

DOI: 10.5846/stxb202202240428

朱从谋, 苑韶峰, 杨丽霞. 主体功能区视角下国土空间格局演变及生态环境效应——以浙江省为例. 生态学报, 2023, 43(11): 4488–4501.

Zhu C M, Yuan S F, Yang L X. Evolution of territorial spatial pattern and associated eco-environmental effects from the perspective of major functional zones: a case study of Zhejiang Province. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(11): 4488–4501.

主体功能区视角下国土空间格局演变及生态环境效应 ——以浙江省为例

朱从谋¹, 苑韶峰^{1,*}, 杨丽霞²

¹ 浙江工商大学公共管理学院, 杭州 310018

² 浙江财经大学公共管理学院, 杭州 310018

摘要: 基于主体功能区视角分析国土空间格局演变特征及其生态环境效应可以有效评估规划对国土开发保护的指导作用, 为构建合理有序的国土空间格局和保护生态环境提供有益参考。以快速城镇化地区浙江省为例, 运用多期土地利用数据, 对浙江省主体功能区规划颁布前后两个时期(2000—2010 年和 2010—2020 年)国土空间格局演变进行比较研究, 并运用生态环境质量指数和生态贡献率对不同时期生态环境效应进行定量分析。结果表明: (1) 与 2000—2010 年相比, 2010—2020 年浙江省国土空间转换动态度下降, 其空间集聚性减弱, 重点开发区的高值集聚(H-H)区域占比由 22.3% 增加至 39.3%。(2) 2000—2010 年浙江省不同国土空间变化量的增减关系呈现显著的空间负相关性, 2010—2020 年其空间负相关性减弱, 局部空间自相关区域在各主体功能区具有显著空间差异。(3) 与 2000—2010 年相比, 2010—2020 年浙江省生态环境质量下降速度放缓, 生态环境提升区域面积增加, 生态环境恶化区域的分布由生态经济区和优化开发区转移至重点开发区。(4) 相比于 2000—2010 年, 2010—2020 年各主体功能区内农业生产空间与森林生态空间的转换导致生态环境质量改善/恶化的贡献率提升, 优化开发区和重点开发区的农业生产向城镇和农村生活空间转换导致生态环境恶化的贡献率下降。

关键词: 国土空间; 格局演变; 生态环境质量; 主体功能区; 浙江省

Evolution of territorial spatial pattern and associated eco-environmental effects from the perspective of major functional zones: a case study of Zhejiang Province

ZHU Congmou¹, YUAN Shaofeng^{1,*}, YANG Lixia²

¹ School of Public Administration, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China

² School of Public Administration, Zhejiang University of Finance & Economics, Hangzhou 310018, China

Abstract: Analyzing the evolution characteristics of territorially spatial pattern and its eco-environmental effects from the perspective of major functional zones can effectively evaluate the impact of major functional zone planning on the territorial development and protection, which is conducive to providing reference for building a rational and orderly territorially spatial pattern and protecting ecological environment. This paper took Zhejiang Province as an example, the multi-period remote sensing monitoring data of land use were used to analyze the evolution characteristics of territorially spatial pattern in Zhejiang Province before and after the promulgation of the major functional zone planning (2000—2010 and 2010—2020). The eco-environmental quality index and ecological contribution rate were used to quantitatively analyze its eco-environmental effects in different periods. The results show that: (1) Compared with 2000—2010, the conversion degree of territorial space in Zhejiang Province decreased significantly during 2010 and 2020, the spatial agglomeration of territorial

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41871181); 教育部人文社会科学规划基金项目(19YJA630099); 浙江工商大学研究生教育改革项目(YJG2020204)

收稿日期: 2022-02-24; **网络出版日期:** 2023-02-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shaofengyuan1975@163.com

space was weakened, and the proportion of high-high clustering areas in key development zones increased from 22.3% to 39.3% during the study period. (2) During 2000 and 2010, the relationships between the increase and decrease of different territorial spaces in Zhejiang Province showed significantly negative spatial correlations, and the negative spatial correlations of the relationships were weakened in 2010—2020. These areas with significant local spatial autocorrelation had obvious regional differences in each major functional zone. (3) Compared with 2000—2010, the declining rate of the eco-environmental quality in Zhejiang Province slowed down in 2010—2020, the eco-environmental enhancement areas increased, while the eco-environmental deterioration areas decreased, and the distribution of eco-environmental deterioration areas transferred from the ecological economic zone and optimized development zone to the key development zone. (4) Compared with 2000—2010, the contribution rate of eco-environmental quality improvement or deterioration due to the transformation between agricultural production space and forest ecological space in each major functional zone increased in 2010—2020. The contribution rate of eco-environmental deterioration due to the transformation of agricultural production to urban and rural living space in optimization development zones and key development zones decreased.

Key Words: territorial space; pattern evolution; eco-environmental quality; major functional zone; Zhejiang Province

国土空间是人类赖以生存、发展及进行其他活动的唯一空间载体^[1]。随着城镇化和工业化的快速推进,我国国土空间面临开发失序、结构失衡、功能退化等问题,对区域生态环境产生了较大影响,进而制约了区域土地可持续利用和社会经济协调发展^[2-3]。基于区域主体功能定位引导土地和空间资源科学配置,协调国土开发和保护行为,是解决中国经济高速增长下国土空间开发失序问题所提出的创新空间管制办法^[3-4]。中国于2010年实施《全国主体功能区规划》,按照开发方式划分优化开发区域、重点开发区域、限制开发区域和禁止开发区域四大类主体功能区对国土空间开发利用及空间布局进行了全局性、约束性和差异化安排^[5]。因此,从主体功能区视角探讨国土空间格局演变特征及生态环境效应,可以有效评估规划对区域国土空间开发和保护的指导作用,对于优化国土空间格局和保护生态环境具有重要意义。

国土空间格局是自然资源与人类活动交互耦合而形成的特定空间配置形态和秩序,其演变及生态环境效应体现了人地关系互动的过程和结果^[6]。国外相关研究聚焦土地利用/覆盖变化及其生态环境效应^[7]、土地利用功能评估^[8]、土地生态系统服务与可持续性等^[9],并通过制定空间规划和生态环境保护区划等手段优化管控国土空间^[10]。目前,中国国土空间已经从生产空间建设主导转向生产、生活、生态空间(“三生”空间)协调发展^[11-12]。随着国土空间规划提出统筹划定农业、城镇和生态空间(“三区”空间)的实践导向,面向“三区”空间的划分与优化成为国土空间格局研究的热点,研究内容包括国土空间开发适宜性评价和资源环境承载力评价^[13]、“三区”空间识别与划定^[14]、国土空间功能评价^[15]、“三区”空间冲突测度与土地利用优化配置^[16]等。国土空间格局演变是引发生态环境变化的主要因素之一,对区域地表生态环境和大气变化等均有显著影响^[17]。研究内容涉及生物生境质量、生态系统结构与功能价值、空气质量和PM2.5等^[18-19]。在土地利用生态效应测度方面,目前主要是运用植被净初级生产力指数^[20]、归一化植被指数等单一化指标或采用遥感生态指数^[21]、景观生态指数、生态系统服务价值模型、生态环境指数等综合指标进行定量测度^[22-23]。生态环境指数基于土地利用类型的生态差异性进行定量评估,将土地利用类型变化与区域生态环境通过生态赋值关联起来,该方法已经在生态效应研究中被广泛应用^[24]。然而,当前研究主要关注国土空间的数量和结构关系变化,对于不同功能空间变化的空间关系及其生态环境效应缺少探讨^[25];研究视角包括“三生”空间、生态安全、国土空间规划等,但缺乏主体功能区视角下国土空间格局演变及生态效应的差异比较。

主体功能区是国内外许多国家和地区为规范国土空间开发秩序和促进区域经济社会可持续发展而制定的一种空间规划^[4],其以国土自然条件为基础,综合考虑区域经济、社会、文化发展来定位区域主导功能以提升发展质量。中国的主体功能区划方案由樊杰等学者提出^[3],并在“十二五规划”中上升为“主体功能区战略”。主体功能区规划基于地域功能差异将国土空间划分为城市化地区、农产品主产区、重点生态功能区等进行差

异化的空间治理。一方面,该规划通过制定不同功能分区空间开发和管控政策直接改变区域土地要素配置结构和空间分布,进而影响区域生态环境^[26];另一方面,其通过制定不同功能分区的发展战略来协调和配置各类生产要素,使得区域人口和产业在空间上重新优化布局,间接影响区域国土空间开发格局以及生态环境^[27]。目前,有关主体功能区研究多集中在理论框架与评价体系构建^[28]、主体功能与可持续发展^[10]、政策绩效评价^[29]、城乡建设用地演变^[30]、土地利用效率以及生态功能评估等^[26,31],将主体功能区与国土空间格局变化及其生态环境效应相关联的研究尚不多见。从主体功能区视角探讨国土空间格局演变及其生态环境变化可为研究土地利用变化及生态效应问题提供新的视角,也有助于决策者掌握不同主体功能分区的土地利用和生态环境状况^[32],为完善主体功能区制度和构建国土空间开发保护新格局提供科学依据。

浙江省是中国经济最发达地区之一,长期以来人口的不断增长和人口城镇化的快速推进导致国土空间格局发生剧烈变化,空间资源环境约束趋紧,区域生态环境质量快速下降。为科学开发和保护国土空间,浙江省在 2013 年出台《浙江省主体功能区规划》规范国土空间开发秩序和完善开发政策。在此背景下,本文基于多期土地利用数据,对比分析主体功能区颁布前后(2000—2010 年和 2010—2020 年)各功能区内国土空间格局演变异同及其生态环境质量,以期完善主体功能区规划和构建合理有序的国土空间开发保护格局提供科学参考。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

浙江省位于中国东南沿海地区,素有“七山一水二分田”之说,地势由西南向东北倾斜,主要包括浙南山地、浙中盆地、浙北平原、东南沿海平原以及滨海岛屿等地形区。同时,浙江省是我国经济最发达的省份之一,2000—2020 年,浙江省常住人口城镇化率从 48.67% 提高到 72.17%,人均国内生产总值(GDP)从 1.34 万元增加到 11.04 万元。2013 年,浙江省在《全国主体功能区规划》基础上制定了《浙江省主体功能区规划》,规划年限为 2011—2020 年,将浙江省全域划分为优化开发区、重点开发区、农产品主产区、生态经济区和生态功能区 5 大主体功能分区(图 1)。其中,优化开发区主要分布在杭嘉湖-宁绍平原地区,面积为 17354.1km²,占浙江省陆域面积 17%;重点开发区主要分布在浙江东部沿海地区以及金华、衢州等市区,面积为 14216.3km²,占总面积的 16%;农产品主产区主要分布在嘉兴和衢州市,

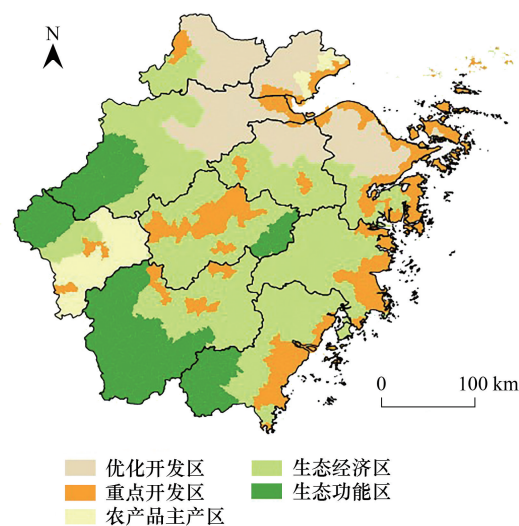


图 1 浙江省主体功能分区

Fig.1 Major functional zones of Zhejiang province

仅占陆域面积的 5%;生态经济区面积最大,达到 43676.4km²,主要分布在浙江省中部和南部低山区;重点生态功能区主要位于浙江省西部和南部山地,面积为 20380.7km²,具备水源涵养、水土保持、生物多样性等重要生态功能,起到生态安全屏障作用。在城镇化的持续推进以及国土资源环境约束趋紧的背景下,研究不同主体功能区的国土空间格局演变及其生态环境效应差异,可为优化区域国土空间开发保护格局提供参考依据。

1.2 数据来源

本文运用的三期浙江省土地利用数据(2000 年、2010 年和 2020 年)均来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<https://www.resdc.cn>),空间分辨率为 30m。其中,多期土地利用数据均以各期 Landsat TM/ETM 遥感影像为主要数据源,通过人工目视解译生成,综合精度达到 90% 以上。土地利用类型包括耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用土地 6 个一级类型以及 25 个二级类型。植被覆盖(NDVI)数据来源于全球变化科学

研究数据出版系统(<http://www.geodoi.ac.cn>),空间分辨率为 500m。浙江省主体功能区规划资料来源于浙江省自然资源厅(<http://zrzyt.zj.gov.cn/>),并运用 ArcGIS 10.6 软件对其进行矢量化。

2 研究方法

2.1 国土空间转换动态度

为揭示各类国土空间变化的活跃程度,本文同时考虑国土空间对应的转入和转出两个转化过程。该方法可以有效地将转入转出面积较大但相互抵消区域和转入转出面积变化较小区域区分开来,从而更精确地评估区域内国土空间变化的剧烈程度^[22]。在研究尺度上,本文构建 5km×5km 的格网作为研究单元,具体计算公式如下:

$$TZ = \frac{\sum_{i=1}^n \{(TA_{i,t_2} - UA_i) + (TA_{(i,t_1)} - UA_i)\}}{(\sum_{i=1}^n TA_{i,t_2}) \times (T_2 - T_1)} \quad (1)$$

式中, TZ 为国土空间动态变化度; $TA_{(i,t_1)}$ 和 $TA_{(i,t_2)}$ 分别为 i 类国土空间在期初和期末的面积(km^2); UA_i 为第 i 类国土空间未变化部分的面积(km^2); T_1 和 T_2 为研究期期初和期末时间(a)。

2.2 空间自相关分析

空间自相关分析包括单变量自相关和双变量空间自相关分析^[33]。单变量空间自相关分析用于识别单一要素在空间上的集聚或离散程度,双变量空间自相关可揭示空间单元属性与邻近单元其他属性的相关性,具体可用全局和局部 Moran's I 指数表征。本文采用单变量空间自相关测度国土空间转换动态度的空间集聚程度,运用双变量空间自相关揭示不同国土空间类型变化的空间相关性。单变量空间自相关的 Moran's I 指数计算公式为:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

式中, I 为单变量的空间自相关指数; x_i 和 x_j 为观测值; W_{ij} 为 i 和 j 的空间邻接权重矩阵; $\bar{x}$ 为观测值的平均值。 I 的取值介于 $[-1, 1]$,若 I 大于 0,则表明空间单元呈正相关;若 I 小于 0,则表明空间单元呈负相关; I 趋向于 0,则表明空间单元存在空间随机性。其中,在局部空间自相关中,H-H 或 L-L 表示相邻单元值存在高值或低值集聚,H-L 和 L-H 表示相邻单元值存在高低值集聚或低高值集聚。

双变量空间自相关的 Moran's I 指数计算公式为:

$$I_{kl}^i = \frac{x_k^i - \bar{x}_k}{\sigma^k} \times \sum_{j=1}^n (W_{ij} \times \frac{x_l^j - \bar{x}_l}{\sigma^l}) \quad (3)$$

式中, I_{kl}^i 为空间单元 i 的双变量局部空间自相关指数; x_k^i 表示空间单元 i 的第 k 类观测值; x_l^j 表示邻近空间单元 j 的第 l 类观测值; $\bar{x}_k$ 和 $\bar{x}_l$ 分别为空间单元的第 k 类和 l 类观测值的平均值; σ^k 和 σ^l 分别表示空间单元的第 k 类和 l 类观测值的方差。

2.3 “三区”空间分类与生态环境质量指数测算

国土空间是一个集生产、生活和生态功能于一体的多功能空间,由农业、城镇和生态空间构成^[34]。考虑到当前国土空间规划遵循的是“三区”空间分类体系,本文参考曲衍波等的国土空间分类体系^[25],以土地利用主导功能和次要功能相结合的原则构建研究区“三区”空间体系(表 1)。生态环境质量指数可以定量表征国土空间面积综合作用所具有的生态质量。不同的土地利用类型具有不同的生态环境质量,本文参考杨清可、苑韶峰等对长三角地区土地利用类型环境质量指数的分析结果^[24, 35],结合浙江省实际情况,对浙江省不同土地利用类型的生态环境质量进行科学赋值(表 1)。考虑到赋值法可能存在主观性,本研究采用归一化植

被覆盖指数(NDVI)进行进一步修正^[15]。具体计算公式为:

$$EV_i = \sum_{k=1}^n \frac{TA_{(i,k)}}{A_i} \times R_k \times NDVI \quad (4)$$

式中, EV_i 为空间单元*i*的生态环境质量综合指数, $TA_{(i,k)}$ 为空间单元*i*第*k*种土地利用类型的面积, A_i 为空间单元*i*的面积, R_k 为第*k*种土地利用类型的生态环境质量指数。根据采用自然断裂法将生态环境质量综合指数划分为4个等级:低质量区(0—0.3),中等质量区(0.3—0.6),较高质量区(0.6—0.8)和高质量区(0.8—1.0)。

表1 国土空间分类及其生态环境质量指数

Table 1 Classification of territorial space and its ecological environment quality index

一级分类 Primary classification	二级分类 Two-level classification	三级分类 Three-level classification	生态环境质量指数 Eco-environmental quality index
农业空间 Agricultural space	农业生产空间	水田、旱地	0.29
	农业生活空间	农村居民点	0.15
城镇空间 Urban space	城镇生活空间	城市建设用地	0.08
	城镇生产空间	厂矿、大型工业区以及交通道路用地	0.05
生态空间 Ecological space	水域空间	河渠、湖泊、水库坑塘、滩涂、滩地	0.55
	森林空间	有林地、灌木林、疏林地、其他林地	0.88
	草被空间	高覆盖草地、中覆盖草地、低覆盖草地	0.78
	其他空间	沼泽地、裸土地、裸岩石质地、其他	0.03

2.4 生态贡献率

生态贡献率是指某类国土空间变化所导致的区域生态质量的提升或恶化的贡献,可以量化各类国土空间之间的相互转换对区域生态环境的影响,从而探讨造成区域生态环境变化的主导因素,计算公式为:

$$EV = (EV_1 - EV_0) \times LA/A \quad (5)$$

式中, LEI 为生态环境质量综合指数, EV_1 和 EV_0 分别代表某类国土空间变化初期和末期的生态质量指数, LA 表示该变化类型的面积, A 表示研究区总面积。

3 结果分析

3.1 不同主体功能区国土空间演变总体特征

从图2和表2可看出,浙江省农业和城镇空间主要集中在浙北平原、中部盆地和东部沿海平原地区,生态空间主要分布在浙西丘陵、浙南山地和浙东丘陵地区。2000—2020年,农业和生态空间面积持续减少,分别减少3281.5km²和769.7km²;城镇空间快速扩张,共增加3160.5km²。从国土空间二级分类看,2000—2020年,由于社会经济和城镇化的快速发展,浙江省农业生产空间被大量占用以支持城镇建设,减少面积达到4100.60km²,尤其在2000—2010年间,其减少规模和减少速度明显;同时,随着新农村建设和乡村经济发展,农业生活空间年均增加2.04%,其中2000—2010年增加较快。研究期内,受到浙江省人口和经济快速增长驱动,城镇生活和生产空间分别增加2452.70km²和1774km²,2010年后二者增加速度放缓。研究期内,生态空间呈现先减少后增加的趋势,森林生态空间减少面积较多,达到943.40km²,水域和草被生态空间增加,分别增加131.10km²和45.10km²。综合来看,浙江省国土空间结构变化受到国家宏观政策、区域开发战略以及生态文明建设等影响显著。进入新世纪后,城镇空间增加明显,农业和生态空间减少;随着主体功能区规划的实施以及生态文明建设推进,2010年后城镇空间扩张速度和农业空间减少速度放缓,生态空间有所恢复。

表 2 2000—2020 年浙江省国土空间面积变化

Table 2 Area changes of territorial space in Zhejiang Province during 2000—2020

土地类型 Land types	2000 年/ km ²	2010 年/ km ²	2020 年/ km ²	变化面积 Change area/km ²		变化率 Change rate/%	
				2000—2010 年	2010—2020 年	2000—2010 年	2010—2020 年
农业生产空间 Agricultural production space	28280.0	25674.6	24179.4	-2605.4	-1495.2	-9.2	-5.8
农业生活空间 Agricultural living space	2010.5	2541.2	2829.6	530.7	288.4	26.4	11.3
城镇生活空间 Urban living space	1145.3	2531.8	3597.9	1386.5	1066.2	121.1	42.1
城镇生产空间 Urban production space	340.3	1424.7	2114.3	1084.4	689.6	318.6	48.4
水域生态空间 Water ecological space	2615.1	2809.8	2746.2	194.7	-63.6	7.4	-2.3
森林生态空间 Forest ecological space	65424.5	64808.8	64481.1	-615.8	-327.6	-0.9	-0.5
草被生态空间 Grassland ecological space	2245.6	2274.7	2290.7	29.1	16.0	1.3	0.7
其他生态空间 Other ecological space	39.6	39.8	37.1	0.1	-2.6	0.3	-6.7

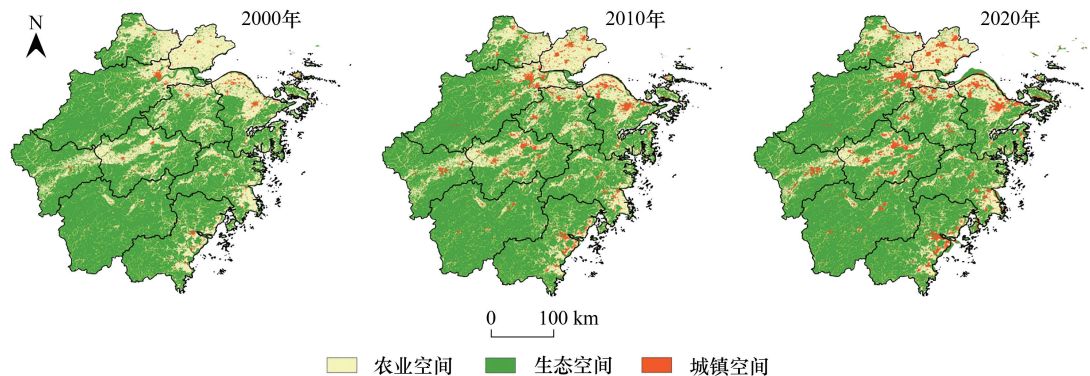


图 2 2000—2020 年浙江省国土空间格局

Fig.2 Territorial space pattern in Zhejiang Province during 2000 and 2020

从主体功能区的视角看(图 3),浙江省农业空间和城镇空间主要分布在优化开发区和重点开发区,生态空间主要位于生态功能区和生态经济区,体现了国土空间开发利用按照不同主体功能布局的梯级特征。2000—2010 年,浙江省农业空间在各个主体功能区均减少,在优化开发区减少规模和减少速度均明显。城镇空间在各个主体功能区增加,在优化开发区的增加规模最大,在生态功能区增加速度最快。生态空间在各个主体功能区呈现减少趋势,在生态经济区减少规模最大。2010—2020 年,各类空间在主体功能区的变化方向不变,变化规模和变化速度存在不同程度地下降趋势,生态空间在生态经济区的减少规模扩大,在农产品主产区和重点开发区的减少速度加快。总体上,主体功能区规划实施之后,各主体功能内农业、城镇和生态空间的变化幅度下降,国土空间开发秩序得到一定的优化调整。

3.2 不同主体功能区国土空间格局演变特征

3.2.1 国土空间转换动态度分析

采用公式(1)测算各空间单元的国土空间转换动态度,并运用单变量空间自相关分析探讨国土空间转换动态度的空间聚集特征,结果如表 3 和图 4 所示。2000—2010 年,浙江省国土空间转换动态度较高的地区主要集中在环杭州湾区域,在空间上呈现出显著的空间正相关性,有 53.5% 的 H-H 区域分布在优化开发区,表

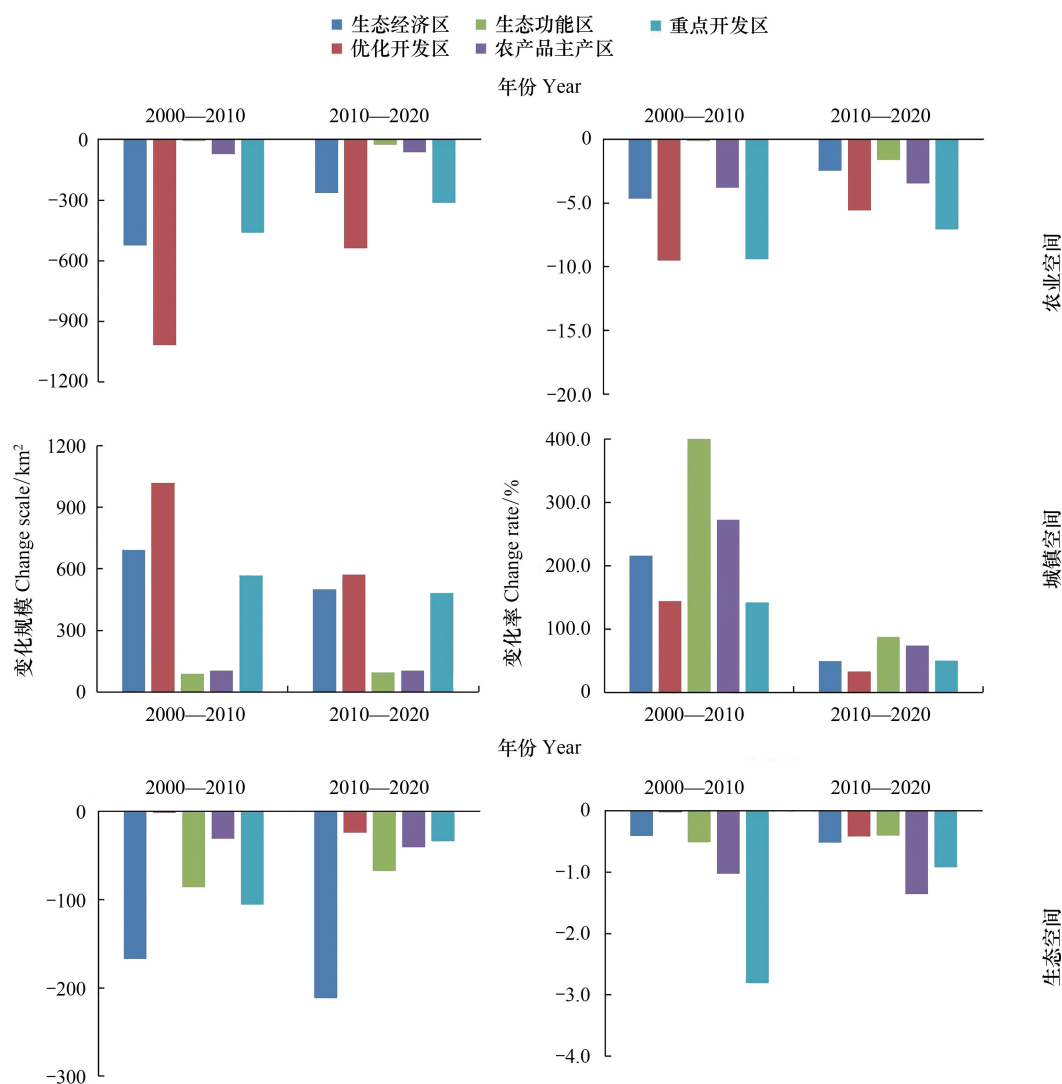


图3 2000—2010 和 2010—2020 年浙江省不同主体功能区各类国土空间面积变化

Fig.3 Area changes in territorial space of different major functional zones in Zhejiang Province from 2000 to 2010 and 2010 to 2020

明优化开发区国土空间转换最剧烈。这些地区历来是浙江省主要经济区和都市区,人口集聚增加和产业发展导致土地利用变化剧烈。国土空间转换动态度较低的地区主要分布在中部的生态经济区和南部的生态功能区,有 68.2%的 L-L 区域分布在生态经济区,表明生态经济区国土空间转换迟缓。2010—2020 年,浙江省国土空间转换动态度明显下降,全局 Moran's I 指数由 0.477 下降到 0.382,表明其空间正相关性减弱。在不同主体功能分区中,优化开发区的 H-H 区域占比减少 15.6%,重点开发区的 H-H 区域增加 17%,表明浙江省国土空间开发重心由优化开发区向重点开发区转移,符合区域主体功能定位;农产品主产区和生态功能区的 L-L 区域单元占比分别增加 0.9%和 6.3%,表明这些地区的国土空间变化趋缓。以上结果表明,浙江省国土空间格局变化受到主体功能区规划的显著影响,2010 年后国土空间开发重心转变为重点开发区,其他主体功能区的土地利用变化放缓,体现了主体功能区规划差异化的空间开发和保护策略。

3.2.2 国土空间演变的空间关系分析

采用双变量空间自相关分析不同国土空间数量变化的空间关系,结果如图 5 所示。整体上,不同国土空间变化量之间增减关系均呈现出显著的空间异质性。2000—2010 年,农业-城镇空间变化量负相关性最强,异质性区域规模最大。农业-城镇空间变化的 L-H 区域主要分布在优化开发区和重点开发区,表明这些区域表

表 3 不同主体功能区国土空间转换动态度的空间自相关区域面积占比

Table 3 Area ratio of spatial auto-correlated regions of conversion degree of territory space in different major functional zones

主体功能区 Major functional zones	年份 Year	优化开发区/% Optimized development zone	重点开发区/% Key development zone	农产品主产区/% Agricultural main production zone	生态经济区/% Ecological economic zone	生态功能区/% Ecological function zone
H-H 区域	2000—2010	53.5	22.3	3.8	19.5	0.8
H-H area	2010—2020	37.9	39.3	6.7	15.7	0.4
L-L 区域	2000—2010	1.7	5.5	4.6	68.2	20.1
L-L area	2010—2020	6.1	3.0	5.5	59.0	26.4
L-H 区域	2000—2010	34.4	31.3	1.6	32.0	0.8
L-H area	2010—2020	31.8	36.9	8.9	22.3	0.0
H-L 区域	2000—2010	4.0	4.0	0.0	60.0	32.0
H-L area	2010—2020	0.0	0.0	0.0	60.0	40.0
不显著区域	2000—2010	14.1	14.7	4.9	48.9	19.0
Insignificant area	2010—2020	16.1	13.1	3.8	50.7	16.2

H-H 区域: 高-高值集聚区域; L-L 区域: 低-低值集聚区域; L-H 区域: 低-高值集聚区域; H-L 区域: 高-低值集聚区域

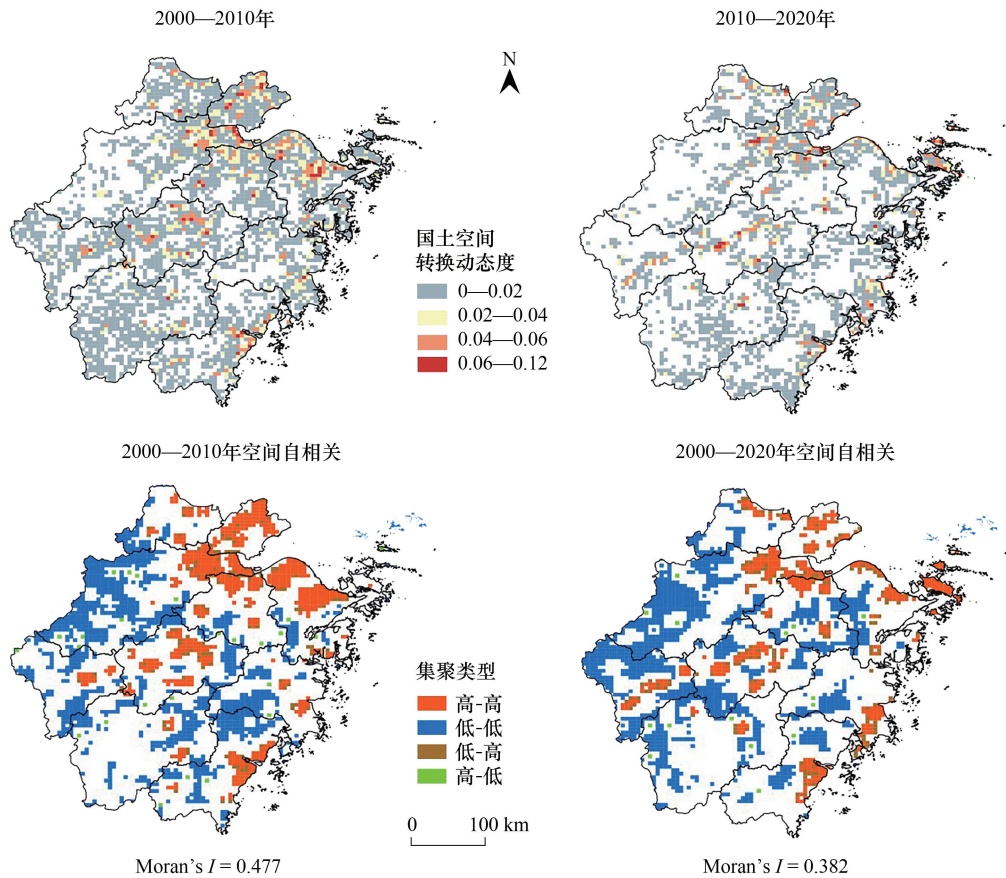


图 4 2000—2010 年及 2010—2020 年浙江省国土空间转换度的空间分布与空间集聚

Fig.4 Spatial distribution and spatial agglomeration of conversion degree of territory space in Zhejiang Province from 2000 to 2010 and 2010 to 2020

现出农业空间减少、城镇空间增加的互换关系;H-L 区域主要分布在生态经济区和生态功能区,表明这些区域的农业空间增加而城镇空间减少,这源于这些地区的工矿用地由于资源约束逐渐退出,在环境保护政策下转换为耕地或者生态用地。农业-生态空间和城镇-生态空间的空间负相关性较弱,异质性区域面积较小,

二者的空间分布格局相似。农业-生态空间和城镇-生态空间的 L-H 区域主要分布在优化开发区的北部以及生态功能区,表明这些区域的生态空间增加,农业和城镇空间减少,这源于浙北平原地区水网密布,部分耕地转换为养殖坑塘和湖泊水面用于水产养殖,使得该地区耕地有所减少,水域有所增加;H-L 区域主要分布在优化开发区和生态功能区的城市郊区,表明这些地区农业和城镇空间增加,生态空间减少,这些地区由于居民农产品需求和响应国家耕地占补平衡政策,导致农用地占用生态用地。

2010—2020 年,农业-城镇空间和农业-生态空间增减关系的空间负相关性减弱,城镇-生态空间增减关系的空间负相关性有所增强。具体地,农业-城镇空间变化量的异质性区域减少明显,尤其是优化开发区的 L-H 区域和生态经济区的 H-L 区域,表明这些区域的农业与城镇空间转换趋缓;农业-生态空间、城镇-生态空间的 L-H 区域大幅减少,表明这些区域农业和城镇空间减少、生态空间增加的趋势减弱。综合来看,2000—2010 年国土空间关系表现为城镇空间和生态空间占用农业空间,耕地保护面临严重威胁;2010—2020 年,国土空间关系表现为生态空间反哺农业空间,社会经济发展对国土空间格局的干扰减弱。

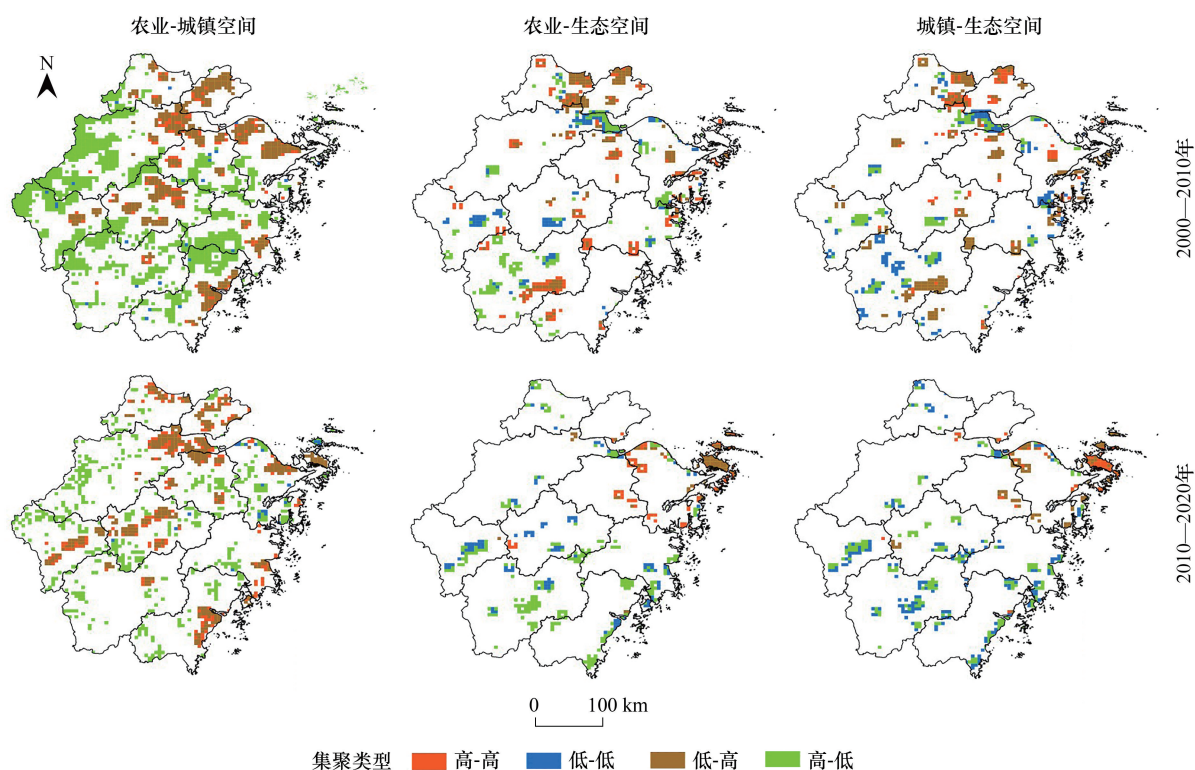


图 5 农业-城镇-生态空间演变的双变量局部空间自相关

Fig.5 Bivariate local spatial autocorrelation of agriculture-urban-ecology space evolution

3.3 不同主体功能区生态环境质量演变特征

从时序上看(表 4),浙江省生态环境质量指数从 2000 年的 0.679 下降到 2020 年的 0.665,整体质量水平下降,其中 2000—2010 年下降较快。在不同主体功能区内,生态功能区的生态环境质量指数最高,其次是生态经济区,优化开发区的生态环境质量较差,符合各主体功能区的功能定位。2000—2010 年,各主体功能区的生态环境质量均呈现不同程度的下降,其中重点开发区下降幅度最大,为 3.72%。2010—2020 年,各主体功能区的生态环境质量的下降速度放缓,优化开发区的生态环境质量得到好转。

在空间分布上(图 6 和图 7),浙江省生态环境质量指数总体呈现由北向南递增的空间格局。较高质量区和高质量区域主要分布在浙西丘陵和浙南山地区,中等质量区分布在浙中盆地以及东部沿海平原,低质量区主要集中在北部杭嘉湖平原以及环杭州湾一带。2000—2010 年,生态环境质量恶化区域集中分布在生态经

济区和优化开发区,生态环境质量提升区域分布在生态经济区和重点开发区。2010—2020 年,生态经济区和生态功能区的生态环境恶化区域面积减少,重点开发区的生态环境恶化区域增加,浙江中部的生态经济区和重点开发区的生态环境提升区域减少。总体而言,浙江省生态环境质量存在南部和中部提升、北部恶化两种趋势,在实施主体功能区规划后(2010—2020 年),生态环境质量恶化趋势得到有效遏制,各主体功能区内部部分区域生态环境质量得到修复提升。

表 4 浙江省不同主体功能区生态环境质量值及其变化

Table 4 Ecological environment quality and its change in different major functional zones in Zhejiang Province

主体功能区 Major functional zones	2000 年	2010 年	2020 年	2000—2010 年变化率/% Change rate in 2000—2010	2010—2020 年变化率/% Change rate in 2000—2010
优化开发区 Optimized development zone	0.481	0.466	0.461	-3.12	-1.07
重点开发区 Key development zone	0.524	0.505	0.493	-3.72	-2.38
农产品主产区 Agricultural main production zone	0.655	0.647	0.641	-1.22	-0.93
生态经济区 Ecological economic zone	0.747	0.742	0.739	-0.67	-0.40
生态功能区 Ecological function zone	0.819	0.815	0.812	-0.49	-0.37
平均值 Average value	0.679	0.670	0.665	-1.33	-0.75

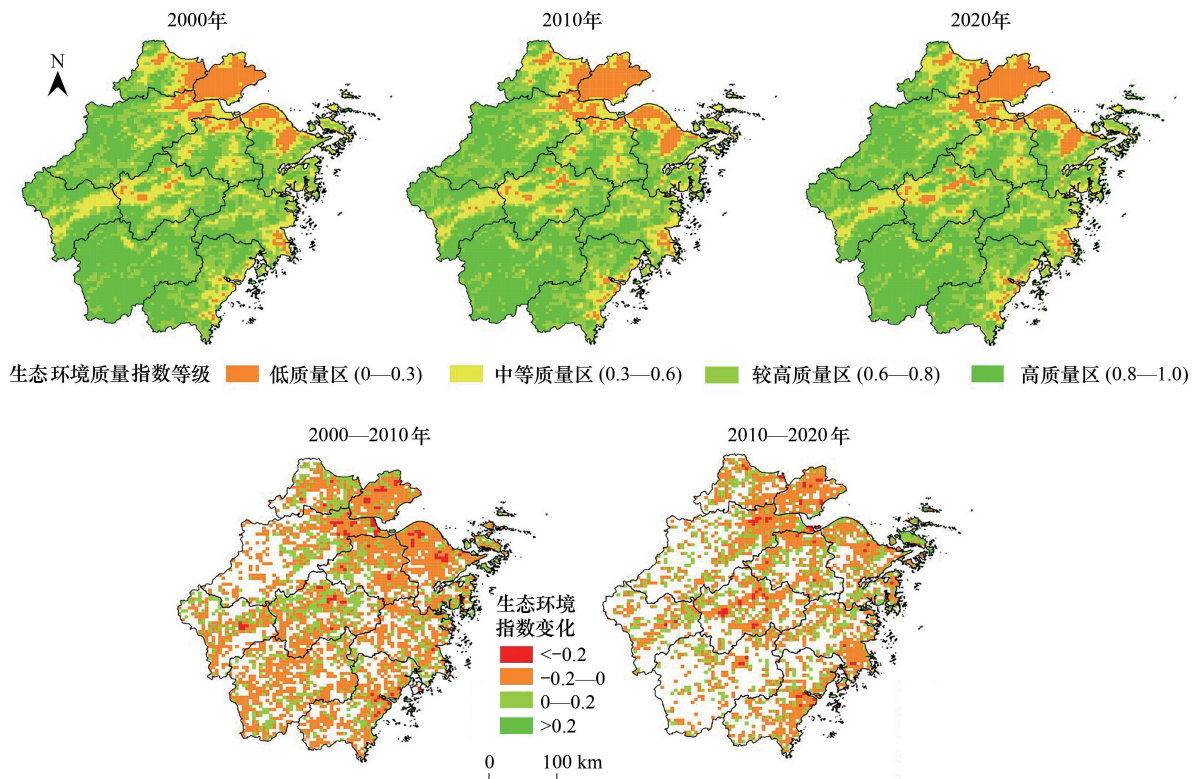


图 6 2000—2020 年浙江省生态环境质量时空分布

Fig.6 Temporal-spatial distribution of ecological environment quality in Zhejiang Province during 2000 and 2020

3.4 不同主体功能区影响生态环境质量的国土空间转换类型

图 8 和图 9 显示了浙江省主体功能区实施前后各主体功能区影响生态环境质量变化的国土空间转换类

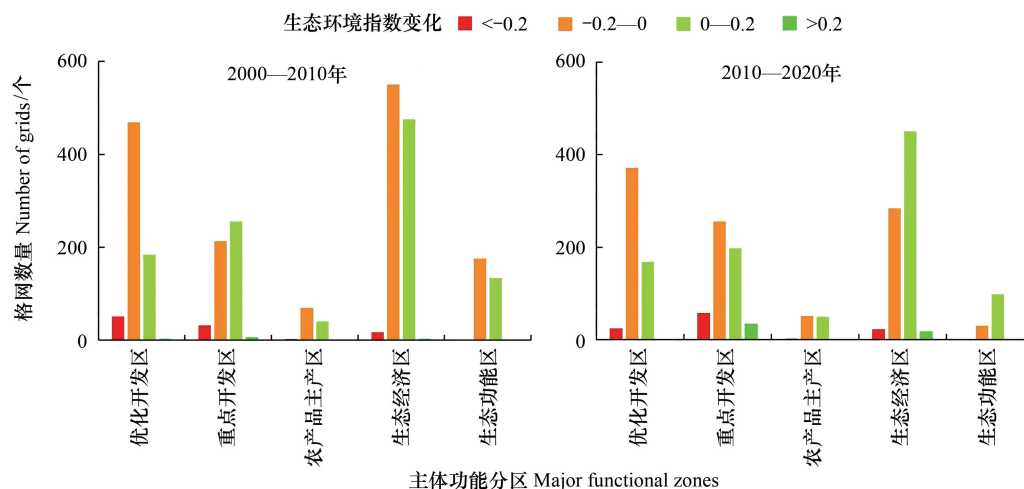


图7 2000—2010年和2010—2020年浙江省不同主体功能区生态环境质量变化

Fig.7 Changes in ecological environment quality of different major functional zones in Zhejiang Province from 2000 to 2010 and 2010 to 2020

型及其贡献率。可以看出,农业生产空间转为森林生态空间和水域生态空间是浙江省生态环境质量提升的主导因素;农业生产空间转为城镇生活空间、农业生产空间和森林生态空间转为城镇生产空间是造成浙江省生态环境质量恶化的主要原因。不同主体功能区内导致生态环境质量变化的国土空间转换类型存在差异。

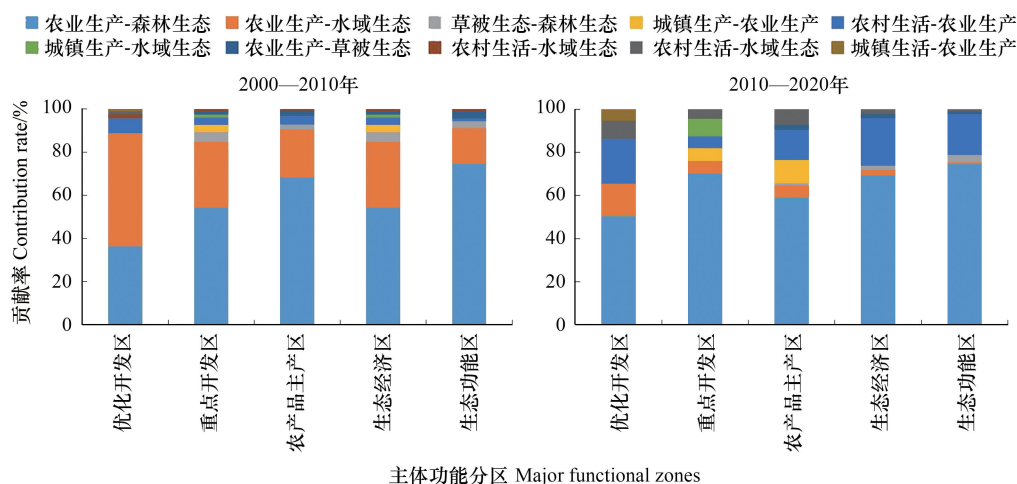


图8 2000—2010年和2010—2020年导致生态环境质量提升的国土空间转换贡献率

Fig.8 Contribution rate of territorial space conversion resulting in deterioration of ecological environment quality from 2000 to 2010 and 2010 to 2020

2000—2010年,优化开发区生态环境质量提升的主要因素是农业生产空间向水域生态空间和森林生态空间转变;在其他主体功能区,农业生产空间向林地生态空间转变对提升地区生态环境质量起到主导作用。导致各主体功能区生态环境质量恶化的国土空间转换类型呈现多样化特征,农业生产空间向城镇空间和农村生活空间的转变是导致优化开发区和重点开发区生态环境恶化的主导因素;在农产品主产区、生态经济区和生态功能区内,森林生态和水域生态空间向农业生产空间转变成为导致区域生态环境恶化的主要原因。2010—2020年,导致浙江省区域生态环境质量变化的国土空间转换类型趋向单一化。其中,导致各主体功能区的生态环境质量提升的主导因素为农业生产空间向森林生态空间转变,农业生产空间向水域生态空间转变

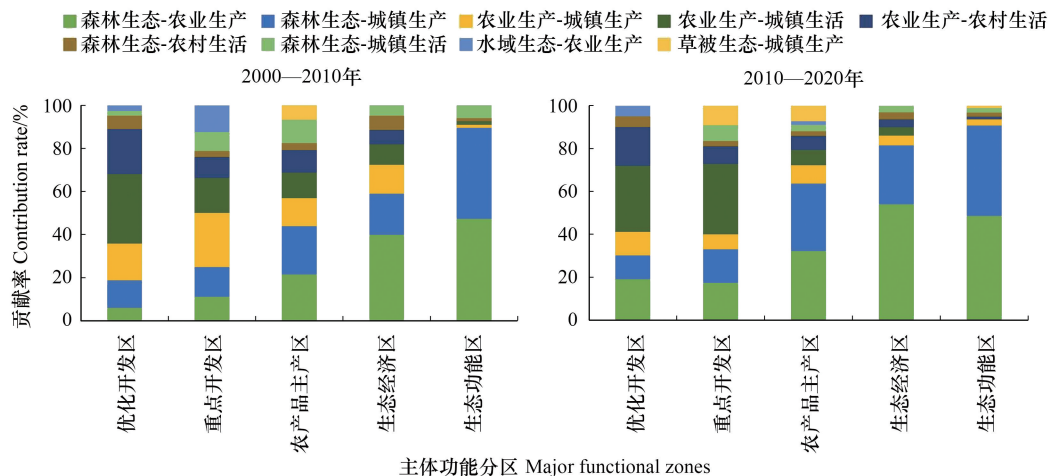


图9 2000—2010年和2010—2020年导致生态环境质量恶化的国土空间转换贡献率

Fig.9 Contribution rate of territorial space conversion resulting in improvement of ecological environment quality from 2000 to 2010 and 2010 to 2020

的贡献率明显下降,各主体功能区内农村生活空间向农业生产空间转变的贡献率提升,尤其是在生态经济区和优化开发区。导致各主体功能区生态环境质量恶化的因素贡献率变化不大,其中森林生态空间转变为农业生产空间导致生态环境恶化的贡献率在各主体功能区内均有提升,农业生产空间向城镇生活空间、农村生活空间转变的贡献率有所下降。

4 结论与讨论

4.1 讨论

本研究基于主体功能区视角揭示了浙江省国土空间格局演变过程及其生态环境效应,为土地利用/覆盖变化及生态效应研究的提供了新的视角。同时,本研究采用空间自相关分析方法探讨了不同功能空间变化的空间关联格局,并结合 NDVI 指数进一步完善了生态环境指数测度方法,为相关研究提供了方法借鉴。本研究发现,浙江省在 2000—2010 年土地利用变化动态度较大,生态环境质量快速下降。这主要是由于进入新世纪后,国家加快实施东部优先发展战略,快速工业化和城镇化导致城镇生产和生活空间快速扩张,侵占农业生产和自然生态空间,加上政府土地管理政策对生态空间重视不够,导致区域生态环境质量下降明显。2010—2020 年,随着主体功能区规划实施、生态文明建设逐步推进,浙江省提出建设“绿色浙江”和“生态省”的发展战略,诸如退耕还林还草、“五水共治”“千村示范、万村整治”等生态工程陆续实施,该研究期内浙江省土地利用动态度有所下降,城镇空间对农业、生态空间的侵占减少,生态环境质量持续恶化的趋势得到遏制。

同时,在空间上,本研究发现国土空间转换的重心由优化开发区向重点开发区转移,优化开发区和生态经济区的生态环境质量得到改善,这表明主体功能区规划对规范国土空间开发秩序、保护重点生态功能区域起到了积极作用,这与刘纪远、吴丹等的研究结论一致^[30-31]。此外,本研究发现,2010—2020 年各主体功能区的农业空间与生态空间的转换导致生态环境恶化或提升的贡献率提升,这表明主体功能区颁布后,城镇化进程已由单纯的城镇空间扩张向“三区”空间结构优化调整方向发展。值得注意的是,后城镇化阶段农业与生态空间可能存在潜在冲突,未来可进一步加强主体功能区规划与国土空间规划的衔接,以“三区三线”深化落实区域主体功能定位^[13],推动空间治理政策的精准落地,严格落实耕地保护和生态文明建设。

然而,由于主体功能区规划是具有全局影响的综合性政策,其对国土空间格局和生态环境的影响复杂。本文仅将其作为一种研究视角对比分析主体功能区颁布前后以及各主体功能区的国土空间格局及生态环境变化特征,并没有采用定量模型解析具体的作用机制。未来需进一步借鉴定量的政策评价方法对主体功能区

规划的土地利用变化及生态效应进行更深入的研究。

4.2 结论

本研究从主体功能区视角,采用多期土地利用数据和空间格局变化分析方法,定量分析了 2000—2020 年浙江省国土空间格局变化及其生态环境效应,以期构建合理有序的国土空间开发保护格局和保护生态环境提供有益参考。研究结果表明:

(1) 2010—2020 年与 2000—2010 年相比,浙江省农业空间和城镇空间在各个主体功能区的变化规模 and 变化速度均有不同程度的下降。国土空间转换动态度明显下降,空间集聚性减弱,土地利用动态度高值聚集(H-H)区域在优化开发区减少最多,重点开发区增加最快。

(2) 2000—2010 年浙江省不同国土空间变化量的增减关系呈现显著的空间负相关性,2010—2020 年其空间负相关性减弱。农业-城镇空间变化的空间异质性最强,其低-高(L-H)区域主要分布在优化开发区和重点开发区,高-低(H-L)区域主要分布在生态经济区和生态功能区;农业-生态空间和城镇-生态空间的空间异质性较弱,二者的低-高(L-H)区域和高-低(H-L)区域主要分布在优化开发区和生态功能区。

(3) 2000—2020 年浙江省生态环境质量指数从 0.679 下降为 0.665,其中 2010—2020 年下降速度趋缓,重点开发区下降明显,优化开发区下降趋势得到遏制。在空间上,浙江省生态环境质量呈现由北向南递增的分布格局。与 2000—2010 年相比,2010—2020 年生态环境下降区域减少,重心由生态经济区和优化开发区转移至重点开发区;提升区域有所增加,主要分布在生态经济区和优化开发区。

(4) 与 2000—2010 年相比,2010—2020 年导致各主体功能区生态环境质量变化的用地转移类型更加集中。在生态环境质量正效应中,农业生产空间向林地生态空间转变的贡献率提升,优化开发区和重点开发区农村生活空间转变为农业生产空间的贡献率提升。在生态环境负效应方面,森林生态空间向农业生产空间转变的贡献率有所提升,优化开发区、重点开发区和农产品主产区的农业生产空间向城镇、农村生活空间转变贡献率下降。

参考文献(References):

- [1] Liu Y S, Zhou Y. Territory spatial planning and national governance system in China. *Land Use Policy*, 2021, 102: 105288.
- [2] Liu Y S, Fang F, Li Y H. Key issues of land use in China and implications for policy making. *Land Use Policy*, 2014, 40: 6-12.
- [3] 樊杰. 我国主体功能区划的科学基础. *地理学报*, 2007, 62(4): 339-350.
- [4] 樊杰. 中国主体功能区划方案. *地理学报*, 2015, 70(2): 186-201.
- [5] Fan J, Sun W, Zhou K, Chen D. Major Function Oriented Zone: new method of spatial regulation for reshaping regional development pattern in China. *Chinese Geographical Science*, 2012, 22(2): 196-209.
- [6] 方创琳. 中国城市发展格局优化的科学基础与框架体系. *经济地理*, 2013, 33(12): 1-9.
- [7] Borrelli P, Robinson D A, Fleischer L R, Lugato E, Ballabio C, Alewell C, Meusburger K, Modugno S, Schütt B, Ferro V, Bagarello V, Van Oost K, Montanarella L, Panagos P. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 2017, 8(1): 2013.
- [8] Verburg P H, van de Steeg J, Veldkamp A, Willemsen L. From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization. *Journal of Environmental Management*, 2009, 90(3): 1327-1335.
- [9] Nilsson M, Griggs D, Visbeck M. Map the interactions between sustainable development goals. *Nature*, 2016, 534(7607): 320-322.
- [10] Hersperger A M, Langhamer D, Dalang T. Inventorying human-made objects: a step towards better understanding land use for multifunctional planning in a periurban Swiss landscape. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 105(3): 307-314.
- [11] 黄安, 许月卿, 卢龙辉, 刘超, 张益宾, 郝晋珉, 王惠. “生产-生活-生态”空间识别与优化研究进展. *地理科学进展*, 2020, 39(3): 503-518.
- [12] 黄金川, 林浩曦, 漆潇潇. 面向国土空间优化的三生空间研究进展. *地理科学进展*, 2017, 36(3): 378-391.
- [13] 魏旭红, 开欣, 王颖, 郁海文. 基于“双评价”的市县级国土空间“三区三线”技术方法探讨. *城市规划*, 2019, 43(7): 10-20.
- [14] 柯新利, 肖邦勇, 郑伟伟, 马艳春, 李红艳. 城镇-农业-生态空间划定的多情景模拟. *地球信息科学学报*, 2020, 22(3): 580-591.
- [15] Zhu C M, Dong B Y, Li S N, Lin Y, Shahtahmassebi A, You S X, Zhang J, Gan M Y, Yang L X, Wang K. Identifying the trade-offs and synergies among land use functions and their influencing factors from a geospatial perspective: a case study in Hangzhou, China. *Journal of Cleaner*

Production, 2021, 314: 128026.

- [16] Jin G, Chen K, Wang P, Guo B S, Dong Y, Yang J. Trade-offs in land-use competition and sustainable land development in the North China Plain. *Technological Forecasting and Social Change*, 2019, 141: 36-46.
- [17] 陈万旭, 李江风, 曾杰, 冉端, 杨斌. 中国土地利用变化生态环境效应的空间分异性与形成机理. *地理研究*, 2019, 38(9): 2173-2187.
- [18] 董建红, 张志斌, 笪晓军, 张文斌, 冯雪丽. “三生”空间视角下土地利用转型的生态环境效应及驱动力——以甘肃省为例. *生态学报*, 2021, 41(15): 5919-5928.
- [19] 王春晓, 何建华, 刘殿锋, 于秀波, 石青青. 土地利用变化对鸟类栖息地连通性的影响——以鄂州市为例. *生态学报*, 2022, 42(10): 4197-4208.
- [20] 孙庆龄, 李宝林, 李飞, 张志军, 丁玲玲, 张涛, 许丽丽. 三江源植被净初级生产力估算研究进展. *地理学报*, 2016, 71(9): 1596-1612.
- [21] 潘洪义, 李加安, 张琴. 基于 RSEI 的地震区生态环境质量恢复研究——以汶川县为例. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(3): 745-757.
- [22] 刘永强, 廖柳文, 龙花楼, 秦建新. 土地利用转型的生态系统服务价值效应分析——以湖南省为例. *地理研究*, 2015, 34(4): 691-700.
- [23] 黄天能, 张云兰. 基于“三生空间”的土地利用功能演变及生态环境响应——以桂西资源富集区为例. *生态学报*, 2021, 41(1): 348-359.
- [24] 杨清可, 段学军, 王磊, 金志丰. 基于“三生空间”的土地利用转型与生态环境效应——以长江三角洲核心区为例. *地理科学*, 2018, 38(1): 97-106.
- [25] 曲衍波, 王世磊, 朱伟亚, 平宗莉. 黄河三角洲国土空间演变的时空分异特征与驱动力分析. *农业工程学报*, 2021, 37(6): 252-263.
- [26] 姜海, 陈磊. 县域国土空间主体功能区土地资源空间配置效率及管制策略——以江苏赣榆为例. *自然资源学报*, 2021, 36(9): 2424-2436.
- [27] 李涛, 廖和平, 潘卓, 李靖, 杨伟, 潘美含. 主体功能区国土空间开发利用效率评估——以重庆市为例. *经济地理*, 2015, 35(9): 157-164.
- [28] 樊杰. 我国国土空间开发保护格局优化配置理论创新与“十三五”规划的应对策略. *中国科学院院刊*, 2016, 31(1): 1-12.
- [29] 郭培坤, 王勤耕. 主体功能区环境政策体系构建初探. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(S1): 34-37.
- [30] 刘纪远, 刘文超, 匡文慧, 宁佳. 基于主体功能区规划的中国城乡建设用地扩张时空特征遥感分析. *地理学报*, 2016, 71(3): 355-369.
- [31] 吴丹, 邹长新, 林乃峰, 徐梦佳. 基于主体功能区规划的长江经济带生态状况变化. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(8): 1676-1682.
- [32] 朱跃, 杨兴柱, 杨周, 郑义刚, 杨万明, 顾寒月. 主体功能视角下皖南旅游区乡村多功能演化特征与影响机制. *地理科学*, 2021, 41(5): 815-823.
- [33] 苑韶峰, 朱从谋, 杨丽霞, 徐建春. 人口半城镇化与产业非农化的时空耦合分析——以浙江省 67 县市为例. *经济地理*, 2017, 37(3): 144-151.
- [34] 刘超, 许月卿, 刘焱序, 孙丕苓, 黄安, 周建. 基于系统论的土地利用多功能分类及评价指标体系研究. *北京大学学报: 自然科学版*, 2018, 54(1): 181-188.
- [35] 苑韶峰, 唐奕钰, 申屠楚宁. 土地利用转型时空演变及其生态环境效应——基于长江经济带 127 个地级市的实证研究. *经济地理*, 2019, 39(9): 174-181.