

中国省域城乡关键生态资源双维空间匹配特征分析

周 雪, 周智超*

青岛大学经济学院, 山东 青岛

收稿日期: 2026年9月12日; 录用日期: 2026年10月3日; 发布日期: 2026年10月14日

摘 要

城乡生态资源与人口和土地的双重空间匹配格局, 是分析不同省域生态承载特征的关键方法。传统“城镇-乡村”二元划分框架难以精准识别城乡过渡区的匹配特征, 导致难以判断出生态资源与人口、土地的空间错配规律。本文以林地、草地、园地三类核心生态资源为对象, 基于中国多时期土地利用/土地覆盖(LUCC)遥感监测数据(2020年)和1 km人口空间分布网格数据, 构建“生态资源-人口匹配指数(*Rep*)”与“生态资源-土地匹配指数(*Rel*)”双维指标, 并对两种指标进行了综合分析。在此基础上, 结合OECD城乡三元分类体系, 从全国、七大地理分区、省域及城乡类型四个尺度, 系统揭示2020年我国生态资源与人口、土地的空间匹配格局及其类型分异。研究显示: (1) 省域双维匹配指数呈现显著梯度差异——不同省级行政区人口匹配指数极差达到83.548 (西藏83.566与江苏0.018), 土地匹配指数极差则达到1.390 (福建1.464与江苏0.074); (2) 27个省级行政区可划分为高匹配型(10个, 37.0%)、人口超载型(3个, 11.1%)、生态本底约束型(4个, 14.8%)和双低型(10个, 37.0%)四种类型。(3) OECD城乡类型对双维匹配格局具有显著分异效应: 其中乡村主导区双维匹配指数最高, 城乡过渡区居中, 城市主导区接近全国平均, 三类区域的综合匹配指数差异清晰揭示了城乡梯度上的匹配分异规律。

关键词

OECD城乡分类, 双维匹配指数, 人口匹配指数, 土地匹配指数, 类型划分

Analysis of the Two-Dimensional Spatial Matching Characteristics of Key Ecological Resources in Urban and Rural Areas across Provincial Regions of China

*通讯作者。

文章引用: 周雪, 周智超. 中国省域城乡关键生态资源双维空间匹配特征分析[J]. 林业世界, 2026, 15(4): 867-880.
DOI: 10.12677/wjf.2026.154101

Xue Zhou, Zhichao Zhou*

School of Economics, Qingdao University, Qingdao Shandong

Received: September 12, 2026; accepted: October 3, 2026; published: October 14, 2026

Abstract

The dual spatial matching pattern of urban-rural ecological resources with population and land is a key method for analyzing the ecological carrying characteristics of different provinces. The traditional “urban-rural” binary classification framework makes it difficult to accurately identify the matching characteristics of urban-rural transition zones, thereby hindering the determination of spatial mismatch patterns between ecological resources and population and land. This study takes three core types of ecological resources—forestland, grassland, and garden land—as its objects. Based on China’s multi-temporal land use/land cover (LUCC) remote sensing monitoring data (2020) and 1 km gridded population spatial distribution data, this study constructs two-dimensional indicators: the “Ecological Resource-Population Matching Index (*Rep*)” and the “Ecological Resource-Land Matching Index (*Rel*)”, and conducts a comprehensive analysis of the two indicators. On this basis, integrating the OECD tripartite urban-rural classification system, this study systematically reveals the spatial matching pattern of China’s ecological resources with population and land in 2020 and its typological differentiation at four scales: national, seven major geographical regions, provincial, and urban-rural type. The results show that: (1) the provincial two-dimensional matching indices exhibit significant gradient differences—the range of the population matching index among provinces reaches 83.548 (Tibet: 83.566 vs. Jiangsu: 0.018), while the range of the land matching index reaches 1.390 (Fujian: 1.464 vs. Jiangsu: 0.074); (2) the 27 provinces can be classified into four types: high-matching type (10 provinces, 37.0%), population-overload type (3 provinces, 11.1%), ecological baseline-constrained type (4 provinces, 14.8%), and dual-low type (10 provinces, 37.0%); and (3) OECD urban-rural types have a significant differentiation effect on the two-dimensional matching pattern: rural-dominated areas have the highest two-dimensional matching index, urban-rural transition areas rank in the middle, and urban-dominated areas are close to the national average. The differences in the comprehensive matching index among the three area types clearly reveal the matching differentiation pattern along the urban-rural gradient.

Keywords

OECD Urban-Rural Classification, Two-Dimensional Matching Index, Population Matching Index, Land Matching Index, Typology

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

城乡生态资源与人口、土地的双重空间匹配格局,已成为城乡融合发展与生态文明建设的关键议题。以原有生态资源为基础,将在城市与乡村区域中能够着重发挥生态服务功能的林地、草地、园地等资源,定义为城乡关键生态资源(以下简称生态资源)。城乡融合发展与乡村振兴已成为当前区域协调发展的重要议题,畅通城乡要素流动、缩小城乡发展差距、推动城乡关系从二元对立转向有机融合,是实现城乡

共同繁荣的关键路径[1]。在这一宏观背景下,生态资源因空间不可移动性,其城乡配置失衡问题正日益成为制约城乡融合高质量发展的突出短板:人口向城市主导区持续集聚、生态资源向乡村主导区高度富集,由此形成的生态资源的分布在不同省份之间存在错配。然而,既有研究在测度生态资源空间配置时,常聚焦于计算人均生态资源占有量,或仅从土地维度进行独立分析,往往缺乏将两条分析线索在统一框架下联合考察的测度工具,导致城乡生态资源配置的空间失衡特征难以被完整分析。本文的研究目标正是构建这一联合框架。

从生态系统服务供需角度,学者们对城乡生态资源配置问题已展开丰富讨论。寿飞云等基于长三角城市群的实证研究表明,生态系统服务供给与需求能力存在显著的空间异质性与空间失衡,并将城市群划分为生态保育区、生态修复区、生态重塑区与生态开发区四类差异化功能区[2];张中浩等进一步以长三角生态绿色一体化示范区为例,从“水-能源-粮食”纽带切入,引入基尼系数对生态系统服务供需的空间均衡程度进行测度,发现产水、固碳、粮食生产三类服务的供需关系具有显著的空间分异与权衡协同特征[3];刘立程等对黄土丘陵区兰州市的生态系统服务供需匹配研究表明,生态资源供给与人口、经济需求的区域错配是制约区域可持续发展的核心矛盾[4]。上述研究为理解中国生态资源空间格局提供了重要基础,但其研究单元多为单一城市群或典型地区,且多侧重单一生态系统服务类型,难以从全国尺度、从城乡梯度上识别生态资源的整体空间配置特征。

在配置公平性测度方面,基于基尼系数、泰尔指数与区位熵的测量方法已被广泛引入城乡生态资源研究。Chen 等对中国 20 个主要城市的城市绿地面积与生态系统服务公平性研究表明,城市绿地人均基尼系数达 0.430,生态系统服务公平性与城市规模、经济发展水平呈显著负相关[5];Wu 等基于全国 3759 位城镇居民的社会调查数据,从分配正义视角评估了不同社会经济群体的城市绿地可获得性,发现弱势群体在某些情形下反而获得更多绿地资源,揭示了配置公平性的复杂社会维度[6];Peng 等提出了基于不透水面与空间连续小波变换的城乡过渡区识别方法,为测度城乡连续谱上的生态资源梯度提供了方法支撑[7]。然而,上述研究多集中于城市尺度或单一维度,对城乡过渡区这一关键城乡类型的生态资源匹配格局关注不足。刘彦随等关于中国农村空心化的研究表明,快速城镇化进程中的城乡要素流动与乡村聚落演化,使乡村地域系统经历深刻的结构转型,城乡过渡区已成为城乡融合的关键载体[8]。如何在统一框架下识别城市主导区、城乡过渡区与乡村主导区三种城乡类型的差异化匹配特征,是当前亟需突破的研究空白。

在城乡类型划分方法上,经济合作与发展组织(OECD)提出的城乡三元分类体系[9]突破了传统的二元划分框架,通过人口密度阈值(每平方公里 150 人,国际通用 500 人适用于中国)与乡村人口占比,将区域划分为城市主导区、城乡过渡区与乡村主导区三级递进结构,体现了城乡连续谱上的空间分异。王智勇则基于第五、第六次全国人口普查分县数据,对中国进行了系统的 OECD 城乡分类,结果显示东部地区城镇化水平与 OECD 国家相同、东北地区则显著低于统计局公布的城镇化水平,为中国城镇化的国际比较提供了新的测度基准[10]。Ye 等进一步将城乡治理置于可持续发展目标(SDGs)框架下,强调城乡过渡区是城乡要素交汇与生态协同治理的关键载体[11]。Chen 等从行星边界视角,基于中国省份与行业的混合下尺度方法,为揭示生态资源空间配置的可持续阈值提供了新视角[12]。本文的研究设计正是基于 OECD 城乡三元分类体系,将其与生态资源-人口、生态资源-土地双维匹配指数进行系统耦合。

基于上述研究进展与缺口,本文的核心贡献体现在以下三个层面:在测度工具上,构建生态资源-人口匹配指数(*Rep*)与生态资源-土地匹配指数(*Rel*)双维指标体系,实现两个维度的联合分析;在分析尺度上,将省域匹配格局与 OECD 城乡类型相结合,沿“全国-七大地理分区-省域-城乡类型”四级尺度递进展开,提出差异化国土空间管控与生态补偿政策建议。

2. 研究区域概况与数据来源

2.1. 研究区概况

本文研究单元为全国地级市(含地区、自治州、盟), 剔除港澳台地区及西藏自治区部分数据缺失地市(那曲、阿里等), 最终获得 297 个有效研究单元, 覆盖全国 31 个省级行政单元。为保证与源 OECD 研究的可比性, 本文在分省尺度上沿用其设定的 27 个样本省级行政区口径(剔除北京、天津、上海、重庆四个直辖市)。依据 OECD 城乡三元分类体系及王智勇(2018)本土化修正方法, 297 个地级市被划分为: 城市主导区 105 个(35.35%)、城乡过渡区 129 个(43.43%)、乡村主导区 63 个(21.21%)。

2.2. 数据来源与处理

本文核心数据包括两类:

(1) 土地利用数据。来源于中国科学院资源环境科学与数据中心发布的中国多时期土地利用/土地覆盖(LUCC)遥感监测数据(2020 年) [13], 空间分辨率 30 米, 一级分类制图综合精度达 95%。本文提取其中林地、草地、园地作为核心生态资源类型, 基于 ArcGIS 平台通过“重分类”与分区统计工具汇总至地级市行政单元, 再按省聚合。

(2) 人口数据。来源于该中心发布的中国人口空间分布公里网格数据集(2020 年), 空间分辨率 1 公里, 以多因子权重分配法将分县人口分布至空间网格, 全国汇总误差仅为-2.27% [14], 满足研究精度要求。

3. 研究方法

3.1. 双维匹配指数

为同时测度生态资源与人口、生态资源与土地的空间匹配关系, 本文借鉴区位熵衡量要素相对集聚程度的思路, 构建“生态资源-人口匹配指数”(Rep)与“生态资源-土地匹配指数”(Rel)。两个指数差异在于参照要素分别选取人口规模和土地面积。当指数大于 1 时, 表明该区域生态资源相对参照要素的丰裕程度高于全国平均水平; 小于 1 则相反。

统一计算公式为:

$$R_i = \frac{e_i/E}{w_i/W}$$

式中: e_i 为区域 i 的生态资源面积; E 为全国生态资源总面积; w_i 为区域 i 的参照要素(人口规模或土地面积); W 为全国对应参照要素总量(总人口或国土总面积)。

(1) 生态资源-人口匹配指数(Rep)

$$Rep_i = \frac{e_i/E}{p_i/P}$$

式中: p_i 为区域 i 总人口; P 为全国总人口。 $Rep > 1$ 表示该区域人均生态资源占有量高于全国平均, 反之则低于全国平均。

(2) 生态资源-土地匹配指数(Rel)

$$Rel_i = \frac{e_i/E}{a_i/A}$$

式中: a_i 为区域 i 土地总面积; A 为全国国土总面积。 $Rel > 1$ 表示该区域单位国土面积生态资源禀赋高于全国平均, 反之则低于全国平均。

两个指数的结合分析可识别“资源富集区”与“人口集聚区”的匹配程度: 当 $Rep > 1$ 且 $Rel > 1$ 时, 区域在人均和地均维度均呈现生态资源富集; 当 $Rep < 1$ 且 $Rel < 1$ 时, 两维度均呈现生态资源匮乏; 当两指数方向不一致时, 则可进一步识别失衡的主导维度——若 $Rep < 1$ 而 $Rel > 1$, 表明人口集聚是失衡的主要驱动; 若 $Rep > 1$ 而 $Rel < 1$, 则表明土地禀赋不足是主要约束。

3.2. 双维综合匹配指数与匹配类型划分

为将上述两条分析线索整合为统一框架, 本文以 Rep 和 Rel 的几何平均构建双维综合匹配指数 Rc :

$$Rc_i = \sqrt{Rep_i \times Rel_i}$$

采用几何平均的原因在于: 其一, 两个维度具有对称性, 且当任一维度趋近于 0 时 Rc 值迅速降低, 能够准确反映两维度相较于全国平均的整体水平; 其二, Rep 和 Rel 均为无量纲比例值, 几何平均无需量纲转换, 统计含义清晰。 Rc 值越大, 表示区域生态资源相对其人口和土地的整体丰裕程度越高。在双维指数测度基础上, 以 $Rep = 1$ 和 $Rel = 1$ 为阈值, 将 27 个样本省级行政区划分为四种匹配类型: 高匹配型 ($Rep \geq 1$ 且 $Rel \geq 1$)、人口超载型 ($Rep < 1$ 且 $Rel \geq 1$)、生态本底约束型 ($Rep \geq 1$ 且 $Rel < 1$) 和双低型 ($Rep < 1$ 且 $Rel < 1$)。

3.3. OECD 城乡类型划分

为突破传统二元框架, 本文采用 OECD 城乡三元分类体系, 沿用王智勇(2018)本土化修正后的划分方法, 对 297 个地级市进行城乡类型划定。具体步骤为: 首先, 在县级单元以人口密度 500 人/km² 为城乡识别标准; 其次, 以乡村人口占比作为划分依据——乡村人口占比低于 15% 的界定为城市主导型, 介于 15% 与 50% 之间的界定为城乡过渡型, 超过 50% 的界定为乡村主导型; 最后, 基于中心城市人口规模校准——若乡村主导区存在人口超 50 万且占比 25% 以上的中心城市, 调整为城乡过渡型; 若城乡过渡区存在人口超 100 万且占比 25% 以上的中心城市, 调整为城市主导型, 进行 OECD 划分是为了探讨城乡类型视角下的生态资源双维空间匹配特征。

4. 省域生态资源双维空间匹配特征分析

4.1. 省域生态资源双维空间匹配格局分析

从全国整体看, 2020 年我国省域生态资源与人口、土地的空间匹配呈现显著的“西高东低、北高南低”分异特征(见表 1、图 1、图 2)。就人口匹配度(Rep)而言, 省际极差高达 83.548, 西藏(83.566)与江苏(0.018)分居两端; 土地匹配指数(Rel)的省际极差为 1.390, 最高值为福建(1.464), 最低值为江苏(0.074); 双维综合耦合度(Rc)的省际极差为 10.175, 同样表现为西藏与江苏之间的悬殊差距。上述极差表明, 无论从人口维度还是土地维度进行测度, 我国省域生态资源的空间配置均存在显著的不均衡性。

从空间格局看, Rep 的高值区主要集中于胡焕庸线以西及西南山地, 包括西藏、内蒙古、新疆、甘肃、青海、云南等, 这些地区人口密度低、生态资源总量大, 人均生态资源占有量显著高于全国平均; 而 Rel 的高值区则主要分布在华南及部分东南、西南, 如福建、云南、广西、青海等, 反映出这些地区单位国土面积的生态资源禀赋较为突出。两条指数的高值区在空间上并不完全重合, Rep 与 Rel 的省际排序错位明显, 表明人口分布与土地基底对生态资源匹配格局的调节方向存在显著差异。

Table 1. Statistical characteristics of the two-dimensional matching of ecological resources in 27 sample provinces
表 1. 27 个样本省级行政区生态资源双维匹配特征统计

省级行政区	所属分区	<i>Rep</i>	<i>Rel</i>	<i>Rc</i>	<i>Rep</i> 排名	<i>Rel</i> 排名	匹配类型
西藏	西南	83.566	1.248	10.212	1	8	高匹配型
内蒙古	华北	7.998	1.333	3.265	2	5	高匹配型
云南	西南	2.477	1.463	1.903	5	2	高匹配型
广西	华南	1.833	1.364	1.581	6	4	高匹配型
青海	西北	1.733	1.412	1.564	7	3	高匹配型
甘肃	西北	2.864	0.726	1.442	4	19	生态本底约束型
陕西	西北	1.517	1.179	1.337	10	12	高匹配型
贵州	西南	1.369	1.284	1.326	11	6	高匹配型
福建	华东	1.181	1.464	1.315	12	1	高匹配型
宁夏	西北	1.592	0.964	1.239	9	14	生态本底约束型
黑龙江	东北	1.699	0.853	1.204	8	16	生态本底约束型
江西	华东	1.117	1.251	1.182	13	7	高匹配型
新疆	西北	3.188	0.405	1.136	3	24	生态本底约束型
湖南	华中	0.970	1.227	1.091	15	11	人口超载型
山西	华北	1.019	1.078	1.048	14	13	高匹配型
湖北	华中	0.742	0.947	0.838	17	15	双低型
浙江	华东	0.517	1.234	0.799	20	9	人口超载型
吉林	东北	0.875	0.708	0.787	16	20	双低型
广东	华南	0.477	1.233	0.767	21	10	人口超载型
辽宁	东北	0.613	0.852	0.722	18	17	双低型
四川	西南	0.594	0.805	0.692	19	18	双低型
河北	华北	0.286	0.700	0.448	23	21	双低型
安徽	华东	0.325	0.549	0.423	22	22	双低型
海南	华南	0.184	0.403	0.272	24	25	双低型
河南	华中	0.170	0.408	0.264	25	23	双低型
山东	华东	0.079	0.212	0.129	26	26	双低型
江苏	华东	0.018	0.074	0.036	27	27	双低型

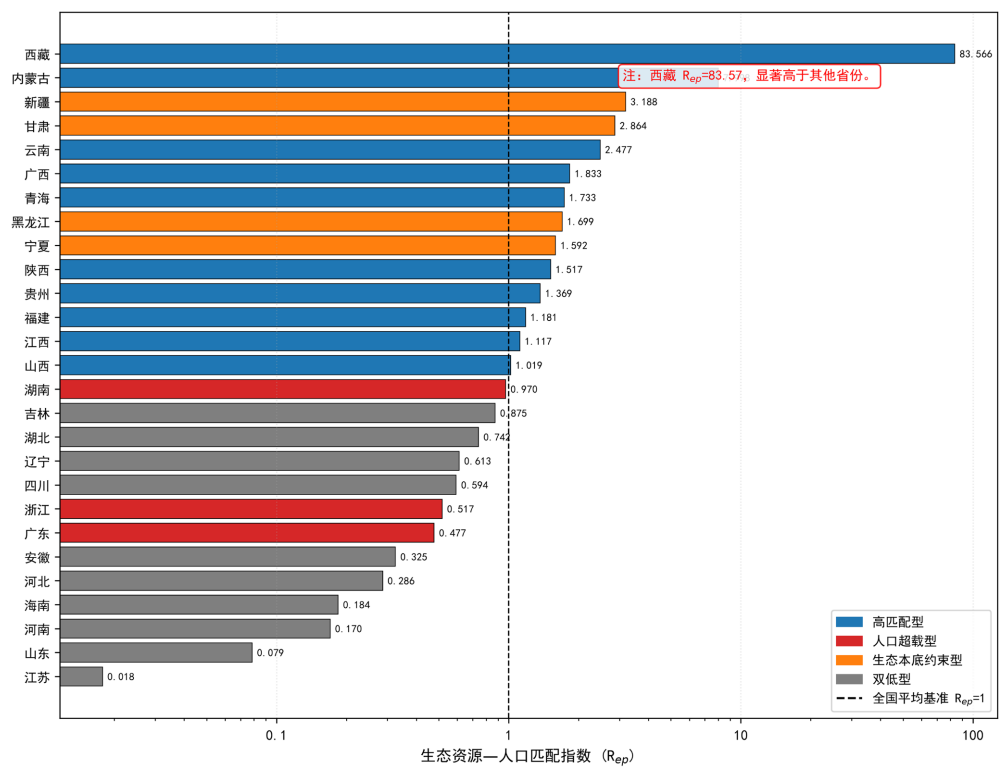


Figure 1. Distribution of the ecological resource-population matching index (R_{ep}) across 27 sample provinces
图 1. 27 个样本省级行政区生态资源 - 人口匹配指数(R_{ep})分布

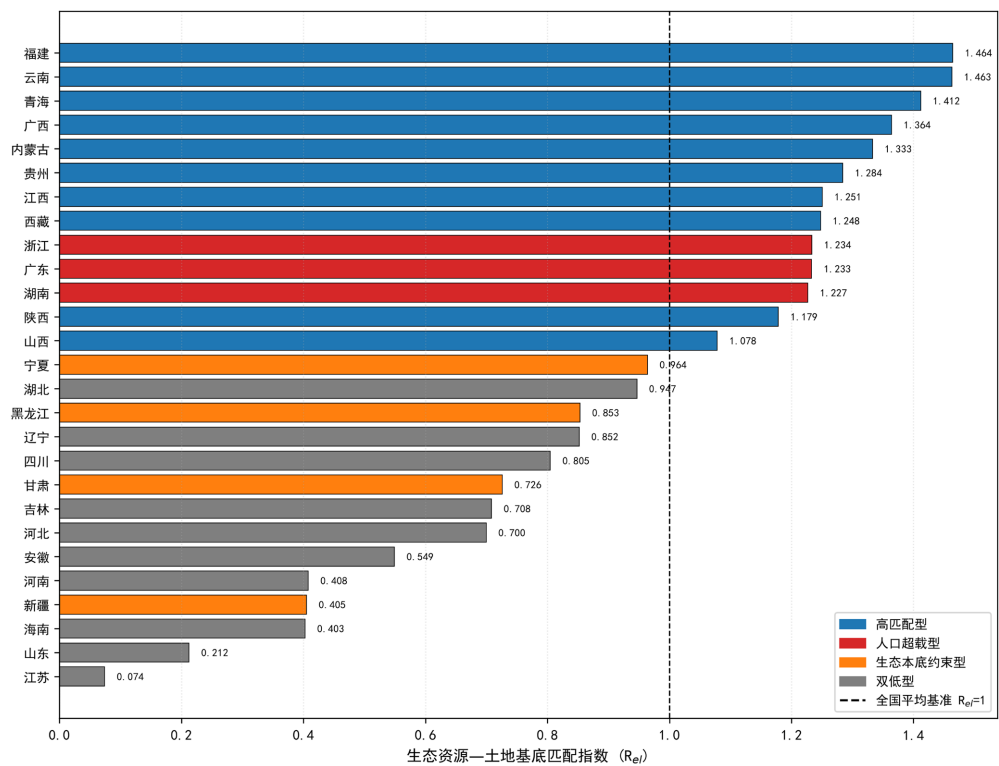


Figure 2. Distribution of the ecological resource-land matching index (R_{el}) across 27 sample provinces
图 2. 27 个样本省级行政区生态资源 - 土地匹配指数(R_{el})分布

4.2. 省域生态资源双维空间匹配类型划分

基于双维匹配指数的象限综合分析, 可将 27 个省级行政区划分为四种匹配类型(见图 3、图 4)。该方法直接体现了双维指数的联合判别结果: Rep 与 Rel 分别代表人口维度和土地维度的相对丰裕程度, 二者的组合能够识别出不同的失衡主导方向。

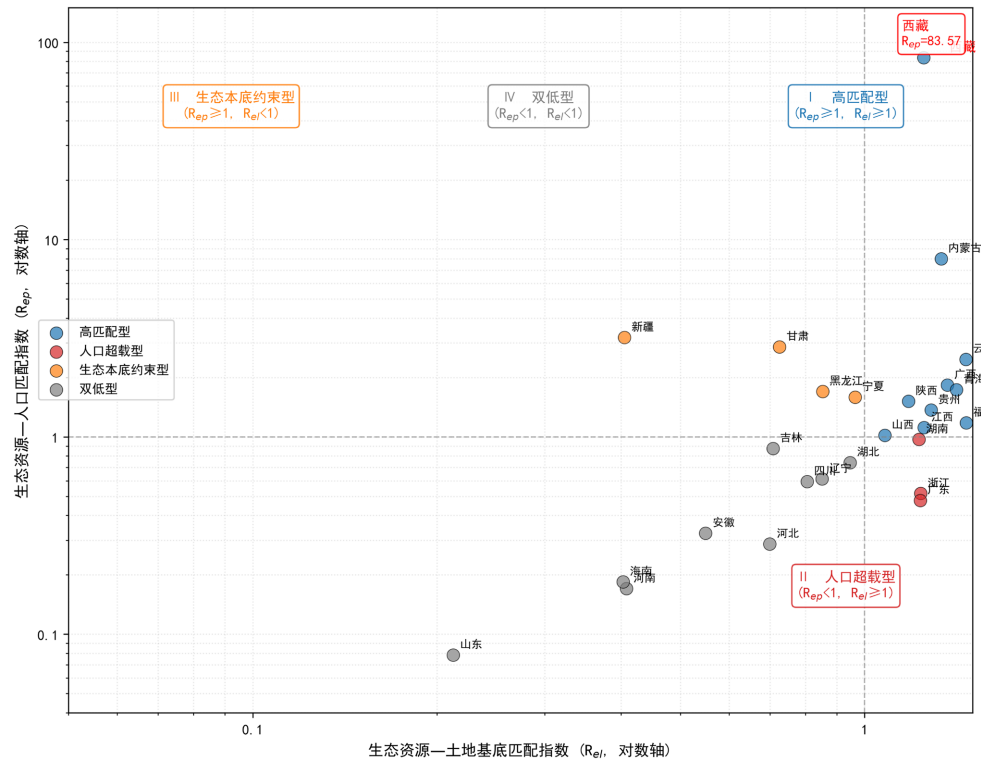


Figure 3. Quadrant distribution of the ecological resource-population and ecological resource-land matching indices in 27 provinces

图 3. 27 省生态资源 - 人口与生态资源 - 土地双维匹配象限分布

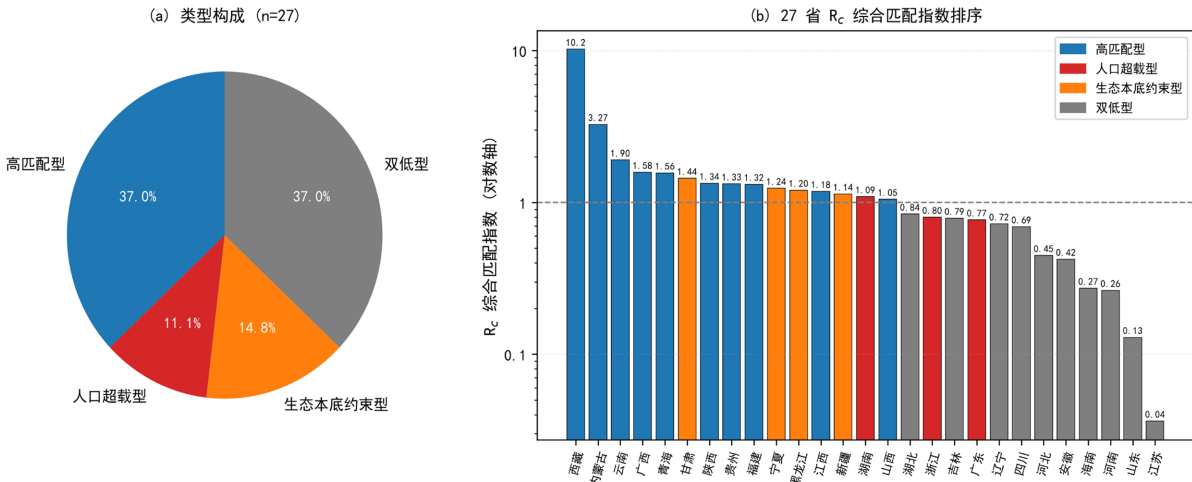


Figure 4. Distribution of the two-dimensional matching types and ranking of the comprehensive matching index (R_c) in 27 provinces

图 4. 27 省生态资源双维匹配类型分布与 R_c 综合指数排序

(1) 高匹配型

包括西藏、内蒙古、云南、广西、青海、陕西、贵州、福建、江西、山西, 核心特征为 $Rep \geq 1$ 且 $Rel \geq 1$ 。该类省级行政区集中分布于胡焕庸线以西的西南山地与西北高原, 以及东南丘陵山地, 构成我国生态屏障的主体。西藏以 $Rep = 83.566$ 、 $Rel = 1.248$ 的绝对优势居全国首位, 其广袤的天然草地与森林生态系统叠加极低的人口密度, 形成了全国最为突出的双维匹配格局。福建($Rep = 1.181$, $Rel = 1.464$)、江西($Rep = 1.117$, $Rel = 1.251$)、山西($Rep = 1.019$, $Rel = 1.078$)等省份两指数均略高于 1, 表明其生态资源在人均和地均维度均具有相对优势, 但优势幅度有限。

(2) 人口超载型

包括湖南、浙江、广东, 特征为 $Rep < 1$ 且 $Rel \geq 1$ 。该类省份单位国土面积生态资源禀赋高于全国平均, 但人口高度集聚显著稀释了人均水平, 失衡的主导因素为人口压力而非资源稀缺。以湖南为例, 其 $Rel = 1.227$, 地均生态资源丰富, 但 $Rep = 0.970$ 略低于 1, 表明长株潭等城市群的人口集聚已使全省人均生态资源占有量低于全国平均, 处于该类型的临界状态。

(3) 生态本底约束型

包括新疆、甘肃、黑龙江、宁夏, 特征为 $Rep \geq 1$ 但 $Rel < 1$ 。该类省级行政区人均生态资源占有量高于全国平均, 但单位国土面积生态资源禀赋不足, 失衡的主导因素为土地禀赋。新疆是该类型的典型代表: 其 $Rep = 3.188$ 居全国第三, 但 Rel 仅为 0.405, 排名第 24 位。这反映出新疆广袤国土中仅山地绿洲等局部区域富集生态资源, 而大面积戈壁、沙漠显著拉低了地均禀赋, $Rc = 1.136$ 处于中等水平。

(4) 双低型

包括辽宁、四川、河北、海南、河南、山东、江苏、湖北、吉林、安徽, 特征为 $Rep < 1$ 且 $Rel < 1$ 。该类省份可进一步细分为两种类型: 一是人口极化型, 以江苏($Rep = 0.018$, $Rel = 0.074$)、山东($Rep = 0.079$, $Rel = 0.212$)为代表, 其低值主要由极高的人口密度造成; 二是资源匮乏型, 以河南、四川为代表, Rep 与 Rel 同步偏低, 受地形条件和人口压力双重驱动。

4.3. 城乡类型视角下生态资源双维空间匹配分析

将 OECD 城乡类型纳入分析框架, 可以进一步揭示匹配格局在城乡梯度上的分异规律。本研究以全国各省域城市主导区、城乡过渡区、乡村主导区的生态资源面积为权重, 对各分区 Rep 和 Rel 进行加权汇总, 得到全国尺度三类城乡类型区的双维匹配指数(见表 2、图 5)。

城市主导区(105 个地级市, 35.35%)的 Rep 为 1.065、 Rel 为 0.977、 Rc 为 1.020, 两项指数均接近全国平均基准线 1.0。这表明城市主导区作为人口与经济活动的集聚中心, 其生态资源占全国比重与人口、土地占比大体相当。

Table 2. Two-dimensional matching characteristics of ecological resources under different OECD urban-rural types
表 2. 不同 OECD 城乡类型区生态资源双维匹配特征

城乡类型	所含地市数 (个)	生态资源面积 (亿 m ²)	占全国比例 (%)	Rep	Rel	Rc
城市主导区	105	2764	9.08	1.065	0.977	1.020
城乡过渡区	129	12,869	42.26	1.415	0.962	1.167
乡村主导区	63	14,818	48.66	1.696	1.032	1.323

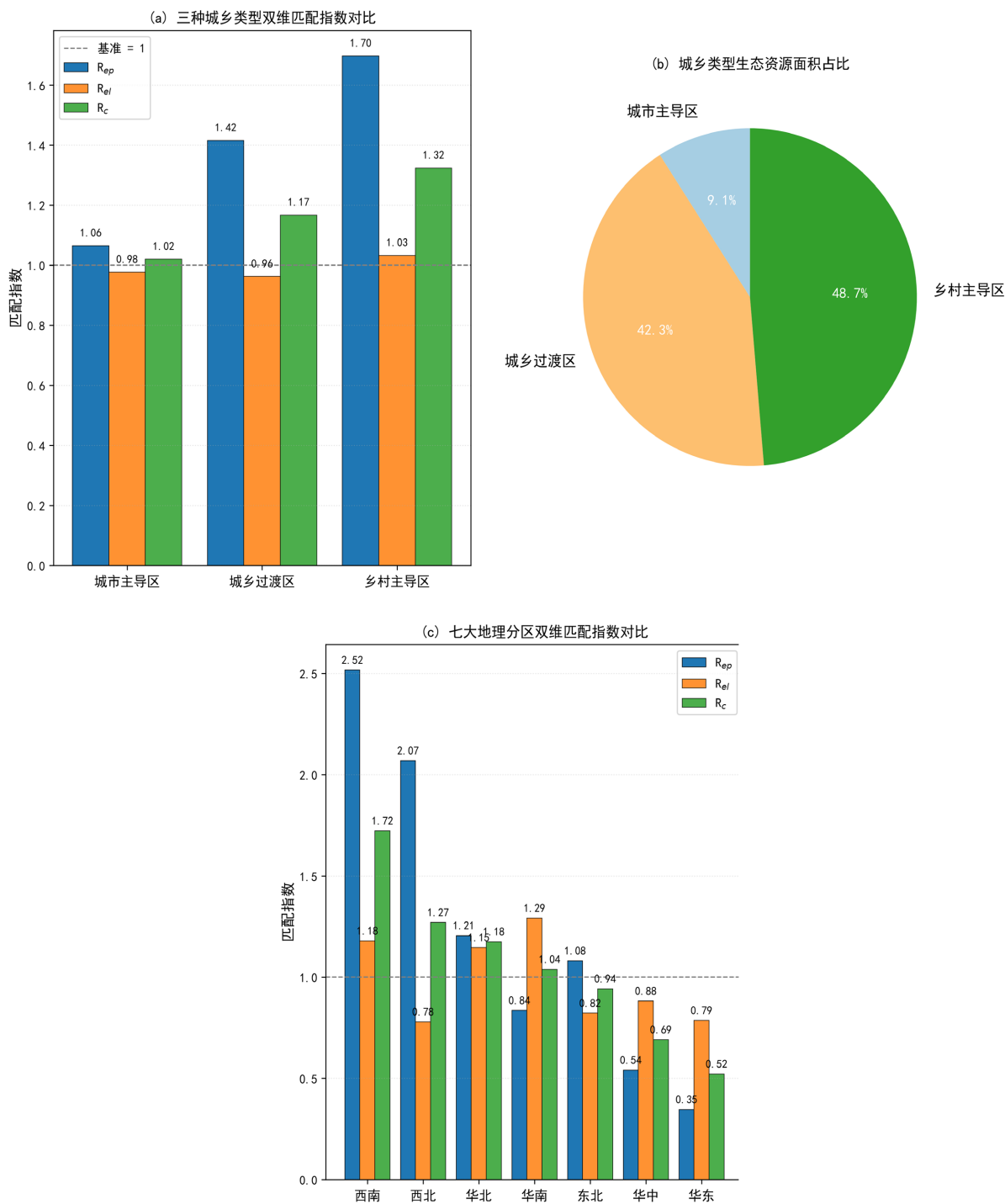


Figure 5. Comparison of the two-dimensional matching indices of ecological resources between OECD urban-rural types and the seven major geographical regions

图 5. OECD 城乡类型与七大地理分区生态资源双维匹配指数对比

城乡过渡区(129 个地级市, 43.43%)的 $R_{ep} = 1.415$ 、 $R_{el} = 0.962$ 、 $R_c = 1.167$, 呈现人口维度相对丰裕、土地维度相对紧张的差异化特征。其 R_{ep} 高于 1, 主要源于生态资源面积占比较高(42.26%)而人口占比相对较低; 土地耦合度略低 1, 则反映出城乡过渡区作为城市扩张与乡村振兴交汇地带, 生态空间持续

受到城镇化挤压, 地均生态禀赋有所弱化。该区域在面积占比上最大, 是城乡生态资源配置调控的关键地带。

乡村主导区(63 个地级市, 21.21%)的 $Rep = 1.696$ 、 $Rel = 1.032$ 、 $Rc = 1.323$, 两个维度均高于全国平均, 构成双维匹配的优势区。其 Rep 约为城市主导区的 1.6 倍, Rel 约为 1.1 倍, 说明乡村主导区以较低的人口密度和相对完整的生态空间, 承载了全国近半数(48.66%)的生态资源面积。

5. 讨论

本文基于 OECD 城乡三元分类框架, 构建了生态资源 - 人口匹配指数与生态资源 - 土地匹配指数, 并在全国、七大地理分区、省域与城乡类型四个尺度上刻画了 2020 年中国城乡关键生态资源的空间匹配格局。为回应既有研究在测度工具与空间尺度上的不足, 以下从与国内外相关研究的比较、对已有研究的印证与补充、研究不足与展望三个方面展开讨论。

5.1. 与国内外相关研究的比较

已有关于城乡生态资源配置的研究主要沿两条路径展开。第一条路径聚焦生态系统服务的供需匹配。寿飞云等对长三角城市群的研究表明, 生态系统服务供给与需求之间存在显著的空间异质性与失衡, 并据此划分了生态保育区、生态修复区、生态重塑区与生态开发区四类功能区[2]; 张中浩等在长三角生态绿色一体化发展示范区引入基尼系数测度供需均衡程度, 发现产水、固碳与粮食生产三类服务的供需关系存在明显的空间分异与权衡协同特征[3]; 刘立程等对兰州市的研究指出, 生态资源供给与人口、经济需求的空间错配是制约区域可持续发展的核心矛盾[4]。上述结论与本文“人口维度与土地维度的高值区并不重合”的发现相互印证: 本文中人口匹配指数的高值区集中于胡焕庸线以西的西藏、内蒙古、新疆、甘肃、青海、云南等省级行政区, 而土地匹配指数的高值区则转向福建、云南、广西、青海等华南及东南、西南省级行政区, 两类指数省际排序的明显错位说明, 生态资源相对于人口与土地两类参照要素的丰裕程度受不同机制支配。与上述研究多以单一城市群或典型地区为对象不同, 本文将测度范围扩展至全国 297 个地级市并聚合至省域, 使匹配格局的全国性梯度特征得以整体呈现, 在空间尺度上构成对既有研究的补充。

第二条路径关注配置公平性的测度与社会维度。Chen 等对中国 20 个主要城市的研究发现, 城市绿地人均面积基尼系数达 0.430, 生态系统服务公平性与城市规模、经济发展水平呈显著负相关[5]; Wu 等基于全国 3759 位城镇居民的社会调查发现, 弱势群体在某些情形下反而获得更多绿地资源, 揭示了配置公平性在个体层面的复杂性[6]。本文的省域尺度结果与前者一致地反映出“经济越发达、人均生态资源越紧张”的总体趋向——江苏人口匹配指数仅为 0.018、山东为 0.079, 均处于全国最低水平; 但本文同时识别人口超载型省份湖南、浙江、广东, 其土地匹配指数均高于 1, 说明在省域尺度上生态资源的绝对禀赋并不必然与经济水平呈负相关, 公平性问题的症结更可能在于人口集聚对人均水平的稀释。这一结果与 Wu 等关于配置公平性具有复杂社会维度的判断方向一致, 也提示单一尺度的公平性评估可能掩盖尺度之间的结论差异。

在城乡类型划分与城乡过渡区识别方面, Peng 等提出的不透水面与空间连续小波变换方法为刻画城乡连续谱上的生态梯度提供了技术支撑[7]; 刘彦随等关于农村空心化的研究指出, 城乡过渡区已成为城乡融合的关键载体[8]; Ye 等则将城乡过渡区视为可持续发展目标框架下城乡要素交汇与生态协同治理的关键空间[11]。本文在此基础上进一步量化了城乡过渡区的匹配特征: 该类型区包含 129 个地级市(43.43%), 生态资源面积占比 42.26%, 人口匹配指数为 1.415, 而土地匹配指数降至 0.962, 呈现人口维度相对丰裕、土地维度相对偏紧的“边际错位”状态。这从指数层面印证了既有研究关于城乡过渡区是生态空间受城

镇化挤压最剧烈地带的判断[7][8], 也说明该区域在城乡生态治理中应被赋予优先地位。

5.2. 对已有研究的印证与补充

其一, 本文印证了城乡要素空间错配的普遍性。刘彦随等强调城乡融合的关键在于畅通要素流动、缩小城乡差距[1], 本文的测度结果为其提供了量化证据: 27 个样本省级行政区中, 生态资源 - 人口匹配指数与生态资源 - 土地匹配指数同时高于 1 的仅有 10 个省份, 多数省份至少在人口或土地其中一个维度上低于全国平均水平, 说明生态资源错配并非局部现象, 而是全国性的结构特征。

其二, 本文补充了传统二元划分框架下被遮蔽的中间地带。OECD 城乡三元分类体系的引入[9][10], 使城乡过渡区的匹配特征得以单独识别。若沿用“城镇 - 乡村”二元框架, 城乡过渡区将被归入城市或乡村一侧, 其人口匹配指数高于 1 而土地匹配指数低于 1 的双维背离特征将无法显现。这说明城乡分类框架的细化本身会改变资源配置状态的判断结论, 在方法上支持了 OECD 分类体系在中国情境下的适用性, 也呼应了王智勇本土化修正工作的必要性[10]。

其三, 本文对“生态资源禀赋决定配置水平”的直观判断作了修正。土地匹配指数最低的省份中, 新疆的人口匹配指数高达 3.188, 却因土地匹配指数仅为 0.405 而被归入生态本底约束型; 反之, 福建的土地匹配指数居全国首位(1.464), 人口匹配指数却仅为 1.181。可见生态资源的省域配置水平并不单纯由资源总量决定, 人口密度与国土面积所构成的参照结构具有同等重要的作用。这一发现与 Chen 等从行星边界视角强调“可持续阈值需结合空间异质性理解”的判断相呼应[12], 提示以总量指标评价区域生态承载能力可能存在系统性偏差。

5.3. 研究不足与展望

第一, 概念界定与指标构造方面。本文以林地、草地、园地三类土地利用类型作为“城乡关键生态资源”的代理变量, 侧重生态资源的面积属性, 未纳入质量属性。同一面积的林地或草地在植被覆盖度、物种丰富度与生态系统服务功能上可能差异显著, 因此本文测得的是生态资源在数量意义上的匹配关系, 而非服务能力意义上的匹配关系。此外, 双维匹配指数以区位熵为原型, 本质上衡量相对丰裕程度而非绝对缺口; 当区域生态资源总量较小时, 指数仍可能因参照要素规模更小而高于 1, 其政策含义需结合总量数据谨慎解读。

第二, 数据尺度方面。本文土地利用与人口数据均为 2020 年单一年份, 属静态截面分析, 难以反映城镇化进程中匹配格局的演变轨迹与收敛趋势; 人口网格数据由分县人口经多因子权重分配生成, 在城市内部与人口稀疏的西部县域可能存在分配误差, 进而影响地级市层面人口匹配指数的精度。同时, 本文以行政区单元聚合数据, 地级市内部以及省域内部的城乡交错格局在尺度聚合过程中被平均化, 无法刻画城市内部绿地与乡村聚落之间更细粒度的匹配关系。

第三, 分析单元与样本口径方面。为保证与源 OECD 研究的可比性, 本文在分省尺度上沿用 27 个样本省级行政区口径, 剔除了北京、天津、上海、重庆四个直辖市。这四个城市人口密度极高、生态资源面积占比低, 其纳入可能显著改变全国匹配格局的极差与类型划分结果, 故本文的省域结论不宜直接外推至直辖市。此外, 本文的政策建议停留在类型化的原则层面, 未给出可量化的补偿系数测算方法, 后续研究可结合生态系统服务价值核算与区域间投入产出关系进一步深化。

未来研究可从三个方向拓展: 一是引入多时相遥感数据追踪匹配格局的动态演化, 识别匹配状态的改善或恶化趋势; 二是将生态资源质量指标(如植被覆盖度、净初级生产力)纳入指数体系, 构建“数量 - 质量”双重匹配框架; 三是向下延伸至县级或栅格尺度, 检验城乡过渡区内部匹配特征的稳定性, 为差异化国土空间管控提供更精细的依据。

6. 结论

6.1. 主要结论

(1) 我国省域生态资源与人口、土地的双维耦合匹配格局呈现“西部高、东部低、中部过渡分化”的梯度特征。人口匹配指数与土地匹配指数的测度在省际格局上既有一致性,也存在明显的空间错位,*Rep*呈西北、西南极高,华东、华中极低的分布态势,*Rel*则表现为华南、西南较高,西北、华东较低。

(2) 基于人口匹配指数与土地匹配指数的结果综合分析,27个样本省级行政区可划分为四种匹配类型:高匹配型(10省,37.0%)、人口超载型(3省,11.1%)、生态本底约束型(4省,14.8%)与双低型(10省,37.0%),不同类型呈显著的梯度差异。

(3) OECD 城乡类型对双维耦合格局具有显著的分异效应。城市主导区呈准均衡特征;城乡过渡区则表现为人口维度相对丰裕、土地维度相对偏紧的边际错位型特征,乡村主导区呈现双维优势。三种城乡类型的综合匹配指数沿城市-乡村梯度依次递增。

(4) 双维匹配格局的形成是自然地理本底、城镇化进程与政策制度三重机制叠加作用的结果。胡焕庸线及地形地貌条件奠定了匹配格局的宏观基底,城镇化进程通过人口再分布与生态空间转化持续重塑匹配状态,政策制度则作为外部调控力量,对匹配错配具有重要矫正作用。

6.2. 政策建议

(1) 构建基于双维匹配类型的差异化国土空间管控体系。针对高匹配型省份,应严格管控大规模人口迁入与高强度工业开发,强化其生态安全屏障功能;针对人口超载型省份,宜以优化人口空间布局、提升单位国土生态资源利用效率为重点;针对生态本底约束型省份,应加大生态修复与国土绿化投入,着力提升地均生态资源禀赋;针对双低型省份,则需从调控人口密度与增强资源本底两端协同发力,将综合匹配指数作为衡量综合承载压力的核心监测指标。

(2) 将城乡过渡区确立为双维匹配格局调控的关键空间单元。城乡过渡区面积占比达42.26%,地级市数量占比43.43%,其人口匹配指数与综合匹配指数虽高于全国平均,但土地基底匹配指数仍低于基准值,存在人口维度优势弱化、土地维度约束加剧的双维背离风险。建议将其纳入国土空间规划重点监测与管控范围,在快速城镇化进程中实施生态空间预控与建设用地精细化管理,防范匹配格局的进一步失衡。

(3) 完善与双维匹配类型相衔接的生态补偿机制。应摒弃均质化的补偿标准,建立基于*Rep*与*Rel*偏离度的差异化补偿系数体系:对人口超载型省份,依据其人口匹配指数的偏离程度征收生态占用补偿金;对生态本底约束型省份,依据土地匹配指数的偏离程度给予土地禀赋补偿;对双低型省份,基于综合匹配指数的偏离度实施组合式补偿;对高匹配型省份,则维持长期稳定的纵向生态补偿,以激励其生态保护行为。

基金项目

教育部人文社会科学研究青年基金 20YJCZH249; 山东省自然科学基金项目 ZR2023MG080。

参考文献

- [1] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. 地理学报, 2018, 73(4): 637-650.
- [2] 寿飞云, 李卓飞, 黄璐, 黄绍荣, 严力蛟. 基于生态系统服务供求评价的空间分异特征与生态格局划分——以长三角城市群为例[J]. 生态学报, 2020, 40(9): 2813-2826.
- [3] 张中浩, 张永瑶, 胡熠娜, 高峻. 基于“水-能源-粮食”纽带的生态系统服务供需关系时空分布研究——以长三角

- 生态绿色一体化发展示范区为例[J]. 生态学报, 2023, 43(22): 9430-9445.
- [4] 刘立程, 刘春芳, 王川, 等. 黄土丘陵区生态系统服务供需匹配研究——以兰州市为例[J]. 地理学报, 2019, 74(9): 1921-1937.
- [5] Chen, Y., Ge, Y., Yang, G., Wu, Z., Du, Y., Mao, F., *et al.* (2022) Inequalities of Urban Green Space Area and Ecosystem Services along Urban Center-Edge Gradients. *Landscape and Urban Planning*, **217**, Article 104266. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104266>
- [6] Wu, L., Kim, S.K. and Lin, C. (2022) Socioeconomic Groups and Their Green Spaces Availability in Urban Areas of China: A Distributional Justice Perspective. *Environmental Science & Policy*, **131**, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.008>
- [7] Peng, J., Hu, Y., Liu, Y., Ma, J. and Zhao, S. (2018) A New Approach for Urban-Rural Fringe Identification: Integrating Impervious Surface Area and Spatial Continuous Wavelet Transform. *Landscape and Urban Planning*, **175**, 72-79. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.03.008>
- [8] 刘彦随, 刘玉, 翟荣新. 中国农村空心化的地理学研究及整治实践[J]. 地理学报, 2009, 64(10): 1193-1202.
- [9] OECD (2012) Redefining “Urban”: A New Way to Measure Metropolitan Areas. OECD Publishing.
- [10] 王智勇. 中国的城乡划分与城镇化评估——基于国际比较的视角[J]. 人口与经济, 2018(2): 1-15.
- [11] Ye, C., Chen, M., Chen, R. and Liao, C. (2022) Rural-Urban Governance toward Sustainable Development Goals. *Journal of Geographical Sciences*, **32**, 1405-1408. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1992-7>
- [12] Zhang, Q., Wiedmann, T., Fang, K., Song, J., He, J. and Chen, X. (2022) Bridging Planetary Boundaries and Spatial Heterogeneity in a Hybrid Approach: A Focus on Chinese Provinces and Industries. *Science of the Total Environment*, **804**, Article 150179. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150179>
- [13] 徐新良. 中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集(CNLUCC) [DS]. 中国科学院资源环境科学与数据中心, 2020.
- [14] 徐新良. 中国人口空间分布公里网格数据集(2020) [DS]. 中国科学院资源环境科学与数据中心, 2020.