农牧交错区县域景观格局对新型城镇化的空间响应*

——以张家口市为例

宁雅萱[1] 尹 豪[1,2] 王 旸[1] 李金诺[1]

（1. 北京林业大学园林学院，北京 100083；2. 城乡生态环境北京实验室，北京 100083）

摘要：【目的】构建新型城镇化与景观格局的空间关系分析框架，揭示张家口市景观格局对城镇化进程的差异化空间响应，为深入理解农牧交错带城乡转型中的人地关系演变提供分析视角。【方法】以张家口市 16 个区县为研究单元，基于社会经济统计数据和遥感影像，构建包含人民生活、农事生产、人居发展和人文环境 4 个维度的新型城镇化评价体系，以及以景观破碎度、连通度和复杂度为核心的景观格局指标体系，采用熵值法赋权，并通过地理加权回归模型定量分析二者的空间耦合关系。【结果】1）各类城镇化指数呈现明显空间梯度，人民生活和人居发展指数中心高、外围低，农事生产能力指数西北高、东南低，人文环境质量指数东高西低；2）景观格局指数空间异质性较强，破碎度和复杂度由西向东递增，连通度则呈现相反的空间趋势，整体表现为“西部连续、东部破碎”的格局；3）4 类城镇化因素均加剧景观破碎化，但作用方向存在差异——农事生产与人居发展对景观连通度具有正向作用，人民生活与人文环境因素则推动景观复杂度提升。【结论】城镇化对景观格局的影响并非单向生态压力，而是社会经济过程与自然过程交织作用的结果。将农事生产能力纳入城镇化评价体系、以县域为单元开展兼顾格局识别与驱动分析的多维分析，可为农牧交错带地区实现新型城镇化与生态保护协调发展提供科学依据。

关键词：农牧交错带；新型城镇化；景观格局；地理加权回归（GWR）；评价指标体系

DOI：10.12169/zgcsly.2025.05.06.0001

Spatial Response of County-level Landscape Patterns to New Urbanization in the Agro-Pastoral Ecotone: A Case Study of Zhangjiakou City

Ning Yaxuan[1] Yin Hao[1,2] Wang Yang[1] Li Jinnuo[1]

(1. School of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Beijing Laboratory of Urban and Rural Ecological Environment, Beijing 100083, China)

Abstract: 【Objective】 To establish a framework linking new-type urbanization with landscape pattern, examine the differentiated spatial responses in Zhangjiakou City, and provide an analytical perspective on human – environment relationships in agro-pastoral ecotones. 【Method】 Based on 16 districts and counties in Zhangjiakou City, this study used socio-economic statistical data and remote sensing images to establish a new-type urbanization evaluation system comprising four dimensions: people's livelihood, agricultural production, residential development, and cultural environment. A landscape pattern indicator system was also constructed, with landscape fragmentation, connectivity, and complexity as the core indicators. The entropy weight method was used to determine indicator weights, and geographically weighted regression was applied to analyze the spatial relationship between urbanization and landscape

收稿日期：2025-05-06

* 基金项目：北京市共建项目（2019GJ-03）；北京林业大学热点追踪项目（2022BLRD05）

第一作者：宁雅萱，女，1997 年生，博士生，研究方向为城乡人居生态环境。E-mail：ningyx1997@bjfu.edu.cn

通信作者：尹豪，男，1976 年生，博士，教授，研究方向为城乡人居生态环境、风景园林规划设计。E-mail：yinhao@bjfu.edu.cn

patterns.【Result】1）The urbanization indices showed clear spatial gradient patterns. The people's livelihood and residential development indices exhibited a concentric structure, with higher values in the central area and lower values in the surrounding areas. The agricultural production capacity index was higher in the northwest and lower in the southeast, whereas the cultural environment quality index showed a pattern of higher values in the east and lower values in the west. 2）The landscape pattern indices showed strong spatial heterogeneity. Landscape fragmentation and complexity gradually increased from west to east, while connectivity exhibited the opposite spatial trend, forming typical landscape characteristics of the agro-pastoral ecotone. 3）New-type urbanization had significant effects on landscape patterns. The four urbanization factors all promoted landscape fragmentation to varying degrees. Agricultural production and residential development had positive effects on landscape connectivity, while people's livelihood and cultural environment strongly promoted landscape complexity.【Conclusion】Urbanization affects landscape pattern not as a unidirectional pressure but through intertwined socio-economic and natural processes. Incorporating agricultural production capacity into the urbanization evaluation, together with county-level analyses combining pattern identification with driver analysis, provides a scientific basis for coordinating new-type urbanization with ecological protection in agro-pastoral ecotones.

Keywords: agro-pastoral ecotone; new-type urbanization; landscape pattern; geographically weighted regression (GWR); evaluation indicator system

新型城镇化作为中国社会经济发展的重要引擎，自 2014 年国务院颁布《国家新型城镇化规划》以来持续深入推进。伴随这一进程，区域景观格局被深刻重塑，其影响在空间上表现为明显的景观异质性变化[1]，在生态环境脆弱、人地关系复杂的农牧交错带尤为突出[2]。农牧交错带是农耕区与牧业区的过渡地带，是维护区域生态安全的重要屏障[3]。在城镇化快速推进下，该区域面临景观格局重构的巨大压力。传统农牧生产空间被建设用地大量挤占，导致景观破碎化加剧、生态连通性降低[4]，严重威胁着区域生态安全与可持续发展能力。

从景观格局视角理解和解决城镇化问题是生态学、地理学的研究热点之一[5-6]。现有研究虽然在城镇化与景观格局关系方面积累了一定成果[7-9]，但针对农牧交错带这一特殊地域的研究仍显不足。相关研究多集中于土地利用变化动态[10]、生境质量评估[11]、生态系统服务权衡[12]以及气候变化响应等单一维度[13-14]，缺乏对县域尺度上景观格局如何响应城镇化进程的系统性认识。张家口市地处农牧交错过渡带，区域内农耕文明与游牧文明并存，形成了独特的地理格局[15]。双重经济结构决定其城镇化路径有别于单一农区或牧区。城镇化进程推动了传统农牧生产方式的变革，农耕区趋向集约化发展，而牧区则面临草原退化与人口变迁的挑战，两种地域类型在发展中呈现出明显的不平衡与空间分异。

基于此，本研究以张家口市 16 个区县为研究单元，构建涵盖生活、生产、生态、经济 4 个维度的新型城镇化综合评价指标体系，运用景观格局指数定量刻画区域景观空间异质性特征。在此基础上，采用地理加权回归模型（Geographically Weighted Regression，GWR）探索城镇化对景观格局影响的空间非平稳性，系统比较不同城镇化因子对景观格局的影响。以期为城市生态管理提供参考，为该类地区实现新型城镇化与生态保护协调发展提供科学依据。

1　研究区概况

河北省张家口市处于京津冀经济圈西北边缘，地貌以山地、高原为主，是京津冀重要的生态支撑区。张家口市地势自西向东逐渐降低，西部多山地高原，自然资源丰富；东部地势平缓，以农田景观为主；中部则呈现山地森林向平原农田过渡的复杂生态格局，区域景观呈现突出的空间异质性。随着京津冀协同发展战略深入实施，张家口地区国土空间正经历剧烈变化。目前，全市常住人口 407.5 万人，城镇化率 67.48%，处于城镇化转型的关键阶段。本研究选取张家口市下辖经济条件及地理环境差异较大的 6 区 10 县作为研究

范围（图 1）。

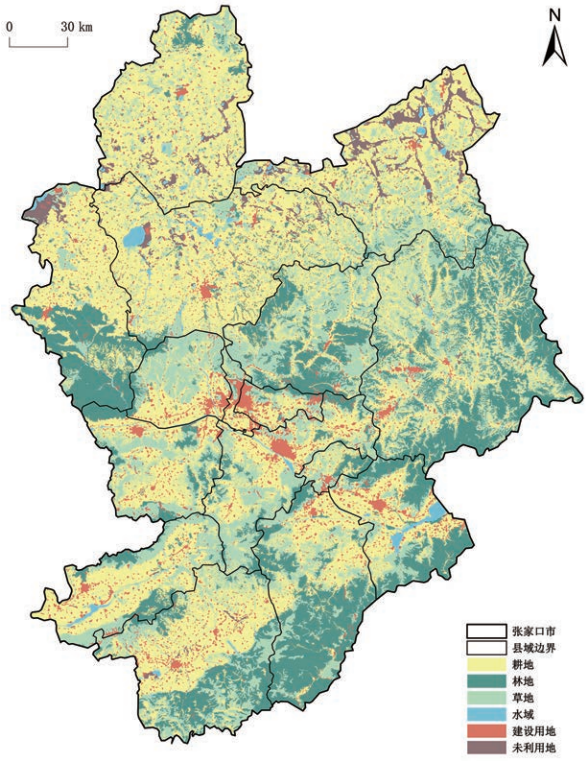


图 1 研究区位

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究所涉及数据包括张家口地区 2021 年 16 个区县的社会经济统计数据及遥感数据。社会经济数据反映张家口市各区县的城镇化率及城乡融合水平，来自 2021 年的《河北统计年鉴》《河北农村统计年鉴》《张家口经济年鉴》及各区县统计公报，极少数地区的个别缺失指标采用邻近年份插值法进行填补，统一数据单位和统计标准，确保 16 个区县数据的可比性。2020 年土地利用数据（LUCC）来源于中国科学院资源环境数据云平台（http://www.resdc.cn/），空间分辨率为 30 m×30 m。将张家口市各区县的土地利用类型归并为耕地、草地、林地、水域、建设用地和其他未利用土地类型（沙地、沼泽地、裸土地、盐碱地等），分类后进行景观格局指数计算。

2.2 新型城镇化水平测度及景观格局评价

新型城镇化战略实施以来，推动全方位、高质量发展的城镇化成为核心理念[16]。与传统评价体系不同，本研究基于《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》，构建了契合农牧交错区特征的多元测度体系，包含需求类别层、内容层及指标层三级结构，从人民生活、农事生产、人居发展及人文环境 4 个维度出发，全面反映城镇化发展状态（表 1）。指标选取充分考虑了优化城市功能、促进城乡融合等新阶段特征，关注城镇化发展的可持续韧性及环境协调性。评价体系特别纳入“播种指数”“草原生态价值总量”等反映张家口市农牧交错带农牧业发展与生态基底的相关指标，从而更客观地反映该地区城镇化进程的特殊性。

表 1 新型城镇化水平测度体系

类别层	内容层	指标层	权重	指标类型	指标解释
人民生活	设施保障	电力设施	0.192	+	人均用电量水平
		医疗设施	0.416	+	每万人拥有医院、卫生医院床位数
	生活保障	人均可支配收入	0.293	+	—
		城乡居民享受低保人数比例	0.099	−	低保人数占比
农事生产	生产比重	播种指数	0.183	+	实际播种面积占耕地面积比例
		人均耕地面积	0.315	+	—
		人均粮食产量	0.204	+	—
	生产效益	农耕效率	0.099	+	机器耕作面积占耕地面积比例
		农林牧渔产业增加值	0.199	+	—
人居发展	社会发展	常住人口城镇化率	0.287	+	常住城市人口占常住人口比例
		城乡收入平衡指数	0.281	+	城乡居民人均可支配收入比
	经济发展	人均 GDP	0.149	+	人均国内生产总值
		产业结构	0.175	+	二、三产产值占地区生产总值比例
		人均社会消费品零售额	0.107	+	各行业直接售给城乡居民和社会集团的消费品人均额度
人文环境	生态环境	草原生态价值	0.144	+	区域草地生态服务价值总和(通过 Costanza、谢高地等人的方法计算)
		地均生态价值	0.147	+	生态服务价值/各类用地面积
		森林覆盖率	0.226	+	林地面积占区域总面积比例
		建成区绿化覆盖率	0.101	+	建成区绿化面积占建成区总面积比例
	人文关怀	人均公园绿地面积	0.214	+	公园绿地总面积/区域人口数量
		科教支出指数	0.168	+	科教支出占一般财政支出比例

注：“+”表示正向；“−”表示负向；下同。

景观格局作为城镇化生态效应的重要表征，可以通过景观指数进行量化，景观指数是监测、评估和管理景观变化的重要工具[17]，其科学应用需要构建合理的指标体系。已有研究表明，景观破碎度、连通度和复杂度是反映区域景观格局特征的核心维度[18]。本研究结合区域景观特点，从上述 3 个维度选择 11 项景观格局指数构建评价指标体系（表 2），以全面反映张家口市景观的组成结构、斑块形状及其空间聚集程度。运用 Fragstats 4.2 软件对各区县的景观格局指数进行计算，量化区域尺度上的景观生态效应，为综合评价分析奠定数据基础。

表 2　景观格局评价指标体系

景观格局指标		权重	指标类型	指标解释
景观破碎度	斑块个数（NP）	0.609	+	斑块数量
	斑块平均大小（MPS）	0.210	−	某一斑块类型的总面积除以该类型的斑块数目
	最大斑块面积占比（LPI）	0.181	−	最大斑块面积占区域总面积百分比
景观连通度	蔓延度（CONTAG）	0.355	+	景观里同类斑块类型倾向聚集或分散的趋势
	散布与并列指数（IJI）	0.326	+	反映某一斑块类型仅与其他斑块类型的相邻接情况
	连接度（COHESION）	0.161	+	反映斑块与其他斑块间连接程度强弱
	聚合度（AI）	0.158	+	反映同类斑块之间的邻近性
景观复杂度	边缘密度（ED）	0.289	+	单位面积内含有斑块边界的长度
	景观形状（LSI）	0.382	+	某一斑块对比相同面积正方形的偏离程度
	香农多样性（SHDI）	0.154	+	斑块丰富度和均匀度的度量
	香农均匀度（SHEI）	0.176	+	反映斑块的相对丰度分布情况

为避免各类原始指标数据差异对计算结果的影响，使用极差标准化法对数据进行无量纲化处理。采用熵值法进行指标赋权，客观反映各指标在区域差异中的重要程度[6]。熵值法作为客观赋权技术，能有效消除主观因素随意性，增强权重确定的稳定性和可靠性[19]。该方法根据指标数据的离散程度确定权重，指标数据越分散，信息熵越小，权重越大，反之亦然，适用于多指标综合评价[16]。

在数据标准化及权重计算的基础上，将各指标权重与其标准化值相乘求和，由此计算研究区各地域单元不同维度下的新型城镇化水平指数和景观格局评价指数。

基于计算得出的指数结果，采用自然断点法进行分级处理。通过识别数据中的自然聚类特征和突变点，实现数据的最优分组，能够最大化组间差异、最小化组内差异，为后续的空间分异特征分析提供科学依据。

2.3　景观格局与新型城镇化空间关联分析

在农牧交错区这一特定背景下，新型城镇化的 4 个维度通过不同路径对景观格局产生影响。人民生活条件的提升多数伴随居住和基础设施用地的扩展，这在土地利用关系相对敏感的地区，直接作用于景观破碎度的变化；农事生产能力反映土地利用强度，影响不同景观类型间的连通性，亦在一定程度上体现了农、草、建设用地间的空间配置关系；人居发展水平体现城镇建设集聚程度，影响景观空间组织特征；人文环境质量反映生态保护状况，与景观复杂度和多样性密切相关。

对新型城镇化各维度指数与景观格局 3 类指数（破碎度、连通度、复杂度）进行量化后，运用 GWR 识别二者关联关系及其地域分异特征，通过对比不同区域的关联模式，揭示农牧交错带城镇化发展对景观格局影响的空间差异。

GWR 允许参数在空间上变化，利用距离衰减函数调整空间单元间权重，使距离越近的单位产生更强影响，从而反映邻近区域的相互依赖性。通过优化核函数带宽，GWR 在保持模型拟合度的同时避免过度拟合[20]。

本文将 3 个一级景观格局指标作为因变量，将 4 个新型城镇化类别指标作为解释变量。使用 ArcGIS 10.2 中的 GWR 工具执行 OLS（各项因子的共线性检验）和 GWR 分析。在回归之前，使用最小–最大标准化方法对景观格局指数和新型城镇化需求指数进行归一化。

3　结果与分析

3.1　新型城镇化水平测度

由图 2 可知，各区域 4 个维度的指标呈现出明显的空间异质性。空间分布格局既体现城市中

心的集聚效应和辐射影响，又反映农牧交错带独特的地理环境约束和资源禀赋差异，这种不同维度呈现的差异化空间分布特征共同构成该区域新型城镇化发展的复合特征。

人民生活条件指数呈典型的中心向外围衰减趋势（图 2a）。高值集中于桥东、桥西主城区，体现基础设施与公共服务的集聚效应；而外围县域，特别是地形复杂、以农牧业为主的北部与西南部地区，指数偏低。这一空间格局直观反映新型城镇化进程中，农牧交错带内部城乡二元结构的固化与发展不均衡性，社会资源配置的城乡差异依然存在。农事生产能力指数自西北向东南递减（图 2b），此分布与张家口市农牧交错带的地理分异高度契合。高值区集中于北部坝上，该区域“农-牧-城”三元景观共存[14]，多样化的农牧模式保障了较高的生产能力；相对地城市核心及东南区域，受城镇化与工业化扩张影响，耕地资源占用与转用现象突出，导致农业生产空间被压缩，指数偏低。人居发展水平指数空间格局与生活条件指数高度一致（图 2c）。中心城区凭借经济活力形成了资源与人口的集聚，外围农牧县域则面临发展要素流失与滞后的困境。新型城镇化虽推动了经济集聚，却尚未显现出对外围农牧地区的反哺效应。人文环境质量指数呈东高西低趋势（图 2d）。东部赤城、怀来等地因森林覆盖率高、生态资源本底较好而指数领先；中部平原区用地均衡，质量表现中等；西北部高原牧区则受限于地貌及水土流失、草原退化等，人地矛盾较为突出，导致指数偏低；东部农业区较完善的生态保护措施与西部牧区面临的草原退化问题形成鲜明对比，区域内草原资源过度利用与生态修复之间的矛盾日益凸显。

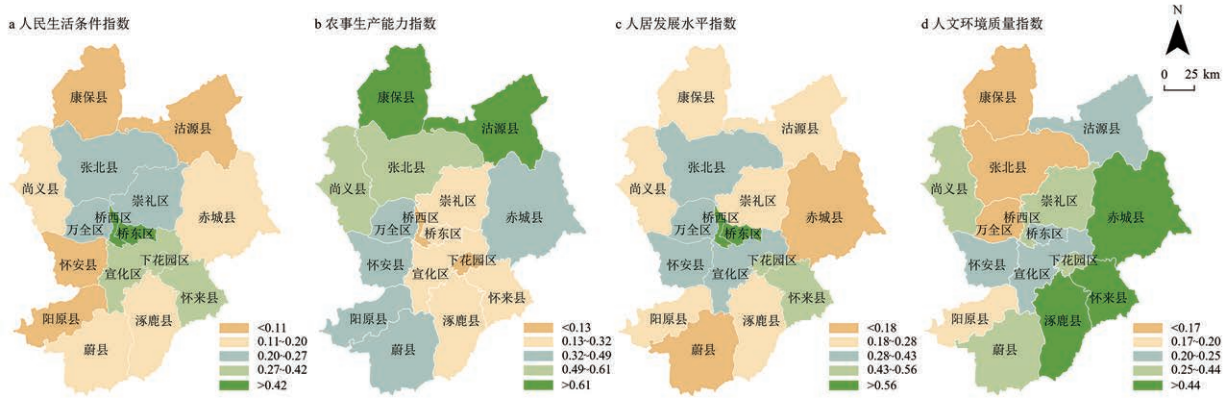


图 2 新型城镇化水平测度

3.2 景观格局评价

景观格局指数在空间上呈现分异特征（图 3），破碎度与复杂度分布趋势相近，而连通度则呈相反规律。景观破碎度整体偏低，高值区有限。这表明张家口市作为农牧交错区的典型代表，其广大县域仍保留了较为完整的自然基底，并受传统农牧业活动影响，斑块破碎化程度不高，尤其在西部牧区，以连片草原为主的土地利用模式使其破碎度维持在低位。景观连通度总体处于较高水平，得益于农牧交错带西部草原的连续性与东部农区连片耕地的空间格局。然而，连通度的低值区集中于主城区及其东侧，清晰地反映新型城镇化进程中的建设活动，如城市扩张、交通廊道建设等，对区域景观连通性的割裂效应。这些活动破坏了原生景观的连续性，导致生态斑块隔离与边缘效应增强。景观复杂度的空间分异明显，呈东高西低格局，这源于农牧交错带内部土地利用方式的差异。东部农区因农田、林地、居民点等多元用地交错，景观配置较为复杂；而城市中心区及其近郊，则受到新型城镇化推动下的建设用地扩张影响，传统农牧格局被打破，导致斑块类型与边界增加，复杂度随之提升；相比之下，西部牧区单一的草原景观使其复杂度维持在较低水平。

3.3 景观格局与新型城镇化指标间的关系变化

城镇化对景观格局的驱动力随着空间位置的差异而发生改变。对于景观破碎度，城镇化进程普遍表现出正向驱动作用，以东部区域影响最为

明显（图 4）。主要归因于土地利用模式的转变，特别是在农牧交错带，林地和草地向耕地及建设用地的转换，加剧了原生景观的破碎化。人居发展因素在东部却呈现负向影响，可能与该区域新型城镇化过程中相对集约的建设模式有关，促使斑块趋于规则化。

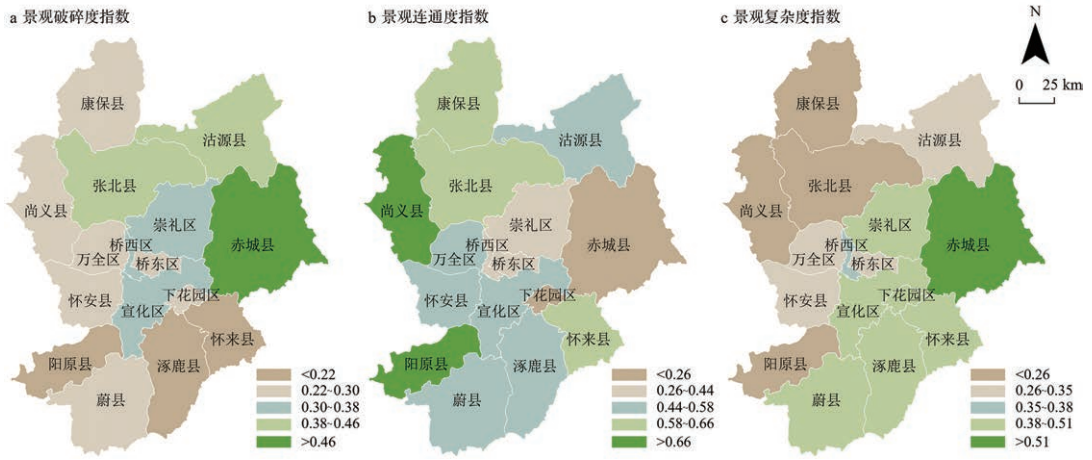


图 3　景观格局评价

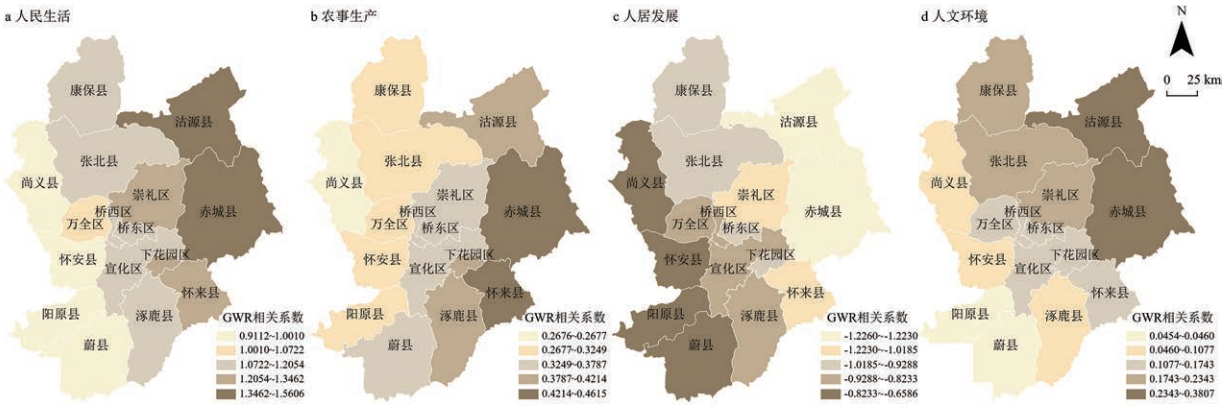


图 4　景观破碎度与各项新型城镇化指数相关系数的空间格局

景观连通度则受到较强的负面胁迫，尤其是在人民生活和人文环境因素驱动下的负面胁迫更强（图 5）。居住区扩张与交通网络加密等活动割裂了自然景观基底，切断了生态廊道，此现象在农牧交错带的城镇周边尤为突出，导致连片的传统牧区草原和农区耕地被人为分割；与此相对，农事生产和人居发展因素呈积极作用，新型城镇化进程中的人口适度聚集及城郊农业缓冲区的形成，在一定程度上维系了局部的生态连通性。

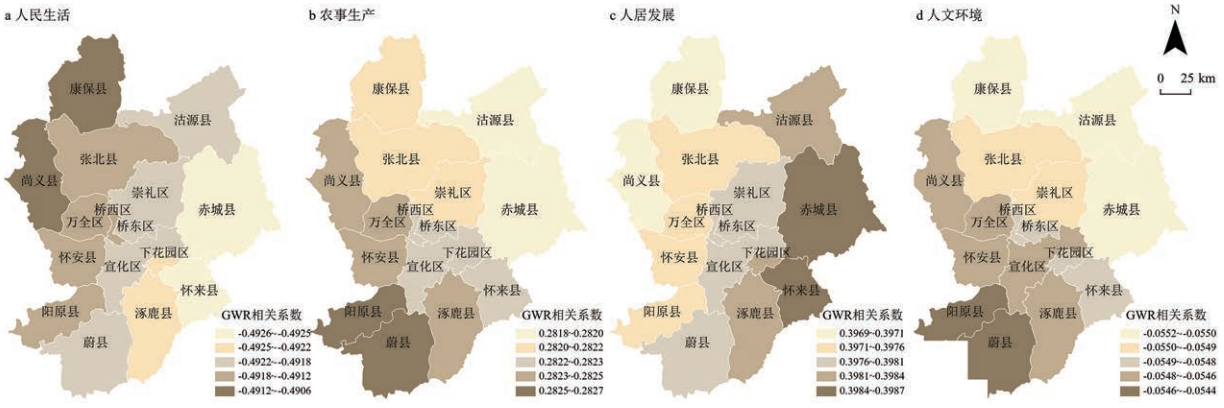


图 5　景观连通度与各项新型城镇化指数相关系数的空间格局

景观复杂度方面，人民生活与人文环境因素呈正向影响，而农事生产与人居发展因素则呈负向效应（图 6）。农牧交错带的景观复杂度变化由社会经济与自然过程共同塑造。处于新型城镇化初期的区域，多样化的土地利用强化了景观异质性，提升了复杂度，但随之而来的建设用地同质化扩张，以及部分区域集约化的农事生产又会替代原有丰富的农牧交错景观，导致景观趋于单一，从而降低整体复杂性。

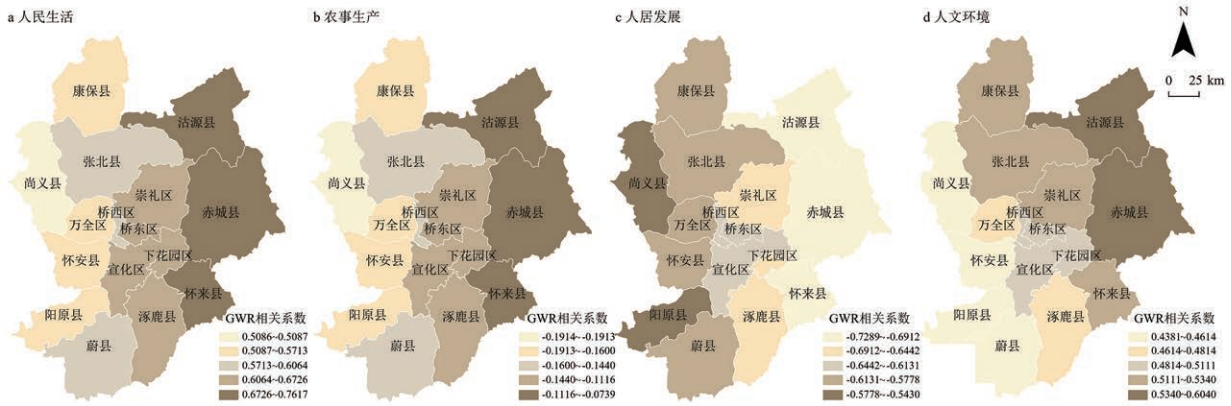


图 6　景观复杂度与各项新型城镇化指数相关系数的空间格局

4　讨论

在气候变化加剧的背景下，探讨景观格局与新型城镇化的协同关系，是实现区域可持续发展的关键策略。传统视角常将城镇化视为单向生态压力，侧重建设用地扩张对生境完整性的负向影响，而对景观格局与生产功能的协同演变关注不足。将景观格局纳入考量，并增设农事生产能力维度，意在更全面地理解新型城镇化进程中复杂的生态系统服务变化，探索农牧交错带的城乡融合发展模式[21]。相比以建设用地扩张为主导驱动的东部城市群，农牧交错带城镇化更多受制于生态承载力与农牧业生产能力的双重约束，构建多维评价框架更契合该区域生产功能与生态功能并重的复合特征，这也是区别于同类研究的重要切入点。

张家口作为典型的农牧交错带，在推进新型城镇化时面临着独特挑战[15]。如何在保持草原生态系统完整性与满足城镇化发展需求间取得平衡，是区域治理的核心议题[22]。研究发现农业生产能力提升与景观连通性存在正向关系，与以往研究中农业扩张多加剧景观破碎化的认识有所不同。结合区域实际看，张家口近年来在退耕还林还草工程及京津冀生态屏障建设推动下，耕作方式由零散粗放转向相对集约，连片经营减少了对林、草斑块的切割，景观连通性因而有所改善。表明在农牧交错带推进新型城镇化，应摒弃粗放式扩张，探索精细化的差异化发展策略，寻求畜牧业现代化、农业高效化与城镇化协同的路径，建立适应区域特点的生态补偿与资源优化配置模式。

考虑数据的可获取性，文中仅从单一时间维度展开，难以揭示景观格局响应城镇化进程的阶段性特征与滞后效应，未来需加强多尺度时空动态的深入探讨，结合长时序遥感数据与情景模拟方法，客观认识不同城镇化发展阶段对农牧交错带景观生态过程的影响。新型城镇化强调城乡融合，构建与维护基于景观格局评价的城乡生态连通性，将是实现区域城镇化与生态环境协调发展的重要议题。

5　结论

张家口新型城镇化与景观格局在县域尺度上呈现明显的空间分异。这种分异源于西部牧区与东部农区在土地利用结构上的差异，以及二者面对城镇化压力时的不同响应方式，是农牧交错带地域功能分化的具体体现。

景观格局对城镇化的响应在县域间并不一致，不同因子的作用方向也有所区别，表明城镇化对景观格局的影响不是单向的生态压力，而是社会经济过程与自然过程交织作用的结果，这一点需

放在农牧交错带城乡转型的背景下理解。

将农事生产能力纳入城镇化评价体系、以县域为单元开展兼顾格局识别与驱动分析的多维分析，是把握农牧交错带城乡转型生态效应的一条有效路径，可为类似生态敏感区评估城镇化生态效应、支持城乡可持续发展决策提供参考。

参考文献

[1]SALVATI L,ZAMBON I,CHELLI F M,et al.Do spatial patterns of urbanization and land consumption reflect different socioeconomic contexts in Europe? [J]. Science of the Total Environment,2018,625:722-730.

[2]刘欣,查妮依,王欣言,等.退耕还林(草)工程对中国北方农牧交错带生态系统健康的影响[J].生态学报,2023,43(15):6392-6405.

[3]刘洪来,王艺萌,窦潇,等.农牧交错带研究进展[J].生态学报,2009,29(8):4420-4425.

[4]李旭亮,杨礼箫,田伟,等.中国北方农牧交错带土地利用/覆盖变化研究综述[J].应用生态学报,2018,29(10):3487-3495.

[5]ESTOQUE R C,MURAYAMA Y.Quantifying landscape pattern and ecosystem service value changes in four rapidly urbanizing hill stations of Southeast Asia[J].Landscape Ecology,2016,31(7):1481-1507.

[6]何艳冰,黄晓军,翟令鑫,等.西安快速城市化边缘区社会脆弱性评价与影响因素[J].地理学报,2016,71(8):1315-1328.

[7]喻茜,邵大伟,吴殿鸣.高度城镇化地区非建设用地转用的时空特征[J].中国城市林业,2023,21(1):87-94.

[8]严珅,孙然好.京津冀县域城镇化与景观格局变化的协调性研究[J].生态环境学报,2018,27(1):62-70.

[9]LI H L,JIAN P,LIU Y X,et al.Urbanization impact on landscape patterns in Beijing City,China:a spatial heterogeneity perspective[J].Ecological Indicators,2017,82:50-60.

[10]石智宇,蒲万平,董霁红.中国北方农牧交错带土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响[J].环境科学,2025,46(4):2373-2384.

[11]张莹,赵媛媛,刘如龙,等.中国北方农牧交错带生境质量时空演变与情景模拟[J].干旱区研究,2025,42(1):154-165.

[12]戴路炜,唐海萍,张钦,等.北方农牧交错带多伦县生态系统服务权衡与协同关系研究[J].生态学报,2020,40(9):2863-2876.

[13]杜华明,延军平,王鹏涛.北方农牧交错带干旱灾害及其对暖干气候的响应[J].干旱区资源与环境,2015,29(1):124-128.

[14]秦彦杰,武爱彬,赵艳霞,等.农牧交错带生态与生产用地时空转换及其驱动因素分析:以张家口坝上地区为例[J].干旱区研究,2023,40(5):798-807.

[15]李晶,王媛,殷守强,等.张家口市生态保护重要性评价及主导生态功能分区研究[J].土壤通报,2020,51(2):280-288.

[16]李汝资,黄晓玲,刘耀彬.2010—2020 年中国城镇化的时空分异及影响因素[J].地理学报,2023,78(4):777-791.

[17]LI H,WU J G.Use and misuse of landscape indices[J].Landscape Ecology,2004,19(4):389-399.

[18]CHEN J C,QI Q,WANG B Y,et al.Response of ecosystem services to landscape patterns under socio-economic-natural factor zoning: a case study of Hubei Province, China [J]. Ecological Indicators,2023,153:110417.

[19]MENG X L,JIA L M.Train timetable stability evaluation based on analysis of interior and exterior factors information entropy[J].Applied Mathematics & Information Sciences,2014,8(3):1319-1325.

[20]汪芳,安黎哲,党安荣,等.黄河流域人地耦合与可持续人居环境[J].地理研究,2020,39(8):1707-1724.

[21]王甫园,王开泳.城市化地区生态空间可持续利用的科学内涵[J].地理研究,2018,37(10):1899-1914.

[22]周国华,龙花楼,林万龙,等.新时代“三农”问题和乡村振兴的理论思考与实践发展[J].自然资源学报,2023,38(8):1919-1940.