

中国不透水面变化与社会经济协调发展的耦合关系

冯智涛^{1,2}, 刘珍珠^{1,2}

[1.中山大学 地理科学与规划学院, 广东 广州 510275; 2.南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海), 广东 珠海 519000]

摘要: [目的] 探究 21 世纪以来中国不透水面与社会经济耦合协调发展动态, 解析景观城市化与社会经济发展的矛盾与协同的时空格局, 为开展差异化的区域水土保持和城乡发展策略制定提供科学依据。[方法] 运用脱钩模型和耦合协调度模型开展 2000—2018 年中国 355 个市域单元的不透水面与社会经济耦合协调发展的时空变化特征。[结果] ① 中国不透水面持续扩张与社会经济发展整体上基本不同步, 存在显著的区域差异。2000—2018 年不透水面扩张总体上落后于经济发展, 但东北和华北地区不透水面扩张速度相较于经济增长速度经历了从落后到超前的过程, 弱脱钩类型占比下降了 38.59%, 负脱钩类型占比上升了 30.70%。不透水面与人口的耦合关系中, 全国市域尺度的不透水面扩张基本超前于人口增长, 其中华中、西北和西南等地最为显著, 导致强负脱钩类型占比增加了 23.94%。② 2000—2018 年不透水面与社会经济的耦合协调度随不透水面变化率的上升而降低。在增长 25% 以下的不透水面变化率区间内, 不透水面—经济与不透水面—人口的耦合协调关系, 表现为显著的拮抗关系。[结论] 21 世纪以来中国景观城市化过程与社会经济的动态关系趋向不协调, 未来应严格控制城乡不透水面向外蔓延, 提高土地集约利用程度, 促进城乡可持续发展。

关键词: 不透水面; 社会经济; 脱钩模型; 耦合协调度模型; 中国

文献标识码: A **文章编号:** 1000-288X(2021)06-0257-08 **中图分类号:** P748, F291, TP79

文献参数: 冯智涛, 刘珍珠. 中国不透水面变化与社会经济协调发展的耦合关系[J]. 水土保持通报, 2021, 41(6): 257-264. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.06.033; Feng Zhitao, Liu Zhenhuan. Coupling relation between impervious surface area change and socio-economic development in China [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(6): 257-264.

Coupling Relation Between Impervious Surface Area Change and Socio-economic Development in China

Feng Zhitao^{1,2}, Liu Zhenhuan^{1,2}

[1. School of Geography and Planning, Sun Yat-Sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China;

2. Southern Marine Science and Engineering Guangdong Laboratory (Zhuhai), Zhuhai, Guangdong 475004, China]

Abstract: [Objective] The dynamics of the coupling and coordinated development of impervious surface area (ISA) and socio-economic development in China since the 21st century was explored, and the spatiotemporal pattern of the contradictions and synergies between landscape urbanization and socio-economic development was analyzed, in order to provide a scientific basis for soil and water conservation, and the formulation of differentiated regional urban and rural development strategies. [Methods] The decoupling model and coupling coordination degree model were used to investigate the spatiotemporal variation characteristics of ISA and socio-economic coupling coordinated development in 355 prefectures in China from 2000 to 2018. [Results] ① The continuous expansion of ISA in China was inconsistent with the socio-economic development, which showed a significant regional difference. From 2000 to 2018, in the relationship of ISA-economy in each prefecture, the ISA growth generally lagged behind the economic development, except for northeast and north of Chinese prefectures experienced a process from lagging to overtake. Meanwhile, the proportion of

收稿日期: 2021-04-13

修回日期: 2021-07-13

资助项目: 南方海洋科学与工程广东省实验室(珠海)创新团队建设项目“海洋人文地理创新团队项目”(311021018)

第一作者: 冯智涛(1996—), 男(汉族), 广东省广州市人, 硕士研究生, 研究方向为城市景观生态。Email: fengzht5@mail2.sysu.edu.cn。

通讯作者: 刘珍珠(1982—), 男(汉族), 江西省泰和县人, 博士, 副教授, 主要从事景观生态与土地利用研究。Email: liuzh39@mail.sysu.edu.cn。

weak decoupling type decrease by 38.59% and the proportion of negative decoupling type increased by 30.70%. In the relationship of ISA-population in each prefecture, ISA expansion rate was ahead of the population growth in most of prefectures, especially in central, northwest and southwest of Chinese prefectures. Moreover, the proportion of strong negative decoupling type increased by 23.94%. ② From 2000 to 2018, the degree of coupling coordination in ISA-economy-population decreased, while the expansion rate of ISA increased. As shown in the triangle diagram, the coupling coordination relationship between ISA-economy and ISA-population showed an antagonistic relationship, in a special region of ISA below 0.25. [Conclusion] Since the 21 st century, the dynamic relationship among ISA-economy-population in China tended to be uncoordinated. In the future, it is necessary to strictly control the outward spread of impervious surface in urban and rural areas, improve the land use intensity, and promote the sustainable development of urban and rural areas.

Keywords: impervious surface area; socioeconomic development; decoupling model; coupling coordination degree model; China

城市可持续发展是适应景观城市化过程的内外变化,通过生态、经济与社会的共同努力实现^[1],强调平衡社会、经济和环境 3 个维度的可持续性,减少资源消耗和环境破坏,资源利用效率最大化^[2]。随着社会经济的快速发展,中国大量自然景观转变成混凝土、沥青等组成的不透水面景观,景观城市化的速度前所未有^[3-4],其实质也是人口、财富、技术和服务在空间上的聚集,以及生活、生产和组织方式的转变^[5]。明晰景观城市化过程中的不透水面扩张与社会经济发展的耦合协调度及其空间分异特征,有助于制定差异化的城市发展政策,促进城市可持续发展。

不透水面指数是指示景观城市化的重要指标^[4],经济水平与人口数量是表征社会经济系统运行的关键指标^[6-7]。不透水面变化与社会经济活动具有密切联系,不透水面增长是人类为满足社会经济发展所产生的空间需求而对地表改造的过程^[8-9],不透水面增长又能吸引更多社会经济活动的集聚,成为推动区域社会发展的重要途径^[10-12]。然而不透水面与社会经济发展的耦合关系不一定同步。如果社会经济增长过快,会引起生产、生活空间的不足,造成建成环境拥挤,居民生存环境恶化^[13];如果不透水面增长过快,超出区域生态系统的承载能力,会降低区域人居环境和居民的健康福祉,遏制社会经济发展^[14]。景观城市化过程对区域热环境^[15]、大气质量^[16]、地表径流^[17]、水质^[18]、生物多样性及水土保持等^[19]产生深远影响,进而反馈影响区域人居环境和居民的健康福祉^[20]。不透水面扩张是一种典型的景观城市化过程,然而,中国市域层面的城市不透水面扩张是否与社会经济的耦合协调发展迄今尚不明晰^[14,21]。

耦合是指要素之间存在相互作用而彼此影响的现象,耦合协调指要素间通过相互作用而协同促

进^[22]。在度量耦合协调关系的方法上,灰色关联度模型^[23]、弹性系数模型^[24]、异速增长模型等^[25]被广泛使用。近年来,脱钩模型常用来度量两两之间的耦合关系,如经济增长与环境污染^[26]、农业化学投入与农业经济增长^[27]、旅游发展与多维贫困等^[28];而耦合协调度模型度量多个对象的耦合协调关系,如生产、生活与生态空间功能等^[29]三维协调关系。不透水面与社会、经济之间既存在在两两耦合,又存在三维协调关系。经济增长促使资本加大投入,促进不透水面增长^[12,30];人口数量上升引起居民住房需求增长,促进住房建设^[31],导致不透水面增长;此外,经济发展、人口增加还会引起交通运输需求增长,促使不透水面增长^[32]。反过来,不透水面可作为生产要素吸引投资,促进经济发展^[33]。不透水面的建成改善生活居住条件,促进人口的集聚^[34]。不透水面与社会、经济的耦合关系可分正向耦合与负向耦合。然而,当前不透水面变化与社会经济发展的耦合协调关系尚不明晰,三者之间的定量关系随时空变化呈现何种特征尚未得到实证。为此,本研究利用 2000—2018 年中国不透水面遥感数据及 355 个市域单元的社会经济面板数据,运用脱钩模型对不透水面与社会经济的关系进行解耦。基于耦合协调度模型深入分析不透水面与社会经济耦合协调关系的变化规律,为科学认识不透水面变化与社会经济变化之间时空变化的协同性,以期制定差异化的区域水土保持和城乡发展政策提供科学依据。

1 数据源和方法

1.1 数据来源

1.1.1 不透水面数据 全球较为常用的不透水面数据集有低分辨率(1 km)、中分辨率(30 m,250~500 m)和高分辨率(1~10 m)的数据产品。2019 年清华大学

发布的 GAIA 数据产品 (<http://data.ess.tsinghua.edu.cn>),是迄今为止为数不多覆盖城市及农村地区的中分辨率逐年人工不透水面遥感数据产品。该数据产品的解译基础包括夜间灯光等数据,有效排除了自然不透水面干扰,数据产品总体精度高于 90%^[35],可以运用到中国大尺度研究中。本文选用该数据集 2000—2018 年时段的数据,以 2018 年 355 个直辖市、副省级市、地级市、地区、自治州、盟及省直辖县等市域为边界,统计不透水面面积。

1.1.2 经济人口数据 在经济发展水平指标方面,由于人均 GDP 是某地区特定时间内经济活动的最终成果,能综合反映地区的经济发展水平^[36],故以人均 GDP 表征地区的经济发展水平。同时以 2000 年为基年,计算市域单元各年份以不变价格为基准的人均

GDP。在社会发展水平指标方面,以反映地区实际人口数量的常住人口为度量指标^[37]。人均 GDP、常住人口数据来源于 2001—2019 年《中国城市统计年鉴》^[38]《中国县(市)社会经济统计年鉴》^[39]以及全国各省、市、自治区的统计年鉴。

1.2 研究方法

为了研究不透水面变化与社会经济耦合协调发展时空特征,我们在城市可持续发展理论的基础上构建了如下研究框架(图 1)。运用脱钩模型对不透水面—经济发展、不透水面—人口变化的两两耦合关系进行解耦,利用耦合协调度模型分析不透水面与社会经济三者之间的耦合协调度。通过解耦分析和耦合协调分析,解析城市的环境与经济社会 3 维度的连接程度和协调程度的时空变化趋势。

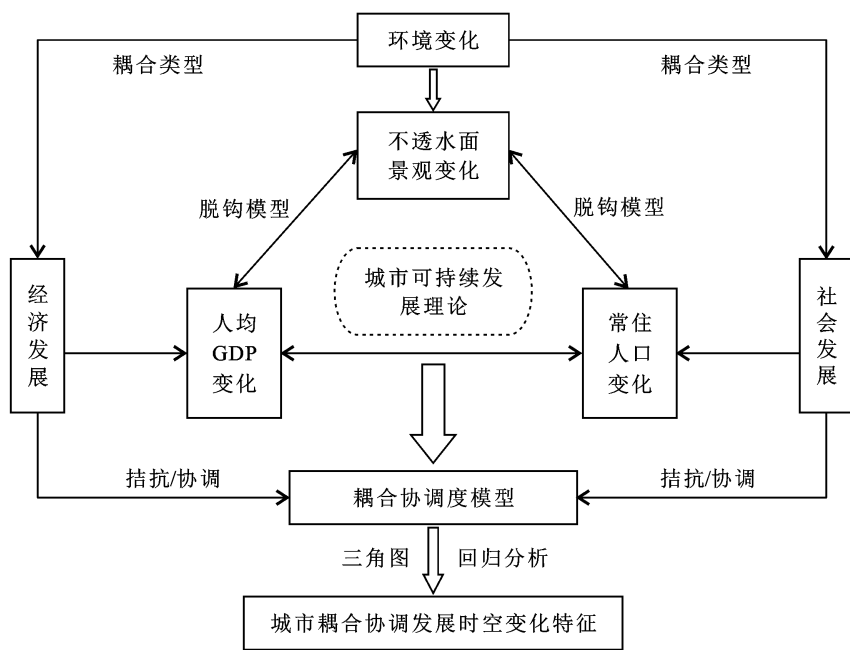


图 1 不透水面变化与社会经济耦合协调发展时空特征研究框架

1.2.1 不透水面动态变化分析 不透水面的动态变化速度以各时期不透水面变化面积为基础,其计算公式为:

$$U_{ISA} = \frac{S_{t_1} - S_{t_2}}{t_1 - t_2} \quad (1)$$

式中: U_{ISA} 为 t_1 到 t_2 中不透水面变化速度; S_{t_1}, S_{t_2} 分别为 t_1 和 t_2 时间不透水面面积。

1.2.2 不透水面与社会经济的耦合关系分析

Tapio^[26-27]提出的脱钩模型能揭示出两个或多个要素之间的相互作用状态,广泛应用于资源消耗与经济发展之间的耦合关系研究。研究引用 Tapio 脱钩模型,计算公式为:

$$T_e = \frac{\Delta S}{\Delta E} = \frac{\frac{S_{t_2} - S_{t_1}}{S_{t_1}}}{\frac{E_{t_2} - E_{t_1}}{E_{t_1}}} \quad (2)$$

$$T_p = \frac{\Delta S}{\Delta P} = \frac{\frac{S_{t_2} - S_{t_1}}{S_{t_1}}}{\frac{P_{t_2} - P_{t_1}}{P_{t_1}}} \quad (3)$$

式中: T_e, T_p 分别表示研究区不透水面与经济、人口的脱钩指数; $\Delta S, \Delta E, \Delta P$ 分别表示不透水面、人均 GDP 和常住人口的变化率; S_{t_1}, S_{t_2} 分别为 t_1 和 t_2 时间不透水面面积; E_{t_1}, E_{t_2} 分别为 t_1 和 t_2 时间人

均 GDP; P_{t_1}, P_{t_2} 分别为 t_1 和 t_2 时间常住人口量。

参考相关研究的结果^[26-28],以脱钩指数 T_e/T_p 介于 0.8~1.2 之间作为判断不透水面与社会经济变化同步的标准,在此区间定义为连接的耦合关系,根据二者同步变化的正负方向,划分出扩张连接与衰退连接两种亚耦合类型。而 T_e/T_p 小于 0.8 或大于 1.2 定义为二者非同步变化的耦合关系,并根据不透水面与社会经济变化趋势的相对关系,划分出脱钩与负脱钩两种耦合关系;脱钩的耦合关系表明社会经济增长快于不透水面扩张,负脱钩的耦合关系表明不透水面扩张超前于社会经济发展;进一步对不透水面与社会经济的增减方向进行两两组合,以表征不透水面与社会经济非同步变化的强度,进一步细化为 6 种亚耦合类型。最终得到 8 种亚耦合类型(表 1)。研究以 3 a 为时间间隔,开展各时期不透水面变化与社会经济发展的耦合关系分析。

表 1 不透水面—社会经济的耦合关系类型

耦合类型	亚耦合类型	ΔS	$\Delta E/\Delta P$	T_e/T_p
负脱钩	扩张负脱钩	>0	>0	>1.2
	强负脱钩	>0	<0	<0
	弱负脱钩	<0	<0	>0 且 <0.8
脱钩	弱脱钩	>0	>0	>0 且 <0.8
	强脱钩	<0	>0	<0
	衰退脱钩	<0	<0	>1.2
连接	扩张连接	>0	>0	>0.8 且 <1.2
	衰退连接	<0	<0	>0.8 且 <1.2

注: $\Delta S, \Delta E, \Delta P$ 分别表示不透水面、人均 GDP 和常住人口的变化率; T_e, T_p 分别表示研究区不透水面与经济、人口的脱钩指数。

1.2.3 不透水面与社会经济的耦合协调关系分析
耦合协调度模型是度量要素间协同效应的定量指标,能够很好地判断要素之间耦合是否为良性^[22,29]。计算公式为:

$$D_e = \sqrt[n]{\frac{(K_{ie} \times K_{is})}{[(K_{ie} + K_{is}) \times (K_{ie} + K_{is})]}}^{\frac{1}{n}} \times (\alpha K_{ie} + \beta K_{is}) \quad (4)$$

$$D_p = \sqrt[n]{\frac{(K_{ip} \times K_{is})}{[(K_{ip} + K_{is}) \times (K_{ip} + K_{is})]}}^{\frac{1}{n}} \times (\alpha K_{ip} + \beta K_{is}) \quad (5)$$

式中: D_p, D_e 分别表示研究区不透水面与经济、人口的耦合协调度; K_{is}, K_{ie}, K_{ip} 分别为第 i 市域单元归一化处理后的 $\Delta S, \Delta E$ 与 ΔP ; n 取值 2; α, β 为待定系数,考虑到不透水面变化与社会经济的动态平衡对于实现社会经济发展和生态保护协调共赢的可持续发展过程尤为重要,本文将二者视为同等重要,待定系数 α, β 同取 0.5^[37]。

耦合协调度的大小介于 0~1,反映要素间的协调发展程度,表示不透水面与社会经济的耦合关系由相互制约的拮抗状态逐渐走向相互促进的协调状态。为直观展示三者的耦合协调关系,将 $\Delta S, D_p$ 与 D_e 构建三角图,该类图形在生态、环境领域等得到广泛的应用^[40],能够清晰揭示 6 个阶段 355 个市域单元为基础的不透水面变化与经济、人口增长之间耦合协调度的变化规律。同时,建立 ΔS 与 D_e/D_p 的回归方程考察耦合协调关系的变化趋势。

2 结果与分析

2.1 中国城市 2000—2018 年不透水面变化特征

总体来看,2000—2018 年中国不透水面持续扩张,面积由 $1.06 \times 10^5 \text{ km}^2$ 增至 $1.98 \times 10^5 \text{ km}^2$,净增长 $9.93 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。其中,2000—2012 年不透水面增长速度处于持平阶段,扩张速度介于 $2.38 \times 10^3 \sim 4.83 \times 10^3 \text{ km}^2/\text{a}$;2012 年以后不透水面增长速度快

速提升,从 $3.67 \times 10^3 \text{ km}^2/\text{a}$ 快速上升至 $1.63 \times 10^4 \text{ km}^2/\text{a}$ 。2000—2018 年不透水面变化速度如图 2 所示,不透水面变化存在明显空间异质性,呈现从东部逐渐向中、西部内陆降速的趋势。2000—2009 年中国各市域单元不透水面增长速度变化不大,华东、华北、东北地区以及珠三角等地区城市不透水面增长速度高于 $17.14 \text{ km}^2/\text{a}$ 。2009—2012 年珠三角不透水面增长速度放缓,市域单元变化速度回落至 $17.14 \text{ km}^2/\text{a}$ 以下,其他地区则变化不大。2012—2018 年华东、华中、华北和东北地区等地区不透水面增长速度快速提升,有 70 个城市的增长速度超过 $58.91 \text{ km}^2/\text{a}$;与此同时,四川、云南、陕西、宁夏等西部地区部分城市不透水面增长速度超过 $17.14 \text{ km}^2/\text{a}$ 。

2.2 不透水面变化与社会经济发展的耦合关系

2000—2018 年中国市域单元不透水面—经济发展的耦合关系整体表现为弱脱钩关系(图 3),但 2012 年以来,在中国东北、华北和西南地区出现了扩张负脱钩关系。2000—2018 年,不透水面—经济发展的耦合类型有 4 种,即扩张负脱钩、强负脱钩、弱脱钩和扩张连接,分别占比为初期的 2.25%,1.41%,94.37%和 1.97%,到末期的 24.79%,9.58%,52.96%和 12.68%。2000—2012 年中国人均 GDP 年均变化率介于 12.26%~22.62%;不透水面扩张速度较低,年均变化率介于 1.82%~3.65%;不透水面—经济发

展的耦合关系处于弱脱钩阶段,弱脱钩类型占比由94.37%上升至99.44%,大部分城市不透水面增长速度慢于经济发展速度。2012—2018年人均GDP年均变化率降至8.01%~9.49%,而不透水面年均变化率提升至4.42%~8.07%,二者关系表现为负脱钩的耦合关系。

其中,2012—2015年中国部分城市出现不透水面扩张超前于经济发展的现象,人均GDP年均变化率下降至8.01%,不透水面年均变化率上升至4.42%。弱脱钩型所占比降至69.58%,扩张负脱钩、

强负脱钩和扩张连接占比分别升至12.39%,7.61%和10.42%;强负脱钩型在秦岭—淮河以北地区集聚,而扩张负脱钩和扩张连接型在全国各地相对分散出现。2015—2018年中国不透水面变化率相较前一阶段显著提升,年均变化率上升4.42%,而人均GDP年均变化率小幅提升,上升1.49%。弱脱钩型占比下降了16.62%,扩张负脱钩、强负脱钩占比分别上升至24.79%,9.58%,扩张负脱钩型主要分布于河北、河南、山东、广西等地区,强负脱钩型则主要集聚在内蒙古、辽宁、吉林省等地。

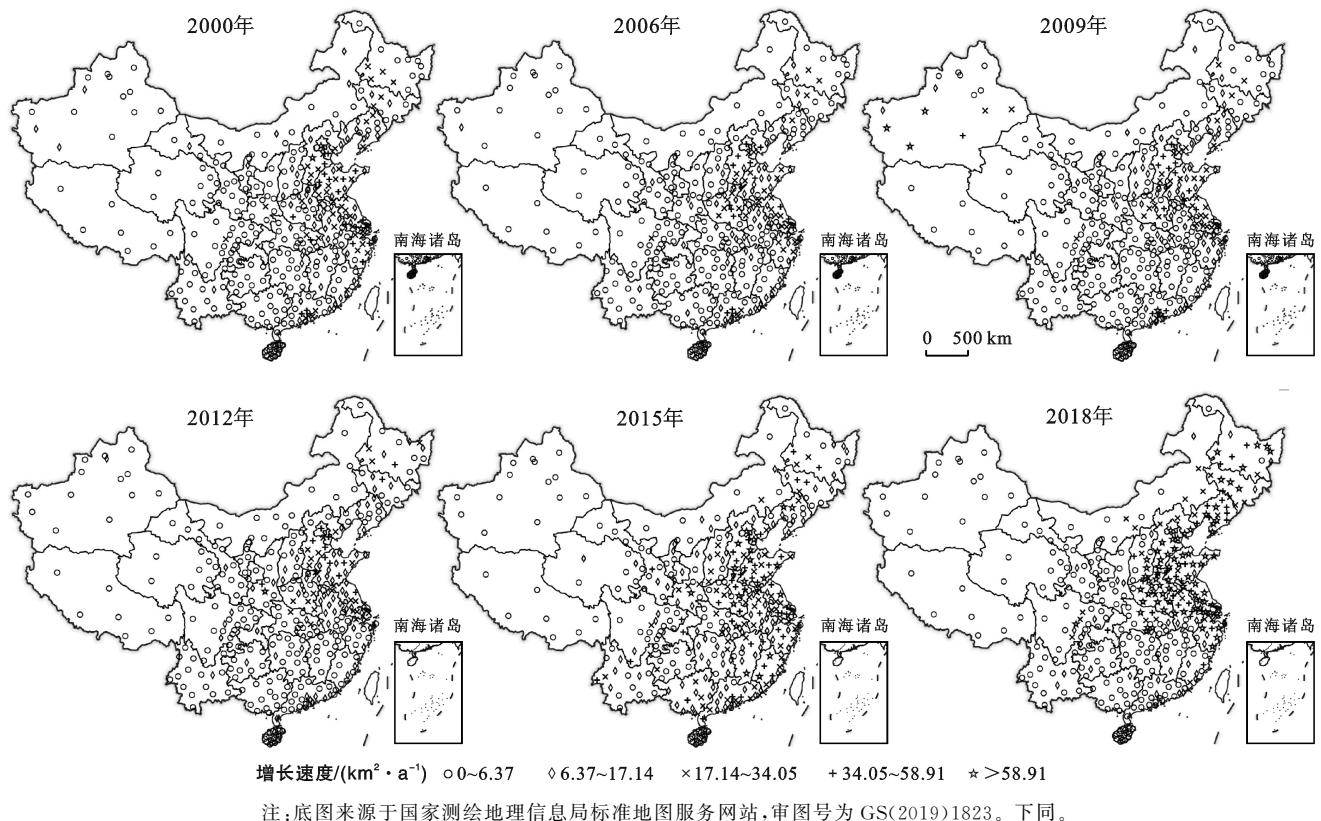


图2 中国2000—2018年不透水面变化速度的空间分布

2000—2018年中国市域单元不透水面—人口变化之间的耦合关系的整体表现为扩张负脱钩和强负脱钩的耦合关系(图4)。2000—2018年,不透水面—人口变化的耦合类型有4种,即扩张负脱钩、强负脱钩、弱脱钩和扩张连接,分别占比为初期的85.92%,8.73%,3.66%和1.69%,到末期的58.87%,32.68%,4.79%和3.66%。2000—2018年中国不透水面增长速度快于城市人口增长,常住人口年均变化率介于0.40%~1.08%,不透水面年均变化率介于1.82%~8.07%。其中,2000—2003年中国大部分地区不透水面扩张速度显著快于人口增长速度,扩张负脱钩、强负脱钩、弱脱钩和扩张连接分别占比85.92%,

8.73%,3.66%和1.69%。2003—2009年中国不透水面年均变化率从2.54%降至2.39%,而常住人口年均变化率从0.92%升至1.08%,海南省、西南和西北等部分地区人口增长速度逐渐赶上不透水面增长速度。扩张负脱钩、强负脱钩、弱脱钩和扩张连接分别占比67.04%,9.86%,13.52%和9.58%;弱脱钩型主要分布在海南省、西南和西北等地,扩张负脱钩型集中分布在华北、华东和华南等地。2009—2018年中国不透水面扩张超前于人口增长的现象加剧,常住人口年均变化率从0.58%下降至0.44%,不透水面年均变化率从1.82%上升至8.07%。扩张负脱钩、强负脱钩、弱脱钩和扩张连接,分别占比为初期的50.70%,

26.20%, 15.49% 和 7.61%, 到末期的 58.87%, 32.68%, 4.79% 和 3.66%。东北、西北、西南以及华中等地区

受其他发达区域对人口的虹吸作用影响, 在人口减少的情况下不透水面依然持续扩张。

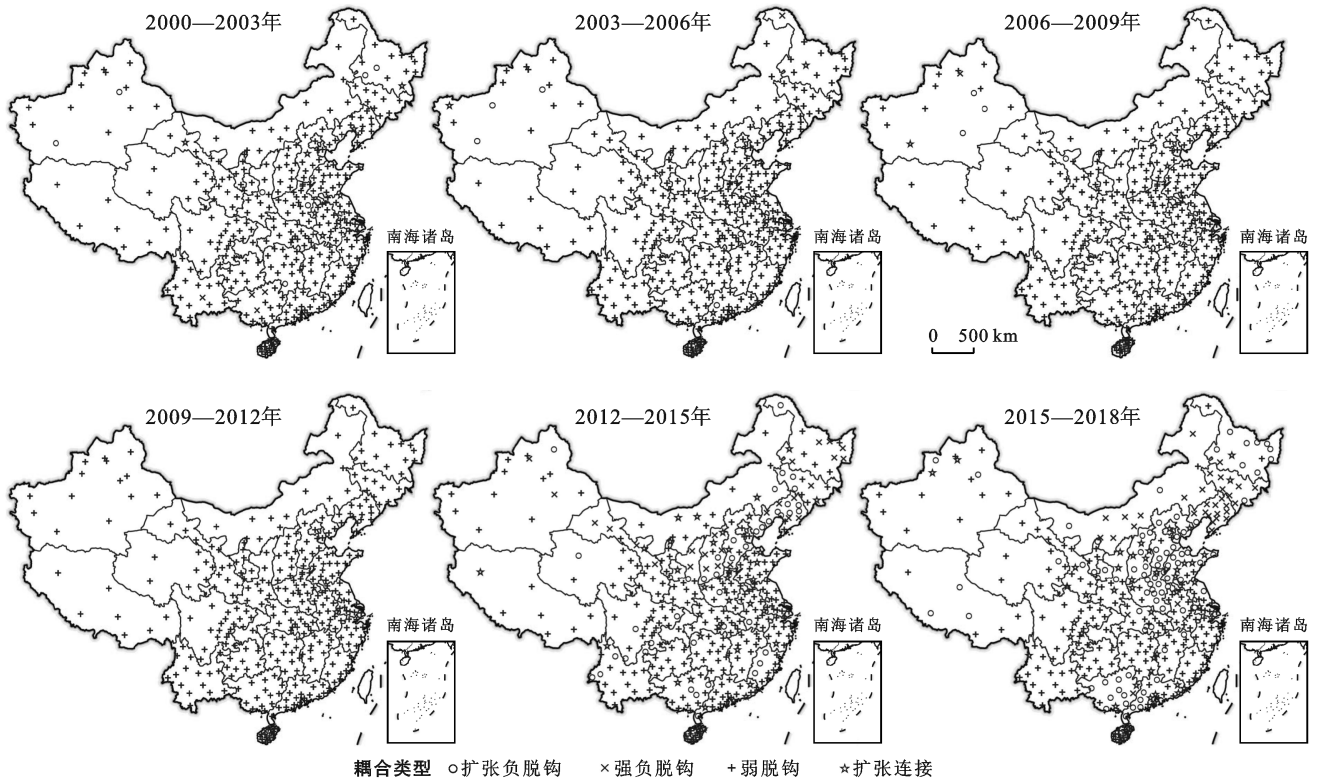


图 3 中国市域单元 2000—2018 年不透水面变化与经济变化的耦合关系

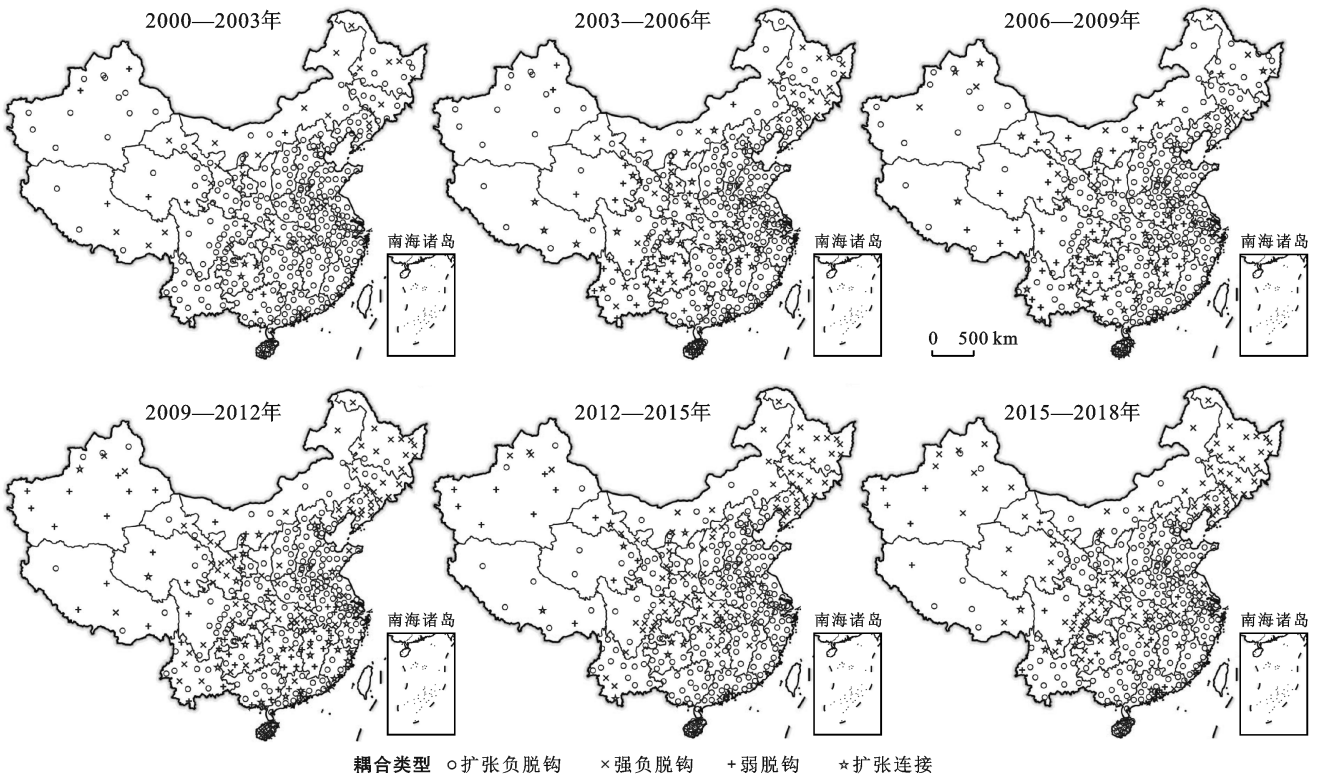


图 4 中国市域单元 2000—2018 年不透水面变化与人口变化的耦合关系

2.3 不透水面变化与社会经济发展的耦合协调关系

运用耦合协调度模型并结合三角图可以清晰地展示不透水面变化与经济、人口增长之间耦合协调度(图5)。总体特征上,2000—2018年中国市域单元不透水面—经济发展和不透水面—人口变化的耦合协调度因不透水面变化率而异,市域单元的不透水面变化率越大,不透水面—经济发展和不透水面—人口变化的耦合协调度越小;表明了不透水面增长越快,不透水面对社会经济发展的推动作用越有限,与社会经济发展的良性互动机制越弱。这由于不透水面的过度增长,会造成资源浪费、生态环境恶化等问题。2000—2018年在不透水面变化率小于25%的市域单元,不透水面—经济发展和不透水面—人口变化的两两互动过程与经济发展—人口变化的互动之间通常具有非同步性,在一定时期内经济发展加剧了不透水面扩张与人口增长间的非协调性,导致出现不透水面

变化与经济协调度提升时,与人口增长的耦合协调度则会降低的现象;反之亦然。

2000—2018年中国不透水面变化速率加快而引起的 D_e/D_p 的下降程度呈现先增加后减少趋势。2000—2018年不透水面变化率由初期集聚在25%变化率以内,到末期34.37%的市域单元不透水面变化率超过了25%,不透水面与社会经济的耦合协调度较低。由不透水面—人口—经济耦合协调度的三角图可看出(图5),三者的协调度在2009年以前介于顶点为 ΔS 取值区间 $[0, 0.25]$, D_p 取值区间 $[0.75, 1]$ 和 D_e 取值区间 $[0.25, 0.5]$ 之间的菱形四边形,变化为2009年以后介于顶点为 ΔS 取值区间 $[0, 0.5]$, D_p 取值区间 $[0.5, 1]$ 和 D_e 取值区间 $[0.5, 0.75]$ 之间的菱形四边形。这种变化趋势表明,随着不透水表面增长速度的加快,它与人口聚集之间的耦合协调关系降低,促进了其与经济发展之间的耦合协调关系。

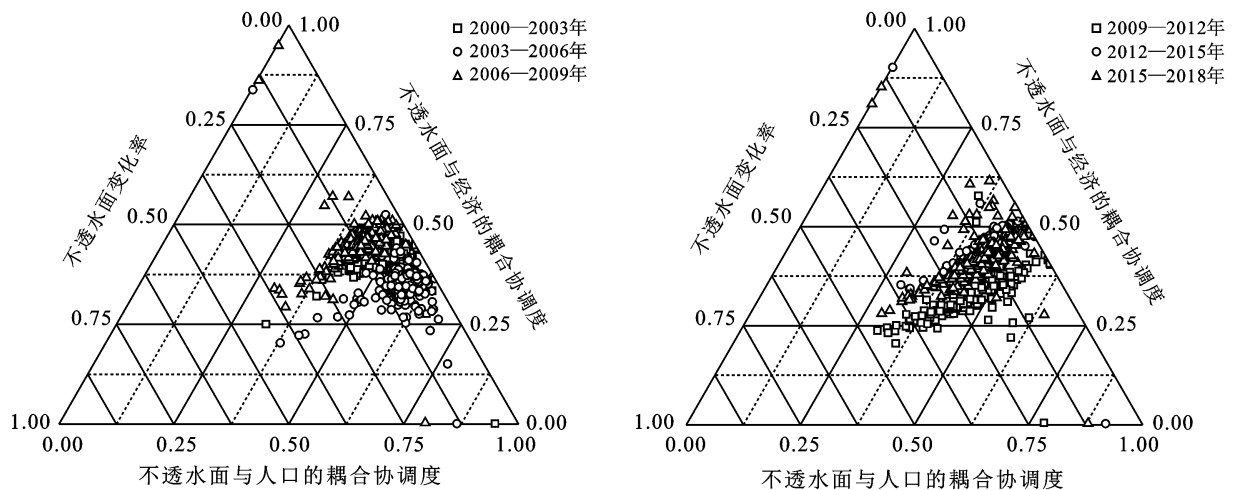


图5 中国市域单元2000—2018年不透水面—社会—经济的耦合协调关系变化

3 讨论与结论

3.1 讨论

(1) 受经济、人口统计数据以及不透水面遥感数据的空间分辨率限制,无法开展更长时间和更精细尺度的空间数据分析,特别是将不透水面遥感数据聚合到市域层面,往往包含了地级市内多个县域的不透水面的斑块,造成不透水面数据统计难以精确。

(2) 为缓解不透水面的无序扩张,促进不透水面与社会经济的协调发展。未来国土空间规划及区域可持续发展政策应遵循协调发展战略,在东北、华北、华中等地区,应科学划定城镇开发边界,严格控制不透水面蔓延;在东北、华北等不透水面—经济负脱钩关系地区,应促进产业结构转型,提高土地集约利用

程度;在东北、华中、西北和西南等不透水面—人口负脱钩关系地区,应提高当地的公共服务水平,扩大就业机会,促进区域人口聚集。

3.2 结论

(1) 研究期内,中国不透水面变化在时间上具有阶段性,2012—2018年为快速增长期;在空间上存在异质性,东部的不透水面增长显著快于中西部。

(2) 不透水面与社会经济的耦合关系表明,不透水面—人口变化的耦合与不透水面—经济发展的耦合在时空分布特征上有显著的不同,其中不透水面—经济发展的耦合整体表现为弱脱钩型,但在2012年后东北、华北等地区不透水面扩张速度明显超过经济发展速度,涌现出负脱钩型。不透水面—人口变化的耦合关系整体表现为负脱钩型。

(3) 不透水面与社会经济 3 者之间的耦合协调度受不透水面变化率增长的影响而下降,影响程度呈现先增加后减少的趋势。

[参 考 文 献]

- [1] Wu Jianguo. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014,125(SI):209-221.
- [2] Huang Lu, Wu Jianguo, Yan Lijiao. Defining and measuring urban sustainability: A review of indicators [J]. *Landscape Ecology*, 2015,30(7):1175-1193.
- [3] Arnold C L, Gibbons C J. Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator [J]. *Journal of the American Planning Association*, 1996,62(2):243-258.
- [4] 刘珍环,王仰麟,彭建,等.基于不透水表面指数的城市地表覆被格局特征:以深圳市为例[J].*地理学报*,2011,66(7):961-971.
- [5] 何春阳,黄庆旭,刘志锋,等.城市景观生态学:过程、影响和可持续性[M].北京:科学出版社,2018.
- [6] 郝大江,张荣.要素禀赋、集聚效应与经济增长动力转换[J].*经济学家*,2018(1):41-49.
- [7] 涂可国.社会要素与社会整体之间关系新探[J].*理论学刊*,2001(5):58-61.
- [8] Ma Qun, He Chunyang, Wu Jianguo. Behind the rapid expansion of urban impervious surfaces in China: Major influencing factors revealed by a hierarchical multiscale analysis [J]. *Land Use Policy*, 2016,59:434-445.
- [9] 翟俊,肖桐,杨旻,等.中国沿海不透水地表变化特征分析[J].*资源科学*,2016,38(5):814-824.
- [10] 李志,李鹏,刘强.长江中游大城市不透水面增长模式及其驱动因素[J].*生态学报*,2018,38(11):3766-3774.
- [11] Cao Shisong, Hu Deyong, Zhao Wenji, et al. Monitoring changes in the impervious surfaces of urban functional zones using multisource remote sensing data: A case study of Tianjin, China [J]. *Giscience and Remote Sensing*, 2019,56(7):967-987.
- [12] 李苗,臧淑英,吴长山,等.哈尔滨市城乡结合部不透水面时空变化及驱动力分析[J].*地理学报*,2017,72(1):105-115.
- [13] Kuang Wenhui, Chi Wenfeng, Lu Dengsheng, et al. A comparative analysis of megacity expansions in China and the U S: Patterns, rates and driving forces [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014,132:121-135.
- [14] Chen Mingxing, Liu Weidong, Lu Dadao. Challenges and the way forward in China's new-type urbanization [J]. *Land Use Policy*, 2016,55:334-339.
- [15] Ma Qun, Wu Jianguo, He Chunyang. A hierarchical analysis of the relationship between urban impervious surfaces and land surface temperatures: Spatial scale dependence, temporal variations, and bioclimatic modulation [J]. *Landscape Ecology*, 2016,31(5):1139-1153.
- [16] Wang Shaojian, Zhou Chunshan, Wang Zhenbo, et al. The characteristics and drivers of fine particulate matter (PM_{2.5}) distribution in China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017,142:1800-1809.
- [17] 匡文慧,刘纪远,陆灯盛.京津唐城市群不透水地表增长格局以及水环境效应[J].*地理学报*,2011,66(11):1486-1496.
- [18] Ruan Xiaofeng, Huang Jieying, Williams D A R, et al. High spatial resolution landscape indicators show promise in explaining water quality in urban streams [J]. *Ecological Indicators*, 2019,103:321-330.
- [19] Riley Seth P D, Busteed Gary T, Kats Lee B, et al. Effects of urbanization on the distribution and abundance of amphibians and invasive species in Southern California streams [J]. *Conservation Biology*, 2005,19(6):1894-1907.
- [20] Liu Chong, Zhang Qi, Luo Hui, et al. An efficient approach to capture continuous impervious surface dynamics using spatial-temporal rules and dense landsat time series stacks [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2019,229:114-132.
- [21] Li Zeyang, Luan Weixin, Zhang Zhenchao, et al. Relationship between urban construction land expansion and population/economic growth in Liaoning Province, China[J]. *Land Use Policy*, 2020,99:105022.
- [22] 陈起伟,熊康宁,但文红,等.典型喀斯特区生态与贫困耦合特征分析:以贵州省 9000 个省级贫困村为例[J].*生态学报*,2021,41(8):2968-2982.
- [23] 任喜萍,殷仲义.中国省域人口集聚、公共资源配置与服务业发展时空耦合及驱动因素[J].*中国人口·资源与环境*,2019,29(12):77-86.
- [24] 刘继来,刘彦随,李裕瑞,等.2007—2015 年中国农村居民点用地与农村人口时空耦合关系[J].*自然资源学报*,2018,33(11):1861-1871.
- [25] 洪建智,郭碧云,付迎春,等.新型城镇化的人地耦合异速增长分析方法[J].*地球信息科学学报*,2020,22(5):1049-1062.
- [26] Tapio Petri. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road traffic in finland between 1970 and 2001 [J]. *Transport Policy*, 2005,12(2):137-151.
- [27] 杨建辉.农业化学投入与农业经济增长脱钩关系研究:基于华东 6 省 1 市数据[J].*自然资源学报*,2017,32(9):1517-1527.
- [28] 何静,汪侠,刘丹丽,等.国家级贫困县旅游发展与多维贫困的脱钩关系研究:以西南地区为例[J].*地理研究*,2019,38(5):1189-1207.

- 上升的原因[J].地理学报,2018,73(9):1647-1657.
- [14] 郭施宏,海西城市群城市土地利用结构与效率[J].经济地理,2017,37(1):170-175.
- [15] 许芸鹭,雷国平.辽中南城市群城市用地结构的时空演变分析[J].经济地理,2018,38(1):69-77.
- [16] 宋洋,朱道林, Yeung Godfrey, 等.收缩情境下城市用地结构时空格局演变及动力机制:以中国东北地区为例[J].地理研究,2021,40(5):1387-1403.
- [17] 王成新,王波涛,王翔宇.基于结构视角的中国人口城市化与土地城市化异速增长研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(8):135-141.
- [18] 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.
- [19] 谢高地,张彩霞,张雷明,等.基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J].自然资源学报,2015,30(8):1243-1254.
- [20] 邓元杰,侯孟阳,谢怡凡,等.退耕还林还草工程对陕北地区生态系统服务价值时空演变的影响[J].生态学报,2020,40(18):6597-6612.
- [21] 刘文超,刘纪远,匡文慧.陕北地区退耕还林还草工程土壤保护效应的时空特征[J].地理学报,2019,74(9):1835-1852.
- [22] 侯孟阳,姚顺波,邓元杰,等.格网尺度下延安市生态服务价值时空演变格局与分异特征:基于退耕还林工程的实施背景[J].自然资源学报,2019,34(3):539-552.
- [23] 李慧,周维博,庄妍,等.延安市农业水土资源匹配及承载力[J].农业工程学报,2016,32(5):156-162.
- [24] 钱彩云,巩杰,张金茜,等.甘肃白龙江流域生态系统服务变化及权衡与协同关系[J].地理学报,2018,73(5):868-879.
- [25] 张学斌,罗君,石培基,等.格网尺度下张掖生态系统服务价值时空演变及地形梯度分异特征[J].应用生态学报,2020,31(2):543-553.

(上接第264页)

- [29] 王成,唐宁.重庆市乡村三生空间功能耦合协调的时空特征与格局演化[J].地理研究,2018,37(6):1100-1114.
- [30] 朱青,罗志红,张伟.区域间资本存量与经济增长:一个动态比较[J].商业研究,2016(5):25-31.
- [31] 刘洪玉,杨帆,徐跃进.基于2010年人口普查数据的中国城镇住房状况分析[J].清华大学学报(哲学社会科学版),2013,28(6):138-147.
- [32] Pradhan R P, Bagchi T P. Effect of transportation infrastructure on economic growth in India: The VECM approach [J]. Research in Transportation Economics, 2013,38(1):139-148.
- [33] He Canfei, Huang Zhiji, Wang Rui. Land use change and economic growth in urban China: A structural equation analysis [J]. Urban Studies, 2014, 51(13): 2880-2898.
- [34] Glaeser E L, Shapiro J M. Urban growth in the 1990s: Is city living back? [J]. Journal of Regional Science, 2003,43(1):139-165.
- [35] Gong Peng, Li Yuecao, Wang Jie, et al. Annual maps of global artificial impervious area (GAIA) between 1985 and 2018 [J]. Remote Sensing of Environment, 2020,236:111510.
- [36] 李佳铭,张文忠,孙铁山,等.中国城市群集聚特征与经济绩效[J].地理学报,2014,69(4):474-484.
- [37] 李亚婷,潘少奇,苗长虹.中国县域人均粮食占有量的时空格局:基于户籍人口和常住人口的对比分析[J].地理学报,2014,69(12):1753-1766.
- [38] 国家统计局.中国城市统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [39] 国家统计局.中国县(市)社会经济统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2019.
- [40] 郭彦彪,戴军,冯宏,等.土壤质地三角图的规范制作及自动查询[J].土壤学报,2013,50(6):1221-1225.

(上接第273页)

- [26] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [27] 赵筱青,李思楠,谭琨.基于功能空间分类的抚仙湖流域“3类空间”时空格局变化[J].水土保持研究,2019,26(4):299-305,313.
- [28] 唐秀美,刘玉,任艳敏.基于格网尺度的密云水库区域“三生”空间功能测度与时空变化分析[J].中国农业资源与区划,2021,42(5):60-69.
- [29] 刘瑞华,曹暄林.滇池20年污染治理实践与探索[J].环境科学导刊,2017,36(6):31-37.
- [30] 金杰.滇池流域土地利用变化的生态环境效应及其约束下的优化配置研究[D].云南昆明:昆明理工大学,2018.
- [31] 昆明市规划局.昆明城市总体规划(2008—2020年)[R].云南昆明:昆明市规划局,2011.
- [32] 庾川,张璐,唐磊.基于湖城共生的滇池流域国土空间格局构建[J].城市观察,2019,(5):108-119.