

1980—2020年中国耕地景观细碎化空间分异性与影响因素分析

陈万旭^{1,2}, 段斌俏¹, 曾杰^{1*}

(1. 中国地质大学(武汉)地理与信息工程学院, 武汉 430078; 2. 中国地质大学(武汉)区域生态过程与环境演变湖北省重点实验室, 武汉 430078)

摘要:在推进农业现代化的进程中,耕地景观细碎化严重阻碍了农业规模化发展。科学揭示中国耕地景观细碎化时空格局,对精细化耕地保护政策制定、耕地资源高效集约规模利用以及农业农村现代化具有重要的理论和现实意义。该研究基于土地利用遥感数据,采用主成分分析法测度了中国县域耕地景观细碎化水平,然后结合核密度估计揭示其时空演变特征,最后借助地理加权回归模型分析其影响因素的空间异质性特征。结果表明:1)1980—2020年,全国县域耕地景观细碎化指数平均值分别为5.544、5.546、5.567、5.619和5.669。东北平原、华北平原、长江中下游平原以及四川盆地的耕地景观细碎化指数较低,黄土高原、东南丘陵、云贵高原东部、秦岭以及大巴山脉的耕地景观细碎化指数较高。2)全国县域耕地景观细碎化指数整体上不断增大,细碎化指数的区域间差距逐渐缩小。除青藏高原、北方干旱半干旱区和东北平原区外,其他区域耕地景观细碎化整体呈加剧趋势。3)1980—2020年,耕地面积减少同时耕地景观细碎化指数增大的县域单元占比最高。4)耕地景观细碎化指数影响因素空间异质性特征显著。未来中国耕地利用需注重格局优化,耕地景观细碎化治理需秉持因地制宜的原则,充分借鉴各地治理模式,做到多元参与、统筹协调、辩证治理。

关键词:耕地景观细碎化;空间分异性;形成机理;地理加权回归;中国

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202403117

中图分类号: F323.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2024)-21-0221-11

陈万旭, 段斌俏, 曾杰. 1980—2020年中国耕地景观细碎化空间分异性与影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2024, 40(21): 221-231. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202403117 <http://www.tcsae.org>

CHEN Wanxu, DUAN Binqiao, ZENG Jie. Spatial differentiation and influencing factors of cultivated landscape fragmentation in China from 1980 to 2020[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2024, 40(21): 221-231. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202403117 <http://www.tcsae.org>

0 引言

耕地是粮食生产的重要基础,耕地保护与高效利用是实现粮食安全与可持续发展目标的重要保障^[1]。相关研究表明,中国耕地细碎化严重阻碍了农业规模化、现代化发展,降低了农业生产效率,不利于乡村振兴工作的推进^[2-3]。此外,相关研究表明耕地细碎化引发了包括生物多样性丧失^[4-5]、局部微气候变化^[6]和农业生态系统退化^[7]在内的一系列生态问题,且中国耕地细碎化现象日益严重^[7-8]。当前中国“三农”工作转入全面推进乡村振兴、加快农业农村现代化新阶段。科学揭示中国耕地细碎化时空分布特征,对精细化耕地保护政策制定、耕地资源高效集约规模利用以及农业农村现代化具有重要的理论和现实意义。

耕地细碎化可分为景观细碎化与权属细碎化。以往研究围绕耕地细碎化的概念与内涵^[9-10]、测度与评价^[11-12]、成因及影响因素^[13-14]、效应分析^[15-16]、治理措施与调控路径^[2,17]等方面做了大量的探索研究,部分学者探讨了

耕地细碎化对家庭收入^[18]、粮食产量^[7]和耕地土地利用效率^[19]等方面的影响。现有文献对中国县域尺度耕地景观细碎化时空演变特征及其形成机制的研究较少。深入揭示全国耕地景观细碎化时空演变规律,对加强耕地集约、规模化利用,解决耕地景观细碎化问题具有重要意义。一般而言,不同的研究目标和关注点导致耕地景观细碎化评价测量方法和指标的选择存在差异。常见的耕地景观细碎化评价方法主要有3种:以耕地面积或数量作为衡量标准的单指标法,综合考虑耕地数量面积和空间距离的综合指标法,以及借助景观格局指数分析耕地景观格局的景观指数法^[2,8,20]。本研究选取景观格局指数,采用综合指数法综合测度耕地景观细碎化。

自然和社会经济因素以及土地利用政策和制度是导致耕地景观细碎化的主要影响因素^[7,20,21],且山地丘陵区耕地景观细碎化程度远高于平原地区^[12]。包括归一化植被指数和降水在内的其他自然要素在耕地景观细碎化格局的形成中发挥着基础性和结构性作用^[11,22]。除自然因素外,人为因素对耕地景观细碎化格局演化具有重要驱动作用,例如可能耕地的分割加剧耕地景观细碎化程度,耕地向建设用地的转化和道路网络的快速发展加剧了耕地的分割程度^[12,23]。传统的耕地产权制度和市场机制也促进了耕地分割从而加剧了耕地细碎化^[24-25]。影响因素的分析方法主要包括多元统计^[26]、多元线性回归^[27]、层次线性模型^[23]、地理探测器^[27]和排序分析模型^[20]等。

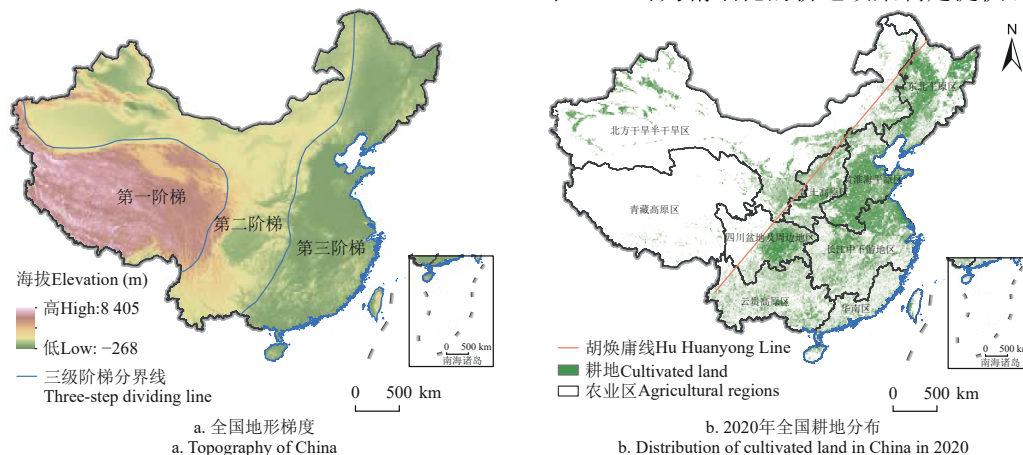
收稿日期: 2024-03-18 修订日期: 2024-09-14

基金项目: 国家自然科学基金项目(42371258)

作者简介: 陈万旭, 博士, 副教授, 研究方向为国土空间优化治理、城乡融合发展。Email: cugcwx@cug.edu.cn

*通信作者: 曾杰, 博士, 副教授, 研究方向为国土空间优化治理、城乡融合发展。Email: zengjie@cug.edu.cn

中国政府为缓解耕地细碎化的负面影响做出了巨大努力。近几十年来,中国开展了一系列土地整理和高标准农田建设工程,致力于形成连片耕地,建立稳定、高产的耕地。中国耕地保护政策和工程项目是否促进或抑制了耕地细碎化,还需要进一步探索。此外,目前中国县域尺度耕地细碎化影响因素的时空非均衡性特征探索仍比较少见。本文基于 1980—2020 年中国土地利用现状遥感监测数据,采用了综合指数法以及主成分分析法测度了中国耕地景观细碎化水平,然后结合核密度估计分析中国耕地景观细碎化的时空演变特征,最后借助地理加权回归模型分析了中国耕地景观细碎化形成机理,以期为中国乡村振兴以及农业农村现代化提供科学支撑。



注: 本图基于自然资源部标准地图服务系统下载的标准地图制作, 审图号: GS(2019)1827, 底图无修改, 下同。

Note: This map is based on standard maps downloaded from the Department of Natural Resources Standard Map Service System. The approval number: GS(2019)1827. The map has not been modified, the same below.

图 1 区域概况图

Fig.1 Overview map of the study area

1.2 数据来源

遥感监测数据为揭示大尺度长时间序列的耕地景观细碎化格局提供了可能。本研究采用的 1980、1990、2000、2010、2020 年中国 30 m 分辨率土地利用遥感监测数据、中国九大农业区划数据、250 m×250 m 分辨率 DEM 数据、年降水量数据、人口密度数据和 GDP 数据^[30]来源于中科院资源环境科学与数据中心网站 (http://www.resdc.cn/)。其中土地利用遥感监测数据土地利用类型包括 6 个一级类型和 25 个二级类型, 一级类型中耕地包括水田和旱地 2 个二级类型^[31]。

1.3 耕地景观细碎化测度

以往研究证明景观格局指数可以有效反映耕地景观细碎化程度^[13]。其优点在于简化过多的因素, 同时具有客观性, 避免了人为带来的误差。参考以往研究, 在考虑斑块数量、形状和相邻关系的基础上, 一共选取 8 个景观格局指数^[3,7,32-33], 分别是斑块密度、边缘密度、景观形状指数、平均斑块面积、平均斑块分维数、景观分离度、分散指数和聚集指数。

利用 Fragstats 4.2 软件计算以上景观格局指数, 之后采用主成分分析法对指标进行降维, 计算耕地景观细碎化指数, 步骤如下: 1) 对原始数据进行标准化处理; 2)

1 材料与方法

1.1 研究区概况

中国各区域农业自然资源禀赋差异显著, 自然条件的区域差异奠基了耕地分布的基本格局, 社会经济以及制度因素进一步影响耕地分布。受人口经济影响, 中国人均耕地水平低且分布不平衡, 因此对中国耕地景观细碎化进行区域化分析对于因地制宜推进耕地细碎化治理具有重要意义^[28-29]。按照农业生产环境、地形地貌和行政区范围, 可将中国农业发展划分为九大农业区 (图 1)。对各农业区的耕地景观细碎化指数进行统计分析, 在一定程度上区分了农业区之间自然条件和社会经济的差异性^[29], 可为精细化的耕地政策制定提供理论支撑。

建立各指标的相关系数矩阵 R ; 3) 计算 R 的特征值 λ 和对应的特征向量 L ; 4) 计算方差贡献率, 确定主成分个数 k ; 5) 对 k 个主成分进行加权求和, 从而得到综合耕地景观细碎化指数。计算式如下:

$$CFI = \sum_{i=1}^k e_i \cdot pc_i \quad (1)$$

式中, CFI 为耕地景观细碎化指数; e_i ($i=1, 2, \dots, k$) 为某一主成分的方差贡献率, pc_i 表示对应的第 i 个主成分。

1.4 核密度估计

核密度估计是基于输入要素计算整个区域的数据集聚状况的一种非参数检验方法^[34-35]。本研究以耕地景观细碎化测度值为基础数据, 选择当前广泛应用的高斯核函数, 绘制出 1980、1990、2000、2010 和 2020 年中国耕地景观细碎化指数核密度图, 通过比较不同时期不同区域核密度曲线的变化情况, 探测中国耕地景观细碎化指数位置、形态和延展性等方面的信息。计算式如下:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x_i - x}{h}\right) \quad (2)$$

式中 h 为带宽, x_i 为独立同分布的观测值, x 为均值, n 为样本数量, K 为核函数, 核函数有多种类, 包含

uniform、triangular、biweight、triweight、Epanechnikov 和 normal 等。

1.5 地理加权回归模型

地理加权回归分析 (geographically weighted regression, GWR) 将地理学第一定律与局部空间统计方法相结合, 在该模型中, 参数随空间位置而变化, 用以量化空间数据关系中的异质性^[36]。计算式如下:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^m \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (3)$$

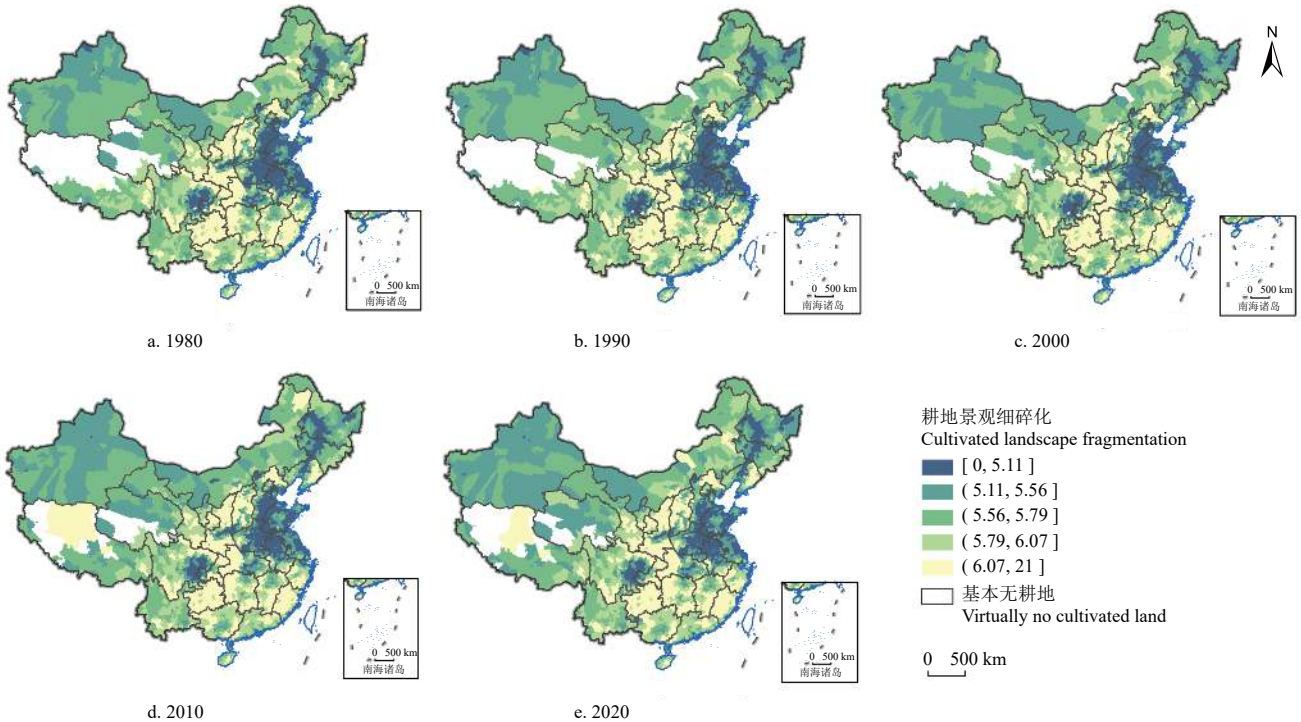
式中 y_i 为第 i 处的因变量值, $\beta_0(u_i, v_i)$ 为截距项, $\beta_k(u_i, v_i)$ 为回归分析系数, x_{ik} 为第 i 处的自变量值。本文以耕地景观细碎化指数为因变量, 选取平均海拔、距地级市距离、建设用地面积占比、人口密度、年降水量和 GDP 作为自变量, 借助 GWR 模型探讨回归系数的空间非平稳性。

2 结果与分析

2.1 1980—2020 年中国耕地景观细碎化时空格局特征

1980、1990、2000、2010 和 2020 年, 全国县域耕

地景观细碎化指数平均值分别为 5.544、5.546、5.567、5.619 和 5.669。研究期间中国县域耕地景观细碎化指数增幅为 2.24%。景观细碎化指数增长速度先增加后减小, 1980—1990、1990—2000、2000—2010、2010—2020 年增长幅度分别为 0.03%、0.38%、0.93% 和 0.88%。研究期间, 80.47% 的县域单元耕地景观细碎化指数增大; 具体地, 1980—1990、1990—2000、2000—2010、2010—2020 年耕地景观细碎化指数增加的县域单元占比分别为 65.83%、65.72%、72.55% 和 81.80%。全国县域耕地细碎化指数平均值增长虽有减缓, 但耕地景观细碎化程度加剧的县域单元占比呈增长态势。统计 1980—2020 年的县域耕地景观细碎化指数, 发现 90% 的县域耕地景观细碎化指数小于 6.4, 超过 50% 的县域单元其耕地景观细碎化指数在 5.0~6.0 的区间范围内。如图 2 所示, 东北平原、华北平原、长江中下游平原以及四川盆地的耕地景观细碎化指数较低, 黄土高原、东南丘陵、云贵高原东部秦岭以及大巴山脉的耕地景观细碎化指数较高。



注: 港澳台数据暂缺。下同。Note: Data for Hong Kong, Macao, and Taiwan are not included. Same as below.

图 2 1980—2020 年耕地景观细碎化指数时空分布
Fig.2 Spatiotemporal distribution of the CFI from 1980 to 2020

结合耕地景观指数分析发现, 东北平原、华北平原、长江中下游平原以及四川盆地的耕地斑块密度、分散指数、景观分离度和景观形状指数较小, 边缘密度、平均斑块面积和聚集指数较大, 且县域耕地面积较多, 说明这些地区耕地较为集中连片, 但斑块分割程度较大。黄土高原、东南丘陵、云贵高原东部、秦岭以及大巴山脉的耕地斑块密度、平均斑块分维数、边缘密度、景观形状指数、分散指数和景观分离度较大, 聚集指数较小, 说明这些地区耕地规模较小较为分散, 形状不规整。北

方干旱半干旱区的耕地斑块密度、边缘密度较小, 平均斑块面积、分散指数、景观分离度、聚集指数较大, 说明该地区的耕地地块规模较大, 但地块分布较为分散。青藏高原和云南省的耕地平均斑块面积和边缘密度较小, 聚集指数、分散指数和景观分离度较大, 说明这些地区的耕地规模较小, 分布较为分散, 斑块分割程度较小; 青藏高原耕地斑块密度和景观形状指数整体小于云南省耕地斑块密度和景观形状指数, 说明二者相比青藏高原耕地规模较大且地块形状更为规整。

2.2 1980—2020 年中国耕地面积变化和耕地景观细碎化时空匹配特征

结合全国县域耕地面积变化和耕地景观细碎化指数变化进行分析(图3),发现1980—2020年共有71.04%的县域单元耕地面积减少同时耕地景观细碎化指数增大,13.96%的县域单元耕地面积增加同时耕地景观细碎化指数减小,9.42%的县域单元耕地面积增加同时耕地景观细碎化指数增大,5.58%的县域单元耕地面积减少同时耕地景观细碎化指数减小。对各时段的县域耕地面积变化和耕地景观细碎化指数变化进行分析,发现耕地面积减少同时耕地景观细碎化指数增大的县域单元占比最高,1980—1990、1990—2000、2000—2010、2010—2020年,该类型的县域单元占比分别为55.97%、52.66%、62.95%和75.58%,占比先增加后减少。1980—2020年,耕地面

积增加同时耕地景观细碎化指数减小的县域单元占比为13.96%,以10a为间隔进行统计,得到各时段该类县域单元占比分别为19.78%、20.79%、15.86%和9.60%。

从空间分布上看,耕地面积减少的县域单元主要分布在华南区、长江中下游地区、云贵高原区、黄土高原区以及黄淮海平原区,耕地面积增加的县域单元主要分布在西北干旱半干旱区和青藏高原区。耕地面积增加细碎化指数增大的县域单元分布较为分散,大多位于第二级阶梯。耕地面积增加细碎化指数减小的县域单元主要位于西北干旱半干旱区和东北地区,且分布范围先扩大后缩小。耕地面积减少细碎化指数增大的县域单元分布最为广泛,分布范围先缩小后扩大。耕地面积减少细碎化指数减小的县域单元分布较为分散,且分布范围逐渐缩小。

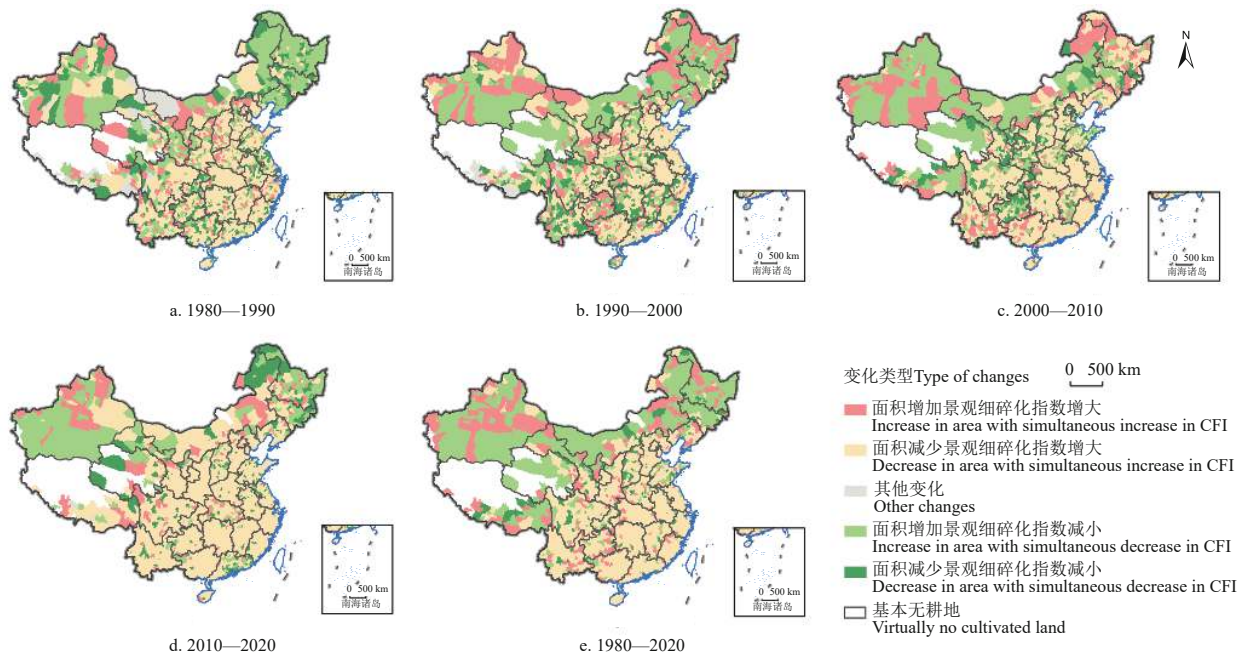


图3 1980—2020 年中国耕地数量变化和耕地景观细碎化指数变化

Fig.3 Changes in the quantity of cultivated land and changes in CFI in China from 1980 to 2020

2.3 1980—2020 年中国耕地景观细碎化核密度估计

如图4所示,研究期间全国县域耕地景观细碎化指

数的核密度曲线基本呈单峰分布,且不断向右移动,波峰逐渐升高。

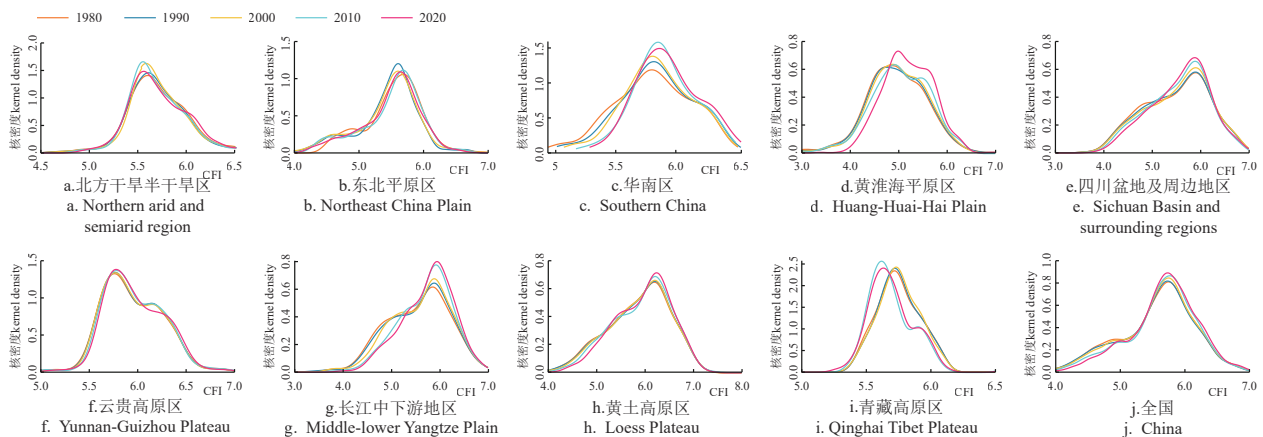


图4 1980—2020 年中国耕地景观细碎化指数核密度估计

Fig.4 Kernel density estimation of CFI in China from 1980 to 2020

细碎化指数小于 5.5 的县域单元数量逐渐减少，细碎化指数在 5.5~6.5 区间范围内的县域单元数量逐渐增加。全国县域耕地景观细碎化指数整体上不断增大，细碎化指数的区域间差距逐渐缩小。

对全国九大农业区的县域耕地景观细碎化指数进行核密度估计，发现区域核密度曲线峰值多出现在耕地景观细碎化指数为 5.5~6.0 的区间范围内，与全国的核密度曲线峰值区间范围一致。黄淮海平原、四川盆地及周边地区、长江中下游地区和黄土高原区的核密度曲线峰值较低、形态较为扁平，表明这些区域的耕地景观细碎化指数分布较为分散。青藏高原区的核密度曲线峰值显著高于其他区域，曲线形态较为陡峭，表明该区域的耕地景观细碎化指数分布较为集中。九大农业区的核密度曲线多表现为单峰分布，对比分析九大农业区的曲线波峰位置，发现黄淮海平原区的波峰位于最左侧，黄土高原区的波峰位于最右侧，说明黄淮海平原区的耕地景观细碎化指数集聚在低值区域，黄土高原区的耕地景观细碎化指数集聚在高值区域。2020 年黄淮海平原、云贵高原、青藏高原的耕地景观细碎化指数核密度曲线基本呈现双峰分布，两峰之间距离约为 0.5，表明这些地区内耕地景观细碎化指数存在两极分化特征。

1980—2020 年，华南区、黄淮海平原区、长江中下游地区的核密度曲线整体呈右移趋势，且波峰高度增加，表明这些地区耕地景观细碎化指数较高的县域数量在增多，耕地景观细碎化指数较低的县域数量在减少，且地区内县域耕地景观细碎化的差距在缩小。研究期间青藏高原区的核密度曲线整体呈左移趋势，表明该地区耕地景观细碎化指数较低的县域数量在增多，耕地景观细碎化指数较高的县域数量在减少。四川盆地及周边地区、黄土高原区的核密度曲线波峰高度逐渐增加，说明这些地区内县域耕地景观细碎化指数逐渐集聚。2010 年，北方干旱半干旱区、华南区和青藏高原区的核密度曲线波峰均达到最高值，表明该时期这些地区的县域耕地景观细碎化指数最集聚。

2.4 1990—2020 年中国耕地景观细碎化影响因素分析

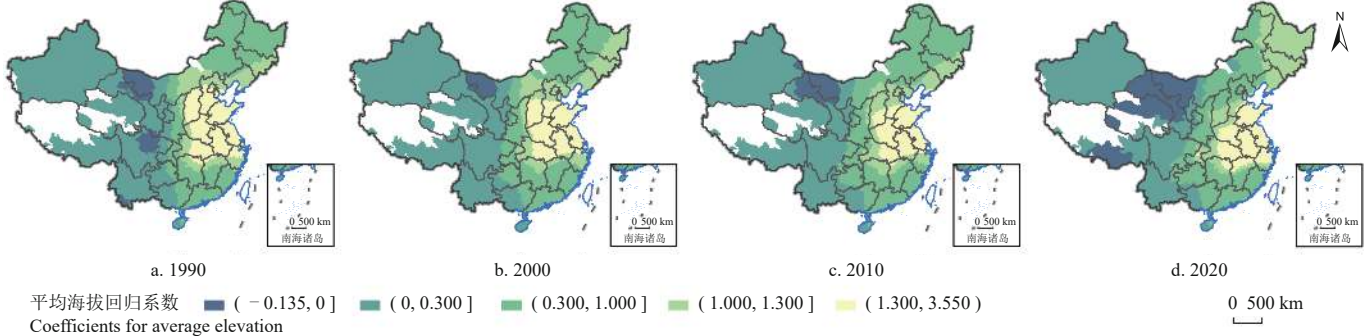


图 5 1990—2020 年平均海拔回归系数时空分布
Fig.5 Spatial pattern of coefficients for average elevation from 1990 to 2020

由表 2 可知，距地级市距离回归系数正值占比超过 60%，空间异质性显著（图 6）。1990—2020 年，距地级市距离回归系数正负值占比虽有波动，但过半数的县

为探究耕地景观细碎化变化的驱动机制，本研究以县域耕地景观细碎化指数作为被解释变量，参考以往研究，综合考虑自然因子与社会经济因子，选取平均海拔、距地级市距离、建设用地面积占比、人口密度、年降水量、GDP 作为解释变量进行回归分析。其中，平均海拔与年降水量主要影响耕地的耕作条件，距地级市距离和 GDP 在一定程度上反映了区域发展水平，建设用地面积占比则反映了区域的建设用地扩张情况和土地城镇化进程，人口密度与区域内耕地需求量和人均耕地面积息息相关。因缺少 1980 年的社会经济数据，故本研究只对 1990—2020 年进行探讨。对所有变量进行标准化处理后分别进行 OLS 回归分析与 GWR 回归分析（解释变量均通过多重共线性检验，VIF 均小于 7.5），模型参数结果如表 1 所示。从拟合优度看，GWR 的 R^2 与矫正后的 R^2 均大于 0.60，优于 OLS，表明 GWR 模型能够较好地测度解释变量对被解释变量的影响。

表 1 模型参数结果
Table 1 Results of model parameters

模型 Model	年份 Year	AICc	R^2	调整 R^2 Adjusted R^2
OLS	1990	4 601.6	0.293 9	0.292 4
	2000	4 535.3	0.258 1	0.256 5
	2010	4 186.4	0.268 8	0.267 3
	2020	3 800.7	0.218 0	0.216 3
GWR	1990	2 710.5	0.659 6	0.647 5
	2000	2 722.3	0.630 8	0.618 6
	2010	2 324.5	0.643 4	0.631 0
	2020	1 452.6	0.689 9	0.672 7

1990—2020 年，平均海拔的回归系数正负值占比无显著变化，正值占比超过 90%，表明大多数地区海拔越高耕地景观细碎化程度越高。随着海拔升高，山地丘陵等地形地貌限制了耕作条件，耕地的形状更趋于复杂，分布更趋于分散。如图 5 所示，平均海拔回归系数整体上呈现东高西低的空间分布特征。正向高值区主要分布在黄淮海平原区，表明该区域的耕地景观细碎化程度受海拔影响较大。黄淮海平原区是我国的主要粮食产区之一，该区域地势大多平缓，有利于耕地开垦，该区域耕地数量较多且分布集聚，耕地平均斑块面积较大，耕地景观细碎化指数对海拔的响应敏感度更高。

域单元仍表现为正向影响，且在空间分布上总体格局未发生显著变化。负向影响区域主要分布在长江中下游地区、东北平原区以及西北地区，负向高值区主要分布在

长江中下游地区, 2010—2020 年负向高值区范围显著扩张。研究期间正向高值区域范围逐渐扩张, 2020 年正向

高值区主要分布在黄土高原、四川盆地、云贵高原东部与东南沿海一带。

表 2 1990—2020 年 GWR 模型回归系数统计结果
Table 2 Statistical results of GWR model coefficient values from 1990 to 2020

年份 Year	变量 Variable	X1	X2	X3	X4	X5	X6	年份 Year	变量 Variable	X1	X2	X3	X4	X5	X6
1990	最小值	-0.051	-0.117	-0.167	-3.794	-0.079	-0.286	2010	最小值	-0.065	-0.104	-0.440	-0.206	-0.034	-2.552
	上分位数	0.178	-0.018	0.090	-1.353	0.164	1.119		上分位数	0.315	-0.007	-0.054	-0.049	0.178	-0.337
	中位数	0.932	0.029	0.190	-0.477	0.454	3.287		中位数	0.923	0.043	0.090	0.004	0.428	0.225
	下分位数	1.495	0.072	0.245	-0.159	0.622	7.012		下分位数	1.283	0.080	0.239	0.047	0.641	0.538
	最大值	3.521	0.157	0.726	0.113	2.094	28.105		最大值	3.070	0.210	0.735	0.247	1.762	0.980
	平均值	0.954	0.027	0.181	-0.848	0.527	5.707		平均值	0.917	0.041	0.110	0.009	0.482	-0.083
	正值比/%	97.16	66.87	85.29	12.59	95.18	95.43		正值比/%	99.39	70.11	66.83	55.47	95.97	61.40
	负值比/%	2.84	33.13	14.71	87.41	4.82	4.57		负值比/%	0.61	29.89	33.17	44.53	4.03	38.60
2000	最小值	-0.041	-0.115	-0.417	-0.780	-0.031	-3.196	2020	最小值	-0.134	-0.146	-0.734	-0.303	-0.120	-0.149
	上分位数	0.302	-0.015	-0.005	-0.113	0.212	0.045		上分位数	0.383	-0.035	-0.033	-0.042	0.065	-0.006
	中位数	0.952	0.045	0.132	-0.040	0.501	0.306		中位数	0.875	0.027	0.090	-0.003	0.191	0.025
	下分位数	1.367	0.088	0.189	0.008	0.652	0.898		下分位数	1.278	0.082	0.162	0.040	0.323	0.052
	最大值	3.408	0.190	0.780	0.146	1.343	9.174		最大值	2.811	0.278	0.293	0.545	1.220	0.559
	平均值	0.952	0.037	0.121	-0.074	0.471	0.502		平均值	0.968	0.023	0.046	0.014	0.237	0.027
	正值比/%	99.89	61.94	74.28	27.34	97.12	77.27		正值比/%	96.01	60.07	65.04	48.35	90.00	69.75
	负值比/%	0.11	38.06	25.72	72.66	2.88	22.73		负值比/%	3.99	39.93	34.96	51.65	10.00	30.25

注: X1, 平均海拔; X2, 距地级市距离; X3, 建设用地面积占比; X4, 人口密度; X5, 年降水量; X6, GDP。
Note: X1, Average elevation; X2, Distance from prefecture-level cities; X3, The percentage of construction land; X4, Population density; X5, Annual precipitation; X6, GDP.

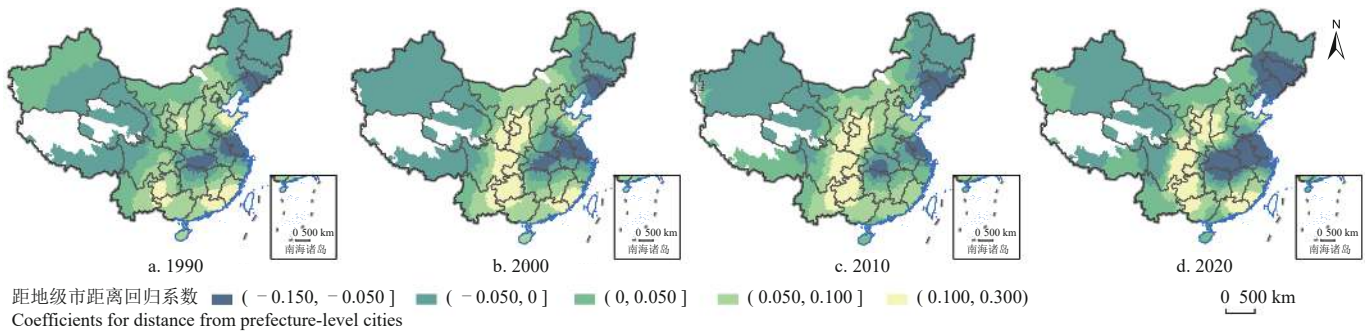


图 6 1990—2020 年距地级市距离回归系数时空分布
Fig.6 Spatial pattern of coefficients for distance from prefecture-level cities from 1990 to 2020

由图 7 可知, 1990—2020 年建设用地面积占比回归系数正值比例逐渐降低, 且回归系数空间分布变化显著。耕地是建设用地扩张的主要土地来源之一, 建设用地占用耕地势必对耕地的数量与景观产生影响。且城镇建设用地与农村居民点对耕地景观的影响效果不同, 城镇建设用地扩张多为大规模集中式占用耕地, 农村居民点则多为小规模分散式占用耕地, 扩张方式的差异性导致了两类建设用地扩张对耕地景观影响的差异性。中国各地区城镇化发展历程不同, 故而各地区在不同时期建设用地扩张对耕地景观细碎化的影响不同。由表 2 可知, 1990 年回归系数正值占比为 85.29%, 表明全国大多数地区建设用地面积占比越高, 其耕地景观细碎化指数越大。2020 年, 建设用地面积占比回归系数正、负值占比分别为 65.04% 和 34.96%, 正向高值区主要分布在黄淮海平原区, 负向高值区主要分布在广西以及西北地区。结合相关研究发现, 1990—2020 年黄淮海平原区建设用地扩张迅速, 且建设用地多占用耕地, 导致耕地数量减少的同时, 耕地斑块分布更分散形状更复杂。

由图 8 可知, 1990—2020 年人口密度回归系数正值占比先增加后减少。1990 年人口密度对耕地景观细碎

化主要表现为负向影响, 回归系数负值占比为 87.41%。2020 年, 人口密度回归系数正、负值占比分别为 48.35%、51.65% (表 2), 具有显著的空间异质性。其中, 负向影响区主要分布在胡焕庸线以东。人口的多少直接影响该地区对于耕地和建设用地的需求量。当耕地需求量大于耕地现有量时, 经营者更倾向于保留细碎化的耕地继续经营; 当耕地需求量等于或小于耕地现有量时, 经营者更倾向于经营自然质量条件更好、耕作更便利、农业生产成本更低的耕地, 这将间接导致细碎化的耕地被撂荒。

由图 9 可知, 1990—2020 年, 年降水量对耕地景观细碎化主要表现为正向影响。水资源是农业发展的重要要素, 年降水量越多, 区域灌溉条件越好, 耕地分布受水源限制越小, 耕地分布更趋于分散。在空间分布上, 发现东部平原区主要表现为正向影响。1990 年正向高值区主要分布在黄淮海平原区、黄土高原区和内蒙古高原中部。1990—2020 年, 正向高值区范围先扩大后缩小。2020 年正向高值区主要分布在黄淮海平原北部和内蒙古高原中部。

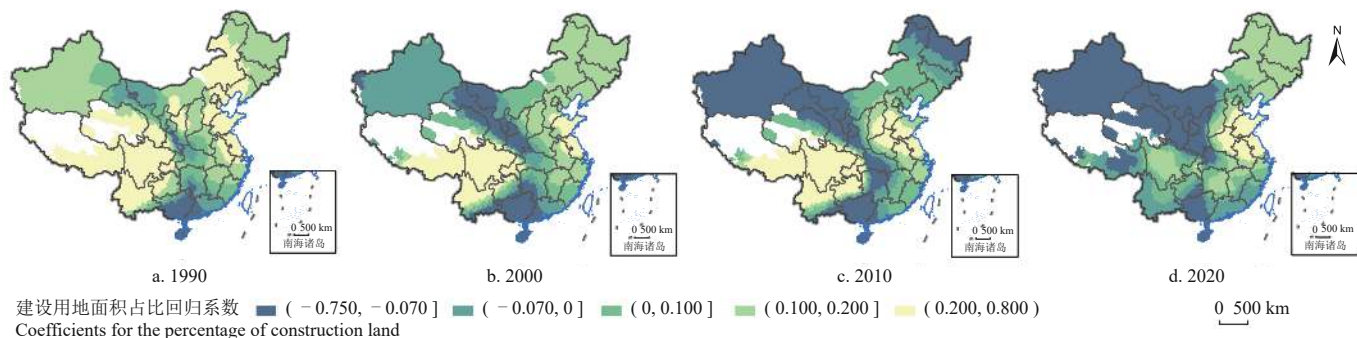


图 7 1990—2020 年建设用地面积占比回归系数时空分布

Fig.7 Spatial pattern of coefficients for the percentage of construction land from 1990 to 2020

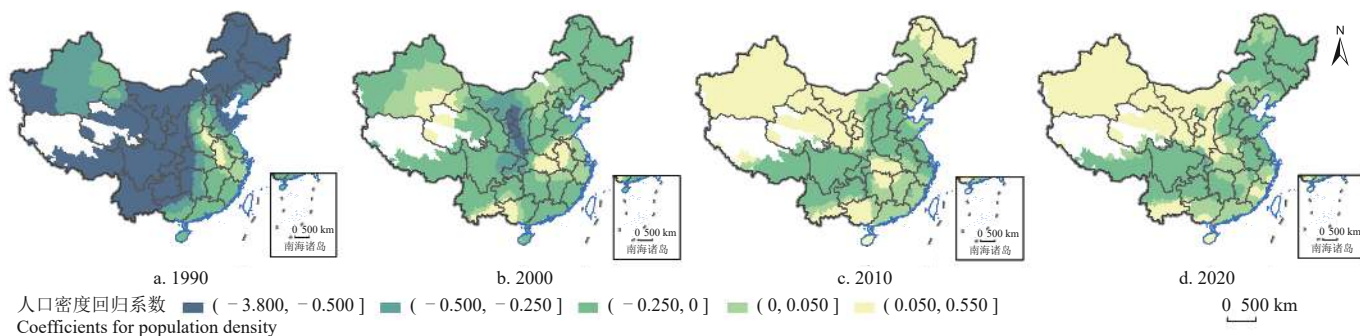


图 8 1990—2020 年人口密度回归系数时空分布

Fig.8 Spatial pattern of coefficients for population density from 1990 to 2020

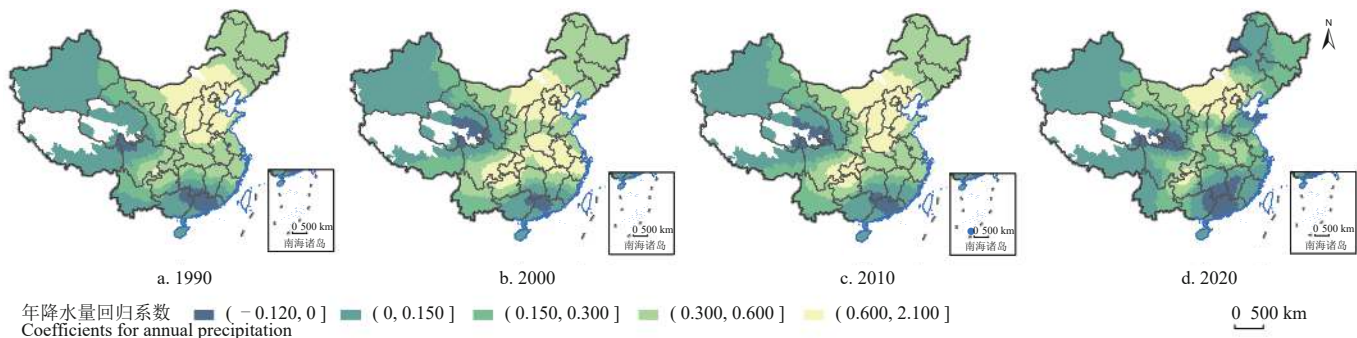


图 9 1990—2020 年年降水量回归系数时空分布

Fig.9 Spatial pattern of coefficients for annual precipitation from 1990 to 2020

由图 10 可知, 1990—2020 年 GDP 回归系数正值占比先减少后增加。社会与经济发展必然映射到土地利用转型, 相关研究提出伴随着社会经济发展土地可能经历自然生态系统、疆土开垦、生计农业、逐步集约化和集

约利用等阶段。1990 年 GDP 对耕地景观细碎化主要表现为正向影响, 该时期处于生计时期, 建设用地与耕地均处于扩张阶段, 区域建设用地的扩张占用耕地影响耕地景观, 导致耕地景观趋于分散破碎。

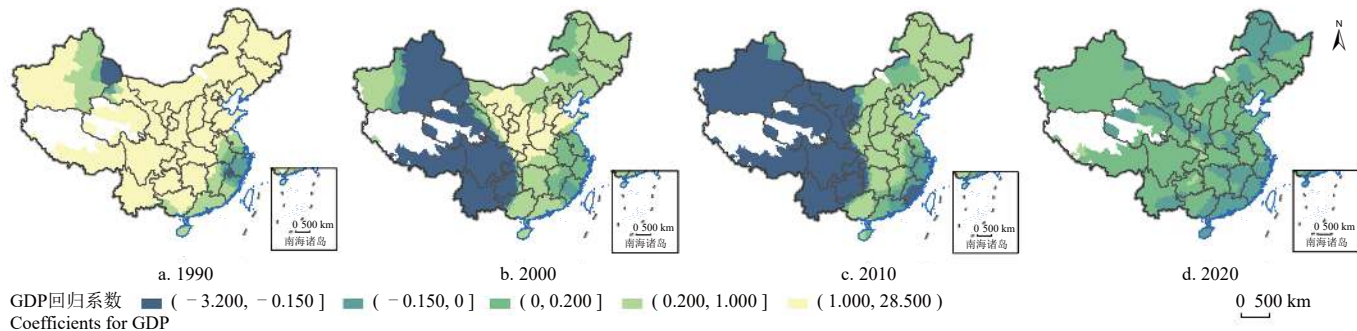


图 10 1990—2020 年 GDP 回归系数时空分布

Fig.10 Spatial pattern of coefficients for GDP from 1990 to 2020

由表 2 可知, 2000 年、2010 年回归系数负值占比分别为 22.73%、38.60%, 在空间上负向影响区主要分布在西部地区。2000—2010 年, 西部地区建设用地与耕地均快速扩张, 且建设用地与耕地主要来源为林地与草地。受国家农业发展、垦荒政策等影响, 西部地区耕地数量显著增加, 新增耕地在景观上分布较为集聚且形状规整。2020 年, 回归系数正值占比为 69.75%, 耕地景观细碎化指数对 GDP 的响应敏感程度相较于 1990、2000、2010 年有所减弱。2010—2020 年, 土地变化速度相较于 2000—2010 年有所放缓, 该时期土地利用阶段进入逐步集约化时期, 耕地规模主要变化趋势为数量减少, 城镇扩张速度趋缓, 人们开始注重耕地保护、发展集约农业与生态保护, 具体表现为中国的退耕还林还草与“三区三线”划定等政策。对耕地地类变化进行分析发现, 2020 年正向影响区被占用耕地主要转为建设用地, 负向影响区被占用耕地主要转为林地和草地。

3 讨 论

本文对全国县域耕地景观细碎化水平进行了测度, 并借助地理加权回归模型分析其影响因素。本文研究结果显示, 全国耕地景观细碎化表现为平原低山地丘陵高的空间格局特征, 在研究期间全国耕地景观细碎化指数平均值逐渐增加。在空间分布上, 除青藏高原、北方干旱半干旱区和东北平原区外, 其他区域耕地景观细碎化整体呈加剧趋势。耕地景观细碎化程度的变化具体表现在耕地的数量、形状和空间相邻关系等多个维度, 耕地景观变化的直接原因在于耕地占补导致的耕地空间分布变化。耕地占补的主要地类有建设用地、林地和草地, 伴随着人类社会经济发展, 同时受国家相关政策影响(例如未利用地垦荒、城乡建设用地增减挂钩、耕地占补平衡、三区三线划定等), 在不同阶段耕地占补的主要路径及数量结构存在差异, 各地区的耕地景观变化方向不同, 从而导致各地区耕地景观细碎化指数变化趋势不同。县域尺度下耕地景观细碎化治理需秉持因地制宜的原则, 治理措施应与区域环境背景相适应, 充分借鉴各地治理模式, 做到多元参与、统筹协调、辩证治理^[12-13]。对全国县域耕地景观细碎化指数进行核密度估计分析, 发现华南区、黄淮海平原区以及长江中下游地区耕地景观细碎化指数较其他地区显著增长。相关研究表明, 在过去几十年间, 这些区域建设用地快速扩张^[37]。新增建设用地对耕地的占用导致这些区域耕地规模缩小、地块分割、形状复杂化, 耕地破碎化现象加剧^[38]。这些区域亟需强化耕地细碎化治理, 扼制建设用地无序扩张, 积极推进土地整治, 继续加强高标准农田建设。结合耕地面积变化和耕地景观细碎化指数变化分析发现, 部分地区如新疆北部及东北部分地区, 存在耕地面积增长的同时耕地景观细碎化加剧的现象。这些区域耕地景观细碎化程度中等偏低, 但仍需在农业扩张的同时注重耕地格局优化, 警惕耕地细碎化加剧, 着眼于耕地可持续利用, 有效提升耕地适宜性。

耕地细碎化包括景观层面的细碎化与权属层面的细

碎化, 不同尺度下耕地细碎化的管理侧重点不同。本文以县域单元为基本研究对象, 而乡镇是当前乡村振兴战略实施的基本单元^[39], 后续研究可进一步探索中国乡镇尺度耕地细碎化时空演变特征及形成机理, 为中国全面推进乡村振兴战略, 实现农业农村现代化提供科学支撑。耕地景观层面的规模化是实现权属层面集中连片经营的基础。本研究刻画了中宏观尺度的耕地景观细碎化格局, 我国当前的生产方式仍以小农生产为主体^[40], 未来可进一步探索微观尺度的权属细碎化评估, 并尝试耦合景观细碎化与权属细碎化, 构建多维度的耕地细碎化评估体系^[12,28]。不同的自然基础条件与经营方式适配不同规模的农业经营, 如何评估区域农业经营的最适规模, 并参考最适规模进行耕地景观格局优化与权属调整是实现耕地规模经营亟需探讨的科学问题^[28,41]。

4 结 论

1) 1980、1990、2000、2010 和 2020 年, 全国县域耕地景观细碎化指数平均值分别为 5.544、5.546、5.567、5.619 和 5.669。东北平原、华北平原、长江中下游平原以及四川盆地的耕地景观细碎化指数较低, 黄土高原、东南丘陵、云贵高原东部、秦岭以及大巴山脉的耕地景观细碎化指数较高。研究期间, 80.47% 的县域单元耕地景观细碎化指数增大。

2) 1980—2020 年, 耕地面积减少同时耕地景观细碎化指数增大的县域单元占比最高且逐渐增加。耕地面积减少的县域单元大多分布在胡焕庸线以南, 且逐渐向西扩张; 耕地面积增加的县域单元分布大多分布在第一级阶梯与第二级阶梯, 且范围逐渐缩小。

3) 对全国及九大农业区的县域耕地景观细碎化指数进行核密度估计, 发现全国县域耕地景观细碎化指数的核密度曲线基本呈单峰分布, 且不断向右移动, 波峰逐渐升高, 表明全国县域耕地景观细碎化指数整体上不断增大, 细碎化指数的区域间差距逐渐缩小。除青藏高原、北方干旱半干旱区和东北平原区外, 其他区域的核密度曲线在水平方向上向右移动, 表明耕地景观细碎化指数逐渐增大。

4) 耕地景观细碎化的影响影响因素表现出空间异质性, 且伴随着社会经济发展, 不同阶段对耕地景观细碎化的影响作用不同。

[参 考 文 献]

- [1] 陈秧分, 王介勇, 张凤荣, 等. 全球化与粮食安全新格局[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(6): 1362-1380.
CHEN Yangfen, WANG Jieyong, ZHANG Fengrong, et al. New patterns of globalization and food security[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1362-1380. (in Chinese with English abstract)
- [2] 周德, 戚佳玲, 袁承程. 近 40 年来中国农地细碎化研究进展与展望[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(1): 107-116.
ZHOU De, QI Jialing, YUAN Chengcheng. Progress review and prospects for farmland fragmentation in China in the past 40 years[J]. *China Land Science*, 2021, 35(1): 107-116. (in

- Chinese with English abstract)
- [3] 陈帷胜, 冯秀丽, 马仁锋, 等. 耕地破碎度评价方法与实证研究——以浙江省宁波市为例[J]. 中国土地科学, 2016, 30(5): 80-87.
CHEN Weisheng, FENG Xiuli, MA Renfeng, et al. Method of cultivated land fragmentation evaluation and empirical research: a case of Ningbo city in Zhejiang Province[J]. China Land Science, 2016, 30(5): 80-87. (in Chinese with English abstract)
 - [4] CONCEICAO E O, GARCIA J M, ALVES G H Z, et al. The impact of downsizing protected areas: How a misguided policy may enhance landscape fragmentation and biodiversity loss[J]. *Land Use Policy*, 2022, 112: 105835.
 - [5] LI G, FANG C, LI Y, et al. Global impacts of future urban expansion on terrestrial vertebrate diversity[J]. *Nature Communications*, 2022, 13(1): 1628.
 - [6] WANG Y, ZANG L, ARARAL E. The impacts of land fragmentation on irrigation collective action: Empirical test of the social-ecological system framework in China[J]. *Journal of Rural Studies*, 2020, 78: 234-244.
 - [7] 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.
 - [8] 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.
 - [9] NTHINYURWA P D, DE VRIES W T. Farmland fragmentation, farmland consolidation and food security: Relationships, research lapses and future perspectives[J]. *Land*, 2021, 10(2): 129.
 - [10] NTHINYURWA P D, DE VRIES W T. Farmland fragmentation and defragmentation nexus: Scoping the causes, impacts, and the conditions determining its management decisions[J]. *Ecological Indicators*, 2020, 119: 106828.
 - [11] GOMES E, BANOS A, ABRANTES P, et al. Agricultural land fragmentation analysis in a peri-urban context: From the past into the future[J]. *Ecological Indicators*, 2019, 97: 380-388.
 - [12] 刘晶, 金晓斌, 徐伟义, 等. 1990—2020 年中国耕地景观细碎化演变特征与趋势预判[J]. 地理学报, 2023, 78(9): 2163-2185.
LIU Jing, JIN Xiaobin, XU Weiyi, et al. Characteristic evolution and trend prediction of cultivated land landscape fragmentation in China from 1990 to 2020[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(9): 2163-2185. (in Chinese with English abstract)
 - [13] 吴诗嫒, 叶艳妹, 张超正, 等. 不同模式农地整治对耕地细碎化的影响效应及其区域差异——来自湖北省江汉平原与武陵山区的经验证据[J]. 中国土地科学, 2021, 35(7): 98-106.
WU Shiman, YE Yanmei, ZHANG Chaozheng, et al. Impacts of different modes of rural land consolidation on cultivated land fragmentation and its regional differences: empirical evidence from Jiangnan plain and Wuling mountain area in Hubei Province[J]. China Land Science, 2021, 35(7): 98-106. (in Chinese with English abstract)
 - [14] 郑淋议, 陈紫微. 耕地细碎化对农户耕地撂荒的影响及其治理优化[J]. 地理研究, 2024, 43(1): 200-213.
ZHENG Linyi, CHEN Ziwei. Impacts of land fragmentation on farmers' farmland abandonment and its governance optimization[J]. *Geographical Research*, 2024, 43(1): 200-213. (in Chinese with English abstract)
 - [15] QIU L, ZHU J, PAN Y, et al. The positive impacts of landscape fragmentation on the diversification of agricultural production in Zhejiang Province, China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 251: 119722.
 - [16] XU W, JIN X, LIU J, et al. Impact of cultivated land fragmentation on spatial heterogeneity of agricultural agglomeration in China[J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, 30(10): 1571-1589.
 - [17] ZANG L, ARARAL E, WANG Y. Effects of land fragmentation on the governance of the commons: Theory and evidence from 284 villages and 17 provinces in China[J]. *Land Use Policy*, 2019, 82: 518-527.
 - [18] 张显源, 蔡忠亮, 李桂娥, 等. 耕地景观破碎化成因及对农村收入影响分析[J]. 测绘科学, 2020, 45(4): 134-141.
ZHANG Xianyuan, CAI Zhongliang, LI Guie, et al. Assessment of determinants of cultivated land fragmentation and its impacts on rural income[J]. Science of Surveying and Mapping, 2020, 45(4): 134-141. (in Chinese with English abstract)
 - [19] 龙明顺, 赵宇鸾, 张东丽. 山区耕地细碎化对农户耕地撂荒的影响[J]. 农业工程学报, 2022, 38(21): 231-239.
LONG Mingshun, ZHAO Yuluan, ZHANG Dongli. Impacts of mountainous land fragmentation on cultivated land abandonment of farmers[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(21): 231-239. (in Chinese with English abstract)
 - [20] JIANG P, CHEN D, LI M. Farmland landscape fragmentation evolution and its driving mechanism from rural to urban: A case study of Changzhou City[J]. *Journal of Rural Studies*, 2021, 82: 1-18.
 - [21] 魏鹏, 余敦, 胡宜之, 等. 规划管约束下耕地细碎化评价与整治分区[J]. 农业工程学报, 2024, 40(3): 283-293.
WEI Peng, YU Dun, HU Yizhi, et al. Evaluating cultivated land fragmentation and remediation zoning under planning management[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, 40(3): 283-293. (in Chinese with English abstract)
 - [22] KHADKA S, GYAWALI B R, SHRESTHA T B, et al. Exploring relationships among landownership, landscape diversity, and ecological productivity in Kentucky[J]. *Land Use Policy*, 2021, 111: 105723.
 - [23] 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.
 - [24] LIU X, ZHAO C, SONG W. Review of the evolution of cultivated land protection policies in the period following China's reform and liberalization[J]. *Land Use Policy*, 2017, 67: 660-669.
 - [25] SU Y, QIAN K, LIN L, et al. Identifying the driving forces of

- non-grain production expansion in rural China and its implications for policies on cultivated land protection[J]. *Land Use Policy*, 2020, 92: 104435.
- [26] SU S, HU Y, LUO F, et al. Farmland fragmentation due to anthropogenic activity in rapidly developing region[J]. *Agricultural Systems*, 2014, 131: 87-93.
- [27] LIU J, JIN X, XU W, et al. Influential factors and classification of cultivated land fragmentation, and implications for future land consolidation: A case study of Jiangsu Province in eastern China[J]. *Land Use Policy*, 2019, 88: 104185.
- [28] 刘晶, 金晓斌, 徐伟义, 等. 耕地细碎化对可持续集约利用的影响机理与治理框架[J]. *地理学报*, 2022, 77(11): 2703-2720.
- LIU Jing, JIN Xiaobin, XU Weiyi, et al. Influence mechanism of cultivated land fragmentation on sustainable intensification and its governance framework[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(11): 2703-2720. (in Chinese with English abstract)
- [29] 程维明, 高晓雨, 马廷, 等. 基于地貌分区的 1990-2015 年中国耕地时空特征变化分析[J]. *地理学报*, 2018, 73(9): 1613-1629.
- CHENG Weiming, GAO Xiaoyu, MA Ting, et al. Spatial-temporal distribution of cropland in China based on geomorphologic regionalization during 1990-2015[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(9): 1613-1629. (in Chinese with English abstract)
- [30] 徐新良. 中国气象要素年度空间插值数据集[J]. 资源环境科学数据注册与出版系统 (<http://www.resdc.cn>), 2022. DOI: 10.12078/2022082501.
- XU Xinliang. Annual spatial interpolation data set of meteorological elements in China[J]. Resource and Environmental Science Data Registration and Publishing System (<http://www.resdc.cn>), 2022, Doi: 10.12078/2022082501. (in Chinese with English abstract)
- [31] 徐新良, 刘纪远, 张树文, 等. 中国多时期土地利用遥感监测数据集 (CNLUCC) [J]. 资源环境科学数据注册与出版系统 (<http://www.resdc.cn>), 2018, DOI: 10.12078/2018070201.
- XU Xinliang, LIU Jiyuan, ZHANG Shuwen, et al. China multi-period land use and land cover change remote sensing monitoring data set[J]. Resource and Environmental Science Data Registration and Publishing System (<http://www.resdc.cn>), 2018, Doi: 10.12078/2018070201. (in Chinese with English abstract)
- [32] 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.
- 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*, 2022, 38(16): 11-20. (in Chinese with English abstract)
- [33] 张彭, 张超, 李春泽, 等. 基于地形的耕地破碎度指数设计与应用[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(9): 226-236.
- ZHANG Peng, ZHANG Chao, LI Chunze, et al. Design and application of cultivated land fragmentation index based on terrain[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(9): 226-236. (in Chinese with English abstract)
- [34] 卢新海, 柯楠, 匡兵, 等. 中部地区土地城镇化水平差异的时空特征及影响因素[J]. *经济地理*, 2019, 39(4): 192-198.
- LU Xinhai, KE Nan, KUANG Bing, et al. Spatial-temporal features and influencing factors of difference in land urbanization level of central China[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(4): 192-198. (in Chinese with English abstract)
- [35] 匡兵, 卢新海, 周敏, 等. 中国地级以上城市土地经济密度差异的时空演化分析[J]. *地理科学*, 2017, 37(12): 1850-1858.
- KUANG Bing, LU Xinhai, ZHOU Min, et al. Analysis of spatial-temporal evolution of urban land economic analysis of spatial-temporal evolution of urban land economic density disparity in prefecture-level cities of China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2017, 37(12): 1850-1858. (in Chinese with English abstract)
- [36] BRUNSDON C, FORTHERINGHAM A S, CHARLTON M E. Geographically weighted regression: A method for exploring spatial nonstationarity[J]. *Geographical Analysis*, 1996, 28(4): 281-298.
- [37] 何青松, 王博. 多尺度视角下中国城市群外部形态紧凑扩张与内部功能发育空间错配[J]. *中国土地科学*, 2022, 36(8): 85-97.
- HE Qingsong, WANG Bo. Spatial mismatch between external urban morphological compactness and internal urban development levels of urban agglomerations in China from a multi-scale perspective[J]. *China Land Science*, 2022, 36(8): 85-97. (in Chinese with English abstract)
- [38] 原晋涛, 陈万旭, 曾杰. 中国耕地利用变化时空分异特征及对耕地 NPP 的影响[J]. *自然资源学报*, 2023, 38(12): 3135-3149.
- YUAN Jintao, CHEN Wanxu, ZENG Jie. Spatio-temporal differentiation of cropland use change and its impact on cropland NPP in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(12): 3135-3149. (in Chinese with English abstract)
- [39] 刘彦随, 周扬, 李玉恒. 中国乡村地域系统与乡村振兴战略[J]. *地理学报*, 2019, 74(12): 2511-2528.
- LIU Yansui, ZHOU Yang, LI Yuheng. Rural regional system and rural revitalization strategy in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2511-2528. (in Chinese with English abstract)
- [40] 李昊, 银敏华, 马彦麟, 等. 种植规模与细碎化对小农户耕地质量保护行为的影响——以蔬菜种植中农药、化肥施用为例[J]. *中国土地科学*, 2022, 36(7): 74-84.
- LI Hao, YIN Minhua, MA Yanlin, et al. Effects of planting scale and fragmentation on the behavior of smallholders' farmland quality protection: Taking the application of pesticide and fertilizer in vegetable cultivation as an example[J]. *China Land Science*, 2022, 36(7): 74-84. (in Chinese with English abstract)
- [41] 赵乐松, 陈莉珍, 肖瑶, 等. 多尺度行政区平衡视角下耕地空间布局优化[J]. *农业工程学报*, 2024, 40(6): 319-329.
- ZHAO Lesong, CHEN Lizhen, XIAO Yao, et al. Optimization of the spatial layout of farmland from the perspective of multi-scale administrative balance[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2024, 40(6): 319-329. (in Chinese with English abstract)

Spatial differentiation and influencing factors of cultivated landscape fragmentation in China from 1980 to 2020

CHEN Wanxu^{1,2}, DUAN Binqiao¹, ZENG Jie^{1*}

(1. School of Geography and Information Engineering, China University of Geosciences, Wuhan 430078, China; 2. Hubei Key Laboratory of Regional Ecology and Environmental Change, China University of Geosciences, Wuhan 430078, China)

Abstract: In the process of promoting agricultural modernization, the fragmentation of cultivated landscape has seriously hindered the development of large-scale agriculture. It is of great theoretical and practical significance to scientifically reveal the spatio-temporal patterns of cultivated landscape fragmentation in China for the formulation of refined cultivated land protection policies, the efficient intensive scale use of cultivated land resources, and the modernization of agriculture and rural areas. Based on land use remote sensing data, this study calculated the patch density, edge density, landscape shape index, area-weighted mean patch area, mean patch fractal dimension index, landscape division index, splitting index, and agglomeration index of cultivated land at county-level in 1980, 1990, 2000, 2010, and 2020. The cultivated landscape pattern indices of each county were weighted and summarized to obtain the cultivated landscape fragmentation index (CFI) using principal component analysis. Kernel density analysis was then conducted to characterize the changes in the CFI across China and within each agricultural region in China. Finally, its influencing factors were analyzed with the help of geographically weighted regression model. The results of the study were showed as follows. (1) From 1980 to 2020, the average values of the CFI in China were 5.544, 5.546, 5.567, 5.619, and 5.669, respectively. The CFI was lower in the Northeast Plain, the North China Plain, the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River, and the Sichuan Basin, while it was higher in the Loess Plateau, the Southeast Hills, the East of the Yunnan-Guizhou Plateau, the Qinling Mountains, and the Daba Mountains. The CFI in the Loess Plateau, the Southeast Hills, the eastern part of the Yunnan-Guizhou Plateau, the Qinling Mountains, and the Daba Mountains was higher. During the study period, 80.47% of the county units had an increase in the CFI. (2) The CFI in counties nationwide has been increasing as a whole, and the gap between regions in the CFI has been gradually narrowing. Except for the Qinghai Tibetan Plateau, Northern arid and semiarid regions and the Northeast China Plain, the overall trend of CFI in other regions increased from 1980 to 2020. (3) From 1980 to 2020, the county units with the decrease of cultivated land area and increased CFI accounted for the highest proportion. Most of the county units with a decrease in cultivated land were distributed south of the Hu Huanyong line, and most of the counties with an increase in cultivated land area were distributed between the first and second terraces. (4) The average elevation, distance from prefectural-level cities, and annual precipitation overall had positive effects on CFI. The effects of the percentage of construction land, population density, and GDP on CFI showed evident spatial heterogeneity, and along with socio-economic development, these factors played different roles in influencing the CFI at the different stages. In the future, China's cultivated land needs to focus on optimizing patterns. The management of cultivated landscape fragmentation needs to be based on the principle of adapting to local conditions, drawing on the management models of different regions, and achieving diversified participation, co-ordination and dialectical management.

Keywords: cultivated landscape fragmentation; spatial differentiation; formation mechanism; GWR; China