耕地景观细碎度指数呈下降趋势；根据 *t* 值和 *t* 分布表可获取 *P* 值，*P*≤0.05 表示显著性变化；*P*>0.05 表示不显著变化。

1.2.3 动态面板模型

在进行耕地景观细碎度变化影响因素分析时，考虑到被解释变量为长时序的耕地景观细碎度指数数据，且当年的耕地景观细碎度指数与其上一年度情况具有较强的相关关系，也即被解释变量受其滞后项的影响。因此，构建计量经济模型时需将耕地景观细碎度指数的滞后项作为关键影响因素进行考虑。此时，处理静态面板数据时可以采用的混合 OLS 回归和固定/随机效应回归方法往

往难以解决被解释变量滞后项的内生性问题，需构建动态面板模型，采用系统广义矩估计（System GMM）方法对模型中的系数进行估计^[28-29]。动态面板模型的基本设定如下：

$$\text{LF}_{it} = \beta_0 \cdot \text{LF}_{it-1} + \sum \beta_j \cdot X_{ijt} + a_i + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

式中 LF_{*it*} 代表地区 *i* 第 *t* 年的某个耕地景观细碎度指数的均值（PD_{*i*}、LSI_{*i*} 或 AI_{*i*}），LF_{*it-1*} 代表 LF_{*it*} 的一阶滞后项；*X_{ijt}* 代表各解释变量；β₀、β_{*j*} 代表待估参数；*a_i* 代表各地区不随时间而变化的特征；ε_{*it*} 代表残差项，*i* 和 *t* 分别代表地区和时间。

根据已有研究，自然和人为双重因素共同导致了耕地景观细碎化^[3]。其中，自然因素包括耕地的地形、丰富度、区位等，人为因素包括区域土地利用情况、经营主体的农业生产和管理行为、地区经济发展水平以及政策因素等^[3,17-20,24,30-31]。基于此，解释变量选择时考虑数据的可获取性和代表性，本文以省域作为基本评估单元，除被解释变量的滞后项外，重点考虑土地流转政策对耕地景观细碎化的影响；此外，还主要从区域土地利用情况、农业生产管理情况、耕地资源禀赋特征、区域发展水平等方面选取可能影响耕地景观细碎化的解释变量。相关变量的定义和描述性统计分析结果见表 1。

表 1 解释变量的定义与描述性统计分析
Table 1 Definition and descriptive statistical analysis of explanatory variables

变量 Variables	定义 Definition	平均值 Average	标准差 Variance	最小值 Minimum	最大值 Maximum	参考文献 References	
土地流转政策 Land transfer policy	是否实施土地流转政策 (2014 年之前=0; 2014 年及以后=1)	0.50	0.50	0.00	1.00	--	
区域土地利用情况 Regional land use	耕地扩张	当年耕地扩张面积/10 ⁴ hm ²	1.05	4.12	0.00	67.55	[3, 20]
	建设用地占用耕地	当年建设用地占用耕地面积/10 ⁴ hm ²	0.62	0.45	0.01	2.67	[3, 20]
	生态退耕	当年生态退耕面积/10 ⁴ hm ²	2.50	4.20	0.00	55.16	[3, 20]
农业生产管理情况 Agricultural production & management	灌溉面积占比	(灌溉面积/耕地总面积)×100%	36.78	14.85	12.55	79.88	[3]
	第一产业增加值占比	第一产业增加值/地区生产总值/%	11.01	5.93	0.28	33.89	[17, 18]
	非粮化率	$\left(1-\frac{\text{粮食播种面积}}{\text{农作物总播种面积}}\right)\times 100\%$	33.62	29.96	0.00	67.19	[30]
耕地资源禀赋特征 Characteristics of cultivated land	降水	研究单元内耕地年均降水量/mm	1 017.57	485.21	329.95	1 987.96	[24]
	气温	研究单元内耕地年均气温/℃	14.44	5.72	3.31	25.17	[24]
	高程	研究单元内耕地高程的平均值/km	0.55	0.66	0.00	2.83	[17-19, 24]
	坡度	研究单元内耕地坡度的平均值/(°)	1.69	1.37	0.06	5.54	[17-19, 24]
	人均耕地面积	耕地面积/农村人口数量/(hm ² ·人 ⁻¹)	0.35	0.29	0.07	1.83	[17-19]
区域发展水平 Regional development level	GDP	地区生产总值/万亿元	2.10	1.91	0.07	11.12	[17, 18]
	城市化率	(城镇人口/总人口)×100%	56.14	13.39	28.24	89.60	[20]

注：为避免内生性，灌溉面积占比、第一产业增加值占比、降水、气温、高程、坡度、人均耕地面积均采用其一阶滞后项；生态退耕主要为退耕还林（草）；GDP 取其自然对数纳入模型中。
Note: In order to avoid endogeneity, the proportion of irrigated area, the proportion of added value of primary industry, precipitation, temperature, elevation, slope and cultivated land per capita were all adopted first-order lag terms. Ecological conservation mainly includes conversion of cultivated land to forest (grass), and the natural logarithm of GDP is incorporated into the model.

采用 System GMM 方法进行参数估计前，首先进行异方差、序列相关、截面相关等系列检验。检验结果显示面板数据存在显著的异方差、序列相关与截面相关，因此需采用两阶段无偏稳健性 System GMM 估计方法。此外，因被解释变量滞后项存在内生性问题，需采用工具变量进行参数估计。因此，进一步对模型模拟结果进

行了工具变量设定合理性检验（Sargan 检验和 Hansen 检验）和干扰项序列相关检验，前者用于验证工具变量的选择是否合理，后者则用于确定是否存在被解释变量的二阶序列相关。Sargan 检验和 Hansen 检验的结果显示各模型的工具变量设定均较为合理；干扰项序列相关检验的结果说明各模型仅存在一阶序列相关，因此仅将被解

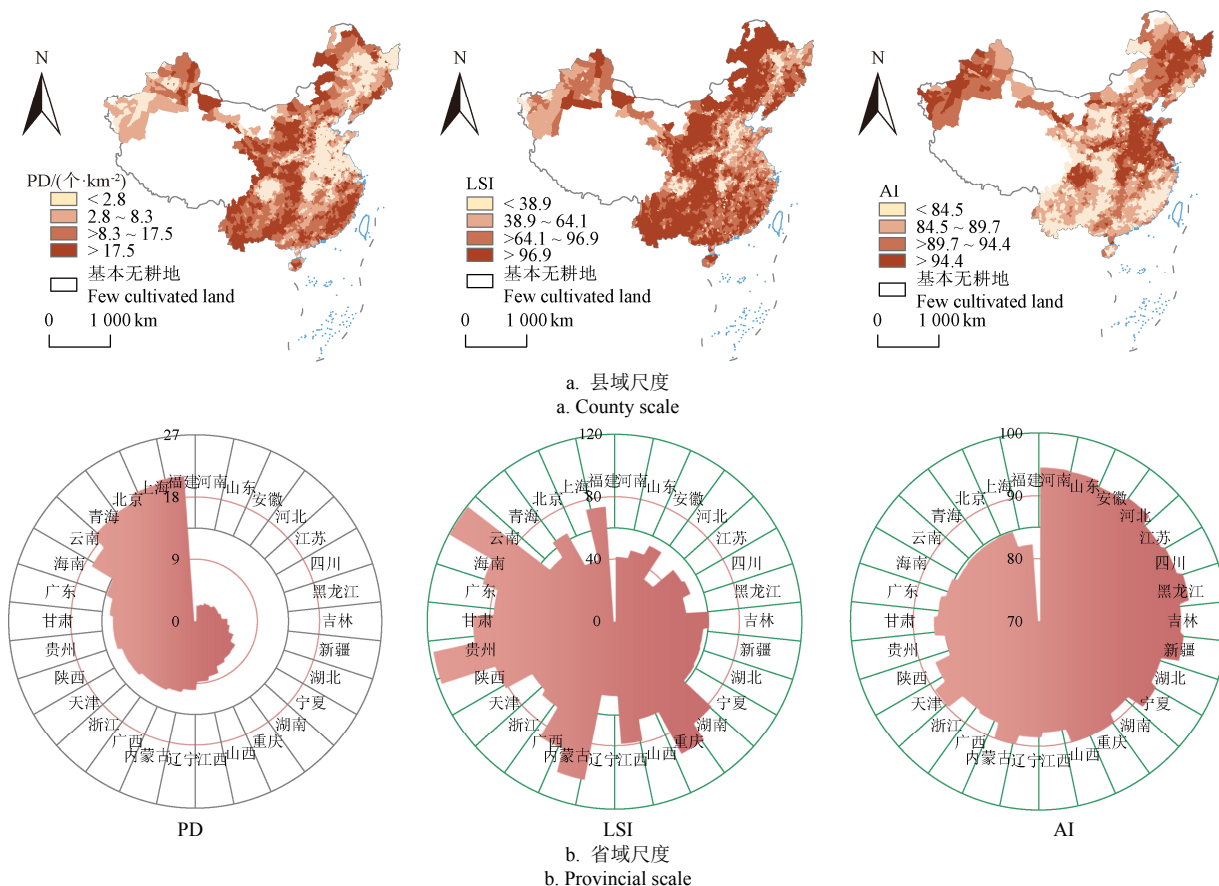
释变量的滞后项纳入模型即可。上述过程均借助 Stata15 相关命令实现。

2 中国耕地景观细碎度时空变化特征

2.1 中国耕地景观细碎度空间分布特征

为揭示中国现状耕地景观细碎度的空间分布特征,图 1 给出了县域和省域尺度耕地景观细碎度指数 2018—2020 年 3 年均值的空间分布图。在县域尺度(图 1a),PD 低值区集中在东北平原、黄淮海平原、长江中下游平原、四川盆地、准噶尔盆地和塔里木盆地等地势低平区域,PD 高值区集中在第二级地势阶梯向第三级地势阶梯过渡地带以及黄土高原、云贵高原和东南丘陵等地区;

LSI 与 PD 的空间分布近似,但低值区有所收缩,更集中在东北平原、黄淮海平原、长江中下游平原和四川盆地,而高值区在二三级地势阶梯过渡地带有所扩张;AI 与 PD 大致呈反相位变化特征,即 AI 高值区与 PD 低值区在空间上基本吻合,主要分布在地势低平的平原和盆地区,而 AI 低值区与 PD 高值区在空间上也基本一致,主要分布在二三级地势阶梯过渡地带和云贵高原、黄土高原以及东南丘陵区。因此,在县域尺度,二三级地势阶梯过渡地带以及黄土高原、云贵高原和东南丘陵等地区的耕地斑块较细碎、形状较不规则、空间连通性也较差,景观细碎化程度较高;与之相比,地势低平的平原盆地区耕地景观细碎化程度则较高。



注:该图基于自然资源部标准地图服务网站标准地图制作,底图边界无修改。港澳台数据暂缺。PD, 斑块密度; LSI, 形状指数; AI, 聚集度指数。下同。
Note: This map is made based on the standard map download from the standard map service website of the Ministry of Natural Resources. The boundary of the base map is not modified. Data for Hong Kong, Macao and Taiwan are temporarily unavailable. PD, Patch Density; LSI, Landscape Shape Index; AI, Aggregation Index. Same as below.

图 1 中国耕地景观细碎度指数空间分布

Fig.1 Spatial distribution of landscape fragmentation indices of cultivated land in China

省域尺度上(图 1b),PD 和 AI 仍呈明显的反相位变化特征,河南、山东、安徽、河北、江苏、四川、黑龙江、吉林、新疆、湖北、湖南等省区 PD 值较低而 AI 值较高,说明这些省份耕地斑块规模较大且空间连通性高;贵州、甘肃、广东、海南、云南、青海、北京、上海、福建等省份 PD 值较高而 AI 值较低,因此省域内耕地斑块较为细碎且连通性差。与 PD 和 AI 的省际差异略有不同,LSI 值较高的省份除上述 PD 值较高和 AI 值较低的省份外,还包括湖南、重庆、内蒙古、广西等,说明这 4 个省区虽耕地斑块规模较大且连通性较好,但形状较不规则,青海、北京和上海等 PD 高值省市的 LSI

值则较低,说明尽管这 3 个省市耕地斑块规模小且空间连通性差,但形状较为规则。

2.2 中国耕地景观细碎度时序变化特征

2.2.1 全国尺度

1990—2020 年中国耕地 PD、LSI 和 AI 均值整体均呈显著下降趋势,降幅分别为 7.47 个/(km²·10a)($P=0.001$)、1.13/10a($P=0.026$)和 0.23/10a($P=0.004$)。具体来说,近 30 年中国耕地景观细碎度变化可大致划分为 3 个阶段(图 2):1)持续细碎化阶段(1990—2003 年),PD 和 LSI 均值显著下降,降幅分别为 3.52 个/(km²·10a)和 6.58/10a, AI 均值显著增加,增幅为 0.67/10a;2)细

碎化改善阶段（2004—2013 年），PD 和 LSI 均值显著上升，增幅分别为 1.62 个/(km²·10a)和 2.59/10a，AI 均值则显著下降，降幅为 1.03/10a；3）波动细碎化阶段（2014—2020 年），PD 和 LSI 的均值呈现波动下降趋势，降幅分别为 1.41 个/(km²·10a)和 7.60/10a，AI 均值则波动增加，增幅为 0.92/10a。

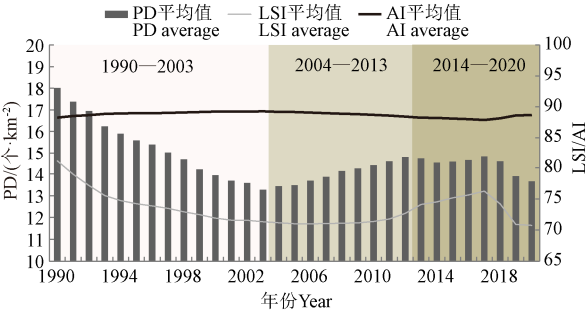


图 2 1990—2020 年中国耕地景观细碎度指数平均值时序变化
Fig.2 Temporal changes in the average value of landscape fragmentation indices of cultivated land in China from 1990 to 2020

需要指出的是，两个时间节点（2004 年和 2014 年）分别为国家取消农业税和推行土地经营权流转政策的始点，可见政策因素可能对中国耕地景观细碎度变化产生重要影响。考虑到本文重点考察土地流转政策实施前后中国全域耕地景观细碎度的变化情况，因此保持取消农业税这一政策背景不变，后文将主要从县域和省域两个尺度对 2004—2020 年耕地景观细碎度指数的变化趋势进行分析。

2.2.2 省域尺度

省域尺度上，2004—2013 年绝大部分省份的耕地 PD、LSI 和 AI 显著变化县域占比超过 50%，而 2014—2020 年各指数显著变化县域占比超过 50%的省份数量有所降低（图 3）。具体来说，2004—2013 年，73.33%和 80%省份的耕地 PD 和 LSI 整体呈增加趋势，超 90%省份的耕地 AI 整体呈下降趋势；2014—2020 年，耕地 PD 和 LSI 整体呈上升趋势的省份占比降至不到 1/3 和 1/5，AI 整体呈下降趋势的省份占比降至不足 30%。因此，相较于 2004—2013 年，2014—2020 年 90%省份的耕地景观细碎度指数发生了部分或全部改变。其中，黑龙江、江西、辽宁、广西、甘肃、广东、海南和福建的耕地 PD 和 LSI 由整体增加转为整体减少，而 AI 则由整体减少转为整体增加，表征上述省份耕地景观细碎度整体变化趋势发生逆转，耕地斑块细碎度、形状规则性和空间连通性各方面均明显改善。此外，仅安徽、宁夏、天津 3 个省级行政区在两个时段的耕地景观各指数变化趋势保持一致。

2.2.3 县域尺度

2004—2013 年全国县域耕地景观细碎度指数变化图显示（图 4），全国大部分（>70%）县域的耕地 PD、LSI 和 AI 呈现显著变化趋势（表 2）。具体来说，PD 和 AI 变化趋势也呈明显的反相位变化特征：PD 显著增加和 AI 显著下降的县域占比分别为 50.13%和 61.54%，主要分布在黄淮海平原、长江中下游平原和四川盆地以及两广地区，说明该时段全国超 50%的县域耕地斑块更趋细

碎且空间连通性变差；PD 显著减少和 AI 显著增加的县域占比分别为 23.34%和 15.86%，主要分布在东北平原、准噶尔盆地、塔里木盆地、二三级地势过渡阶梯地带、黄土高原、云贵高原以及湖南、江西和福建地区，说明这些区域耕地斑块规模有所增加、连通性也有所改善（图 4a、4b）。LSI 变化趋势的分布则有所不同：LSI 显著增加的县域占比为 57.39%，集中分布在黄淮海平原、长江中下游平原、四川盆地、塔里木盆地以及云贵高原和东南丘陵地区，此外还散布在东北平原和准噶尔盆地，说明该时段全国超过 50%县级行政区的耕地形状趋于不规则；LSI 显著减少的县域占比为 17.73%，集中分布在二三级地势阶梯过渡地带、黄土高原和新疆西北部，说明上述地区耕地斑块形状更趋规整（图 4c）。

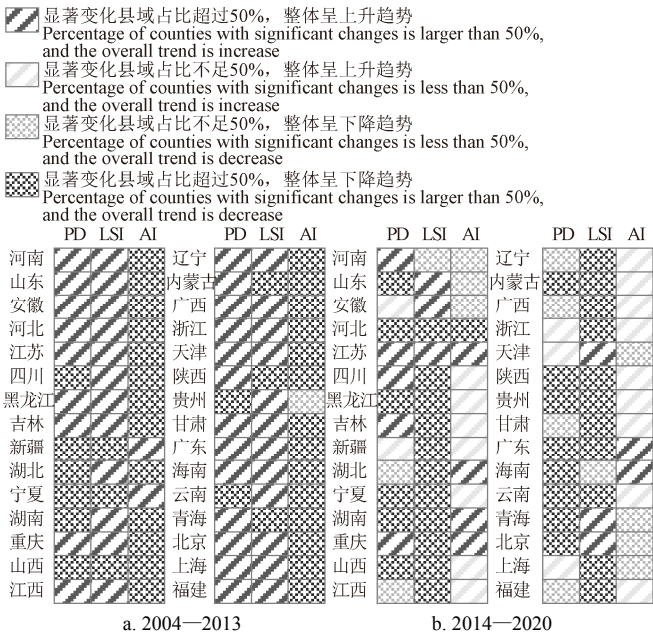


Fig.3 Proportion of counties with significant changes in landscape fragmentation indices of cultivated land and overall trends by province

表 2 中国耕地景观细碎度指数变化的县域个数及比例
Table 2 Number and proportion of counties with changes in landscape fragmentation indices of cultivated land in China

项目 Item		2004—2013			2014—2020		
		PD	LSI	AI	PD	LSI	AI
显著变化 Significant change	县域数	1 964	2 008	2 069	1 648	1 595	1 113
	占比/%	73.48	75.12	77.40	58.11	56.24	39.25
显著增加 Significant increase	县域数	1 340	1534	424	593	416	669
	占比/%	50.13	57.39	15.86	20.91	14.67	23.59
显著减少 Significant decrease	县域数	624	474	1 645	1 055	1 179	444
	占比/%	23.34	17.73	61.54	37.2	41.57	15.66

总体来说，2004—2013 年中国耕地景观整体呈现细碎化趋势，以黄淮海平原、长江中下游平原、四川盆地以及两广地区表现尤为典型，二三级地势阶梯过渡地带、黄土高原和新疆西北部的细碎化程度则趋于改善。

2014—2020 年全国县域耕地景观细碎度指数变化情况显示，PD、LSI 和 AI 显著变化的县域占比分别为

58.11%, 56.24%和 39.25% (表 2)。具体来说, PD 和 AI 仍大致呈反相位变化特征, PD 显著增加和 AI 显著下降的县域占比仅为 20.91%和 15.66%, 均比 2004—2013 年的比例要低, 空间上集中分布在黄淮海平原和四川盆地, 这些地区 LSI 也大致呈增加趋势, 因此耕地景观整体仍向细碎化方向发展。PD 显著减少和 AI 显著增加的县

域占比分别为 37.2%和 23.59%, 均比 2004—2013 年的比例要高, 空间集中分布区除 2004—2013 时段的不同方向变化区域外, 还包括了两广地区, 这些地区 LSI 也呈显著减少趋势, 因此耕地景观细碎化程度有所改善。除上述区域外, 全国一半左右县域 PD、LSI 和 AI 变化趋势不显著, 集中分布在长江中下游平原和西北地区。

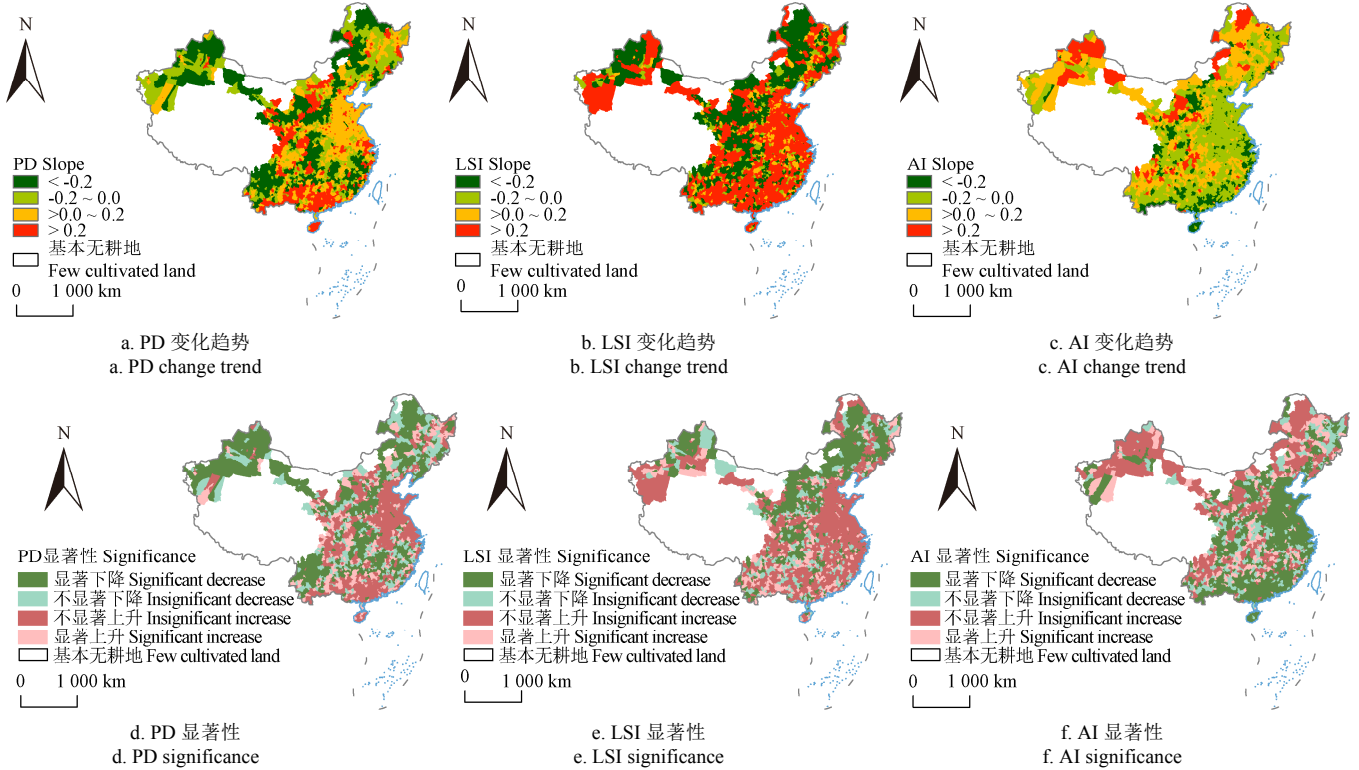


图 4 2004—2013 年中国县域耕地景观细碎度指数变化趋势及显著性

Fig.4 Trend and significance of cultivated land landscape fragmentation indices at county level in China from 2004 to 2013

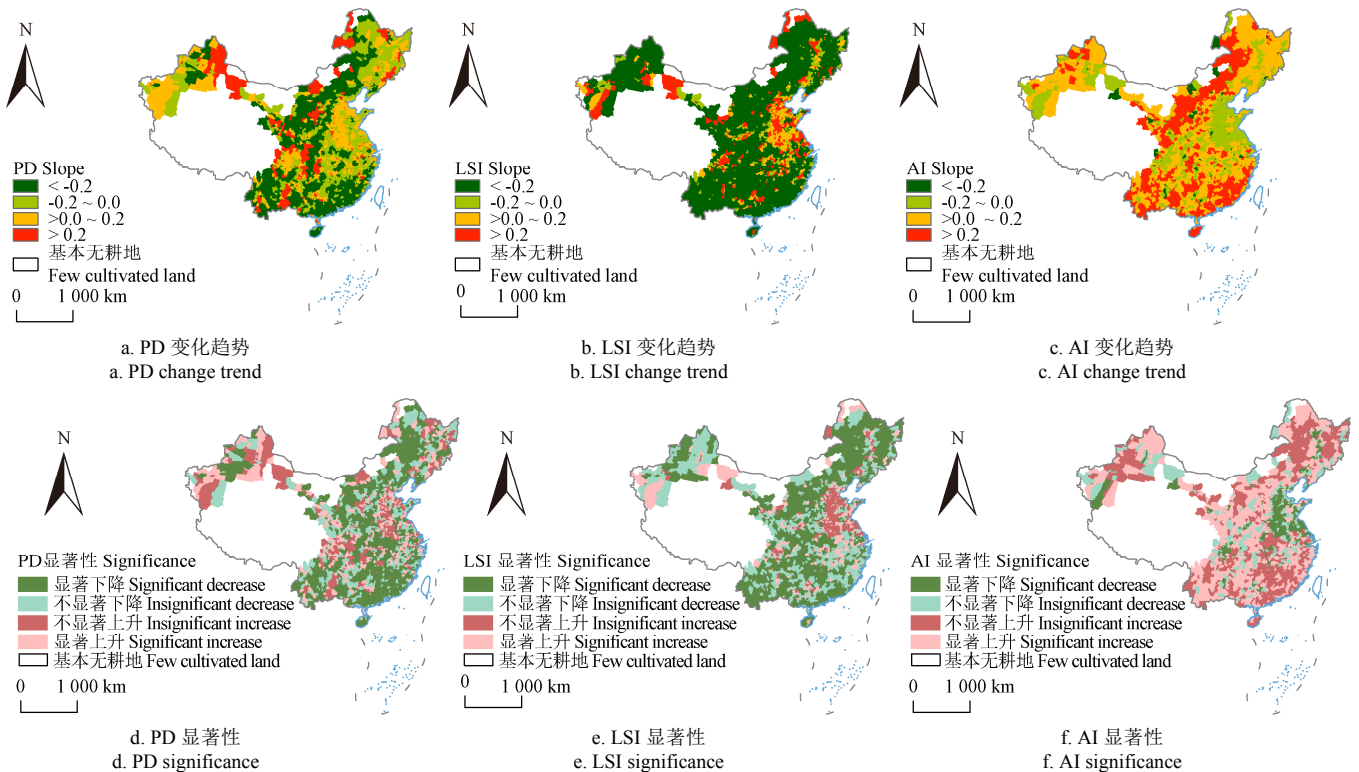


图 5 2014—2020 年中国县域耕地景观细碎度指数变化趋势及显著性

Fig.5 Trend and significance of cultivated land landscape fragmentation indices at county level in China from 2014 to 2020

3 耕地景观细碎度变化的影响因素

考虑到土地流转政策对耕地景观细碎度变化的影响是本文研究的重点之一，在进行影响因素分析时，为尽可能降低国家取消农业税政策对耕地景观细碎度影响的干扰，选择 2008—2020 年作为研究时段，此时段国家取消农业税政策已实施 5 年，其对耕地景观细碎化的年际影响趋于稳定，耕地细碎度变化更有可能是土地流转政策和其他因素共同作用的结果。将耕地景观细碎度各指数分别作为被解释变量构建动态面板模型，利用 System GMM 方法对解释变量的系数进行估计。最终得到的稳健型估计结果见表 3。需要指出的是，考虑一阶滞后项的动态面板模型中，其他变量主要用于解释耕地景观细碎度指数的年际变化情况。

1) 土地流转政策是耕地景观细碎度变化的重要影响因素。根据表 3，土地流转政策对 PD 和 LSI 的影响均显著为负，对 AI 的影响则显著为正。具体来说，土地流转政策实施后，PD 和 LSI 整体减少了 0.137 个/km² 和 0.526，而 AI 整体增加了 0.136，可见土地流转政策实施后，土地确权与制度改革、新型农业经营主体培育、农业社会化服务体系建设等推进土地经营权流转的各项举措效果显著，在降低耕地景观细碎度，特别是在规整地块、改善空间连通度等方面产生了积极效果，有效改善了中国的耕地细碎化状况。

表 3 动态面板模型的稳健型回归结果

Table 3 Robust regression results of dynamic panel models				
变量 Variables		PD	LSI	AI
一阶滞后项 First order lag term		1.007***	0.978***	1.103***
土地流转政策 Land transfer policy		-0.137*	-0.526**	0.136***
区域土地利用情况 Regional land use	耕地扩张	0.010*	0.026*	-0.006*
	建设用地占用耕地	0.067*	0.687*	-0.173***
	生态退耕	-0.011	-0.111*	0.016*
农业生产管理情况 Agricultural production & management	灌溉面积占比	-0.004	-0.008	0.001
	第一产业增加值占比	-0.062**	0.012	0.014*
	非粮化率	0.002**	0.007**	-0.001*
耕地资源禀赋特征 Characteristics of cultivated land	降水	-0.011	0.099	-0.008
	气温	0.019	-0.041	-0.003
	高程	-0.086	0.124	-0.018
	坡度	-0.132**	0.123	0.041
人均耕地面积		0.009	-0.038	-0.001
区域发展水平 Regional development level	GDP	-0.045	-0.167	0.037
	城市化率	-0.026	0.003	0.004
截距项 Intercept		2.298	1.286	-1.591

注：*、**和***分别表示估计参数在 10%、5%和 1%的水平上显著。

Note: *, ** and *** indicate that the estimated parameters are significant at the 10%, 5% and 1% levels, respectively.

2) 区域土地利用变化直接且显著影响耕地细碎度。具体来说，耕地扩张和建设用地占用耕地均对 PD、LSI 和 AI 产生了显著影响，耕地每扩张 1×10⁴ hm²，PD 和 LSI 分别增加 0.010 个/km² 和 0.026，而 AI 减少 0.006，而建设用地每占用 1×10⁴ hm² 耕地，PD 和 LSI 分别增加 0.067 个/km²

和 0.687，AI 则减少 0.173。这与已有研究的结论是一致的，即耕地扩张和建设用地扩张均使得耕地斑块更细碎、边界更不规则、空间连通度更差，耕地景观细碎度上升^[20,31]。生态退耕主要对 LSI 和 AI 产生显著影响，且生态退耕面积每增加 1×10⁴ hm²，LSI 减少 0.111，AI 增加 0.016。这可能是因为生态退耕主要面向山区坡度大于 25° 的耕地，这些耕地本身细碎化程度较高，其退出耕作后反而使得区域耕地细碎度降低、空间连通度提升^[20]。

3) 非粮化耕地利用行为也显著促进了耕地细碎化。第一产业增加值占比对 PD 的影响是显著负向的，说明农业产值占比较高的地区更有可能降低耕地细碎度，实现耕地适度规模经营。然而，非粮化率对 PD 和 LSI 产生了显著正面影响，对 AI 产生了显著负面影响，说明非粮化耕地利用行为使得耕地景观更为细碎。非粮化率每提高 1 个百分点，PD 和 LSI 分别增加 0.002 个/km² 和 0.007，AI 则减少 0.001。这应该与非粮化耕地利用行为能在单位面积土地上获得高额利润有关，相应农户进行规模经营的意愿因而较低；且非粮作物，特别是瓜果蔬菜等多采用大棚种植，对耕地景观细碎度，包括斑块大小、形状和空间连通性产生负面影响。

4) 坡度对耕地景观细碎度变化产生了一定影响。具体来说，坡度主要对 PD 产生显著负向影响，说明耕地平均坡度越大的地区，PD 越有可能呈现减少趋势。这可能与山区坡耕地撂荒和生态退耕政策的实施有关。已有研究表明，坡度越大且越细碎的地块越容易被撂荒^[32-34]，加之这些地块同时也是生态退耕政策需要退耕的目标，因此，随着撂荒和退耕政策的实施，相关区域耕地的 PD 有所减小，耕地细碎度也有所降低。

5) 区域发展水平等因素对耕地景观细碎度变化的影响并不显著。GDP、城市化率、人均耕地面积、林业工程建设、灌溉面积占比、除坡度外的其他耕地资源禀赋特征等因素的系数均不显著，说明其对耕地景观细碎度的影响较为有限。需要指出的是，灌溉面积占比的各项系数接近显著性临界值（0.1），说明其对耕地细碎度仍产生了一定的影响。具体来说，灌溉面积占比每增加 1 个百分点，PD 和 LSI 分别减少 0.004 个/km² 和 0.008，AI 增加 0.001，也即灌溉条件的改善可能会降低耕地景观细碎度，对耕地适度规模经营具有一定的促进作用。

4 讨 论

2014 年国家提出推行土地经营权流转和耕地适度规模经营，以改变中国细碎化耕地的低效利用模式，推进农业现代化进程，实现农民增产增收。然而，很少学者针对长时序耕地细碎度变化开展研究，中国耕地细碎度时空变化特征以及土地经营权流转政策在改善耕地细碎度方面的效果均尚未可知。本文主要从宏观尺度出发，借助长时序中高分辨率土地利用数据集（CLCD），进行了中国全域耕地景观细碎度变化的趋势分析，并对土地流转政策等因素对耕地景观细碎度变化的可能影响进行了剖析。一方面使得人们对中国耕地景观细碎度时空变化特征有了一定认识，另一方面初步揭示了土地流转政

策等因素对耕地景观细碎度的可能影响,同时也为区域耕地景观细碎度变化以及不同土地利用/生态系统类型变化分析提供了新思路。

考虑到中国耕地景观细碎度变化存在显著的空间差异,特别是土地经营权流转政策实施之后(2014—2020年),尽管70%省份的耕地景观细碎度整体改善,但在黄淮海平原和四川盆地仍呈现PD增加和AI减小趋势,这些地区应作为重点区域,加强新型农业经营主体培育和农业社会化服务体系建设,完善土地流转市场,以提升该区域的政策实施效果^[6,35-36]。在该区域以及全国层面上,还应避免耕地无序开发并加强耕地整治,严格管控耕地非农占用,同时推进农业良种改革和优化农业补贴政策以降低非粮化程度,并保护山区退耕还林(草)政策实施效果,以进一步降低耕地细碎度^[20]。此外,以灌溉条件改善为代表的耕地质量提升措施也能在一定程度上改善耕地细碎度,因此,建议加大全国高标准农田建设的力度和广度,进一步激发区域土地流转潜力,推进耕地适度规模经营。

本文的不足之处,一是采用了CLCD数据集作为耕地景观细碎度分析的关键基础数据,该数据集是遥感解译数据,主要表达的是地物光谱信息和覆盖信息,可能存在同一地块因种植作物不同或田埂存在而被划分成不同斑块的情况,也可能存在同一片梯田按丘划块等情况,能否准确表达耕地细碎度及其变化情况值得商榷。然而,考虑到该数据集是目前时空分辨率和总体精度均较高的土地利用数据集,利用其进行耕地景观细碎度变化研究可被视为一次有益的尝试,由此获取的中国全域耕地景观细碎度变化特征也可对相关研究提供一定的参考。今后,可开展与其他数据源研究结果的交互验证工作,以更全面、精准地认识中国耕地细碎化特征。二是受数据可获取性限制,本文以省域作为基本单元进行了影响因素评估,识别了土地流转政策对该层面耕地景观细碎度变化的影响以及其他影响因素,今后可将景观细碎化与微观农业经营主体相关研究结合,并构建理论模型,从多层面、多视角对耕地细碎度变化进行解释。

5 结 论

利用中国1990—2020年长时间序列土地利用数据集,辅以景观格局指数、趋势分析和动态面板模型等方法,剖析了中国耕地景观细碎度指数的时空变化特征及其影响因素。本文得出的主要结论如下:

1) 中国耕地景观细碎度大致呈“平原盆地低、山地高原高”的分布格局,斑块密度(PD)/形状指数(LSI)低值区和聚集度指数(AI)高值区主要分布在东北平原、黄淮海平原、长江中下游平原和四川盆地以及新疆的准噶尔和塔里木盆地等,PD/LSI高值区和AI低值区则集中在二三级地势阶梯过渡地带以及黄土高原、云贵高原和东南丘陵等地区。

2) 1990—2020年中国耕地景观细碎度呈现“持续细碎化—细碎化改善—波动细碎化”三阶段变化特征。土地经营权流转政策实施后(2014—2020年),PD和LSI

均值呈波动下降趋势,降幅分别为1.41个/(km²·10a)和7.60/10a,AI均值则波动上升,增幅为0.92/10a。

3) 2004—2013年中国耕地景观整体趋于细碎化,PD、LSI显著增加的县域占比(50.13%、57.39%)高于显著减少的县域占比(23.34%和17.73%),AI显著增加的县域占比(15.86%)低于显著减少的县域占比(61.54%)。但2014—2020年90%省份的耕地景观细碎度有所改善。

4) 中国耕地景观细碎度变化受多种因素的共同影响。其中,土地流转政策是影响耕地景观细碎度变化的重要因素,政策实施后全国耕地景观细碎度整体呈下降趋势。此外,耕地景观细碎度变化还受区域土地利用变化、非粮化耕地利用行为、坡度以及灌溉条件等因素的共同影响。

[参 考 文 献]

- [1] Zhou Y, Li X, Liu Y. Cultivated land protection and rational use in China[J]. Land Use Policy, 2021, 106: 105454.
- [2] Lai Z, Chen M, Liu T. Changes in and prospects for cultivated land use since the reform and opening up in China[J]. Land Use Policy, 2020, 97: 104781.
- [3] 杜国明, 盖兆雪, 王洪彦. 中国耕地细碎化的理论解析与研究框架[J]. 地球科学与环境学报, 2021, 43(6): 997-1008. Du Guoming, Gai Zhaoxue, Wang Hongyan. Theoretical explanation and research framework of cultivated-land fragmentation in China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2021, 43(6): 997-1008. (in Chinese with English abstract)
- [4] 卢华, 胡浩. 土地细碎化增加农业生产成本了吗?来自江苏省的微观调查[J]. 经济评论, 2015, 195(5): 129-140.
- [5] 秦立建, 张妮妮, 蒋中一. 土地细碎化、劳动力转移与中国农户粮食生产: 基于安徽省的调查[J]. 农业技术经济, 2011, (11): 16-23.
- [6] 王学, 李秀彬, 辛良杰, 等. 华北平原农户主动退耕冬小麦的影响因素模型分析及政策启示[J]. 农业工程学报, 2018, 34(9): 248-257. Wang Xue, Li Xiubin, Xin Liangjie, et al. Driving factors on winter wheat abandonment by farmers in North China Plain and its policy implication[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(9): 248-257. (in Chinese with English abstract)
- [7] Yan J, Yang Z, Li Z, et al. Drivers of cropland abandonment in mountainous areas: A household decision model on farming scale in Southwest China[J]. Land Use Policy, 2016, 57: 459-469.
- [8] 农业农村部政策与改革司. 2020中国农村政策与改革统计年报[M]. 北京: 中国农业出版社, 2020.
- [9] Wang Y, Li X, Xin L, et al. Spatiotemporal changes in Chinese land circulation between 2003 and 2013[J]. Journal of Geographical Sciences, 2018, 28(6): 707-724.
- [10] Xie H, Lu H. Impact of land fragmentation and non-agricultural labor supply on circulation of agricultural land management rights[J]. Land Use Policy, 2017, 68: 355-364.
- [11] 王春超, 李兆能. 农村土地流转中的困境: 来自湖北的农

- 户调查[J]. 华中师范大学学报(人文社会科学版), 2008, 47(4): 51-56.
- [12] Cao Y, Zou J, Fang X, et al. Effect of land tenure fragmentation on the decision-making and scale of agricultural land transfer in China[J]. *Land Use Policy*, 2020, 99: 104996.
- [13] 王亚辉, 李秀彬, 辛良杰. 耕地地块细碎程度及其对山区农业生产成本的影响[J]. *自然资源学报*, 2019, 34(12): 2658-2672.
Wang Yahui, Li Xiubin, Xin Liangjie. Characteristics of cropland fragmentation and its impact on agricultural production costs in mountainous areas[J]. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(12): 2658-2672. (in Chinese with English abstract)
- [14] Lu H, Xie H, He Y, et al. Assessing the impacts of land fragmentation and plot size on yields and costs: A translog production model and cost function approach[J]. *Agricultural Systems*, 2018, 161: 81-88.
- [15] 王嫚嫚, 刘颖, 蒯昊, 等. 土地细碎化、耕地地力对粮食生产效率的影响: 基于江汉平原 354 个水稻种植户的研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(8): 1488-1496.
Wang Manman, Liu Ying, Kuai Hao, et al. The effects of land fragmentation and land quality on the technical efficiency of grain production based on 354 rice planters on the Jiangnan Plain[J]. *Resources Science*, 2017, 39(8): 1488-1496. (in Chinese with English abstract)
- [16] Cheng L, Xia N, Jiang P, et al. Analysis of farmland fragmentation in China modernization demonstration zone since "Reform and Openness": A case study of South Jiangsu Province[J]. *Scientific Reports*, 2015, 5: 11797.
- [17] Liu J, Jin X, Xu W, et al. Evolution of cultivated land fragmentation and its driving mechanism in rural development: A case study of Jiangsu Province[J]. *Journal of Rural Studies*, 2022, 91: 58-72.
- [18] Xu W, Jin X, Liu J, et al. Analysis of influencing factors of cultivated land fragmentation based on hierarchical linear model: A case study of Jiangsu Province, China[J]. *Land Use Policy*, 2021, 101: 105119.
- [19] 刘立文, 段永红, 徐立帅, 等. 黄土丘陵区耕地细碎化特征及影响因素研究: 以山西省和顺县为例[J]. *中国农学通报*, 2021, 37(22): 90-96.
Liu Liwen, Duan Yonghong, Xu Lishuai, et al. Characteristics and influencing factors of cultivated land fragmentation in Loess Hilly Region: A case study of Heshun County in Shanxi Province[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2021, 37(22): 90-96. (in Chinese with English abstract)
- [20] Yu Q, Hu Q, van Vliet J, et al. GlobeLand30 shows little cropland area loss but greater fragmentation in China[J]. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2018, 66: 37-45.
- [21] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 等. 2010—2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. *地理学报*, 2018, 73(5): 789-802.
Liu Jiyuan, Ning Jia, Kuang Wenhui, et al. Spatio-temporal patterns and characteristics of land-use change in China during 2010-2015[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 789-802. (in Chinese with English abstract)
- [22] Yang J, Huang X. 30 m annual land cover and its dynamics in China from 1990 to 2019 [J]. *Earth System Science Data*, 2021: 13(8): 3907-3925.
- [23] Wei L, Luo Y, Wang M, et al. Essential fragmentation metrics for agricultural policies: Linking landscape pattern, ecosystem service and land use management in urbanizing China[J]. *Agricultural Systems*, 2020, 182: 102833.
- [24] Liang J, Pan S, Chen W, et al. Cultivated land fragmentation and its influencing factors detection: A case study in Huaihe River Basin, China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 19(1): 138.
- [25] 刘宪锋, 潘耀忠, 朱秀芳, 等. 2000-2014 年秦巴山区植被覆盖时空变化特征及其归因[J]. *地理学报*, 2015, 70(5): 705-716.
Liu Xianfeng, Pan Yaozhong, Zhu Xiufang, et al. Spatiotemporal variation of vegetation coverage in Qinling-Daba Mountains in relation to environmental factors[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(5): 705-716. (in Chinese with English abstract)
- [26] 金凯, 王飞, 韩剑桥, 等. 1982—2015 年中国气候变化和人类活动对植被 NDVI 变化的影响[J]. *地理学报*, 2020, 75(5): 961-974.
Jin Kai, Wang Fei, Han Jianqiao, et al. Contribution of climatic change and human activities to vegetation NDVI change over China during 1982-2015[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020, 75(5): 961-974. (in Chinese with English abstract)
- [27] 程小强, 周兆叶, 李旺平, 等. 基于 MODIS 数据的中亚地区旱情监测及影响因素分析[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(10): 128-137.
Cheng Xiaoqiang, Zhou Zhaoye, Li Wangping, et al. Monitoring drought situation and analyzing influencing factors in Central Asia using MODIS data[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2022, 38(10): 128-137. (in Chinese with English abstract)
- [28] 董洪超, 蒋伏心. 交通基础设施对中国区域市场一体化的影响研究: 基于动态面板模型的实证分析[J]. *经济问题探索*, 2020(5): 26-39.
- [29] 陈冲, 吴炜聪. 人口老龄化对农业技术进步的影响机制分析: 基于 DEA-Malmquist 的技术评价与动态面板模型[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42(1): 231-238.
Chen Chong, Wu Weicong. Analysis on the influence mechanism of population aging on agricultural technological progress[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(1): 231-238. (in Chinese with English abstract)
- [30] Liu Y, Feng Y, Zhao Z, et al. Socioeconomic drivers of forest loss and fragmentation: A comparison between different land use planning schemes and policy implications[J]. *Land Use Policy*, 2016, 54: 58-68.
- [31] Tan S, Heerink N, Qu F. Land fragmentation and its driving forces in China[J]. *Land Use Policy*, 2006, 23: 272-285.
- [32] Shi T, Li X, Xin L, et al. The spatial distribution of farmland abandonment and its influential factors at the township level: A case study in the mountainous area of China[J]. *Land Use*

- Policy, 2018, 70: 510-520.
- [33] Li Y, Zhou T, Jiang G, et al. Spatial pattern and mechanisms of farmland abandonment in Agricultural and Pastoral Areas of Qingzang Plateau[J]. *Geography and Sustainability*, 2021, 2(3): 139-150.
- [34] Li S, Li X. Global understanding of farmland abandonment: A review and prospects[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2017, 27(9): 1123-1150.
- [35] 王学, 李秀彬, 辛良杰, 等. 华北地下水超采区冬小麦退耕的生态补偿问题探讨[J]. *地理学报*, 2016, 71(5): 829-839.
- Wang Xue, Li Xiubin, Xin Liangjie, et al. Ecological compensation for winter wheat abandonment in groundwater over-exploited areas in the North China Plain[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2016, 71(5): 829-839. (in Chinese with English abstract)
- [36] 牛海鹏, 孙壹鸣. 农户土地承包经营权退出意愿影响因素及退出模式研究[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(11): 265-275.
- Niu Haipeng, Sun Yiming. Factors affecting farmers' willingness and mode of farmland usufruct abandonment for rural households land contractual operation right [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2019, 35(11): 265-275. (in Chinese with English abstract)

Spatiotemporal characteristics and influencing factors of landscape fragmentation of cultivated land in China

Wang Xue¹, Xu Xiaofan^{1,2}

(1. Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Cultivated land fragmentation has been widely known as one of the key limiting factors for cultivated land use efficiency, as well as agricultural modernization and transformation in China. Since 2014, much effort has been made to encourage the transfer of land management rights for the less cultivated land fragmentation, even for the cultivated land at a moderate scale. Most studies have also been conducted at the local or regional scales. However, only a few studies are focused on the fine-grained changes in cultivated land fragmentation from a national perspective. It is still lacking in the implementation effect of land management right transfer policy on the cultivated land fragmentation. In this study, a systematic analysis was made of the temporal and spatial variation characteristics of China's cultivated land fragmentation from 1990 to 2020. The influencing factors were also identified near the implementation of the land transfer policy (2008-2020). The long-term land use data was selected to supplement the landscape pattern index, trend analysis, and dynamic panel model. The cultivated land fragmentation was roughly divided into ownership fragmentation and landscape fragmentation, in terms of connotation. The landscape fragmentation of cultivated land (CLF) was then used in this case. The results showed that: 1) China's CLF presented a distribution pattern of low in the plain and basin areas, and high in the mountainous and plateau areas. Specifically, the CLF was relatively low in the Northeast Plain, the Huang-Huai-Hai Plain, the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Plain, as well as the Sichuan Basin, Junggar and Tarim Basin; while the cultivated land in the transition zone of the second and third-level topographic steps, as well as the Loess Plateau, Yunnan-Guizhou Plateau, and the Southeastern Hills, was relatively fragmented. 2) China's CLF generally showed a changing trend of continuous-improved-fluctuating fragmentation from 1990 to 2020. Specifically, the overall cultivated land showed a trend of landscape fragmentation from 2004 to 2013. More than 70% of the counties showed a significant increase in the PD/LSI or a significant decrease in the AI, which were concentrated in the Huang-Huai-Hai Plain, the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River Plain, the Sichuan Basin, and the Guangdong-Guangzhou region. However, 70% of the provinces improved the landscape fragmentation of cultivated land from 2014 to 2020. Spatially, the counties with the improved CLF (that is, the counties with the significantly reduced PD and LSI, but increased AI) were mainly located in the transition zone of the second and third-level topographic steps, the Loess Plateau, northwest Xinjiang, and the Guangdong-Guangzhou region. 3) The land transfer policy significantly reduced the CLF. In addition, some important factors were the regional land use change, non-grained utilization of cultivated land, slope, and irrigation conditions. The spatial-temporal variation characteristics of CLF in China on a nationwide scale revealed the impact of land transfer policies and other factors on the CLF. The finding can provide a new research paradigm for the changes in the regional CLF and different land use/ecosystem types.

Keywords: land use; spatial distribution; dynamic models; cultivate land fragmentation; landscape pattern index; trend analysis; land transfer