

DOI: 10.5846/stxb201907291594

殷嘉迪, 董金玮, 匡文慧, 崔耀平, 江东. 20 世纪 90 年代以来中国生态空间演化的时空格局和梯度效应. 生态学报, 2020, 40(17): 5904-5914.

Yin J D, Dong J W, Kuang W H, Cui Y P, Jiang D. Pattern and gradient effects of ecological space changes in China since 1990s. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(17): 5904-5914.

20 世纪 90 年代以来中国生态空间演化的时空格局和梯度效应

殷嘉迪¹, 董金玮^{1,*}, 匡文慧¹, 崔耀平², 江 东¹

1 中国科学院地理科学与资源研究所中国科学院陆地表层格局与模拟重点实验室, 北京 100101

2 河南大学黄河中下游数字地理技术教育部重点实验室, 开封 475004

摘要: 改革开放以来中国经济和城市化的快速发展促使生产和生活空间挤占大量生态空间, 系统认识和评估我国生态空间演化的宏观格局和过程对于生态文明建设具有重要的理论和现实意义。为揭示全国生态空间变化的时空过程, 在对生态空间内涵进行界定的基础上, 结合全国尺度时序土地利用数据构建生态空间分类体系, 并评估 1990—2015 年中国生态空间演化特征。结果表明: 1990—2015 年中国生态用地面积持续减少, 主要向半生态用地转变, 发生在重要的粮食生产区域及周边; 半生态用地面积波动明显, 前期主要表现为不断扩张, 后期大量转换为弱生态用地, 发生在主要城市群地区; 弱生态用地持续扩张, 与城镇化进程不断加速相关。中国生态空间演变过程表现出一定的区域差异和梯度效应, 不同区域生态空间变化发生的拐点时间有所不同, 呈现“自东向西、由南到北”的 3 级梯度特征, 区域生态空间状况与经济发展战略及生态空间管控具有较强的相关性。本研究对于国家生态空间管控远期战略方案制订具有一定启示, 建议处于不同梯度的各地区应基于区域生态空间演化所处阶段和不同驱动机制, 确定分区域生态空间安全红线目标和生态空间管控方案。

关键词: 生态空间; 格局梯度效应; 生态空间管控; 中国

Pattern and gradient effects of ecological space changes in China since 1990s

YIN Jiadi¹, DONG Jinwei^{1,*}, KUANG Wenhui¹, CUI Yaoping², JIANG Dong¹

1 Key Laboratory of Land Surface Pattern and Simulation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

2 Laboratory of Geospatial Technology for the Middle and Lower Yellow River Regions, Henan University, Kaifeng 475004, China

Abstract: With the rapid development of economy and urbanization in China since the Reform and Opening-up in 1978, the living and industrial spaces have been occupied by numerous ecological space. Therefore, it calls for an overall evaluation of ecological space changes in the background of ecological civilization construction. First, the ecological space classification was built and corresponded to the land use classification system referring to the definition of ecological space. Then, the spatio-temporal characteristics of ecological space changes between 1990 and 2015 were examined. The results indicated that the areas of ecologically-used land across China decreased continuously in 1990—2015, mainly transformed to semi-ecologically-used land, which occurred in major grain production areas and surrounding areas. The areas of semi-ecologically-used land fluctuated significantly, which was expanded in the early stage, then converted into weak-ecologically-used land in the latter stage. Relating to the acceleration of urbanization, weak-ecologically-used land continued to expand. The turning point of ecological space transformation showed certain regional differences, showing a three-level

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(A类)资助(XDA19040301)

收稿日期: 2019-07-29; 修订日期: 2020-03-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dongjw@igsrr.ac.cn

gradient from east to west and from south to north. As a result, regionally ecological space conditions shows a strong correlation with economic development strategies and ecological space governance. This study has important implications for the formulation of nationally ecological space control near-and long-term strategic plan. The study suggests that different regions within varied gradients should consider bottom line of ecological space security and its governance based on the transformation stage and its driving mechanisms.

Key Words: ecological space; pattern gradient effects; ecological space governance; China

随着人类世的到来,生态空间被人类活动相关的生产和生活空间大量挤占^[1]。尤其是在中国,改革开放以来迅速推进的城市化进程、持续增加的人口和经济快速发展导致生态空间质量不断下降。原本脆弱的生态和环境趋于恶化^[2],景观破碎化、生物多样性锐减、土地荒漠化等生态系统功能逐步退化,影响到人类福祉^[3-5]。从宏观上加强生态空间的监测和管控,优化生态空间布局成为当前紧迫形势^[6-7]。因此,在当前我国生态环境保护进入战略转型的关键时期,完整刻画和评价生态空间时空变化对于认识我国生态状况演化过程、统筹“三生”空间协调发展、优化国土空间管控具有重要理论及现实意义。

目前国内外在生态空间格局方面已经开展了大量研究。国外代表性工作主要集中在对绿色空间、公园绿地、绿色基础设施等城市生态空间的辨识与利用^[8-10]以及对生态空间占用的人类足迹方面^[11-12]。在国内,最早的研究可见于 1990 年,赵景柱^[13]基于景观生态学视角构建度量生态空间格局的动态指标体系,完成了生态空间分析的定量化转变;俞孔坚等^[14]通过定量评价生态系统功能重要性,从而识别生态空间的时空分布格局,实现了全国尺度的评价;张红旗等^[15]以生态功能为出发点,系统构建“三生用地”分类体系,统筹生产、生活和生态空间;刘继来等^[16]采用中国科学院 1990 和 2010 年两期土地利用数据,通过对生态空间进行映射赋值,评估了生态空间和生态安全评分,首次进行了全国尺度生态空间演化过程的分析。

前人开展的大量研究为认识全国尺度生态空间格局演化奠定了基础^[17-20],但目前的研究在几个方面仍有较大的提升空间,主要体现在:1) 改革开放以来,对于生态空间的研究缺乏长时间尺度连续演化过程的刻画,难以体现生态空间变化的完整过程;2) 对于生态空间的认知仍存在争议,缺乏统一的生态空间分类标准,前期研究多采用已有的土地利用遥感制图产品进行映射归并,具体的标准有待于进一步论证;3) 我国采取的区域不同的经济发展战略及生态空间管控措施,使得生态空间变化的速度和规模有所不同,但由于研究数据时间长度所限,目前的研究尚没有体现出这种空间分异,对于不同区域生态空间的模式及阶段演化过程未形成完整的认识,本研究拟通过对比分析揭示这种不同发展阶段下的区域梯度差异。目前刘纪远等已系统构建了 1980—2015 年多期中国土地利用数据产品^[21],为实现生态空间演化连续监测提供了可能。

本研究拟解决的科学问题包括:1) 如何采用最新的土地利用更新数据库实现对近 30 年中国生态空间演变完整过程的刻画? 2) 我国生态空间演化过程在不同区域(东中西部)是否存在显著的空间分异规律? 本文采用 1990、1995、2000、2005、2010、2015 年 6 期中科院土地利用栅格数据产品,构建基于土地利用分类数据的生态空间分类体系,分析改革开放以来中国生态空间变化的时空格局,探索生态空间变化机理,以期为生态文明建设及国土空间格局优化提供参考依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文所用数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境数据中心的土地利用产品^[21]。该数据基于 Landsat、GF-2 等遥感卫星数据,根据中国《土地利用现状调查技术规程》和土地基本特征等作为分类依据,将土地利用类型分为 7 个一级类及 26 个二级类。采用人机交互目视判别方法提取土地利用信息,到目前为止完成了包括 1980 年至 2015 年多期全国土地利用矢量数据集,并在此基础上生成了 100 m 分辨率的栅

格数据集。为保证土地利用数据解译质量及一致性,利用野外调查资料进行统一的质量控制和核对检查,按10%县数比例开展精度验证,一级类型综合评价精度达到94.3%,二级类型达到91.2%^[22]。基于上述数据库,提取1990—1995年、1995—2000年、2000—2005年、2005—2010年、2010—2015年与1990—2015年土地利用变化信息,刻画1990至2015年中国生态空间演化的总体特征和不同生态空间类型变化差异特征。为了更好地体现空间分异特征,依据地形、气候、人文、经济、政治及生态等因素,将全国分为西南、西北、华北、东北、华东、华中及华南7大区域(暂不包括港澳台地区)进行分析。

1.2 生态空间分类体系

自然资源部在《自然生态空间用途管制办法》中首次对生态空间进行定义,指森林、草地、湿地、河流、海洋、荒地等以提供生态产品或服务为主导功能的国土空间。随后学术界就生态空间展开深入研究,但目前对于生态空间的概念与分类尚未达成共识。

表1 生态空间相关概念在前期研究中的表述和内涵比较
Table 1 Comparison of concepts related to ecological space in previous studies

概念 Concept	文献 References	常见内涵 Description	与本文界定的生态空间的异同 Comparison
生态空间 Ecological space	[6]	具有较为关键的生态功能且以提供生态产品或服务为主导的国土空间,是保障国土生态安全的生态红线	无明显差异
城市绿色空间 Urban green space	[8]	城市区域内自然或半自然的土地利用状态	属于生态空间的重要组成部分
城市公园绿地 Urban green park	[23]	由自然植被和人工植被共同组成的城市绿化用地,或经专门规划建设以休憩为主要功能的城市绿地	是城市绿色空间的一种
城市生态用地 Urban ecological land	[23]	具有生态系统服务功能的生态单元,一般不以经济效益为目标	与城市绿色空间内涵相似
景观生态空间 Landscape ecology	[13]	生态结构和功能在外界干扰和其本身自然演替的作用下,呈现出动态特征	定义较为模糊
生态用地 Ecological land	[17]	以保护和稳定区域生态系统为目标,能够直接或间接发挥一定的生态服务功能,且其自身具有自我调节、修复、维持和发展能力的土地	无明显差异
自然生态空间 Natural Ecological Space	[24]	具有自然属性、可以提供生态产品或生态服务的国土空间	是生态空间的重要组成部分
三生用地 Ecological-living-industrial land	[15]	由生活、生产及生态用地构成。其中,生态用地指具有维护生态系统安全的能力,且能够提供生态服务功能的土地	无明显差异
三生空间 "Production-living-ecological" spaces	[16, 19]	由生活、生产及生态空间组成。其中,生态空间指以保护和发展区域生态系统可持续为目标,能直接或间接提供生态调节和生物支持等生态服务功能,且自身具有一定自我调节、修复、维持和发展能力	无明显差异

生态空间源于对生态用地概念的拓展与延伸,即生态用地所在的空间范围,综合对比和分析前人研究中对生态空间的相关定义(表1),本文界定生态空间内涵为:能够生产生态产品或提供生态服务,且自身有一定自我调节、修复、维持和发展能力,并具有水源涵养、土壤保持、防风固沙、生物多样性、洪水调蓄、产品提供或人居保障等功能,在保障生态安全及维护生态系统可持续发展等方面有一定推动作用的国土空间。生态空间范围很广,在生态价值、利用方式上也存在较大差异,不同类型生态空间所承载的生态功能也有所不同^[25],本文认为,不同用地类型在某种程度上均存在一定的生态功能,但其强度有所不同。考虑到人为活动本身无法

脱离生态空间而也是其一部分,以及人类活动作用范围与生态空间的关系,故将生态空间划分为生态用地、半生态用地及弱生态用地(表 2)。为使生态空间分类在生态空间管控及生态文明建设中发挥应有的作用,本文以生态空间辨识为出发点,以强化生态功能的基础地位为分类目标,建立中国生态空间分类体系与中科院土地利用分类系统的衔接关系,使生态空间分类体系与原有工作实现有效对接。

表 2 生态空间分类体系及其与中科院土地利用分类系统的映射关系

Table 2 Ecological space classification system and its mapping relationship with land use classification system of Chinese Academy of Sciences

用地类型 Class	含义 Description	一级类型 Level 1		二级类型 Level 2		分类依据 Classification standard
		类别代码 Code	类别名称 Name	类别代码 Code	类别名称 Name	
生态用地 Ecologically-used land	完全生态用地或生态功能较其他功能强	2	林地	21	有林地	有林地、灌木林、疏林地及其他林地均具有水源涵养、气候调节、防风固沙等重要作用,是重要的生态用地。 草地作为一种可更新土地资源,其具有土壤保持、气候调节、自然景观等生态服务功能,具有一定的生态价值,属于重要的生态用地。 水域包括河渠、湖泊、冰川、滩涂、滩地等具有调节区域气候和水文等作用,是维护生态安全不可或缺的生态用地。 未利用地多为天然的生态类型,具有原生植被或景观特征,不能被随意扰动,具有重要生态价值。 其他用地在固定流沙、减弱风蚀、改善生态环境质量等方面起着不可替代的作用
				22	灌木林	
				23	疏林地	
		3	草地	24	其他林地	
				31	高覆盖度草地	
				32	中覆盖度草地	
				33	低覆盖度草地	
		4	水域	41	河渠	
				42	湖泊	
				43	水库坑塘	
				44	永久性冰川雪地	
				45	滩涂	
				46	滩地	
6	未利用地	61	沙地			
		62	戈壁			
		63	盐碱地			
		64	沼泽地			
		65	裸土地			
		66	裸岩石质地			
9		67	其他			
		99	近海岸海洋			
		1	耕地	11	水田	水田和旱地是国家粮食安全的重要保障,首先具有较强的食物供给功能,但同时也具有较强的气候调节、碳固定等生态功能。
				12	旱地	
		5	城乡工矿居民点用地	51	城镇用地	城镇用地、农村居民点及其他建设用地主要以生产和生活功能为主。
52	农村居民点					
53	其他建设用地					

1.3 研究方法

(1) 生态空间动态度

为了更好地揭示各生态空间用地类型变化的速率和强度,参考土地利用动态度的定义^[26],采用单一生态空间类型动态度表达某区域一定时间范围内某种生态空间类型的数量变化情况及变化速度,其公式为:

$$D_i = \sum_j^n \left(\frac{|\Delta S_{i,j}|}{2 S_i} \right) \times \frac{1}{t} \times 100\%$$

式中, S_i 为 i 类型生态空间面积, t 为时间段; $|\Delta S_{i,j}|$ 为 t 时段内第 i 类生态空间与其他类生态空间 j 相互转化面积的绝对值; i 类型的动态度反映了与该时段生态空间类型 i 变化的剧烈程度。

(2) 生态空间变化图谱

地学图谱的概念由陈述彭等^[27]首先提出,具有图形与谱系的双重特性,反映土地利用变化规律及结构特征。本文对生态空间数据集进行叠加运算并实现图谱融合^[28]。具体步骤为:1)对生态空间数据集进行重采样,生态用地、半生态用地和弱生态用地分别设置为1、2、3,对重编码后数据进行代数运算和信息重组。2)选取相邻时间节点的生态空间数据集进行栅格运算,即把前一时间节点栅格数据的属性值乘以10,与后一时间节点栅格数据属性值相加,生成一个两位数编码的新栅格数据,得到1990—1995年、1995—2000年、2000—2005年、2005—2010年、2010—2015年和1990—2015年的全国生态空间变化图谱。参照100 m分辨率的全国生态空间变化图谱信息,基于15 km大小的栅格区域生成生态空间各用地类型变化比例及变化方式的生态空间演化格局。

2 结果分析

2.1 1990—2015年中国生态空间演化特征

1990—2015年中国生态用地持续减少,半生态用地波动变化,弱生态用地逐渐增加(表3)。生态用地面积减少8.46万km²,减少幅度占全国总面积的0.88%。其中,1990—1995年间生态用地面积减少最为显著,变化幅度为1.24万km²,同时弱生态用地开始剧烈扩张;1995—2000年间半生态用地面积显著增加,由1995年的174.33万km²增长至2000年的180.59万km²;2000年后,生态空间变化幅度均有所降低,半生态用地面积收缩;2005—2015年间弱生态用地增长速度明显下降,但该阶段处于中国城镇化快速发展时期,建设用地等弱生态用地仍持续扩张。

表3 1990—2015年各类型生态用地动态度

Table 3 Dynamic degrees of ecological space changes from 1990 to 2015

时间 Time periods	生态用地 Ecologically-used land		半生态用地 Semi-ecologically-used land		弱生态用地 Weak-ecologically-used land	
	变化幅度 Variation/ ($\times 10^6$ km ²)	动态度 Dynamic degree/%	变化幅度 Variation/ ($\times 10^6$ km ²)	动态度 Dynamic degree/%	变化幅度 Variation/ ($\times 10^6$ km ²)	动态度 Dynamic degree/%
	1990—1995	-1.24	0.25	-0.05	1.23	0.77
1995—2000	-7.00	0.28	6.26	1.48	0.47	4.73
2000—2005	0.02	0.29	-1.62	1.33	1.64	2.65
2005—2010	-0.25	0.02	-0.36	0.10	0.74	0.40
2010—2015	-6.26	0.01	0.56	0.06	6.80	0.25

此处变化幅度指两时间节点的面积差值

在空间分布上(图1),生态用地缩减主要集中在我国新疆绿洲平原、东北地区(三江平原、松嫩平原及辽河平原)、华北平原、四川盆地及江汉平原等粮食生产区域,约占全国生态用地减少面积的62.8%,主要输出为半生态用地;扩张区域主要发生在中部及南部地区,且变化趋势逐渐南移。1990年之后中国重要城市群及周边地区半生态用地不断向弱生态用地转化,占半生态用地变化的53.2%。弱生态用地扩张显著,主要转换形式为半生态用地向弱生态用地的变化,中西部城市群、东北城市群,黄淮海平原及东部沿海等地区,约占弱生态用地扩张面积的63%;存在少数生态用地向弱生态用地的转变,发生在珠三角及长三角地区。

2.2 1990—2015年区域生态空间演化特征

中国30年来生态空间的变化存在着明显的区域差异(图2,图3)。其中,2000—2010年两个时段,各区域相对前后时期的演化都比较平缓,主要原因是:1)经济发展速率与人类活动范围不相协调,该阶段人口集中活动于城镇及周边地区,城镇化发展速度明显滞后于经济发展速率,对生态空间影响范围仍较小。2)旧的土政策后延与新的土地政策交错,2000年作为中国生态空间变化的重要时间节点,各类生态保护工程的实施与之前的土地开发工程有所中和,各区域生态用地类型变化较为平缓。

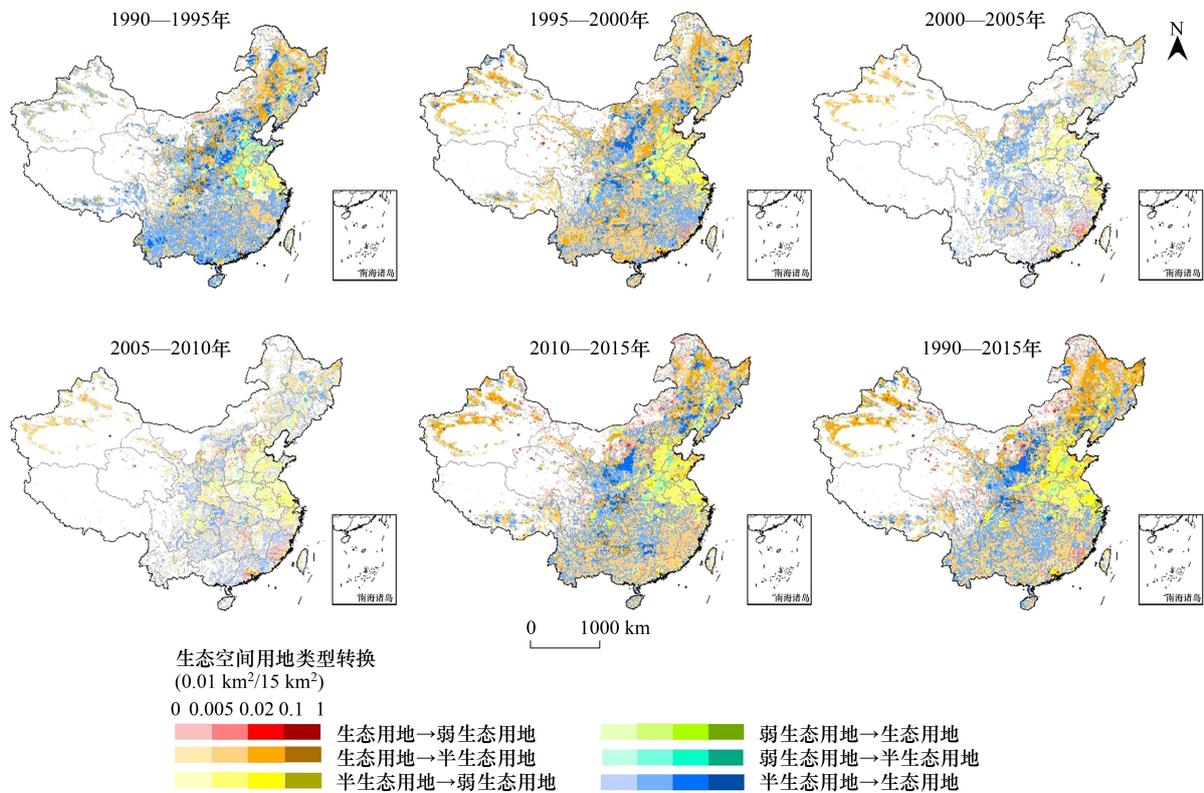


图 1 1990—2015 年中国生态空间演化格局

Fig.1 China's ecological space evolution from 1990 to 2015

(1) 西南区

1990 年中国西南地区生态用地面积为 204.4 万 km², 约占西南区总面积的 87.78%; 半生态用地 27.9 万 km², 占总面积的 12.02%; 弱生态用地 0.45 万 km², 占总面积的 0.20%。生态空间变化主要集中在四川盆地及滇东南地区, 1990—2005 年间大量生态用地快速向半生态用地转变, 主要原因是森林及灌木等改造为耕地。2005 年之后, 半生态用地及少量生态用地开始向弱生态用地转变, 主要原因是成渝城市群地区及其他主要城市的城镇化发展, 弱生态用地增加量为 0.80 万 km²。

(2) 西北区

西北区生态空间变化类型主要以生态用地向半生态用地的转化为主, 集中分布在塔里木盆地北部、准噶尔盆地和伊犁河谷平原区等地区。由于绿洲农业的发展^[21], 生态用地如草地、林地等被开垦为耕地, 因此西北区耕地呈现出增长态势, 生态用地减少面积为 2.97 万 km², 半生态用地增加面积约为 1.01 万 km²。另外, 该地区荒漠化有所减缓, 绿洲面积增加。2000—2015 年间由于退耕还林还草工程的实施, 部分区域生态用地得以恢复, 生态用地向半生态用地的转化速度及强度逐渐降低, 但由于西部大开发战略的实施, 转化方向未发生转变。

(3) 华北区

该区生态用地向半生态用地及半生态用地向弱生态用地的转变主要发生在 1990—2000 年, 生态用地下降约 2.45 万 km², 由于土地经营制度改革及木材市场的开放^[29], 显著推动了农业生产力的发展和耕地的扩张。2000—2015 年间生态用地数量有所上升, 主要原因是该阶段退耕还林还草及国家生态保护工程项目 (“三北”防护林工程等) 的实施^[30-31], 变化明显区域主要集中在黄土高原。但部分区域如京津冀及周边主要城市生态用地面积仍持续下降, 半生态、弱生态用地面积显著扩张。

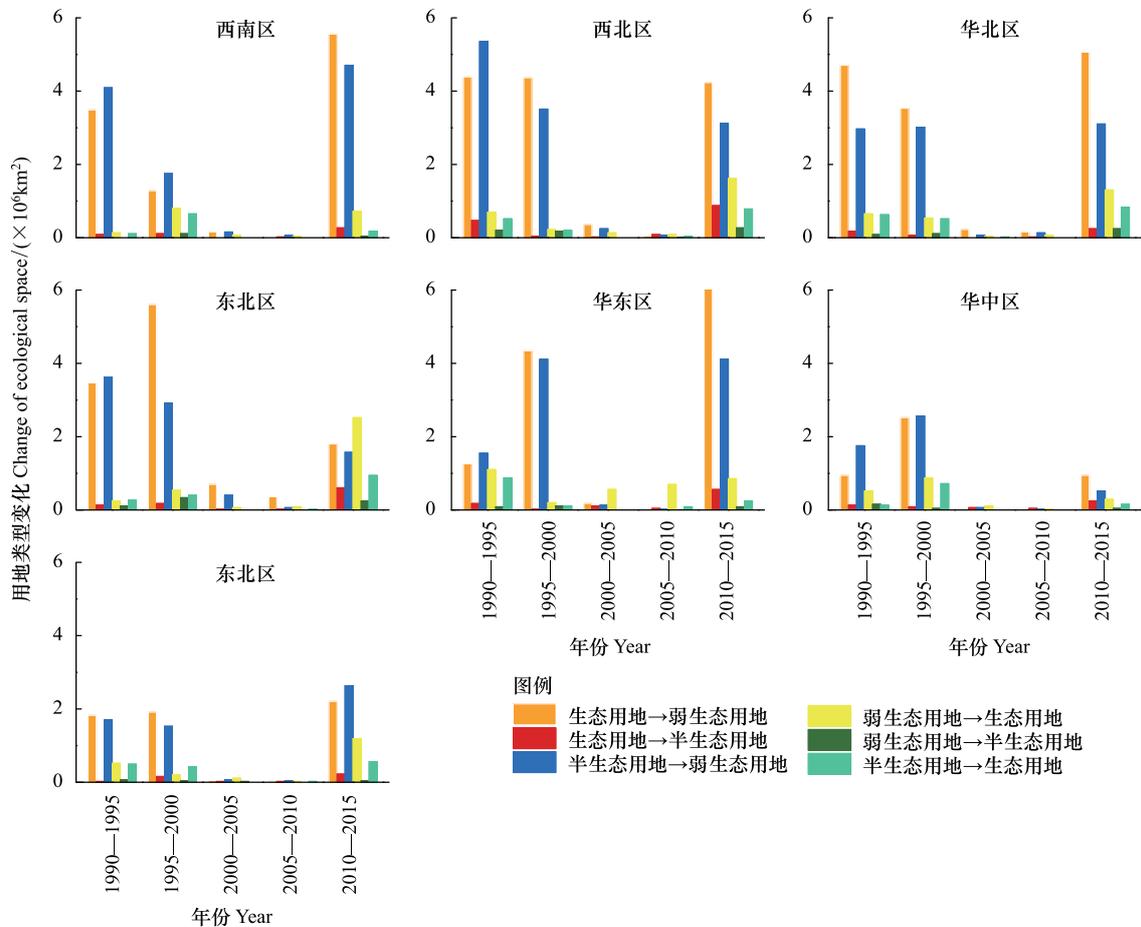


图 2 1990—2015 年区域生态空间演化

Fig.2 Regional ecological space evolution from 1990 to 2015

(4) 东北区

东北区 1990—2015 年半生态用地面积共增加 2.93 万 km^2 , 显著增长地区集中在三江平原、松嫩平原及辽河平原, 其他地区也有少量的增长现象, 但分布较为零散。原因主要为东北平原地区土壤肥沃、水土资源良好, 耕地得到大量开垦^[32], 林地及草地面积大量缩减。东北各省会城市及其他主要城市弱生态用地在 1990 年以后表现出逐渐扩张的态势, 振兴东北战略带来的经济发展推动了该区域弱生态用地的持续增加, 2015 年东北区弱生态用地面积已达 2.27 万 km^2 。

(5) 华东区

华东区生态空间类型以弱生态用地为主, 该区为国家重点开发区, 改革开放后经济快速发展, 半生态用地持续向弱生态用地转变。1990—2015 年, 弱生态用地面积增长约 3.47 万 km^2 , 变化用地主要集中在长江三角洲等经济发达地区。2005—2015 年间, 华东区生态用地面积由 40.25 万 km^2 增加至 2015 年的 40.75 万 km^2 。该区半生态用地自 1990 年起面积不断减少, 主要变化形式为半生态用地向弱生态用地的转变, 后期生态用地呈现波动上升的趋势。

(6) 华中区

1990—2015 年该区生态空间变化类型以半生态用地向弱生态用地转变为主, 半生态用地面积减少约 0.94 万 km^2 , 弱生态用地(主要是建设用地)持续扩张, 但增长速度不断减弱, 主要是由于中原城市群、武汉城市群和长株潭城市群地区的发展, 面积由 1990 年的 0.86 万 km^2 增长至 2015 年的 2.03 万 km^2 。部分地区如洞庭湖、鄱阳湖等水域附近, 围湖造田现象较为严重, 生态用地面积减少较为显著。

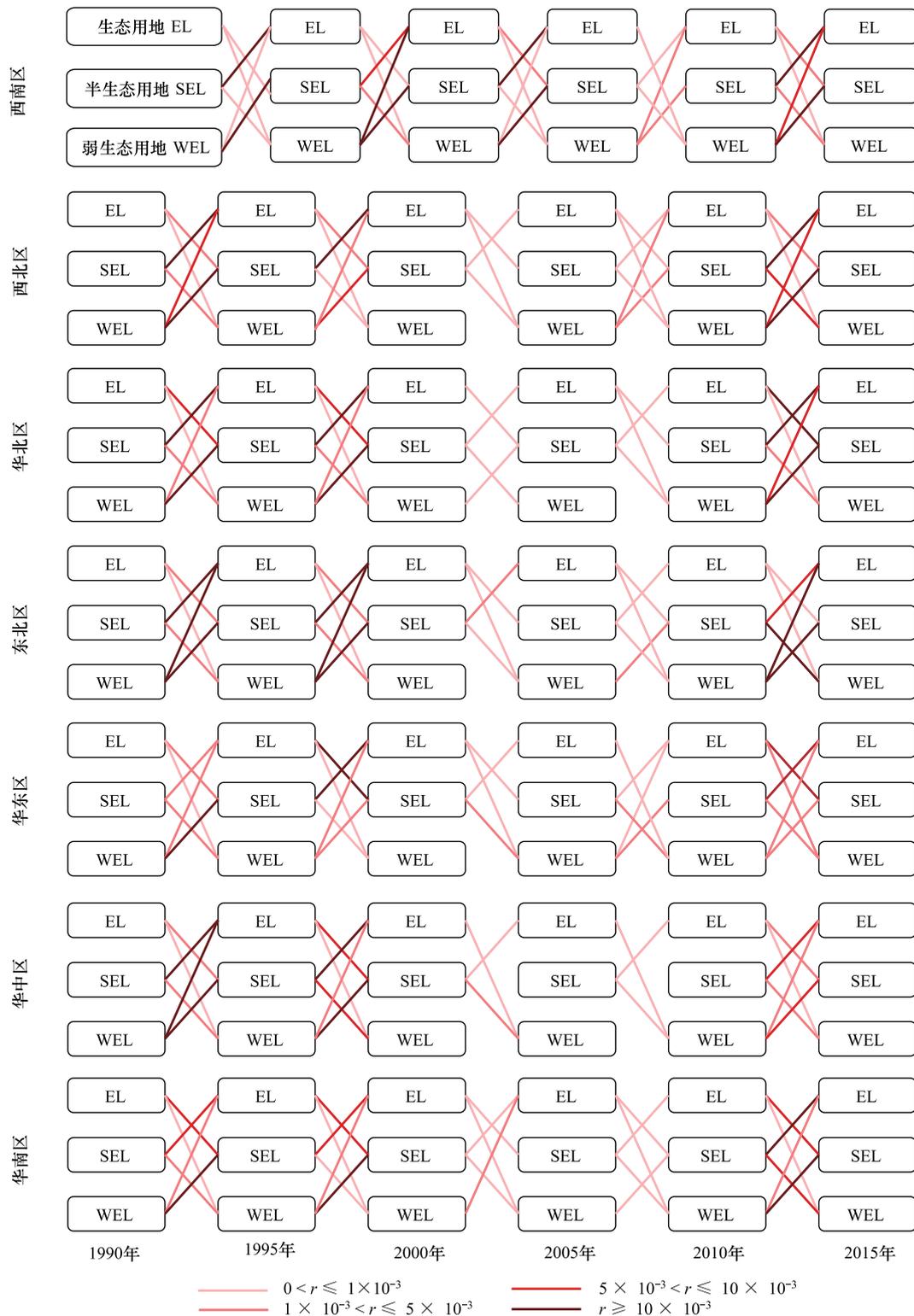


图 3 1990—2015 年区域各类型生态用地动态度

Fig.3 Dynamic degrees of regional ecological space from 1990 to 2015

(7) 华南区

华南区地处中国沿海,生态空间变化具有阶段性。初期该区生态用地向半生态用地转变,原因主要是该时期中国家庭联产承包责任制的实施极大地促进了农业的进步及耕地的持续扩张。及至 2000 年后,由于沿

海地区城镇化进程的加快及基塘农业的发展,生态用地及半生态用地大量流失。2005—2015 年,受到国家主体功能区战略的影响,华南区率先实施生态管控(《退耕还林条例》、《广东省森林管理实施办法》等),生态空间逐渐得到恢复,2015 年华南区生态用地总面积约 30.13 万 km²,占全区的 53.71%。

2.3 1990—2015 年区域生态空间演化梯度

近 30 年来中国生态空间发生了快速转型,主要经历了 3 个阶段:首先是生态用地向半生态用地的转变,之后转变速率降低,伴随半生态用地向弱生态用地的转化,最后表现为半生态用地向生态用地转变。由于自然环境、资源禀赋及经济水平等条件的差异,不同区域生态空间转型速率有所不同,所处转型阶段也有所不同,本文将全国西南、华北、东北、西北、华东、华中及华南 7 大区域划分为 3 级梯度带(图 4)。

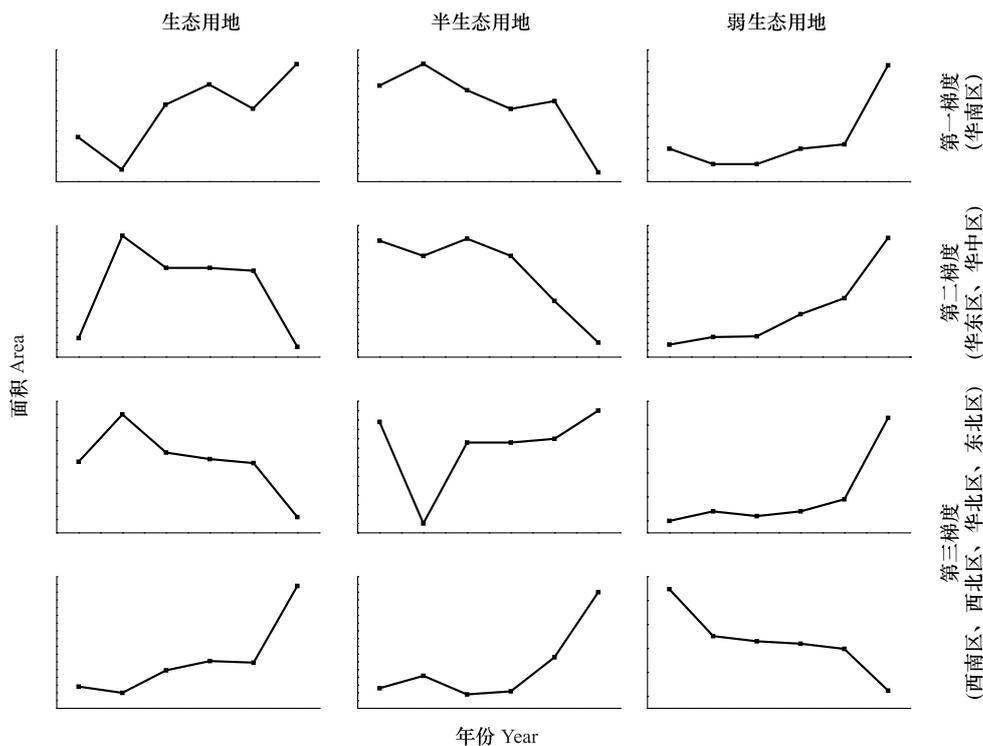


图 4 1990—2015 年区域生态空间演化的梯度效应

Fig.4 Gradient effect of regional ecological space evolution from 1990 to 2015

(1)第一梯度:华南区。半生态用地向弱生态用地转变趋势仍较为显著。但部分区域半生态用地开始向生态用地转变,主要集中在水域如湖泊、江河以及林地周围,说明受到宏观政策及区域经济发展战略的影响,通过实施生态管控措施^[33-34],大力推进生态空间保护和建设,有效遏制了生态环境的继续恶化,使生态空间发生转型,有效推动了生态用地的增加。

(2)第二梯度:华东区及华中区。该区域前期大量生态用地向半生态用地转变,后期主要表现为半生态用地向弱生态用地的转变,由于生态保护工程^[35-37](如天然林资源保护工程、长江中上游水土保持重点防治工程等)的实施,生态用地缩减速率不断降低,林地及草地面积有所增加,部分地区生态环境有所改善,但仍需要实施具有针对性的空间治理方案。

(3)第三梯度:主要为西南区、西北区、华北区及东北区。21 世纪前生态用地持续缩减,主要的粮食生产区如华北及东北区等半生态用地持续增加,主要由农田开垦导致的大量草地、林地及未利用地转变为耕地及湖泊面积减少所致。及至后期,由于追求经济增长,在各区域经济战略实施的影响下,生态空间以弱生态用地面积的增长为主,建设用地盲目扩张,集中分布于各省会及主要城市、乡镇周边。该区域承载了中国约 52% 的生态功能^[6],对保障国家生态安全具有重要作用,亟待实施生态空间管控措施。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文以中科院 1990—2015 年中国土地利用变化数据为基础,在对生态空间内涵进行界定的基础上,建立中国生态空间分类体系与土地利用分类系统的衔接关系,分析了改革开放 30 年以来中国生态空间演化的时空格局和梯度效应。主要结论为:

(1) 中国生态用地面积持续减少,主要向半生态用地转变,变化剧烈地区集中分布于重要的粮食生产区域及周边,通常水土资源良好,具有优越的种植环境。半生态用地变化较为波动,前期主要表现为不断扩张,来源为生态用地,后期大量半生态用地转换为弱生态用地,主要发生在主要城市群地区。弱生态用地持续扩张,主要来源为半生态用地,伴随城镇化进程不断加速。

(2) 生态空间演变过程表现出一定的区域差异,西南区、西北区、华北区及东北区生态用地持续缩减,半生态用地不断增加,后期由于区域经济战略的实施,生态空间变化方向发生转变,弱生态用地不断增加;华东区及华中区生态用地转出速率逐渐降低,半生态用地仍持续输出为弱生态用地;华南区部分区域半生态用地开始向生态用地转变,对该区域实施的生态管控措施有所响应,生态用地有所增加。

(3) 不同梯度区域生态空间演化发生拐点的时间不同,整体趋势表现为由西向东生态用地转入面积不断增多,生态管控实施力度增大。因此,区域生态空间状况与生态空间管控具有较强的相关性,各级政府应当高度重视。生态空间管控应基于区域生态空间变化特征,参考主体功能区战略,以保障和维护生态功能为目标,强化总体生态空间管控,确定分区域生态空间安全底线目标,提出国家空间管控近远期战略性方案。同时,我国经济发展战略向区域协调发展(西部大开发、东北振兴及中部崛起等)的转变(主要包括生态环境建设及产业结构调整等),有效遏制了中西部及东北地区生态空间的进一步恶化。

3.2 讨论

1990 年以来土地利用变化遥感信息连续监测为掌握和揭示中国生态空间动态演化特征提供了可能,明晰中国生态空间演化的时空及过程特征,有利于及时发现我国过去一段时间内土地利用中存在的生态问题,并为开展生态环境建设及国土空间格局优化提供参考依据。然而,本研究在以下两个方面仍有待于进一步改进。

首先,关于生态空间的界定和分类体系的确定。十八大报告中关于推进生态文明建设及优化国土空间开发格局的实施亟需提出完善的生态空间分类体系^[18]。但学术界对于生态空间的界定仍存在一定难度。从生态学的角度,不同生态系统类型具有不同的生态功能。如荒漠生态系统是一种自然生态系统,尽管其生态系统服务价值较低,但结构及功能相对稳定。另外,根据土地利用类型对生态空间进行分类仍具有不确定性与非绝对性。弱生态用地中某些用地(例如城镇用地中的人工绿地)也具有半生态用地的性质。下一步应基于不同生态系统对其功能强度、抵抗力及恢复力等进行量化分析。

其次,关于土地利用和生态空间数据的不确定性。中科院土地利用数据集是目前我国唯一一套覆盖 1980 年代以来的完整时间序列图集,采用的人机交互解译的方式保证了产品的一致性和精度。尽管野外调查验证得到的综合评价精度达到 91%—94%^[38],但在变化图谱分析时这些误差会带入到生态空间的变化中,对结果造成一定的误差。未来应基于大数据及遥感技术,运用深度学习算法等进一步优化多时相生态空间信息。

参考文献 (References):

- [1] Ellis E C, Kaplan J O, Fuller D Q, Vavrus S, Goldewijk K K, Verburg P H. Used planet: a global history. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2013, 110(20): 7978-7985.
- [2] 孙东琪, 张京祥, 朱传耿, 胡毅, 周亮. 中国生态环境质量变化态势及其空间分异分析. *地理学报*, 2012, 67(12): 1599-1610.

- [3] Zhao G S, Liu J Y, Kuang W H, Ouyang Z Y, Xie Z L. Disturbance impacts of land use change on biodiversity conservation priority areas across China: 1990-2010. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(5): 515-529.
- [4] Feng S, Fu Q. Expansion of global drylands under a warming climate. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, 13(19): 10081-10094.
- [5] Jiang P H, Cheng L, Li M C, Zhao R F, Huang Q H. Analysis of landscape fragmentation processes and driving forces in wetlands in arid areas: a case study of the middle reaches of the Heihe River, China. *Ecological Indicators*, 2014, 46: 240-252.
- [6] 许尔琪, 张红旗. 中国核心生态空间的现状、变化及其保护研究. *资源科学*, 2015, 37(7): 1322-1331.
- [7] Zhang H Q, Xu E Q, Zhu H Y. Ecological-living-productive land classification system in China. *Journal of Resources and Ecology*, 2017, 8(2): 121-128.
- [8] Wolch J R, Byrne J, Newell J P. Urban green space, public health, and environmental justice: the challenge of making cities 'just green enough'. *Landscape and Urban Planning*, 2014, 125: 234-244.
- [9] Gupta K, Kumar P, Pathan S K, Sharma K P. Urban neighborhood green index-A measure of green spaces in urban areas. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 105(3): 325-335.
- [10] Schäffler A, Swilling M. Valuing green infrastructure in an urban environment under pressure — The Johannesburg case. *Ecological Economics*, 2013, 86: 246-257.
- [11] Sanderson E W, Jaiteh M, Levy M A, Redford K H, Wannebo A V, Woolmer G. The human footprint and the last of the wild: The human footprint is a global map of human influence on the land surface, which suggests that human beings are stewards of nature, whether we like it or not. *BioScience*, 2002, 52(10): 891-904.
- [12] Venter O, Sanderson E W, Magrath A, Allan J R, Behr J, Jones K R, Possingham H P, Laurance W F, Wood P, Fekete B M, Levy M A, Watson J E M. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications*, 2016, 7: 12558.
- [13] 赵景柱. 景观生态空间格局动态度量指标体系. *生态学报*, 1989, 10(2): 182-186.
- [14] 俞孔坚, 李海龙, 李迪华, 乔青, 奚雪松. 国土尺度生态安全格局. *生态学报*, 2009, 29(10): 5163-5175.
- [15] 张红旗, 许尔琪, 朱会义. 中国“三生用地”分类及其空间格局. *资源科学*, 2015, 37(7): 1332-1338.
- [16] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析. *地理学报*, 2017, 72(7): 1290-1304.
- [17] 龙花楼, 刘永强, 李婷婷, 王静, 刘爱霞. 生态用地分类初步研究. *生态环境学报*, 2015, 24(1): 1-7.
- [18] 谢花林, 姚干, 何亚芬, 张道贝. 基于 GIS 的关键性生态空间辨识——以鄱阳湖生态经济区为例. *生态学报*, 2018, 38(16): 5926-5937.
- [19] 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.
- [20] 葛全胜, 赵名茶, 郑景云. 20 世纪中国土地利用变化研究. *地理学报*, 2000, 67(6): 698-706.
- [21] Liu J Y, Kuang W H, Zhang Z X, Xu X L, Qin Y W, Ning J, Zhou W C, Zhang S W, Li R D, Yan C Z, Wu S X, Shi X Z, Jiang N, Yu D S, Pan X Z, Chi W F. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(2): 195-210.
- [22] 张增祥, 赵晓丽, 汪潇. 中国土地利用遥感监测. 北京: 星球地图出版社, 2012.
- [23] 王甫园, 王开泳, 陈田, 李萍. 城市生态空间研究进展与展望. *地理科学进展*, 2017, 36(2): 207-218.
- [24] 沈悦, 刘天科, 周璞. 自然生态空间用途管制理论分析及管制策略研究. *中国土地科学*, 2017, 31(12): 17-24.
- [25] 李广东, 方创琳. 城市生态—生产—生活空间功能定量识别与分析. *地理学报*, 2016, 71(1): 49-65.
- [26] Pontius Jr R G, Huang J L, Jiang W L, Khallaghi S, Lin Y T, Liu J Y, Quan B, Ye S. Rules to write mathematics to clarify metrics such as the land use dynamic degrees. *Landscape Ecology*, 2017, 32(12): 2249-2260.
- [27] 陈述彭, 岳天祥, 励惠国. 地学信息图谱研究及其应用. *地理研究*, 2000, 19(4): 337-343.
- [28] 王金亮, 邵景安, 李阳兵. 近 20a 三峡库区农林地利用变化图谱特征分析. *自然资源学报*, 2015, 30(2): 235-247.
- [29] Bryan B A, Gao L, Ye Y Q, Sun X F, Connor J D, Crossman N D, Stafford-Smith M, Wu J G, He C Y, Yu D Y, Liu Z F, Li A, Huang Q X, Ren H, Deng X Z, Zheng H, Niu J M, Han G D, Hou X Y. China's response to a national land-system sustainability emergency. *Nature*, 2018, 559(7713): 193-204.
- [30] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 徐新良, 张树文, 颜长珍, 李仁东, 吴世新, 胡云锋, 杜国明, 迟文峰, 潘涛, 宁静. 2010-2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征. *地理学报*, 2018, 73(5): 789-802.
- [31] 葛全胜, 戴君虎, 何凡能, 潘娜, 王梦麦. 过去 300 年中国土地利用、土地覆被变化与碳循环研究. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2008, 38(2): 197-210.
- [32] 刘纪远, 张增祥, 庄大方, 王一谋, 周万村, 张树文, 李仁东, 江南, 吴世新. 20 世纪 90 年代中国土地利用变化时空特征及其成因分析. *地理研究*, 2003, 22(1): 1-12.
- [33] He F N, Ge Q S, Dai J H, Rao Y J. Forest change of China in recent 300 years. *Journal of Geographical Sciences*, 2008, 18(1): 59-72.
- [34] Liu J G, Yang W. Water sustainability for China and beyond. *Science*, 2012, 337(6095): 649-650.
- [35] Xu J T, Yin R S, Li Z, Liu C. China's ecological rehabilitation: unprecedented efforts, dramatic impacts, and requisite policies. *Ecological Economics*, 2006, 57(4): 595-607.
- [36] Liu J G, Li S X, Ouyang Z Y, Tam C, Chen X D. Ecological and socioeconomic effects of China's policies for ecosystem services. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9477-9482.
- [37] Hua L M, Squires V R. Managing China's pastoral lands: current problems and future prospects. *Land Use Policy*, 2015, 43: 129-137.
- [38] Ju H R, Zhang Z X, Zhao X L, Wang X, Wu W B, Yi L, Wen Q K, Liu F, Xu J Y, Hu S G, Zuo L J. The changing patterns of cropland conversion to built-up land in China from 1987 to 2010. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(11): 1595-1610.