

DOI: 10.19741/j.issn.1673-4831.2022.0672

张冰,李阳兵,夏春华,等.土地利用转型背景下社会经济-生态环境耦合协调研究:以长江沿岸城市为例[J].生态与农村环境学报,2023,39(4):436-449.

ZHANG Bing,LI Yang-bing,XIA Chun-hua,*et al.*Study on the Coupling Coordination of Socio-economic and Ecological Environment under the Background of Land Use Transition: A Case Study of the Cities Along the Yangtze River[J].Journal of Ecology and Rural Environment,2023,39(4):436-449.

土地利用转型背景下社会经济-生态环境耦合协调研究: 以长江沿岸城市为例

张冰¹,李阳兵^{1,2①},夏春华¹,曾晨岑¹ (1. 重庆师范大学地理与旅游学院,重庆 401331; 2. 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室,重庆 401331)

摘要: 长江经济带在我国经济发展与生态文明建设中均处于重要战略地位,其生态环境与社会经济相协调对区域乃至全国的可持续发展具有重大意义。该研究采用耦合协调度模型、土地利用隐性功能指数等方法对 1990—2020 年长江经济带沿岸城市社会经济与生态环境耦合协调关系的变化及其与土地利用转型的关系进行了探讨。结果表明:研究区表现出明显的土地利用转型趋势,尤其是下游城市主要表现为耕地占比锐减和建设用地占比猛增;土地利用隐性功能指数则呈整体先下降后上升的“U”字型趋势。社会经济-生态环境耦合协调程度整体呈上升趋势,处于失调状态的城市数量波动下降。研究初期耦合协调度与具有生态功能的地类占比呈正相关,与经济功能为主的地类占比呈负相关。根据土地利用隐性功能指数与耦合协调度的增减情况可将城市分为 5 种类型,处于负-正相关型的城市数量最多,且以下游城市为主,与研究区整体类型一致,各区段类型则主要受到区段内经济较为发达城市的主导。长江经济带要获得长期良性发展,就要从调整产业结构、优化土地利用格局、关注生态环境问题、增强区域内的联系等方面着手,使生态环境与社会经济相互促进,进而提高区域内的人居环境和居民生活幸福感。

关键词: 土地利用转型; 社会经济; 生态环境; 耦合协调; 长江经济带

中图分类号: X82 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4831(2023)04-0436-14

Study on the Coupling Coordination of Socio-economic and Ecological Environment under the Background of Land Use Transition: A Case Study of the Cities Along the Yangtze River. ZHANG Bing¹, LI Yang-bing^{1,2①}, XIA Chun-hua¹, ZENG Chen-cen¹ (1. School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China; 2. Chongqing Key Laboratory of Earth and Surface Processes and Environmental Remote Sensing in Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 401331, China)

Abstract: The Yangtze River Economic Belt is in an important strategic position in China's economic development and ecological civilization construction, and the coordination of its ecology and economy is of great significance to the sustainable development of the region and even the whole country. This paper explores the change of the coupling coordination relationship between socio-economic and ecological environment in the cities along the Yangtze River from 1990 to 2020, and the relationship between the coupling coordination and land use transition by using ArcGIS 10.2 software and by constructing the index system, based on the coupling coordination degree model and the recessive land use function index. The results show that these cities showed obvious trend of land use transition, especially in the lower reaches of the river, which was characterized by sharp decrease of cultivated land and sharp increase of construction land. The recessive land use function index of these cities shows a "U" pattern. The degree of coupling and coordination of socio-economic and ecological environment in these cities is on the rise, and the number of cities in a state of imbalance is fluctuating down. At the beginning

收稿日期: 2022-07-01

基金项目: 国家自然科学基金(42061035); 重庆市基础科学与前沿技术研究专项(cstc2017jcyjBX0024); 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2017jcyjB0317)

① 通信作者 E-mail: li-yapin@sohu.com

of the period studied, the coupling coordination degree was positively correlated with the proportion of land type with ecological function, and negatively correlated with the proportion of land type with economic function. The cities can be divided into five types according to the increase or decrease of the indexes. The largest number of cities is the negative-positive correlation type, mainly the downstream cities, which is consistent with the overall trend of the river basin. The regional type is mainly dominated by the more developed cities. For the healthy development of the Yangtze River Economic Belt, it is necessary to adjust the industrial structure, optimize the pattern of land use and strengthen the connection between the two ends of the basin, so as to make the joint promotion of ecological environment and socio-economic for the improvement of the living environment and the well-being of the residents in the region.

Key words: land use transition; socio-economic; ecological environment; coupling and coordination; the Yangtze River Economic Belt

长江经济带的定位为我国“生态文明建设的先行示范带”,在我国经济发展中也有极其重要的战略地位^[1]。改革开放以来,随着经济的迅速发展,城市化水平显著提高,该区域土地利用形态产生了巨大的变化,在土地利用转型速度和幅度持续增长的同时潜在的经济和生态风险也日益凸显^[2],如不能实现生态环境与社会经济的协调发展,将对该地区乃至全国的可持续发展产生负面影响。因此,对该地区在土地利用转型背景下社会经济与生态环境的相互关系进行探讨具有重大的研究价值与现实意义。

土地利用转型是指与经济社会发展阶段的转型相对应的土地利用形态在时序上的变化^[3-4]。国外相关研究内容涉及土地利用转型的基础理论构建^[5]、森林转型过程与驱动机制等方面^[6-7]。自这一概念引入中国以来^[8],众多学者探讨了土地利用转型对气候^[9]、生物多样性^[10]、生态环境质量^[11]等多方面的影响,亦有学者进行了土地利用转型对经济社会的影响研究,如土地利用转型的社会经济驱动力^[12-13]、土地利用转型与经济发展之间的相互作用关系^[14-15]等。纵观以往大多数学者的研究,侧重点主要在土地利用转型对社会经济或生态环境的单个方面起到了何种作用,如通过 InVEST 模型评估研究区生境质量^[16],而对于土地利用转型过程与社会经济和生态环境耦合协调关系变化之间的联系探讨较少,因此当前研究在该领域存在一定的缺口。

经济发展是引起生态环境变化的主要因素之一,工业革命之后经济的高速增长造成生态环境质量急剧恶化,后续该现象甚至对经济发展起到强烈的制约作用^[17],迫切需要研究两者之间的协调关系。20 世纪中叶,国外学者以环境经济学为主要的理论基础^[18],论证经济增长与环境质量之间所存在的权衡关系^[19-20],而后 GENE 等^[21]首次实证研究了环境质量与人均收入之间存在的倒“U”型曲线关

系,后被称为环境库兹涅茨曲线,成为该研究领域的经典。国内学者则借鉴西方相关理论,结合中国发展实际,采用了耦合度模型^[22]、协调发展度评估^[23]、系统动力学模型^[24]、GM(1,1)灰色预测^[25]等方法突出社会经济与生态环境耦合协调在我国良性发展过程中的重要作用,涉及多级研究尺度。如张晓东等^[26]通过建立环境承载力与经济发展之间的协调度模型验证了我国空间区域经济环境协调度基本符合倒“U”型曲线,且中西部地区经济发展过程中对生态环境的牺牲更为严重;李建新等^[27]构建了经济与环境的分析框架,采用耦合协调度评价模型对长江经济带经济与环境动态协调发展的时空格局进行了考察;李龙等^[28]通过 CA-Markov 模型及 Getis-Ord G_i^* 等方法揭示并预测了惠州市快速城市化区域生态环境与经济耦合协调关系和空间分异特征。以上研究表明,社会经济与生态环境的耦合协调对区域乃至全国发展十分重要,但只是利用两者的时下状态进行耦合协调关系演变的时空表达。我国在改革开放以后经济迅速发展,产业结构持续更新,土地利用格局和功能不断发生改变,且前人研究也验证了土地利用转型是社会经济和生态环境产生变化的重要影响因素,因此揭示快速的土地利用转型过程中社会经济和生态环境耦合协调的时空响应十分必要。

基于此,笔者采用耦合协调度模型、土地利用隐性功能指数等方法,针对我国生态与经济并重的战略点——长江经济带的主要沿江城市进行研究,以厘清其 30 a 来社会经济与生态环境耦合协调关系的时空演变规律及其与土地利用转型过程的关系,为实现社会经济与生态环境耦合协调与区域可持续发展提供参考。

1 研究区概况

长江经济带以长三角城市群、长江中游城市群、成渝城市群为依托,以长江黄金水道为纽带,成

为连接我国东中西部的重要经济走廊,以 21% 的国土面积聚集了全国 42.9% 的人口和 43.8% 的经济总量^[29]。推动长江经济带的良性发展不仅是区域需求,更是国家战略,关注其社会经济与生态环境的协同发展极为重要。

笔者选取长江经济带内 13 个长江沿岸对于流域发展具有引领作用的城市作为研究区,这些城市在各自区段内行政边界相连,经济发展状况总体较

好,但也存在内部差异,包括上游城市宜宾、泸州、重庆,中游城市宜昌、荆州、武汉、黄冈、九江,下游城市南京、扬州、泰州、南通、上海。在每一区段内选择数个发展各异的代表性城市,对其土地利用转型特征及生态环境与社会经济耦合协调状况进行深入分析,大体可反映出不同区段整体上的变化趋势以及长江沿岸城市的发展状况,研究区具体范围如图 1 所示。

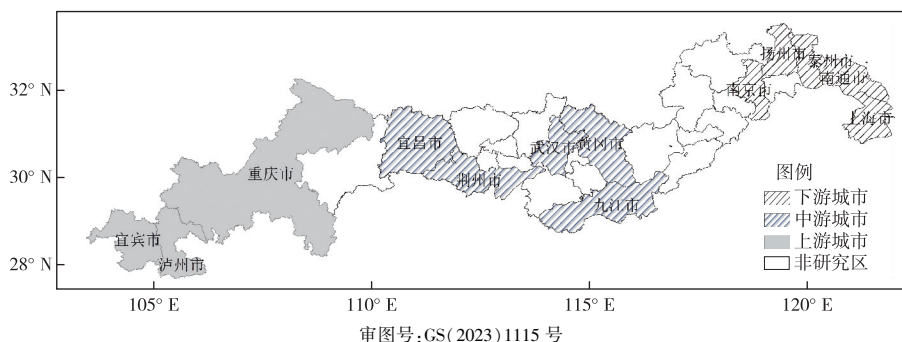


图 1 研究区范围

Fig. 1 Location map of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 研究框架

土地作为一种特殊的自然资源,既是人类生产、生活活动的主要载体,又是一种具有经济与生态等多种功能的复合型资源。土地系统通过土地利用与土地覆被分别对应社会经济系统、生态环境系统^[30]。因此在土地利用转型过程当中,区域经济社会发展状况与生态环境质量均会因土地利用类型与功能的变化而受到影响。除不同土地利用类型空间与数量上的变化外,土地利用隐性功能也随着土地利用方式的变化而变化,同时社会经济系统与生态环境系统耦合协调关系也随着新的土地利用形式所对应的经济与生态效益发生变化。对于区域发展来说,厘清土地利用转型与社会经济、生态环境之间的关系,达到土地利用形式、社会经济发展、生态环境质量的良好状态对于实现可持续发展至关重要。

首先采用地类占比分析、土地利用隐性功能指数对研究区 30 a 来土地利用显性形态与隐性功能转型进行了测度,从数量-功能角度反映土地利用转型强度;其次通过构建社会经济系统与生态环境系统评价指标体系与耦合协调度模型对两者耦合协调关系变化进行了研究,再通过对不同城市土地利用显性形态变化、隐性功能指数变化与耦合协调

度变化趋势的对比总结土地利用转型对社会经济-生态环境耦合协调关系的影响;最后对两者间的驱动效应进行了讨论,并针对不同类型城市提出相应的发展建议,具体研究框架如图 2 所示。

2.2 数据来源

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 1990、2000、2010 和 2020 年 30 m 分辨率全国土地利用栅格数据,综合考量研究所涉及的时间与空间尺度,利用 ArcGIS 10.2 软件将土地利用类型重分类为耕地、林地、草地、水域、建设用地、未利用地 6 类,得到研究区 1990—2020 年土地利用情景(图 3)。社会经济数据主要参考各城市 1990—2020 年《统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《长江年鉴》以及各城市国民经济和社会发展统计公报。

2.3 研究方法

2.3.1 社会经济与生态环境评价指标选取

社会经济-生态环境耦合系统是一个复杂系统,其协调发展程度的好坏是由生态环境系统与社会经济系统 2 个方面共同决定的,社会经济系统又包含反映经济功能和社会功能的 2 个层面,因此从经济功能、社会功能以及生态功能 3 个层面共 25 个指标进行综合探讨,现状指标与变化指标的结合可以更加真实地反映城市发展的实际状态(表 1)。

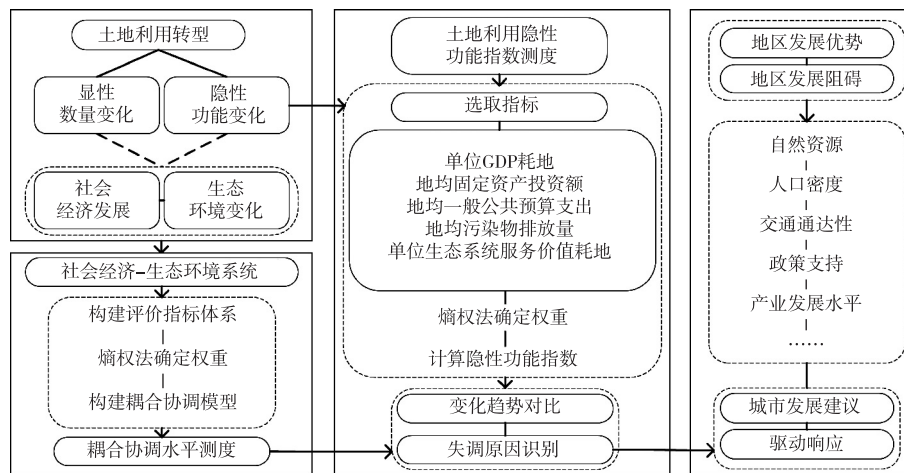


图2 研究框架

Fig. 2 The framework of the study

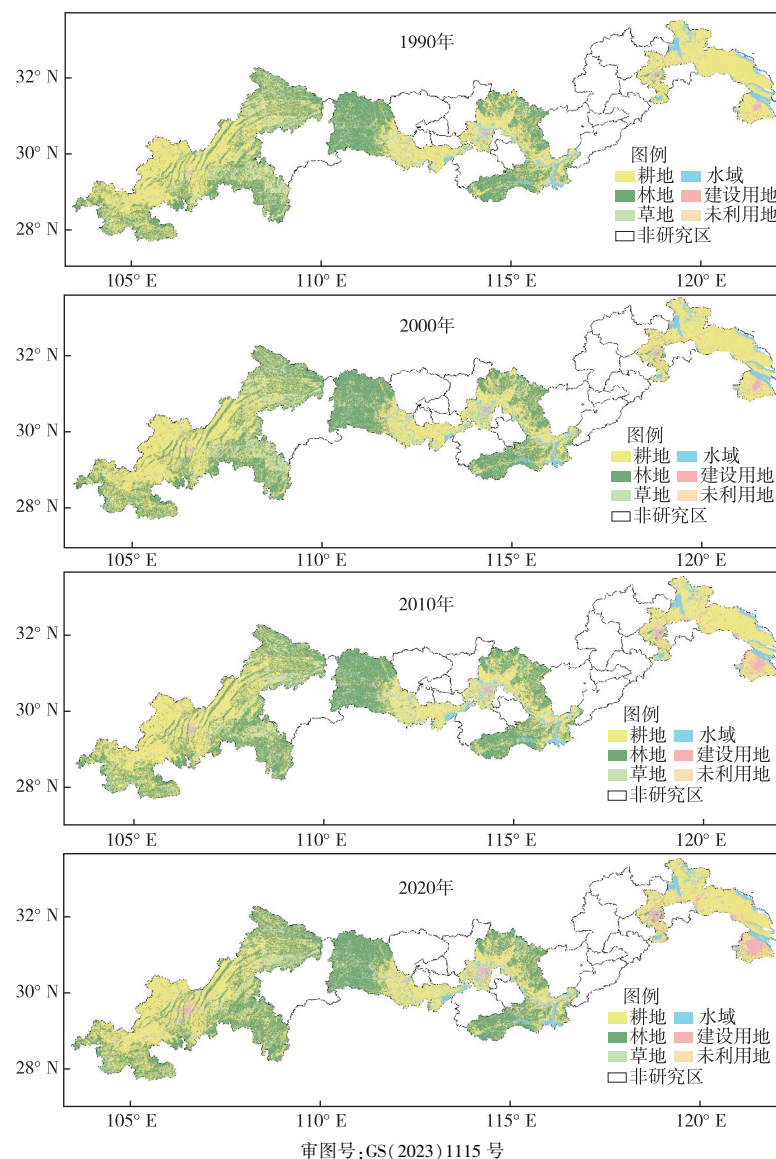


图3 1990—2020年研究区土地利用分布

Fig. 3 Land use distribution in study area from 1990 to 2020

表 1 研究区社会经济与生态环境评价指标体系

Table 1 Evaluation indicator system of socio-economic and ecological environment

功能	指标	属性	权重
经济功能	经济密度	+	0.11
	人均 GDP	+	0.058
	GDP 增长率	+	0.023
	人均 GDP 增长率	+	0.03
	第一产业产值占比	-	0.026
	第二产业产值占比	+	0.026
	第三产业产值占比	+	0.034
社会功能	人均一般公共预算收入	+	0.075
	固定资产投资增长率	+	0.023
	社会消费品零售总额增长率	+	0.031
	职工平均工资	+	0.037
	城镇居民人均可支配收入	+	0.037
	农村居民人均可支配收入	+	0.047
	恩格尔系数	-	0.013
生态功能	人均工业烟粉尘排放量	-	0.019
	人均工业废水排放量	-	0.015
	工业固体废弃物综合利用率	+	0.015
	污水处理率	+	0.025
	生活垃圾无害化处理率	+	0.028
	空气质量优良率	+	0.021
	森林覆盖率	+	0.038
	人均造林面积	+	0.169
	人均公园绿地面积	+	0.028
	人均生态系统服务价值	+	0.035
	年末人均耕地保有量	+	0.024

生态系统服务价值当量参考谢高地等^[31]的研究;“+”表示该指标具有积极贡献,“-”则表示具有消极贡献。

经济功能从地区经济发展现状、当年获得的经济发展潜力以及地区产业结构占比 3 个方面进行表达,可较为全面地反映城市经济发展的优劣;社会功能则主要从社会消费与投资增长情况、居民收入水平变化等方面反映城市居民生活水平和社会发展潜力;生态功能对环境污染程度、生态治理力度、生态环境现状等方面进行量化,反映城市生态环境系统的优良程度。笔者认为第一产业产值占比高表示当地经济发展水平较差,因此在社会经济系统中为负向指标,而年末人均耕地面积多可反映一个地区农业生产用地有较多保留,在生态环境系统中为正向指标。为消除因研究区域面积和人口差异引起的误差,所选指标均为相对指标或均量指标。

在指标选取过程中,为减少主观因素对指标权重的干扰,采用熵值法对各项指标进行赋权,得到各项指标权重,如表 1 所示。

对原始数据进行归一化处理,正向和负向指标的计算公式分别为

$$x_{ij} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}, \quad (1)$$

$$x_{ij} = \frac{x_{\max} - x}{x_{\max} - x_{\min}} \circ \quad (2)$$

式(1)~(2)中, x_{ij} 为第*i*个城市第*j*项指标归一化之后的值($i = 1, 2, 3 \cdots n; j = 1, 2, 3 \cdots m$); x 为某项指标值; $x_{\max}$ 和 $x_{\min}$ 分别为全部研究区某项指标的最大值和最小值。

计算第*j*项指标下第*i*个城市所占该指标的比重(P_{ij}):

$$P_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} \circ \quad (3)$$

计算第*j*项指标的熵值(e_j):

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \circ \quad (4)$$

式(4)中, $k = 1/\ln n$,且 $k > 0$,满足 $e_j \geq 0$ 。

计算信息熵冗余度(d_j):

$$d_j = 1 - e_j \circ \quad (5)$$

计算各项指标的权值(w_j):

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \circ \quad (6)$$

2.3.2 土地利用隐性功能指数

基于土地利用隐性形态内涵,参照文献[32],从经济功能、社会功能、生态功能 3 个层面构建指标体系,反映土地利用隐性形态转型。单位生态系统服务价值耗地表示土地利用方式所产生的单位生态系统服务价值需要消耗的土地面积(表 2)。

$$L = \sum_{i=1}^n u_i' w_i \circ \quad (7)$$

式(7)中, L 为土地利用隐性形态指数; u_i' 为第*i*项指标的标准化值; w_i 为第*i*项指标的权重,由上述熵值法得出。

2.3.3 耦合协调度模型

耦合最初是一个物理学概念,用来表示 2 个或 2 个以上系统通过内部要素相互影响的程度,后被广泛应用于农业、经济、环境等多个领域。为了表示社会经济系统与生态环境系统的协调发展程度,参照文献[33]构建耦合协调度模型。

第 1 步,建立社会经济与生态环境耦合模型,计算耦合度(C)。

$$C = \frac{2 \times \sqrt{S_1 \times S_2}}{S_1 + S_2} \circ \quad (8)$$

式(8)中, S_1 为社会经济系统综合得分; S_2 为生态环境系统综合得分;耦合度 C 的取值范围为 $[0, 1]$ 。

第 2 步,耦合度仅表示 2 个系统之间内部要素

的相互作用程度,并不能体现协调状况的好坏,故引入耦合协调度模型。

$$D = \sqrt{C \times T}。$$

(9)

式(9)中, D 为耦合协调度; T 为系统综合得分,计算公式为

$$T = \alpha S_1 + \beta S_2。$$

(10)

式(10)中, α 和 β 为待定系数, $\alpha + \beta = 1$,由于经济发展与生态环境同等重要,令 $\alpha = \beta = 0.5$,并根据耦合协调度进行分级(表 3)。

表 2 土地利用隐性功能评价指标体系

Table 2 Evaluation indicator system of the recessive land use morphology

功能	指标	测算方法	属性	权重
经济功能	单位 GDP 耗地	辖区面积/GDP 总量	-	0.23
	地均固定资产投资额	固定资产投资额/辖区面积	+	0.19
社会功能	地均一般公共预算支出	一般公共预算支出/辖区面积	+	0.21
生态功能	地均污染物排放量	污染物排放总量/辖区面积	-	0.23
	单位生态系统服务价值耗地	辖区面积/生态系统服务价值	-	0.14

“+”表示该指标具有积极贡献,“-”则表示具有消极贡献。

表 3 耦合协调等级划分标准

Table 3 Standard for coupling coordination level

协调等级	耦合协调度(D)	耦合协调程度
1	(0~0.1)	极度失调
2	[0.1~0.2)	严重失调
3	[0.2~0.3)	中度失调
4	[0.3~0.4)	轻度失调
5	[0.4~0.5)	濒临失调
6	[0.5~0.6)	勉强协调
7	[0.6~0.7)	初级协调
8	[0.7~0.8)	中级协调
9	[0.8~0.9)	良好协调
10	[0.9~1.0]	优质协调

3 结果与分析

3.1 土地利用转型特征

3.1.1 土地利用显性形态转型特征

利用 ArcGIS 10.2 软件对各城市进行地类面积统计。根据图 3 可知,同一区段内的城市用地类型变化较为相似,因此按照上、中、下游分区,计算各地类在不同区段中所占比例(表 4)。上游城市与中游城市均以耕地、林地为主,且上游耕地比例略多于中游,林地比例略少于中游,草地所占比例为全流域最高,呈较为明显的下降趋势,建设用地增长较为明显,但所占比例为全流域最低;中游水域比例较高但逐年降低,耕地则至 2020 年之前呈缓慢上升态势;长江流域下游多为平原、丘陵,耕地占比远大于中上游,林地、草地比例为整个流域最低,与中上游差距亦十分明显,但水域与建设用地比例为全流域最高,且建设用地比例增幅最大,耕地比例以较快的速度下降,至 2020 年建设用地占比已高于

20%,耕地占比降幅超过 10%,显示出明显的耕地侵占现象。

3.1.2 土地利用隐性功能指数变化

1990—2020 年研究区土地利用隐性功能指数如图 4 所示。平均值呈先下降后上升的趋势,1990 年平均值最高,2020 年处于次高值。各年间土地利用隐性功能指数平均值均为下游最高,中游次之,上游最低,与实际发展状况相符合。

30 a 来,大部分城市土地利用隐性功能指数呈“U”字型变化,武汉呈持续升高态势,荆州则为持续降低态势,但下降趋势逐渐变缓。研究期内处于次低值区间[0.2~0.4)的城市由 2 个上升为 4 个,处于中值区间[0.4~0.6)的城市由 10 个降低为 7 个,仅有上海始终处于次高值区间[0.6~0.8),该现象与上海强大的经济实力密切相关,且武汉在 2020 年达到次高值。1990 年各地区工业化程度普遍较低,污染物排放量较少,城镇化率较低,农田、林地保有量大,生态系统服务价值较高,生态效应和环境效应较好,土地利用隐性功能指数较高;2000—2010 年我国处于城镇化快速发展时期,随着建设用地扩张和工业发展,生态环境承受巨大的压力,致使土地利用隐性功能指数呈下降趋势;随着生态文明发展战略的提出,强调经济发展的同时更加注重生态环境保护,城市产业结构也发生了较大变化,因此 2010—2020 年土地利用隐性功能指数又普遍回升。根据对研究区土地利用显性形态和隐性功能变化的分析可以看出,该区域土地利用转型明显,不同区段发生转型的强度和方向有所差异,为后续研究提供了支撑依据。

表 4 1990—2020 年研究区各地类占比
Table 4 Percentage of each land use type in the study area from 1990 to 2020

地区	年份	占比/%					
		耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地
上游	1990	50.13	36.50	11.74	1.12	0.48	0.02
	2000	49.95	37.84	9.87	1.21	0.64	0.01
	2010	50.08	38.91	8.41	1.23	0.86	0.01
	2020	47.89	38.92	8.29	1.54	2.86	0.00
中游	1990	41.51	42.91	3.59	9.87	1.49	0.63
	2000	43.43	41.21	3.85	9.65	1.79	0.01
	2010	43.97	41.73	3.04	8.93	2.25	0.07
	2020	43.14	40.86	2.80	7.92	5.17	0.11
下游	1990	75.27	2.31	1.04	13.55	7.74	0.09
	2000	74.30	2.02	0.19	12.50	10.99	0.01
	2010	69.02	2.04	0.31	13.18	15.45	0.00
	2020	59.36	2.28	0.57	15.12	22.66	0.01

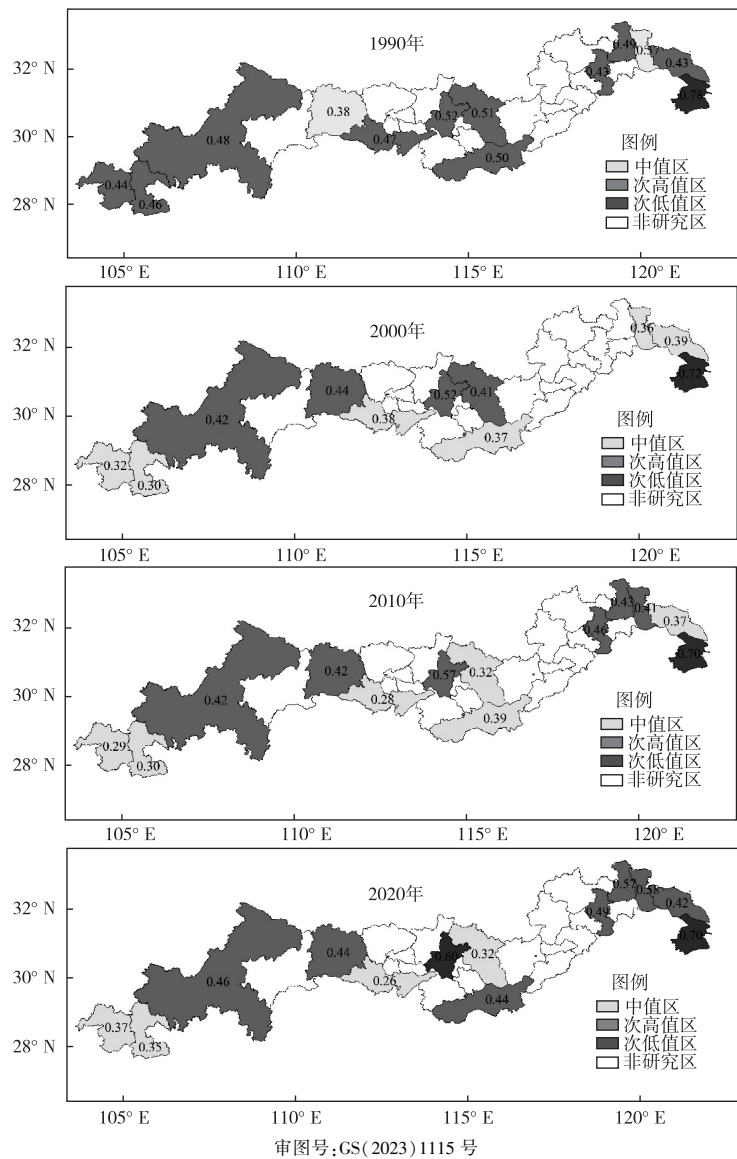


图 4 土地利用隐性功能指数
Fig. 4 The recessive function index of land use

3.2 社会经济-生态环境耦合协调分析

3.2.1 社会经济-生态环境耦合协调变化特征

为深入研究长江沿岸城市在过去 30 a 中社会经济与生态环境的耦合协调状态,根据上述耦合协

调度模型及耦合协调水平分级标准,得到各城市社会经济-生态环境耦合协调状况(表 5),利用 ArcMap 10.2 软件进行空间可视化表达(图 5)。

表 5 社会经济-生态环境耦合协调状况

Table 5 The condition of coupling coordination of socio-economic and ecological environment

城市	1990 年		2000 年		2010 年		2020 年	
	耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调等级	耦合协调度	耦合协调等级
宜宾	0.379	轻度失调	0.422	濒临失调	0.427	濒临失调	0.479	濒临失调
泸州	0.398	轻度失调	0.307	轻度失调	0.377	轻度失调	0.479	濒临失调
重庆	0.497	濒临失调	0.436	濒临失调	0.595	勉强协调	0.687	初级协调
宜昌	0.433	濒临失调	0.435	濒临失调	0.455	濒临失调	0.356	轻度失调
荆州	0.449	濒临失调	0.341	轻度失调	0.353	轻度失调	0.260	中度失调
武汉	0.443	濒临失调	0.477	濒临失调	0.524	勉强协调	0.496	濒临失调
黄冈	0.312	轻度失调	0.266	中度失调	0.263	中度失调	0.220	中度失调
九江	0.407	濒临失调	0.364	轻度失调	0.456	濒临失调	0.507	勉强协调
南京	0.442	濒临失调	0.552	勉强协调	0.522	勉强协调	0.558	勉强协调
扬州	0.450	濒临失调	0.492	濒临失调	0.559	勉强协调	0.496	濒临失调
泰州	0.384	轻度失调	0.447	濒临失调	0.485	濒临失调	0.528	勉强协调
南通	0.445	濒临失调	0.470	濒临失调	0.510	勉强协调	0.554	勉强协调
上海	0.548	勉强协调	0.609	初级协调	0.436	濒临失调	0.578	勉强协调

研究区耦合协调程度整体呈上升趋势,但具体到各个城市之间则有较大不同。1990 年大部分城市均处于濒临失调与轻度失调状态,仅有上海达到勉强协调,此时国内处于改革开放初期,经济发展较为缓慢,上海作为沿海经济特区,较其他地区经济发展水平更高,产业结构更加合理,耦合协调程度更高。同时,上中下游区段平均耦合协调度表现为下游最高,上游次之,中游最低;2000 年上下游城市耦合协调等级整体上升,但中游城市除武汉略有上升外,均呈下降趋势,荆州、九江由濒临失调降为轻度失调,黄冈更是由轻度失调变为中度失调,该时期黄冈第二产业产值占比超过 45%,且工业水平不高,多为污染严重的重工业类型,又侵占了部分农业用地,对生态环境造成了严重破坏;2010 年,随着经济发展,研究区大部分城市社会经济与生态环境的耦合协调程度有所提高,但上海表现为由初级协调下降到濒临失调。和 2000 年相比,2010 年上海市常住人口大幅增长,对资源的需求和消耗能力随之大幅提高,环境污染和生态破坏程度加剧;2020 年,随着科技水平的进步与国家生态文明建设战略的提出,各地区经济与生态条件理论上应该有较大提升,但由于受到疫情影响,经济向好发展的趋势减弱,尤其是对以武汉为中心的中游城市影响最为严重,经济发展失去活力。对于旅游业较为发达、第三产业产值占比较高的城市,在当年社会环境下经济发展速度减缓,导致耦合协调等级整体呈下降

趋势。

3.2.2 社会经济-生态环境失调原因识别

社会经济发展与生态环境不协调时可分为 2 种情况,经济发展滞后或生态环境状况跟不上经济,判断两者的发展情况可更好地认清区域内实际存在的问题,从而更有针对性地进行调整。通过式(10)对失调地区生态环境系统和社会经济系统综合得分进行对比(表 6),可在一定程度上说明区域问题更多聚焦于何处。研究发现,经济发展程度越高的地区两系统间综合得分差距变大的趋势越为明显,且上游城市在 1990 年均为经济发展滞后于生态环境,这些城市农业用地比例较多,而引领经济发展的建设用地数量较少,且随着时间的推移,上游城市社会经济系统综合得分逐渐赶超生态环境系统,至 2020 年已变为生态环境落后于经济发展;中游城市除武汉外,其他城市发展状况均与上游城市一致,但系统综合得分差距更小,武汉作为省会城市发展程度明显高于其他城市,表现为与下游城市一致的发展趋势,即生态环境系统得分滞后于社会经济;下游城市整体均表现为社会经济较多超前于生态环境,且随着经济发展,建设用地比例不断扩大,两系统间的综合得分差距也不断加大,由相对平衡逐渐变为差异明显,尤其是上海与南京,由于其强大的经济实力以及经济发展过程中对具有生态功能的用地类型的侵占,系统综合得分差距由较小升至较大,不平衡现象愈发明显。根据研究结

果,城市发展过程中社会经济系统与生态环境系统综合得分的变化趋势应该分为 3 个阶段:经济发展落后于生态环境、系统得分趋于平衡、生态环境滞后于经济发展。若想实现区域的可持续发展,就要针对处于不同发展阶段的城市采取不同的措施,如对于刚刚实现经济系统得分反超的中上游城市,要

提前制定好经济发展的合理规划,不以过度牺牲环境为代价,提前做好预防措施;对于社会经济系统综合得分过于超前的下游城市,应该提高环境保护投资比例,利用经济优势进行产业革新与技术升级,避免该趋势进一步加大。

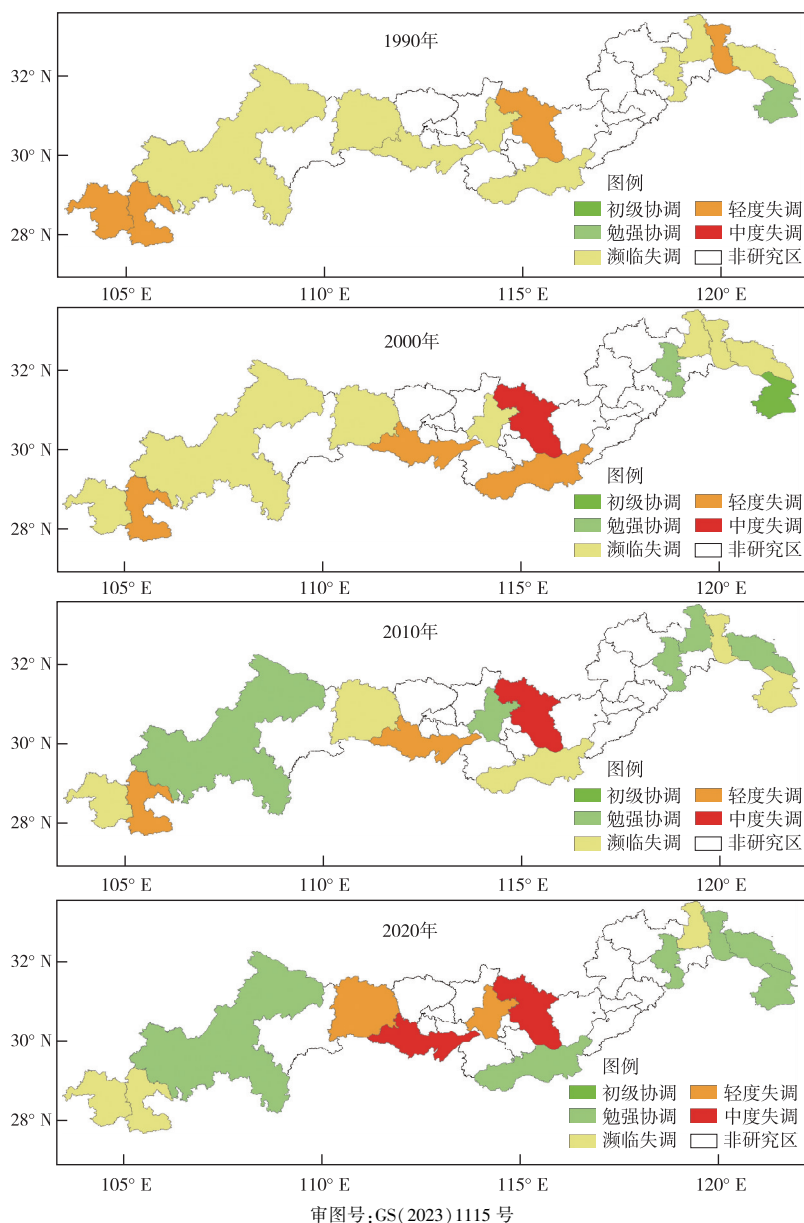


图 5 社会经济-生态环境耦合协调状况

Fig. 5 The condition of coupling coordination of socio-economic and ecological environment

3.3 社会经济-生态环境耦合协调度变化与土地利用转型的关系

从土地利用显性形态转型与社会经济-生态环境耦合协调度研究结果来看,大多数城市的耦合协调度在研究初期与耕地、林草地、水域这类包含生态功能的用地类型占比呈正相关,而与经济功能为

主的建设用地占比呈负相关。随着城市的发展,在研究期后半段建设用地占比仍在不断增长,但耦合协调度逐渐回升,且经济越发达的城市回升时间点越早,说明在该时期内新增的建设用地在经济发展上效益提高的同时降低了对于生态环境的污染,即经济结构发生了转型。但荆州与上海较为特殊,前

者因农业产值占比较高,缺乏高附加值的工业体系,建设用地增长的同时经济发展却较为缓慢,耦合协调度持续降低;上海则是由于建设用地增长与耕地缩减均过于迅速,对生态环境造成的损失并不能被迅速发展的经济弥补。两市耦合协调度虽持续降低,但降低趋势均在减小,即回升折点较为滞后。

表 6 社会经济系统与生态环境系统综合得分
Table 6 Comprehensive score of socio-economic system and eco-environmental system

城市	1990 年		2000 年		2010 年		2020 年	
	社会经济系统	生态环境系统	社会经济系统	生态环境系统	社会经济系统	生态环境系统	社会经济系统	生态环境系统
宜宾	0.13	0.17	0.13	0.17	0.11 *	0.19	0.20	0.15 *
泸州	0.13	0.16	0.08 *	0.13	0.12	0.13	0.19	0.17
重庆	0.11 *	0.3	0.10 *	0.28	0.16 *	0.34	0.37	0.38
宜昌	0.16 *	0.21	0.13 *	0.19	0.16	0.19	0.17	0.14
荆州	0.11 *	0.17	0.06 *	0.15	0.09 *	0.16	0.13	0.14
武汉	0.20	0.11 *	0.25	0.11 *	0.26	0.12 *	0.52	0.12 **
黄冈	0.09 *	0.14	0.07 *	0.12	0.08 *	0.13	0.11	0.15
九江	0.11 *	0.19	0.10 *	0.19	0.15	0.18	0.29	0.16 *
南京	0.25	0.10 *	0.39	0.09 **	0.33	0.11 **	0.66	0.10 ***
扬州	0.16	0.14	0.18	0.12 *	0.22	0.16 *	0.37	0.12 **
泰州	0.14	0.11	0.23	0.09 *	0.21	0.12 *	0.33	0.11 **
南通	0.15	0.11	0.18	0.12 *	0.22	0.13 *	0.38	0.15 **
上海	0.48	0.07 **	0.56	0.08 **	0.45	0.09 **	0.91	0.13 ***

*、**、*** 分别表示发展较为滞后的系统与另一系统综合得分差距较小、一般、较大。

从土地利用隐性功能指数与耦合协调度的研究结果来看,将两者的变化趋势进行对比,亦会呈现出较为明显的线性相关关系,如图 6 所示。长江沿岸城市在研究期间内大体可分为 5 种类型:①正相关型(同增同减)、②负相关型(一增一减)、③正-负相关型(先同后异)、④负-正相关型(先异后同)、⑤无序型(规律不稳定)。其中①型城市有重庆、黄冈和九江,②型城市有扬州,③型城市有宜昌、武汉,④型城市有宜宾、南京、泰州、南通、上海,⑤型城市为泸州和荆州。研究区内整体平均值表现为④型,从分区上来看,上游为⑤型,中游为③型,下游为④型。其中④型城市最多,且④型城市中以下游城市居多,与研究区整体趋势一致,基本表现为土地利用隐性功能指数呈先下降趋势,同时耦合协调度呈上升趋势,最后过渡到两者同时上升的趋势。研究初期工业发展所产生的经济效益不能对所造成的环境污染与生态破坏进行完全弥补,直至产业结构发生转型,经济与生态同步向好时,两者才能同时提高;中游城市平均值与武汉变化情况类似,说明该区段以武汉为中心,辐射带动周边地区,符合实际情况,亦说明区段发展情况受到大城市的影响作用最强;上游各个城市所处类型各不相同,整体亦处于无序型状态,说明上游城市之间发展不平衡,各城市所处的发展阶段不同,应该进一步发挥处于①型的重庆的带动作用,加强城市之间的联

系,促进区域协调发展。

4 讨论

土地利用转型过程中引起的土地利用/覆被变化以及土地利用功能的转变均在一定程度上影响着当地生态环境与经济发展方式的变化,同时土地利用转型受到人类生产生活需求的影响,而社会经济与生态环境的变化又反过来影响着人类的生产生活活动,构成人类活动-土地利用转型-耦合协调关系变化三方面要素的循环,如图 7 所示。由此可知,对社会经济与生态环境耦合协调状况的研究不仅是了解区域发展状态优劣的关键手段,亦能通过该研究锁定区域实现可持续发展面临的主要问题。两者耦合协调度较低,说明此时区域经济与生态现状处于不平衡状态,可利用该研究提出针对性的解决方案,实现人类活动促发展,发展成果益人民的生态与经济的双赢局面。在研究期第 1 时段,经济发展较为平缓,产业发展也较为薄弱,同时从事农业劳动人数较多,土地利用形式和功能变化较小,生态环境更加稳定,但经济发展较为滞后,两者耦合协调度较低;第 2 时段内,为了追求更高的经济收益,进行产业变革,从事农业劳动人数减少,城市化进程明显加快,土地利用方式和功能发生了较大的变化,经济高速发展的同时致使生态环境承受了较大的压力,但随着严守耕地红线等措施的提出,

这一趋势有所减缓,两者耦合协调度相对第1时期有所提升;第3时段内,随着科学技术的高速发展、国家生态文明建设战略的提出、人们环保意识的加强和对生活环境要求的提高,越来越多的高新科技企业出现,工业污染也大大降低。虽然建设用地扩张依旧迅猛,但对于生态用地的恢复也在同步进行,土地利用方式变得更为集约,附加值更高,生态环境和社会经济同步向好,两者耦合协调度较高。由此可知,土地利用转型起源于人类活动又最终作用于人类本身,由此在转型过程中注重生态环境和经济的同步发展显得尤为重要。在其他尺度的研究中,刘鹏凌等^[34]针对全国经济与环境的协调可持

续发展提出了合理规划布局、突破薄弱环节、政企建立合作等建议;张青峰等^[35]则通过对黄土高原经济与生态环境系统耦合规律的深入认识提出了适合当地县域发展的经济模式。因此长江经济带日后的发展应关注到自身经济定位的特殊性以及生态环境敏感度高的特点,结合其他地区发展经验,加强对水资源以及生物多样性的保护,合理利用区域资源,打造产业优化、布局合理、生态健康、环境优美的发展道路,加强流域前后两端的联系,构建全方位开放型经济新格局,以转型促发展,带动流域整体朝着更为和谐和可持续的方向迈进。

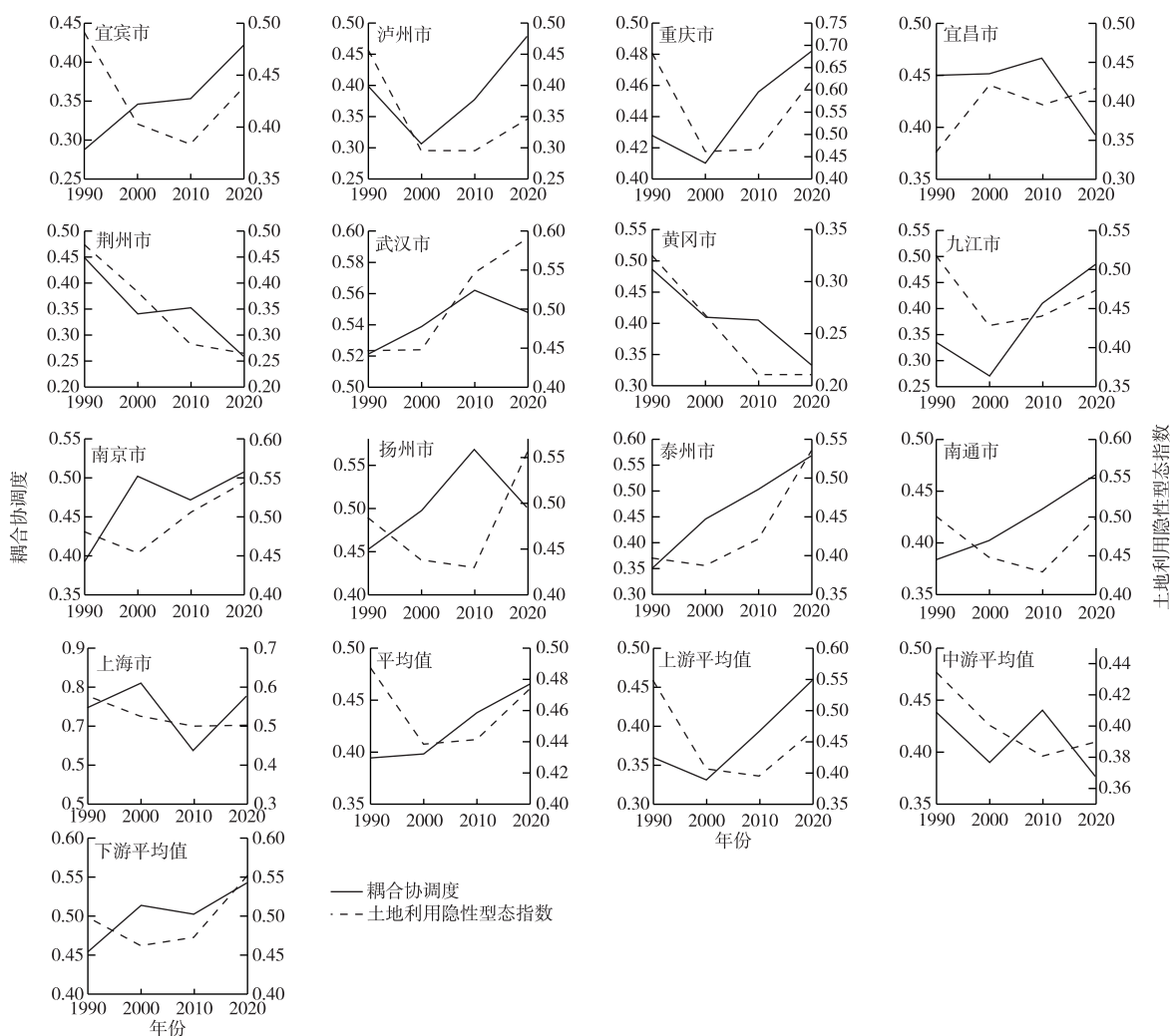


图6 社会经济-生态环境耦合协调度与土地利用隐性型态指数变化趋势

Fig. 6 The change trend of the degree of coupling coordination and recessive function index of land use of socio-economic-ecological environment

除了提高人类生活环境质量外,两者的协调发展还可为区域节约治理生态环境问题的成本,对于任何大范围地区来说,该方面人力物力投资消耗都

十分巨大。如彭苏萍等^[36]认为治理黄河流域煤矿区因煤炭开采而造成水土流失、植被退化等问题需开发新的生态环境修复关键技术;冯兆忠等^[37]提

出应对永定河流域的水资源、沙土、气候等问题除植被建设为根本思路外,还要与社会、人文、经济各方面相结合,增强人为意识;罗小勇等^[38]针对长江流域水生态环境修复提出了四大问题与五大对策。以上研究均表明生态环境修复是一个耗时费力的长期工程,要从源头杜绝该问题就不应走先污染后治理的老路。若经济发展过程中对生态环境的污染和破坏未过多超出其自我修复和承载能力,则生态环境治理成本将大幅降低,同时可用于社会发展建设的资源相应增多,再次说明了社会经济和生态环境保持协调的重要性。

此外,该研究依然存在一定的不足之处,如各区段所选择的样本数量不够丰富,在反映该区段的整体情况上可能会有一定的偏差,对于统计年鉴空缺数据的推算和模拟也可能存在误差。在日后研究中应该充实样本城市的选取量,如选取长江经济带三大城市群作为研究对象,以更加真实和全面地反映区域发展状况。

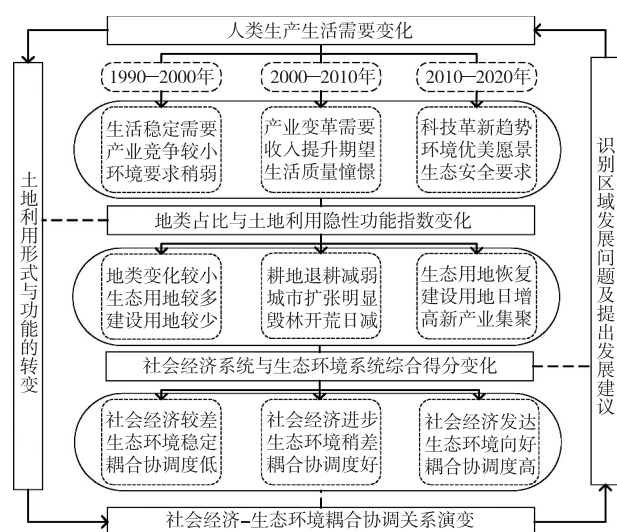


图7 人类活动-土地利用转型-耦合协调关系变化驱动机制及响应

Fig. 7 The driving mechanism and response of human activities-land use transition-coupling coordination degree change

5 结论

该研究通过对1990—2020年长江经济带沿江城市社会经济-生态环境耦合协调演变规律的分析,厘清了其与土地利用转型过程之间的联系,对研究区城市社会经济和生态环境的协调发展提出了相应的建议,具体结论如下:

(1)长江沿岸城市表现出较为明显的土地利用转型趋势,同一区段城市的显性形态转型特征较为类似,且下游变化最为明显,主要表现为耕地占比缩减和建设用地占比猛增;土地利用隐性功能指数则呈整体先下降后上升的“U”型趋势,且1990年平均值最高,武汉在2020年达到次高值,只有上海始终处于次高值区间。

(2)长江沿岸城市耦合协调程度呈整体上升趋势,处于失调状态的城市数量波动下降,2020年以武汉为中心的中游城市失调较为严重,与疫情冲击了区域经济发展活力有密切联系。失调城市中大多城市表现为经济发展滞后于生态环境状况,下游城市则相反。

(3)研究初期耦合协调度与具有生态功能的地类占比呈正相关,与经济功能为主的地类占比呈负相关;根据土地利用隐性功能指数与耦合协调度的增减情况可将城市分为5种类型,处于负-正相关型的城市数量最多,且以下游城市为主,与研究区整体类型一致,各区段类型则主要受到区段内经济较为发达城市的主导。

(4)土地利用格局和功能的改变与社会经济发展、生态环境变化以及人类生产生活方式活动相互促进,研究区城市要善于利用自身优势,扬长避短,通过调整产业结构、优化土地利用格局、关注生态环境问题、增强区域内的联系等手段不断促使社会经济和生态环境朝着协调可持续发展方向。

参考文献:

- [1] 陆大道.建设经济带是经济发展布局的最佳选择:长江经济带经济发展的巨大潜力[J].地理科学,2014,34(7):769-772. [LU Da-dao.Economic Belt Construction is the Best Choice of Economic Development Layout: The Enormous Potential for the Changjiang River Economic Belt[J].Scientia Geographica Sinica, 2014,34(7):769-772.]
- [2] 王凯,张绪冰,卓成刚,等.长江中游经济带土地利用转型风险评估[J].应用科学学报,2021,39(3):469-480. [WANG Kai, ZHANG Xu-bing, ZHUO Cheng-gang, et al. Risk Assessment for Land Use Transition in the Middle of the Yangtze River Economic Belt[J].Journal of Applied Sciences, 2021,39(3):469-480.]
- [3] 龙花楼,李秀彬.区域土地利用转型分析:以长江沿线样带为例[J].自然资源学报,2002,17(2):144-149. [LONG Hua-lou, LI Xiu-bin. Analysis on Regional Land Use Transition: A Case Study in Transect of the Yangtze River[J].Journal of Natural Resources, 2002,17(2):144-149.]
- [4] 龙花楼,屠爽爽.土地利用转型与乡村振兴[J].中国土地科学,2018,32(7):1-6. [LONG Hua-lou, TU Shuang-shuang. Land Use Transition and Rural Vitalization[J].China Land Science, 2018,32(7):1-6.]

- [5] LAMBIN E F, MEYFROIDT P. Land Use Transitions; Socio-ecological Feedback *versus* Socio-Economic Change [J]. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 108–118.
- [6] MATHER A S, FAIRBAIRN J, NEEDLE C L. The Course and Drivers of the Forest Transition; The Case of France [J]. *Journal of Rural Studies*, 1999, 15(1): 65–90.
- [7] BAE J S, JOO R W, KIM Y S. Forest Transition in South Korea: Reality, Path and Drivers [J]. *Land Use Policy*, 2012, 29(1): 198–207.
- [8] 龙花楼. 土地利用转型: 土地利用/覆被变化综合研究的新途径 [J]. *地理与地理信息科学*, 2003, 19(1): 87–90. [LONG Hua-lou. Land Use Transition: A New Integrated Approach of Land Use/Cover Change Study [J]. *Geography and Territorial Research*, 2003, 19(1): 87–90.]
- [9] 梁国付, 丁圣彦. 气候和土地利用变化对径流变化影响研究: 以伊洛河流域伊河上游地区为例 [J]. *地理科学*, 2012, 32(5): 635–640. [LIANG Guo-fu, DING Sheng-yan. The Impacts of Climate and Landuse Changes on the Runoff Effects; Case in the Upper Reaches of the Yihe River, the Yiluo River Basin [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(5): 635–640.]
- [10] 李胜鹏, 柳建玲, 林津, 等. 基于 1980—2018 年土地利用变化的福建省生境质量时空演变 [J]. *应用生态学报*, 2020, 31(12): 4080–4090. [LI Sheng-peng, LIU Jian-ling, LIN Jin, *et al.* Spatial and Temporal Evolution of Habitat Quality in Fujian Province, China Based on the Land Use Change from 1980 to 2018 [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(12): 4080–4090.]
- [11] ZHANG X R, SONG W, LANG Y Q, *et al.* Land Use Changes in the Coastal Zone of China's Hebei Province and the Corresponding Impacts on Habitat Quality [J]. *Land Use Policy*, 2020, 99: 104957.
- [12] 王宏志, 宋明洁, 李仁东, 等. 江汉平原建设用地扩张的时空特征与驱动力分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(4): 416–421. [WANG Hong-zhi, SONG Ming-jie, LI Ren-dong, *et al.* Study on Spatial-temporal Pattern and Driving Forces of Construction Land Expansion in Jiangnan Plain from 1996 to 2005 [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2011, 20(4): 416–421.]
- [13] 史利江, 王圣云, 姚晓军, 等. 1994—2006 年上海市土地利用时空变化特征及驱动力分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(12): 1468–1479. [SHI Li-jiang, WANG Sheng-yun, YAO Xiao-jun, *et al.* Spatial and Temporal Variation Characteristics of Land Use and Its Driving Force in Shanghai City from 1994 to 2006 [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(12): 1468–1479.]
- [14] 田俊峰, 王彬燕, 程利莎, 等. 政策主导下的区域土地利用转型过程与机制: 以中国东北地区为例 [J]. *地理研究*, 2020, 39(4): 805–821. [TIAN Jun-feng, WANG Bin-yan, CHENG Li-sha, *et al.* The Process and Mechanism of Regional Land Use Transition Guided by Policy: A Case Study of Northeast China [J]. *Geographical Research*, 2020, 39(4): 805–821.]
- [15] 姚尧. 湖南省土地利用转型的时空演变特征及其与社会经济发展耦合协调机制研究 [D]. 武汉: 中国地质大学, 2018. [YAO Yao. Study on the Space-time Evolution Characteristics of Land Use Transformation in Hunan Province and Its Coupling Coordination Mechanism with Social and Economic Development [D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2018.]
- [16] BERTA A A, NOSZCZYK T, SOROMESSA T, *et al.* The InVEST Habitat Quality Model Associated with Land Use/Cover Changes: A Qualitative Case Study of the Winike Watershed in the Omo-Gibe Basin, Southwest Ethiopia [J]. *Remote Sensing*, 2020, 12(7): 1103.
- [17] 张国俊, 王珏晗, 吴坤津, 等. 中国三大城市群经济与环境协调度时空特征及影响因素 [J]. *地理研究*, 2020, 39(2): 272–288. [ZHANG Guo-jun, WANG Jue-han, WU Kun-jin, *et al.* Spatial-Temporal Characteristics and Influencing Factors of Coordination between Economic and Environmental Development of Three Major Urban Agglomerations in China [J]. *Geographical Research*, 2020, 39(2): 272–288.]
- [18] 韩瑞玲, 佟连军, 佟伟铭, 等. 经济与环境发展关系研究进展与述评 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(2): 119–124. [HAN Rui-ling, TONG Lian-jun, TONG Wei-ming, *et al.* Research Advances and Reviews of Relationship between Economic and Environmental Development [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(2): 119–124.]
- [19] STAGL S. Delinking Economic Growth from Environmental Degradation? A Literature Survey on the Environmental Kuznets Curve Hypothesis [J]. *SSRN Electronic Journal*, 2000: 1–24.
- [20] SHAFIK N. Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis [J]. *Oxford Economic Papers*, 1994, 46 (Suppl.1): 757–773.
- [21] GENE M. GROSSMAN, ALAN B. KRUEGER. Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement [J]. *National Bureau of Economic Research*, 1991.
- [22] 吴文恒, 牛叔文, 郭晓东, 等. 中国人口与资源环境耦合的演进分析 [J]. *自然资源学报*, 2006, 21(6): 853–861. [WU Wen-heng, NIU Shu-wen, GUO Xiao-dong, *et al.* Evolutional Analysis of Coupling between Population and Resource-environment in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(6): 853–861.]
- [23] 邹辉, 段学军. 长江经济带经济-环境协调发展格局及演变 [J]. *地理科学*, 2016, 36(9): 1408–1417. [ZOU Hui, DUAN Xue-jun. Pattern Evolution of Economy-environment Coordinated Development in the Changjiang River Economic Belt [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2016, 36(9): 1408–1417.]
- [24] 刘承良, 颜琪, 罗静. 武汉城市圈经济资源环境耦合的系统动力学模拟 [J]. *地理研究*, 2013, 32(5): 857–869. [LIU Cheng-liang, YAN Qi, LUO Jing. System Dynamics Simulation on the Coupling of Economy Resources Environment System in Wuhan Metropolitan Region [J]. *Geographical Research*, 2013, 32(5): 857–869.]
- [25] 史亚琪, 朱晓东, 孙翔, 等. 区域经济-环境复合生态系统协调发展动态评价: 以连云港为例 [J]. *生态学报*, 2010, 30(15): 4119–4128. [SHI Ya-qi, ZHU Xiao-dong, SUN Xiang, *et al.* A Dynamic Assessment for the Coordination between Economic Development and the Environment: A Case Study of Lianyungang, China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4119–4128.]
- [26] 张晓东, 池天河. 90 年代中国省级区域经济与环境协调度分析 [J]. *地理研究*, 2001, 20(4): 506–515. [ZHANG Xiao-dong, CHI

- Tian-he. Differentiating and Analysis of the Coordination Degree between Economic Development and Environment of Provinces (Regions) in China [J]. *Geographical Research*, 2001, 20 (4): 506-515.]
- [27] 李建新, 梁曼, 钟业喜. 长江经济带经济与环境协调发展的时空格局及问题区域识别 [J]. *长江流域资源与环境*, 2020, 29 (12): 2584-2596. [LI Jian-xin, LIANG Man, ZHONG Ye-xi. The Spatial-temporal Pattern of the Coordinated Development between Economy and Environment in the Yangtze River Economic Belt and Problem Areas Identification [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29 (12): 2584-2596.]
- [28] 李龙, 吴大放, 刘艳艳, 等. 基于 CA-Markov 模型的惠州市生态与经济协调度时空演变特征及模拟预测 [J]. *生态与农村环境学报*, 2020, 36 (2): 161-170. [LI Long, WU Da-fang, LIU Yan-yan, et al. Spatial and Temporal Evolution Characteristics and Simulation Prediction of Ecological and Economic Coordination Degree in Huizhou Based on a CA-Markov Model [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2020, 36 (2): 161-170.]
- [29] 周睿. 长江经济带沿线省市生态现代化综合评价 [J]. *现代经济探讨*, 2019 (9): 29-34. [ZHOU Rui. Comprehensive Evaluation of Ecological Modernization of Provinces and Cities along the Yangtze River Economic Belt [J]. *Modern Economic Research*, 2019 (9): 29-34.]
- [30] WU X T, WEI Y P, FU B J, et al. Evolution and Effects of the Social-ecological System over a Millennium in China's Loess Plateau [J]. *Science Advances*, 2020, 6 (41): eabc0276.
- [31] 谢高地, 甄霖, 鲁春霞, 等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法 [J]. *自然资源学报*, 2008, 23 (5): 911-919. [XIE Gao-di, ZHEN Lin, LU Chun-xia, et al. Expert Knowledge Based Valuation Method of Ecosystem Services in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2008, 23 (5): 911-919.]
- [32] 程建, 程久苗. 中国省际土地利用隐性形态时空格局、驱动力与转型模式 [J]. *中国土地科学*, 2017, 31 (12): 60-68, 97. [CHENG Jian, CHENG Jiu-miao. The Spatio-temporal Pattern, Driving Forces and Transformation Mode of Inter-Provincial Reces-sive Land Use Morphology in China [J]. *China Land Sciences*, 2017, 31 (12): 60-68, 97.]
- [33] 杨悦, 员学锋, 马超群, 等. 秦巴山区农户生计与乡村发展耦合协调分析: 以陕西省洛南县为例 [J]. *生态与农村环境学报*, 2021, 37 (4): 448-455. [YANG Yue, YUAN Xue-feng, MA Chao-qun, et al. Coupling Coordination Analysis of Farmers' Livelihoods and Rural Development in the Qinling-daba Mountains: A Case Study of Luonan County in Shaanxi Province [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2021, 37 (4): 448-455.]
- [34] 刘鹏凌, 周云, 黄靖辉, 等. 中国经济发展与生态环境耦合协调度研究 [J]. *西安建筑科技大学学报 (社会科学版)*, 2021, 40 (5): 93-100. [LIU Peng-ling, ZHOU Yun, HUANG Jing-hui, et al. A Study on the Coupling Coordination Degree between Economic Development and Ecological Environment in China [J]. *Journal of Xi'an University of Architecture & Technology (Social Science Edition)*, 2021, 40 (5): 93-100.]
- [35] 张青峰, 吴发启, 王力, 等. 黄土高原生态与经济系统耦合协调发展状况 [J]. *应用生态学报*, 2011, 22 (6): 1531-1536. [ZHANG Qing-feng, WU Fa-qi, WANG Li, et al. Coupling Coordinated Development of Ecological-economic System in Loess Plateau [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2011, 22 (6): 1531-1536.]
- [36] 彭苏萍, 毕银丽. 黄河流域煤矿区生态环境修复关键技术与战略思考 [J]. *煤炭学报*, 2020, 45 (4): 1211-1221. [PENG Su-ping, BI Yin-li. Strategic Consideration and Core Technology about Environmental Ecological Restoration in Coal Mine Areas in the Yellow River Basin of China [J]. *Journal of China Coal Society*, 2020, 45 (4): 1211-1221.]
- [37] 冯兆忠, 刘硕, 李品. 永定河流域生态环境研究进展及修复对策 [J]. *中国科学院大学学报*, 2019, 36 (4): 510-520. [FENG Zhao-zhong, LIU Shuo, LI Pin. Research Progress in Eco-environmental Issues and Eco-restoration Strategy in Yongding River Basin [J]. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*, 2019, 36 (4): 510-520.]
- [38] 罗小勇, 李斐, 张季, 等. 长江流域水生态环境现状及保护修复对策 [J]. *人民长江*, 2011, 42 (2): 45-47. [LUO Xiao-yong, LI Fei, ZHANG Ji, et al. Status of Water Eco-environment in Yangtze River Basin and Countermeasures for Its Protection and Restoration [J]. *Yangtze River*, 2011, 42 (2): 45-47.]

作者简介: 张冰 (1996—), 男, 河南漯河人, 研究方向为土地利用与地表过程。E-mail: charles_mac@foxmail.com

(责任编辑: 陈 昕)