

DOI: 10.5846/stxb201808251814

曹巍, 黄麟, 肖桐, 吴丹. 人类活动对中国国家级自然保护区生态系统的影响. 生态学报, 2019, 39(4): - .

Cao W, Huang L, Xiao T, Wu D. Effects of human activities on the ecosystems of China's National Nature Reserves. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(4): - .

人类活动对中国国家级自然保护区生态系统的影响

曹 巍¹, 黄 麟^{1,*}, 肖 桐², 吴 丹³

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

2 环境保护部卫星环境应用中心, 北京 100094

3 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042

摘要:我国已建立了超过 2740 个自然保护区, 面积约占陆地国土面积的 14.8%。本文以我国 446 个国家级自然保护区作为研究对象, 基于遥感信息提取、模型与方程估算、时空趋势分析, 揭示 2000—2015 年不同类型自然保护区、自然保护区不同区域生态系统质量和关键服务的时空变化特征, 利用土地覆盖变化量化人类活动并进一步分析人类正面与负面活动对生态系统质量和关键服务的影响。结果表明: (1) 国家级自然保护区内土地覆盖变化表明存在不同程度的人类活动, 总体表现为保护区外较保护区内剧烈, 说明保护区对生态系统具有明显保护作用。(2) 农田开垦、居民点修建、工矿建设、能源资源开发等人类活动对保护区生态系统的负面影响表现为草地、湿地开垦导致耕地、水库坑塘面积增加, 城镇居民点与工矿建设用地扩张侵占草地。(3) 湿地面积净增加而林地、草地面积净减少, 反映了湿地保护、退田还湖等措施的积极作用, 然而退耕还林、退牧还草局限于部分保护区; (4) 气候变化是自然保护区植被覆盖度微弱上升、净初级生产力下降、生态系统水源涵养量微弱增加、土壤保持量明显增加的主要原因, 而人类活动仅在局部对生态系统产生影响。为了推动我国自然保护区体系的完善和保护作用的发挥, 需要统一保护区建设标准及其规范, 完善保护区法律制度, 积极开展相关基础科学研究。

关键词:国家级自然保护区; 人类活动; 生态系统; 生态质量; 生态服务

Effects of human activities on the ecosystems of China's National Nature Reserves

CAO Wei¹, HUANG Lin^{1,*}, XIAO Tong², WU Dan³

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 Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection, Beijing 100094, China

3 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China

Abstract: The number, area, and development speed of China's natural reserves have reached the top in the world and are higher than the global average. The total area of more than 2740 natural reserves accounted for approximately 14.8% of the land area in China. In this study, 446 national natural reserves were selected as study areas, which accounted for 65.9% of the total area of China's nature reserves. Based on the methods of remote sensing information extraction, model and equation estimation, and spatial and temporal analysis, the spatial and temporal patterns of ecosystem quality and key services from 2000 to 2015 in different types of natural reserves and varied regions in natural reserves were analyzed. Then, the anthropogenic activities and their effects on ecosystem quality and services were analyzed through quantified land cover changes. The results showed that: (1) The obvious land cover changes in the National Nature Reserves indicated that there were different degrees of human activities, which were more aggressive outside the nature reserves than inside them. It also

基金项目:国家重点研发计划项目(2017YFC0506404);中国科学院前沿科学重点研究项目(QYZDB-SSW-DQC005)

收稿日期:2018-08-25; **修订日期:**2018-12-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: huanglin@reis.ac.cn

indicated that the nature reserves have obvious protective effects on the ecosystems; (2) The negative effects of human activities, such as farmland reclamation, residential construction, industrial and mining construction, and energy resources development on the ecosystem of the reserves were as follows: reclamation of grasslands and wetlands increased the cultivated land area by 894.8 km², development of reservoirs and ponds decreased the cultivated land area by 290.4 km², expansion of urban residential, and industrial and mining construction land mainly occupied the grasslands by 51.3 km² and 169.1 km², respectively; (3) wetland area increased by 281 km², forests and grasslands had a net decrease of 145.8 km² and 1531.5 km², respectively, which reflected the positive effects of wetland protection and returning farmland to lakes, but the effects of returning farmland to forest and grasslands were limited to some nature reserves; (4) climate change was the main reason for the weak increase of vegetation coverage, the decrease of net primary productivity, the slight increase of ecosystem water conservation, and the significant increase of ecosystem soil conservation; however, human activities only effected the ecosystem locally. To promote the development and protection of China's nature reserve system, it is necessary to unify the standards and specifications of the nature reserve system, improve the legal system of nature reserves, and promote basic scientific research.

Key Words: national nature reserves; human activities; ecosystems; ecosystem quality; ecosystem services

自然保护区是保护物种及其生境的一种重要途径^[1-2],是实现生物多样性保护目标的一个有效指标^[3-4],是最有效可行的一种就地保护手段^[5]。可持续发展的保护地体系对未来人类福祉起到至关重要的作用。目前,全球建立了自然保护区 20 多万个,约占地球表面积的 15.4%^[6]。生物多样性公约要求到 2020 年通过有效和公平地管理、生态代表和连接良好的保护区体系及有效措施保护全球 17% 的陆地和 10% 的海洋^[7]。随着保护区面积的不断增长,对保护区的研究变得越来越重要^[8]。然而,尽管保护地体系建设取得了相当大的进展,但生物多样性持续下降,故而保护地覆盖面积增加和生物多样性负向发展趋势之间的差异,使得如何提高保护地有效性再次成为焦点^[9]。对于保护地的有效性历来存在争议^[10-12],有研究通过对比相关指标在保护区内、外的差异以评价保护区的有效性^[13-15],特别是亚马逊和刚果等生物多样性丰富的热带雨林地区^[16-17],这类指标比如森林减少速率或森林砍伐减少量^[1,18]等等。

气候变化和人类活动是影响生物多样性和生态系统服务的重要因素^[19-22]。未来气候变化将改变重要物种在纬度和高度上的分布范围^[23-24],减小保护区的有效范围^[25],增加物种灭绝风险^[26-27]。因此,保护区及其有效性受到气候变化和人类活动的双重威胁,然而,威胁的程度是未知的。城市化、森林砍伐、道路建设等减少了保护区的有效规模,导致原生栖息地破碎化和生物多样性下降,严重影响保护区的保护有效性^[28-29]。反过来,保护区还对周边区域产生其他影响,比如维持传统生计、保持水热平衡、调节局地气候、防止森林火灾等^[16]。研究发现保护区外邻近地带成为人类活动的热点区域,即保护区被孤立从而产生溢出效应^[16,29]。针对保护区溢出效应,巴西亚马逊地区在生物多样性热点区域周边留出大量的森林作为“绿色壁垒”^[30-31]。

我国目前已建立自然保护区 2740 多个,总面积约占陆地国土面积的 14.8%,保护了我国超过 90% 的陆地自然生态系统类型,约 89% 的国家重点保护野生动植物种类,以及大多数重要自然遗迹。自然保护区的数量、发展速度、面积均已经达到国际前列,高于世界平均水平。然而,对于我国建立的可能是一些“纸上公园”的质疑也越来越多^[11-12]。采石、工矿建设、能源资源开发、违法无序旅游开发以及其他人工设施建设等已对自然保护区的生态环境造成影响,气候变化背景下,影响保护地功能发挥的驱动因素聚焦到人类活动。已有保护区研究多集中在单个保护区物种监测、生物多样性状况、栖息地变化及对周围区域经济社会的影响等^[32-34],无法了解我国自然保护区网络的宏观状况。范泽孟等^[35]、祝萍等^[36]、Xu^[4]等在大时空尺度开展了我国典型自然保护区土地利用变化、生境状况变化的监测,然而缺少人类活动对自然保护区影响的量化分析。

因此,开展分析人类活动对自然保护区生态系统影响的量化分析,快速、科学评估存在问题,对于自然保护区监管、自然保护区布局及保护重点调整,并有针对性地制定相关政策措施,具有极其重要的作用。因此,

本文以国家级自然保护区作为研究对象,基于遥感信息提取、模型与方程估算、时间空间分析等方法获取生态系统质量和关键服务的时空数据集,分析不同类型自然保护区与自然保护不同区域生态系统近 15a 的时空变化特征,利用土地覆盖变化量化人类活动并进一步分析人类正面与负面活动对生态系统质量和关键服务的影响。本文拟解决以下两个主要问题:1) 2000—2015 年国家级自然保护区生态系统质量与服务如何变化? 2) 人类活动作为主要影响因素,如何从正面和负面影响国家级自然保护区的生态系统?

1 数据与方法

1.1 研究区概况

我国的国家级自然保护区 446 个(截至 2015 年),占全国自然保护区总面积的 65.9%。国家级自然保护区划分为 3 大类别、9 个类型^[37],其中,自然生态系统类 291 个(包括森林生态系统类型 205 个、草原与草甸生态系统类型 4 个、荒漠生态系统类型 13 个、内陆湿地和水域系统类型 52 个、海洋和海岸生态系统类型 17 个)、野生生物类 135 个(包括野生动物类型 116 个、野生植物类型 19 个)、自然遗迹类 20 个(包括地质遗迹类型 13 个、古生物遗迹类型 7 个)。本文以 446 个国家级自然保护区作为主要研究对象(图 1),每个自然保护区划分为核心区、试验区、缓冲区,同时设置自然保护区边界外 0—5 km 缓冲带、5—10 km 缓冲带、10—20 km 缓冲带。

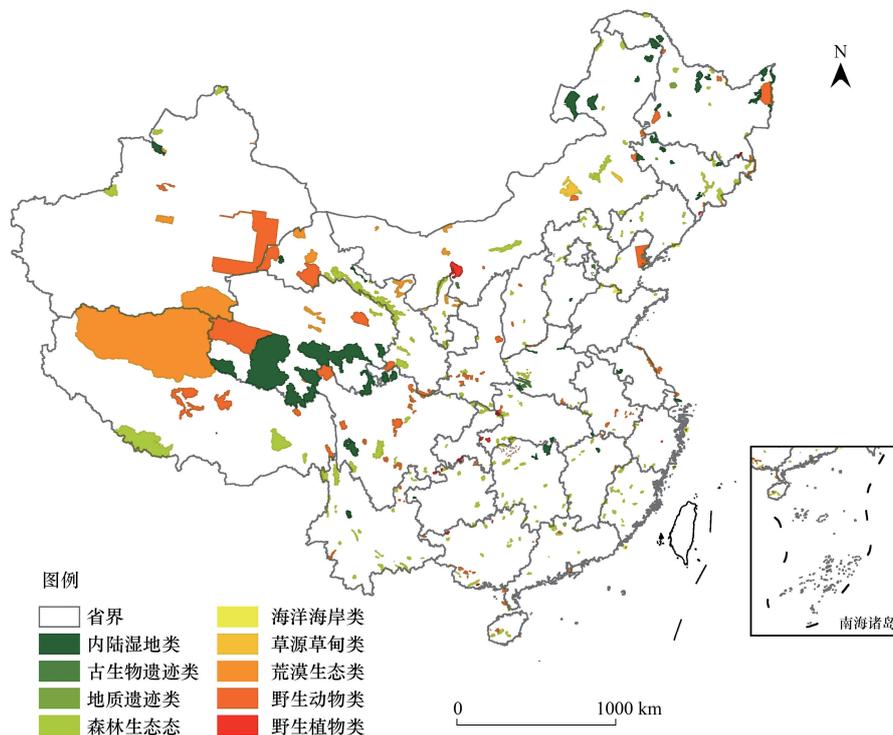


图 1 国家级自然保护区空间分布

Fig.1 The spatial distribution of national nature reserves

1.2 遥感信息提取

土地覆盖及变化:研究区 2000 年和 2015 年土地覆盖及变化数据来源于中国科学院土地利用/覆被变化数据库的全国土地利用本底与动态成分数据及 2000—2015 年土地利用变化数据。该数据集以陆地卫星 TM/ETM+遥感图像为信息源,结合环境小卫星、中巴资源卫星等影像数据,经过影像配准、精校正和拉伸处理后,利用人工解译方法获得土地覆盖类型及其变化^[38]。土地覆盖类型包括 6 个一级类型和 25 个二级类型。同时,利用全国 10% 县数比例的野外调查资料开展质量检查和精度验证^[39],土地覆盖一级类型的综合评价精度

达 94.3%, 二级类型达 91.2%^[38]。本文将二级土地覆盖类型进一步划分为林地、草地、耕地、湿地、水库与坑塘、城镇和居民点、工矿建设用地、沙地及其他未利用地等类型, 以开展人类活动的量化。

植被覆盖度 (Fractional vegetation coverage, FVC): 收集研究区 2000—2015 年 MODIS 归一化植被指数 (Normalized difference vegetation index, NDVI) 数据, 该数据空间分辨率 1km、时间分辨率 16 d, 经过格式转换、重投影、拼接、重采样和 S—G 滤波处理, 采用最大合成法得到连续时间序列的半月 NDVI 数据。依据像元二分模型, 一个像元的 NDVI 值由绿色植被部分与无植被覆盖部分共同贡献的信息组合而成, 因此根据如下公式利用 NDVI 计算半月尺度的植被覆盖度:

$$F_c = \frac{NDVI - NDVI_{soil}}{NDVI_{veg} - NDVI_{soil}} \quad (1)$$

式中, F_c 为植被覆盖度, $NDVI_{veg}$ 是纯植被像元的 NDVI 值, $NDVI_{soil}$ 是完全无植被覆盖像元的 NDVI 值, 依据 1km 栅格百分比土地利用类型数据确定纯植被和完全无植被覆盖的像元。

植被净初级生产力 (Net primary production, NPP): 植被年 NPP 数据为美国蒙大拿大学发布的 MOD17A3 数据 (<https://ipdaac.usgs.gov>), 空间分辨率为 1km, 时间分辨率为 1 a。该产品基于 MODIS/TERRA 卫星遥感数据, 通过参考 BIOME—BGC 模型模拟植被生理过程计算得到植被 NPP 数据。与美国国家航空航天局 (National aeronautics and space administration, NASA) 提供的年 NPP 数据相比, 消除了云对植被叶面积指数和光合有效辐射值的影响, 提高了数值精度。通过数据格式转换、投影转换、空间拼接与裁切、有效值提取得到研究区植被年 NPP 数据。

1.3 模型与方程估算

生态系统水源涵养: 通过对比几种水源涵养量估算方法在量级与变化趋势上的差异, 本文采用降水贮存量法^[40]并改进了各项参数, 估算研究区森林、草地和湿地生态系统水源涵养量, 表示为:

$$Q = M \times J \times R_0 \quad (2)$$

$$J = J_0 \times K_0 \quad (3)$$

式中, Q 为与裸地相比较, 森林、草地和湿地生态系统涵养水分的增加量 (m^3); M 为生态系统面积 (hm^2); J 为产流降水量 (mm); J_0 为年均降水量 (mm); K_0 为产流降水量占降水总量的比例; R_0 为与裸地相比较, 生态系统减少径流的效益系数。通过搜集已发表文献的实测降雨产流临界值, 以临近国家气象台站实测日降水数据修正同时期的 TRMM 逐日 3 h 降水量数据, 累积单次降雨量大于降雨产流临界值的数值得到单点产流降雨量占降雨总量的比例, 再与多年平均河川径流系数建立线性关系, 得到区域产流降雨量占降雨总量比例 (K 值) 的空间分布。

生态系统土壤保持: 采用修正通用土壤流失方程 (Revised universal soil loss equation, RUSLE) 估算研究区土壤水蚀模数 (A)。土壤保持量为生态系统在极度退化状况下的土壤流失量与现实状况下土壤流失量的差值。

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (4)$$

$$K = [2.1 \times 10^{-4} (12 - OM) M^{1.14} + 3.25 (St - 2) + 2.5 (P - 3)] / 100 \times 0.1317 \quad (5)$$

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^{\frac{\beta}{1+\beta}} \quad (6)$$

$$\beta = \left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right) / (3.0 \cdot \sin \theta^{0.8} + 0.56) \quad (7)$$

$$S = \begin{cases} 10.8 \sin(s) + 0.03, & \theta < 9\% \\ 16.8 \sin(s) - 0.5, & 9 \leq \theta \leq 18\% \\ 21.91 \sin(s) - 0.96 & \theta > 18\% \end{cases} \quad (8)$$

$$C = \begin{cases} 1 & f = 0 \\ 0.6508 - 0.3436 \lg f & 0 < f \leq 78.3\% \\ 0 & f > 78.3\% \end{cases} \quad (9)$$

式中, R 是降雨侵蚀力因子, K 为土壤可蚀性因子, L 是坡长因子, S 是坡度因子, C 是覆盖和管理因子, P 为水土保持措施因子。 R 采用基于日降雨量资料的半月降雨侵蚀力模型^[41]来估算。 K 采用 Nomo 图法计算,其中, OM 为土壤有机质含量百分比(%), M 为土壤颗粒级配参数,即(粉粒+极细砂)与粘粒百分比之积, St 为土壤结构系数, P 为渗透等级,这些土壤属性数据来源于 1:100 万中国土壤数据库。 L 和 S 的估算基于 McCool 等^[42] 和刘宝元等^[43-44] 的方法,其中, λ 为坡长(m),计算 L 时把生态系统类型边界、道路、河流、沟塘湖泊等地表要素作为径流的阻隔因素,改进了传统算法中通过相邻栅格间的坡向以及坡度变化率确定坡长终止点的方法,避免了坡长因子的高估。 C 根据蔡崇法^[45] 的方法计算确定。

1.4 时空趋势分析

人类活动时空变化特征分析:根据国家级自然保护区近年监测,我国自然保护区内存在不同程度的人类活动,有的明显甚至剧烈,主要人类活动表现为农田开垦、居民点修建、采石、工矿建设、能源资源开发、违法无序旅游开发以及其他人工设施建设等。这些人类活动导致土地覆盖发生变化,因此本文利用土地覆盖变化分析研究区近 15a 人类活动时空变化特征。产生负面影响的人类活动表示为耕地、水库与坑塘、城镇和居民点、工矿建设用地的增加,而产生正面影响的则表示为林地、草地、湿地的增加。

生态系统质量与服务指标:利用植被覆盖度和净初级生产力评价研究区生态系统质量状况,以水源涵养、土壤保持作为主要的生态系统服务指标。同时,采用最小二乘法分析植被覆盖度的年际变化趋势,计算公式为:

$$slo = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times F_c) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n F_c}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (10)$$

式中, i 为 2000 年到 2015 年的年序号,某栅格像元的趋势线是这个像点的值用一元线性回归模拟出来的一个总的变化趋势, slo 即这条趋势线的斜率,斜率为正,说明此像元在该时间段的变化趋势是增加,反之则是减少。

2 结果与分析

2.1 国家级自然保护区人类活动时空变化特征分析

林地、草地、湿地面积类型转换可以反映出气候变化背景下人类活动的正面影响。2000—2015 年,国家级自然保护区范围内(表 1),林地面积净减少 145.8 km²,其中,新增林地面积 392.7 km²,主要来源于退耕还林和未利用地造林,分布在哈纳斯、黄河首曲、大别山、雪宝山、习水中亚热带常绿阔叶林等自然保护区,林地减少 538.5 km²,主要分布在太白山、荣成大天鹅、车八岭、辉河、塔里木胡杨等自然保护区;草地净减少 1531.5 km²,其中新增草地面积 1048.3 km²,主要分布在乌兰坝、哈纳斯、会泽黑颈鹤、敦煌阳光、黄连山、锡林郭勒草原、乌兰特梭梭林等自然保护区,草地减少 2579.9 km²,主要分布在秦园、青海湖、阿尔金山、黄河首曲、盐池湾、沙坡头等自然保护区;湿地净增加 280.99 km²,其中新增湿地面积 1614.8 km²,主要分布在青海湖、宽阔水、阿鲁科尔沁、安徽清凉峰、九宫山、青龙河、赣江源等自然保护区,湿地减少 1333.8 km²,主要分布在内伶仃岛—福田、湛江红树林、壶瓶山、盐池湾、三江源等自然保护区(图 2)。

耕地、水库/坑塘、城镇/居民点、工矿建设用地的面积增加反映了人类活动对保护区的负面影响。耕地面积净增加了 894.8 km²,其中,新增耕地面积 1319.4 km²,主要来源于草地和湿地开垦,分布在黄河首曲、盐池湾、习水中亚热带常绿阔叶林、荣成大天鹅、太白山等自然保护区,耕地减少 424.5 km²,主要分布在哈纳斯、丹霞山、南岳衡山、内蒙古贺兰山、波罗湖、白音敖包等自然保护区;水库/坑塘面积净增加了 290.4 km²,其中,新

增水库/坑塘 368.0 km²,主要来源于湿地开发,分布在盐池湾、黑茶山、丹霞山、董寨、秦园、松花江三湖、大明山等自然保护区,水库/坑塘减少 77.7 km²,主要分布在八岔岛、古牛峰、塔里木胡杨、麻阳河、太子山、天宝岩等自然保护区;城镇/居民点、工矿建设用地分别净增加了 51.3 km²和 169.1km²,其中,新增城镇/居民点主要分布在内蒙古贺兰山、南岳衡山、秦园、东寨港、安南坝野骆驼、古牛峰、会泽黑颈鹤、花萼山等自然保护区,新增工矿建设用地主要分布在波罗湖、宁夏罗山、内蒙古贺兰山、习水中亚热带常绿阔叶林、黄河首曲、东寨港、五峰后河等自然保护区(图 2)。

表 1 国家级自然保护区土地覆盖转移矩阵(km²)

Table 1 The transition matrix of land cover in the national nature reserves

		2015 年							
		草地 Grassland	林地 Forest	湿地 Wetland	水库坑塘 Reservoir and pond	耕地 Farmland	城镇和 居民点 Towns and settlements	工矿建 设用地 Industrial and construction land	其他未 利用地 Other unused land
2000 年	草地	528806.06	253.03	742.9	83.55	440.35	23.61	75.59	960.83
	林地	143.58	107068.24	25.19	16.68	295.75	6.06	25.24	25.99
	湿地	266.86	16.61	65000.07	135.65	466.94	3.1	29	415.66
	水库坑塘	3.05	0.31	22.48	594.03	44.35	0.22	6.16	1.09
	耕地	132.25	74.4	54.46	90.8	14530.22	28.35	36.19	8.08
	城镇和居民点	2.72	0.57	0.67	1.96	4.82	750.13	1.68	0.86
	工矿建设用地	6.6	0.02	0.14	12.97	20.91	0.85	706.1	0.49
	其他未利用地	493.26	47.8	768.97	26.4	46.23	2.44	37.21	222869.93

2.2 不同类型国家级自然保护区人类活动变化特征分析

图 3 可以看出,不同分区内的人类活动导致土地覆盖变化差异极大,总体表现为保护区外比保护区内的土地覆盖变化剧烈。森林生态系统类型国家级自然保护区内的土地覆盖变化远远低于保护区外,林地、湿地增加而耕地减少,说明退耕还林等具有正面作用的人类活动效果显著,然而同时其工矿建设等负面人类活动也有所增强,表现为工矿建设用地、城镇居民点面积有所增加。草原与草甸生态系统类型国家级自然保护区,核心区与缓冲区人类活动极少,然而实验区和保护区外的缓冲带耕地面积增加、草地面积减少,特别是 5 km 缓冲带,说明草原与草甸生态系统有待加强保护力度。荒漠生态系统类型国家级自然保护区,草地、沙地及其他未利用地的面积大幅减少,耕地、水库坑塘、城镇居民点和工矿建设用地的面积皆增加,说明人类活动对生态系统的负面作用较大,而湿地面积大幅增加,尤其是保护区外,说明干旱半干旱区明显地气候暖湿效应。内陆湿地和水域系统类型国家级自然保护区,湿地、林地和草地面积皆减少,耕地、水库坑塘、城镇居民点和工矿建设用地的面积皆增加,特别是实验区和 5 km 缓冲带,说明该类型保护区有待加强保护力度。海洋和海岸生态系统类型国家级自然保护区,湿地、草地减少,水库坑塘、工矿建设用地、耕地面积增加,特别是实验区和保护区外的缓冲带,说明围海造地对该类型保护区的影响较大。野生动物类型国家级自然保护区,耕地面积增加而林地、草地面积减少,湿地面积在核心区和缓冲区有所增加,水库坑塘、城镇居民点和工矿建设用地的面积增加仅出现在保护区外的缓冲带,说明对此类保护区产生影响的人类活动以开垦为主。野生植物类型国家级自然保护区、地质遗迹类型和古生物遗迹类型,保护区内土地覆盖变化极少,保护区外的缓冲带草地减少、工矿建设用地增加,说明保护成效较好。

2.3 人类活动对国家级自然保护区生态系统质量的影响分析

2000—2015 年,国家级自然保护区的各分区与保护区外的缓冲带植被覆盖度主要呈现上升趋势,特别是 20 km 缓冲带,少部分区域表现为植被覆盖度下降(图 4,表 2)。其中,草原与草甸生态系统类型、海洋和海岸生态系统类型、野生动物类型的保护区,其核心区植被覆盖度上升趋势高于其他分区;荒漠生态系统类型保护

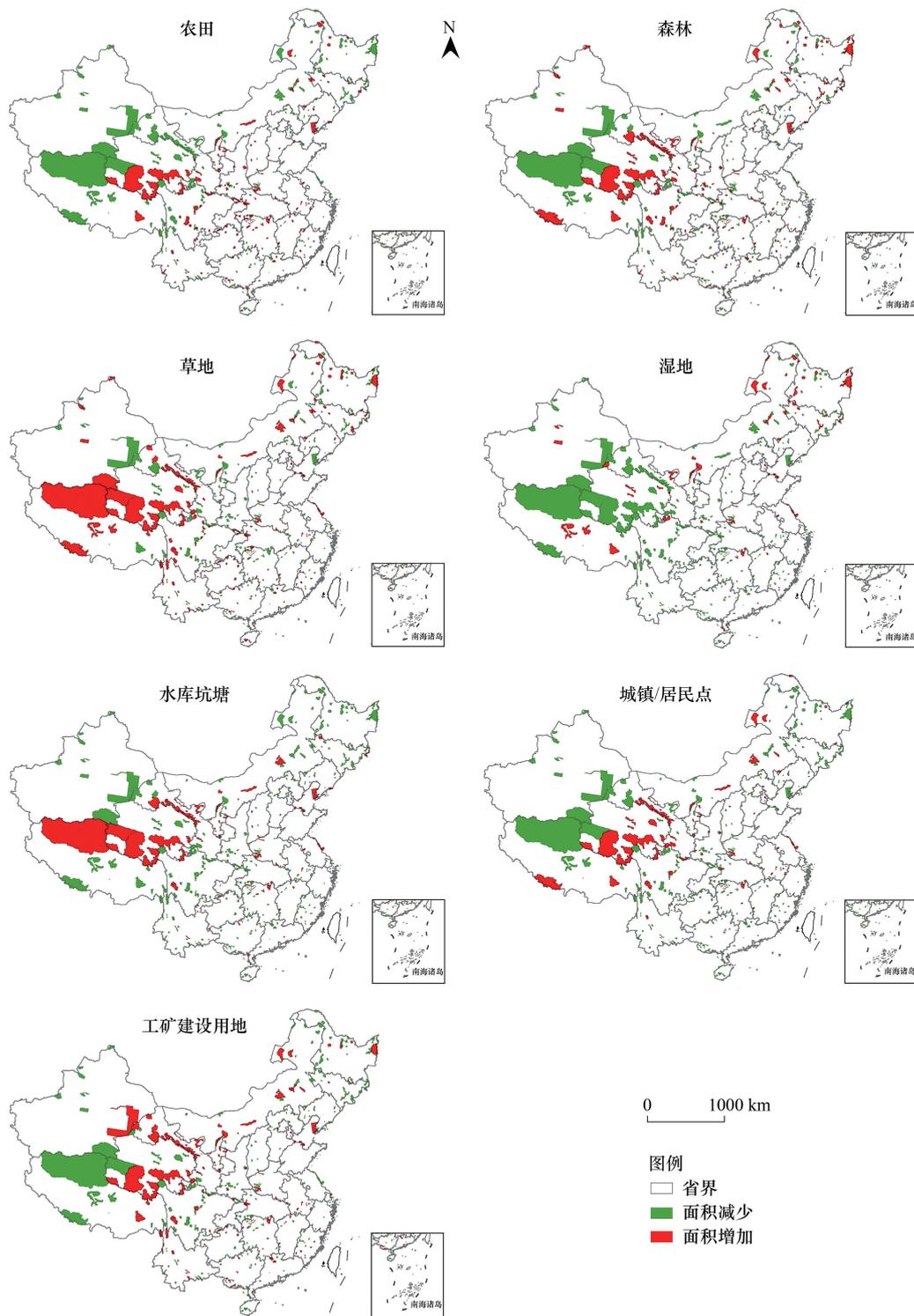


图 2 国家级自然保护区人类活动变化空间分布

Fig.2 The spatial variation of anthropogenic activities in thenational nature reserves

区的缓冲区上升最多,其他类型保护区内的植被覆盖度趋势则低于保护区外的缓冲带。由此说明,人类活动虽然影响土地覆盖变化,但是对植被覆盖度的影响不大。

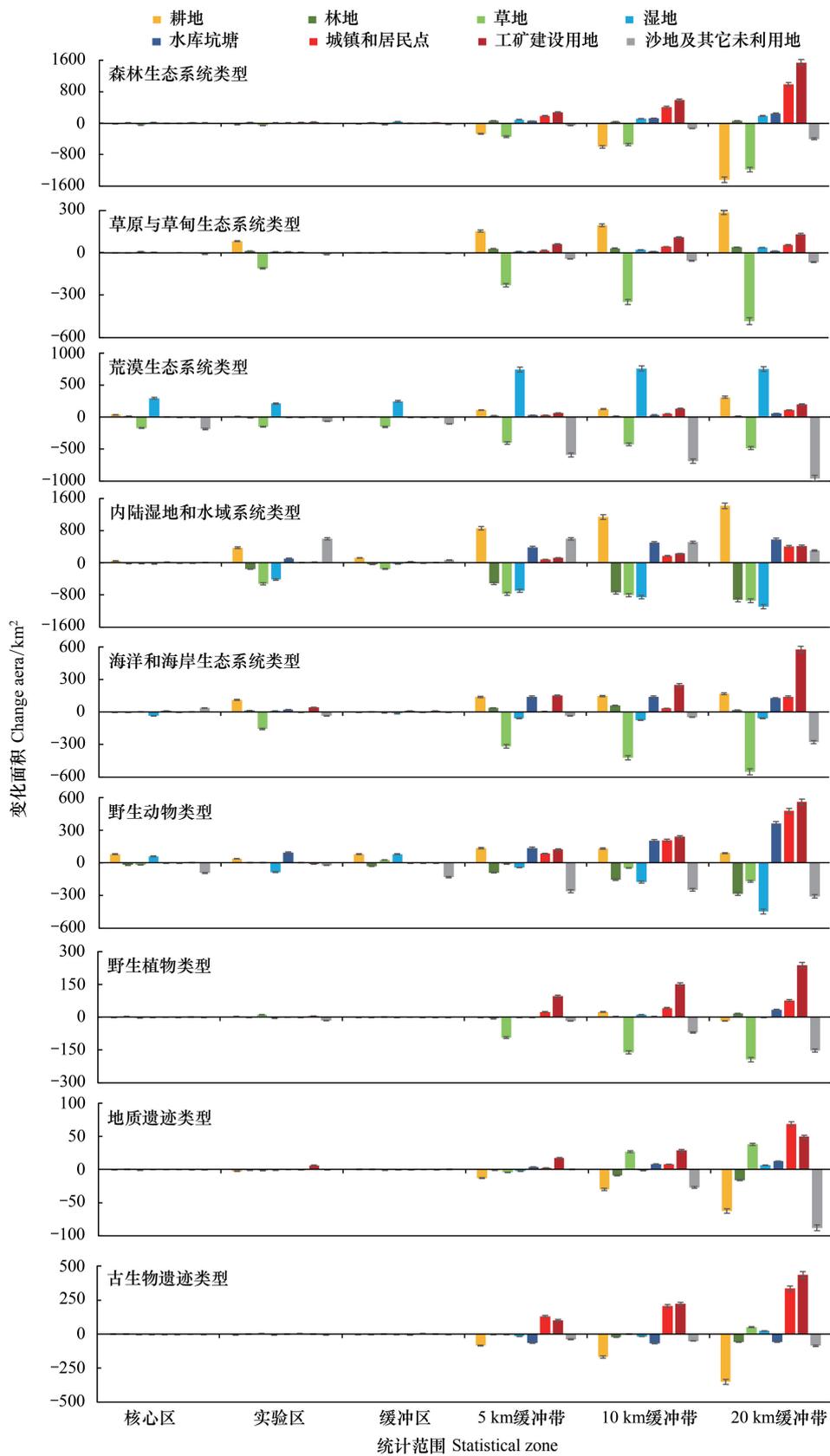


图3 不同类型国家级自然保护区人类活动量化统计

Fig.3 The statistics of anthropogenic activities in thenational nature reserves

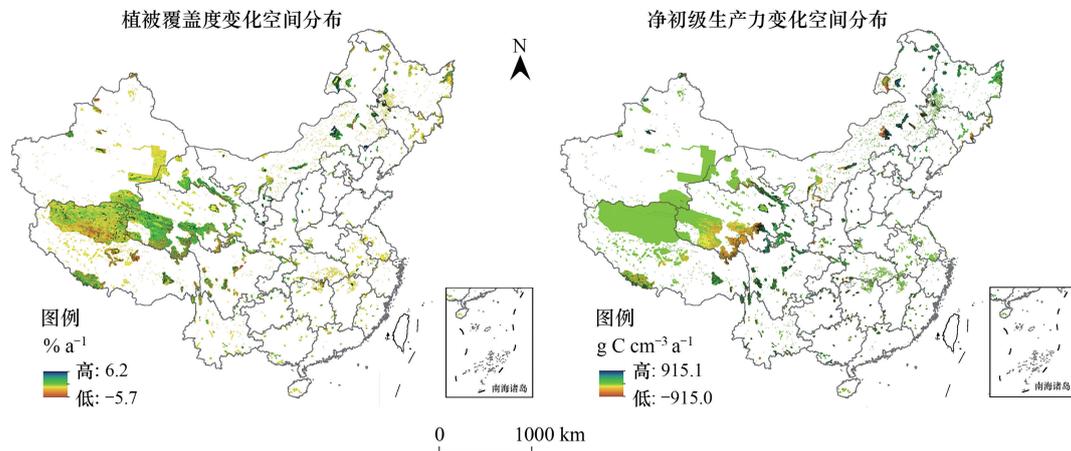


图 4 2000—2015 年国家级自然保护区植被覆盖度与净初级生产力变化空间分布

Fig.4 The spatial distribution of fractional vegetation coverage and net primary production changes in the national nature reserves in 2000—2015

表 2 国家级自然保护区生态系统质量变化统计

Table 2 The statistics of ecosystem qualities in the national nature reserves

统计范围 Statistical zones	核心区 Core zone		试验区 Experimental zone		缓冲区 Buffer zone		5km 缓冲带 5 km buffer strip		10km 缓冲带 10 km buffer strip		20km 缓冲带 20 km buffer strip	
	FVC/%	NPP	FVC/%	NPP	FVC/%	NPP	FVC/%	NPP	FVC/%	NPP	FVC/%	NPP
森林生态系统类型 Forest ecosystem type	0.09	-0.54	0.05	-0.99	0.05	-0.92	0.08	-0.83	0.10	-0.76	0.12	-0.55
草原与草甸生态系统类型 Grassland and meadow ecosystem type	0.65	2.26	0.51	1.73	0.52	1.94	0.59	2.07	0.56	1.99	0.50	1.88
荒漠生态系统类型 Desert ecosystem type	-0.01	-0.05	0.01	0.04	0.06	0.06	0.03	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06
内陆湿地和水域系统类型 Inland wetlands and water system type	0.10	-0.12	0.10	-0.07	0.04	-0.11	0.10	-0.10	0.10	-0.11	0.12	-0.10
海洋和海岸生态系统类型 Marine and coastal ecosystem type	0.39	-0.71	0.22	-0.28	0.34	-0.42	0.27	-0.02	0.29	0.04	0.32	0.04
野生动物类型 Wild animal type	0.06	0.11	0.06	0.04	0.02	0.07	0.05	0.16	0.05	0.19	0.06	0.27
野生植物类型 Wild plant type	0.04	-0.09	0.06	-0.48	0	-0.22	0.09	-0.38	0.12	-0.46	0.13	-0.57
地质遗迹类型 Geological relics type	0.12	-1.63	0.14	-1.71	0.19	-0.75	0.21	-0.83	0.26	-0.70	0.27	-0.67
古生物遗迹类型 Paleontological vestiges type	0.03	-1.65	-0.03	-2.88	-0.20	-3.98	0.04	-2.21	0.07	-2.01	0.13	-1.52
全部 Total	0.07	-0.10	0.04	-0.08	0.05	-0.13	0.07	-0.15	0.08	-0.16	0.10	-0.12

FVC: 植被覆盖度 Fractional vegetation coverage, NPP: 净初级生产力 Net primary production

近 15a, 国家级自然保护区的植被净初级生产力则主要表现为下降趋势, 特别是 5—10km 缓冲带 (图 4, 表 2)。其中, 内陆湿地与水域系统类型、海洋和海岸生态系统类型的核心区, 森林生态系统类型和地质遗迹类型的试验区, 古生物遗迹类型的缓冲区, 植被 NPP 下降趋势最明显。然而, 草原与草甸生态系统类型、荒漠生态系统类型和野生动物类型等保护区的 NPP 则表现为增加趋势

2.4 人类活动对国家级自然保护区生态系统服务的影响分析

2000—2015 年, 国家级自然保护区核心区与保护区外缓冲带的平均生态系统水源涵养量呈现微弱增加

趋势,而保护区试验区和缓冲区呈现减少趋势(表3)。其中,森林生态系统类型、野生植物类型保护区的生态系统水源涵养量皆增加,草原与草甸生态系统类型、野生动物类型、地质遗迹类型多表现为增加;荒漠生态系统类型、内陆湿地与水域系统类型保护区的生态系统水源涵养量皆减少,海洋和海岸生态系统类型、古生物遗迹类型多表现为减少。

近 15a,国家级自然保护区各分区和保护区外缓冲带的生态系统土壤保持量皆呈现较为明显的增加趋势(表3),特别是地质遗迹类型、森林生态系统类型、内陆湿地与水域系统类型保护区。古生物遗迹类型保护区则表现为下降趋势。

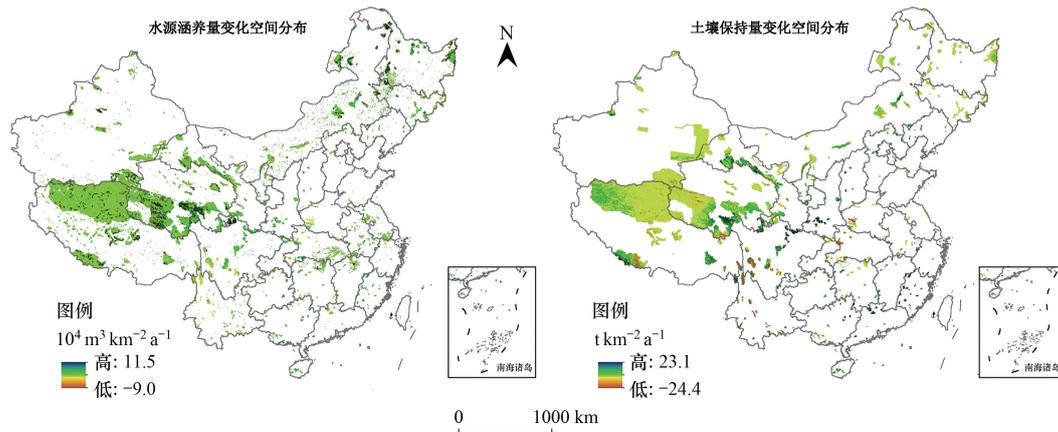


图5 2000—2015年国家级自然保护区生态系统水源涵养与土壤保持服务变化空间分布

Fig.5 The spatial distribution of water conservation and soil conservation changes in the national nature reserves in 2000—2015

表3 国家级自然保护区生态系统核心服务变化统计

Table 3 The statistics of key ecosystem services in the national nature reserves

区域	核心服务	森林生态系统类型	草原与草甸生态系统类型	荒漠生态系统类型	内陆湿地和水域系统类型	海洋和海岸生态系统类型	野生动物类型	野生植物类型	地质遗迹类型	古生物遗迹类型	全部
核心区	水源涵养	0.03	0.04	-0.01	-0.02	0.11	0.02	0.003	0.08	0.03	0.002
	土壤保持	0.58	0.25	0.08	0.41	0.03	0.31	0.001	0.24	-0.04	0.33
试验区	水源涵养	0.02	0.09	-0.01	-0.02	0.18	-0.03	0.03	0.06	-0.13	-0.01
	土壤保持	0.50	0.32	0.05	0.36	0.06	0.04	-0.02	1.17	-0.52	0.14
缓冲区	水源涵养	0.02	-0.09	-0.02	-0.12	-0.86	0.02	0	-0.12	-0.08	-0.02
	土壤保持	0.44	0.29	-0.05	0.15	0.06	0.23	-0.07	1.18	-0.36	0.13
5 km 缓冲带	水源涵养	0.03	0.03	-0.01	-0.03	-0.60	0.01	0.002	0.03	-0.07	0.004
	土壤保持	0.54	0.33	0.02	0.33	0.15	0.32	0.11	0.70	-0.34	0.27
10 km 缓冲带	水源涵养	0.03	0.04	-0.01	-0.03	-0.40	0.01	0.002	0.05	-0.07	0.002
	土壤保持	0.57	0.40	0.02	0.32	0.13	0.42	0.20	0.90	-0.34	0.33
20 km 缓冲带	水源涵养	0.03	0.04	-0.01	-0.02	-0.16	0.02	-0.05	0.03	-0.08	0.01
	土壤保持	0.62	0.50	0.03	0.30	0.17	0.52	0.30	0.98	-0.34	0.39

3 讨论与结论

本文分析了不同类型国家级自然保护区以及自然保护区不同区域 2000—2015 年生态系统质量和关键服务的时空变化特征,量化了人类活动并分析了这些人类活动对生态系统的正向和负向作用。得到主要结论如下:

(1) 国家级自然保护区明显的土地覆盖变化表明存在不同程度的人类活动,总体表现为保护区外比保护

区内剧烈,说明自然保护区对生态系统具有明显保护作用。湿地面积净增加 281 km²,林地、草地面积净减少 145.8 km²和 1531.5 km²,反映了湿地保护、退田还湖等措施的积极作用,然而退耕还林、退牧还草局限于部分保护区。农田开垦、居民点修建、工矿建设、能源资源开发等人类活动对保护区生态系统产生负面影响,草地和湿地开垦导致耕地面积净增加 894.8 km²,湿地开发从而新增水库坑塘面积 290.4 km²,侵占草地为主的城镇居民点与工矿建设用地扩张达到 51.3 km²和 169.1 km²。

(2)森林生态系统类型国家级自然保护区内的土地覆盖变化远远低于保护区外,退耕还林等具有正面作用而同时其工矿建设等也有所增强。草原与草甸生态系统类型核心区与缓冲区人类活动极少,然而实验区和缓冲带耕地面积增加、草地面积减少,说明草原与草甸生态系统有待加强保护力度。荒漠生态系统类型的草地、沙地及其他未利用地的面积大幅减少,而耕地、水库坑塘、城镇居民点和工矿建设用地的面积皆增加,说明人类活动对生态系统的负面作用较大。内陆湿地和水域系统类型的湿地、林地和草地面积皆减少,说明该类型保护区有待加强保护力度。海洋和海岸生态系统类型的围海造地影响较大。野生动物类型的人类活动以农田开垦为主,需要遏制。野生植物类型、地质遗迹类型和古生物遗迹类型保护成效较好。

(3)国家级自然保护区的植被覆盖度主要呈现上升趋势,特别是草原与草甸生态系统类型、海洋和海岸生态系统类型、野生动物类型的保护区;植被 NPP 主要表现为下降趋势,然而草原与草甸生态系统类型、荒漠生态系统类型和野生动物类型等保护区的 NPP 则表现为增加趋势;保护区核心区与缓冲带的平均生态系统水源涵养量呈现微弱增加趋势,而试验区和缓冲区呈现减少趋势;生态系统土壤保持皆呈现较为明显的增加趋势。

(4)气候变化是自然保护区植被覆盖度微弱上升、净初级生产力下降、生态系统水源涵养量微弱增加、土壤保持量明显增加的主要原因,人类活动仅在局部对生态系统产生影响。

虽然我国自然保护区的数量与面积、发展速度均已经达到国际前列,但是现行管理体制以及相关法规制度的缺失,使得人类活动对保护区的干扰不断,制约了保护区成效的发挥。因此,为了推动我国自然保护区体系的完善和保护作用的发挥,需要统一保护区体系及其标准,完善自然保护区相关的法律制度,积极开展保护区的基础科学研究。

参考文献 (References):

- [1] Radeloff V C, Stewart S I, Hawbaker T J, Gimmi U, Pidgeon A M, Flather C H, Hammer R B, Helmers D P. Housing growth in and near United States protected areas limits their conservation value. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107 (2): 940-945.
- [2] Howard P C, Davenport T R B, Kigenyi F W, Viskanic P, Baltzer M C, Dickinson C J, Lwanga J, Matthews R A, Mupada E. Protected area planning in the tropics: Uganda's national system of forest nature reserves. *Conservation Biology*, 2000, 14(3): 858-875.
- [3] Chape S, Harrison J, Spalding M, Lysenko I. Measuring the extent and effectiveness of protected areas as an indicator for meeting global biodiversity targets. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2005, 360(1454): 443-455.
- [4] Xu W H, Xiao Y, Zhang J J, Yang W, Zhang L, Hull V, Wang Z, Zheng H, Liu J G, Polasky S, Jiang L, Xiao Y, Shi X W, Rao E M, Lu F, Wang X K, Daily G C, Ouyang Z Y. Strengthening protected areas for biodiversity and ecosystem services in China. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2017, 114(7): 1601-1606.
- [5] Maiorano L, Faluccia A, Boitani L. Size-dependent resistance of protected areas to land-use change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2008, 275(1640): 1297-1304.
- [6] Juffe-Bignoli D, Burgess ND, Bingham H, Belle EMS, de Lima MG, Deguignet M, Bertzky B, Milam AN, Martinez-Lopez J, Lewis E, Eassom A, Wicander S, Geldmann J, van Soesbergen A, Arnell AP, O'Connor B, Park S, Shi YN, Danks FS, MacSharry B, Kingston N. *Protected Planet Report 2014: Tracking Progress Towards Global Targets for Protected Areas*. Cambridge: UNEP-WCMC, 2014.
- [7] Convention on Biological Diversity. COP10 Decision X/2: Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020. Montreal, Canada: CHM, 2012.
- [8] Soutullo A. Extent of the global network of terrestrial protected areas. *Conservation Biology*, 2010, 24(2): 362-363.
- [9] Coad L, Leverington F, Knights K, Geldmann J, Eassom A, Kapos V, Kingston N, de Lima M, Zamora C, Cuadros I, Nolte C, Burgess N D, Hockings M. Measuring impact of protected area management interventions: current and future use of the global database of protected area

- management effectiveness. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2015, 370(1681): 20140281.
- [10] Thomas C D, Gillingham P K, Bradbury R B, Roy DB, Anderson BJ, Baxter JM, Bourm NA D, Crick HQ P, Findon RA, Fox R, Hodgson JA, Holt AR, Morecroft MD, O'Hanlon NJ, Oliver TH, Pearce-Higgins JW, Procter DA, Thomas JA, Walker KJ, Walmsley CA, Wilson RJ, Hill JK. Protected areas facilitate species' range expansions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012, 109(35): 14063-14068.
- [11] 权佳, 欧阳志云, 徐卫华, 苗鸿. 自然保护区管理有效性评价方法的比较与应用. *生物多样性*, 2010, 18(1): 90-99.
- [12] Liu J G, Ouyang Z Y, Pimm S L, Raven P H, Wang X K, Miao H, Han N Y. Protecting China's biodiversity. *Science*, 2003, 300(5623): 1240-1241.
- [13] Oliveira P J C, Asner G P, Knapp D E, Almeyda A, Galván-Gildemeister R, Keene S, Raybin RF, Smith RC. Land-use allocation protects the Peruvian amazon. *Science*, 2007, 317(5842): 1233-1236.
- [14] Naughton-Treves L, Holland M B, Brandon K. The role of protected areas in conserving biodiversity and sustaining local livelihoods. *Annual Review of Environment and Resources*, 2005, 30: 219-252.
- [15] Bruner A G, Gullison R E, Rice R E, da Fonseca G A B. Effectiveness of parks in protecting tropical biodiversity. *Science*, 2001, 291(5501): 125-128.
- [16] Walker R, Moore N J, Arima E, Perz S, Simmons C, Caldas M, Vergara D, Bohrer C. Protecting the amazon with protected areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(26): 10582-10586.
- [17] Joppa L N, Loarie S R, Pimm S L. On the protection of "protected areas". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(18): 6673-6678.
- [18] Ferraro P J, Hanauer M M, Sims K R E. Conditions associated with protected area success in conservation and poverty reduction. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2011, 108(34): 13913-13918.
- [19] Titeux N, Henle K, Mihoub J B, Regos A, Geijzendorffer IR, Cramer W, Verburg PH, Brotons L. Biodiversity scenarios neglect future land-use changes. *Global Change Biology*, 2016, 22(7): 2505-2515.
- [20] Pereira H M, Navarro L M, Martins I S. Global biodiversity change: the bad, the good, and the unknown. *Annual Review of Environment and Resources*, 2012, 37: 25-50.
- [21] Pacifici M, Foden W B, Visconti P, Watson J E M, Butchart S H M, Kovacs K M, Scheffers B R, Hole D G, Martin T G, Akçakaya H R, Corlett R T, Huntley B, Bickford D, Carr J A, Hoffmann A A, Midgley G F, Pearce-Kelly P, Pearson R G, Williams S E, Willis S G, Young B, Rondinini C. Assessing species vulnerability to climate change. *Nature Climate Change*, 2015, 5(3): 215-224.
- [22] Staudinger M D, Carter S L, Cross M S, Dubois NS, Duffy J E, Enquist C, Griffis R, Hellmann JJ, Lawler JJ, O'Leary J, Morrison SA, Sneddon L, Stein BA, Thompson LM, Turner W. Biodiversity in a changing climate: a synthesis of current and projected trends in the us. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2013, 11(9): 465-473.
- [23] Barbet-Massin M, Jetz W. The effect of range changes on the functional turnover, structure and diversity of bird assemblages under future climate scenarios. *Global Change Biology*, 2015, 21(8): 2917-2928.
- [24] Maes D, Titeux N, Hortal J, Anselin A, Declerck K, De Knijf G, Fichetef V, Luoto M. Predicted insect diversity declines under climate change in an already impoverished region. *Journal of Insect Conservation*, 2010, 14(5): 485-498.
- [25] Araújo M B, Alagador D, Cabeza M, Nogués-Bravo D, Thuiller W. Climate change threatens European conservation areas. *Ecology Letters*, 2011, 14(5): 484-492.
- [26] Pereira HM, Leadley PW, Proença V, Alkemade R, Scharlemann J P W, Fernandez-Manjarrés J F, Araújo M B, Balvanera P, Biggs R, Cheung W W L, Chini L, Cooper H D, Gilman E L, Guénette S, Hurtt G C, Huntington H P, Mace G M, Oberdorff T, Revenga C, Rodrigues P, Scholes R J, Sumaila U R, Walpole M. Scenarios for global biodiversity in the 21st century. *Science*, 2010, 330(6010): 1496-1501.
- [27] Urban M C. Accelerating extinction risk from climate change. *Science*, 2015, 348(6234): 571-573.
- [28] McDonald R I, Kareiva P, Forman R T T. The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 2008, 141(6): 1695-1703.
- [29] Foley J A, DeFries R, Asner G P, Barford C, Bonan G, Carpenter SR, Chapin FS, Coe MT, Daily GC, Gibbs HK, Helkowski JH, Holloway T, Howard EA, Kucharik CJ, Monfreda C, Patz JA, Prentice IC, Ramankutty N, Snyder PK. Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574.
- [30] Andam K S, Ferraro P J, Pfaff A, Sanchez-Azofeifa G A, Robalino J A. Measuring the effectiveness of protected area networks in reducing deforestation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(42): 16089-16094.
- [31] Soares-Filho B, Moutinho P, Nepstad D, Anderson A, Rodrigues H, Garcia R, Dietzsch L, Merry F, Bowman M, Hissa L, Silvestrini R, Maretti C. Role of Brazilian amazon protected areas in climate change mitigation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of*

- America, 2010, 107(24): 10821-10826.
- [32] Liu J G, Linderman M, Ouyang Z Y, An L, Yang J, Zhang H M. Ecological degradation in protected areas: The case of Wolong Nature Reserve for giant pandas. *Science*, 2001, 292(5514): 98-101.
- [33] Zhang Y L, Hu Z J, Qi W, Wu X, Bai W Q, Li L H, Ding M J, Liu L S, Wang Z F, Zheng D. Assessment of effectiveness of nature reserves on the Tibetan Plateau based on net primary production and the large sample comparison method. *Journal of Geographical Sciences*, 2016, 26(1): 27-44.
- [34] 郑姚闽, 张海英, 牛振国, 宫鹏. 中国国家级湿地自然保护区保护成效初步评估. *科学通报*, 2012, 57(4): 207-230.
- [35] 范泽孟, 张轩, 李婧, 岳天祥, 刘纪远, 孙晓芳, 香宝, 匡文慧. 国家级自然保护区土地覆盖类型转换趋势. *地理学报*, 2012, 37(12): 1623-1633.
- [36] 祝萍, 黄麟, 肖桐, 王军邦. 中国典型自然保护区生境状况时空变化特征. *地理学报*, 2018, 73(1): 92-103.
- [37] 国家环境保护局, 国家技术监督局. GB/T 14529-1993 自然保护区类型与级别划分原则. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [38] 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.
- [39] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 徐新良, 秦元伟, 宁佳, 周万村, 张树文, 李仁东, 颜长珍, 吴世新, 史学正, 江南, 于东升, 潘贤章, 迟文峰. 20 世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局. *地理学报*, 2014, 69(1): 3-14.
- [40] 吴丹. 中国主要陆地生态系统水源涵养服务研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2014.
- [41] 章文波, 谢云, 刘宝元. 利用日雨量计算降雨侵蚀力的方法研究. *地理科学*, 2002, 22(6): 705-711.
- [42] McCool D K, Brown L C, Foster G R, Mutchler C K, Meyer L D. Revised slope steepness factor for the universal soil loss equation. *Transactions of the ASAE*, 1987, 30(5): 1387-1396.
- [43] Liu B Y, Nearing M A, Shi P J, Jia Z W. Slope length effects on soil loss for steep slopes. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(5): 1759-1763.
- [44] Liu B Y, Nearing M A, Risse L M. Slope gradient effects on soil loss for steep slopes. *Transactions of the ASAE*, 1994, 37(6): 1835-1840.
- [45] 蔡崇法, 丁树文, 史志华, 黄丽, 张光远. 应用 USLE 模型与地理信息系统 IDRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究. *水土保持学报*, 2000, 14(2): 19-24.