

DOI: 10.5846/stxb202108252386

刘增力, 胡理乐, 闫伯前, 张鹏骞. 北京市自然保护区生态效益及其影响因素. 生态学报, 2022, 42(24): 10060-10071.

Liu Z L, Hu L L, Yan B Q, Zhang P Q. Ecological benefit evaluation and influencing factors analysis of the Protected Areas in Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(24): 10060-10071.

北京市自然保护区生态效益及其影响因素

刘增力¹, 胡理乐¹, 闫伯前², 张鹏骞^{3,4,*}

¹ 国家林业和草原局林草调查规划院, 北京 100714

² 北京农学院, 北京 102206

³ 北京麋鹿生态实验中心, 北京 100076

⁴ 北京市科学技术研究院, 北京 100089

摘要: 自然保护区是生物多样性富集区域, 发挥着水源涵养、防风固沙等重要的生态效益。北京市共 5 类 79 处自然保护区, 是首都重要生态屏障, 但自然因素和人为干扰对自然保护区生态效益有着重要影响。核算了北京自然保护区的 5 种典型的生态效益, 使用单因素方差分析比较了不同类型自然保护区生态效益的差异, 并基于冗余分析法探究了 2 种自然因素 (年均气温和年降水量) 和 4 种人为因素 (人口密度、建设用地比例、耕地比例和道路密度) 对生态效益的影响。结果表明: (1) 北京自然保护区总体生态效益: 北京自然保护区生境质量高, 生境质量指数均值高达 0.88; 其它 4 项可价值化的生态效益中, 水源涵养价值最大, 固碳价值最低。 (2) 各类自然保护区之间生态效益比较: 除生境质量外, 其它 4 个生态效益之和, 自然保护区和森林公园显著高于其它 3 类自然保护区; 湿地公园的生境质量显著低于其它 4 类保护区, 而这 4 类保护区之间生境质量并无显著差异; 从水源涵养的生态效益来看, 风景名胜区和地质公园显著低于其它 3 类自然保护区。 (3) 人为干扰因素 (影响水平为 38.92%) 对生态效益的影响程度远高于自然因素 (影响水平为 16.63%); 防风固沙、水土保持和固碳效益主要受人为干扰影响, 而生境质量同时受到自然因素和人为因素的影响, 水源涵养则主要受到自然因素的影响。 (4) 基于冗余分析, 北京自然保护区可分为 3 个类群: 水源涵养型、高质量栖息地型、其它生态效益型 (包括防风固沙、水土保持和固碳)。研究可服务于北京保护区管理, 提升北京自然保护区的生态效益。

关键词: 自然保护区; 生态效益; 自然因素; 人为因素; 冗余分析

Ecological benefit evaluation and influencing factors analysis of the Protected Areas in Beijing

LIU Zengli¹, HU Lile¹, YAN Boqian², ZHANG Pengqian^{3,4,*}

¹ Forestry And Grassland Inventory And Planning Institute, National Forestry And Grassland Administration, Beijing 100714, China

² Beijing University Of Agriculture, Beijing 102206, China

³ Beijing Milu Ecological Research Center, Beijing 100076, China

⁴ Beijing Academy Of Science and Technology, Beijing 100089, China

Abstract: The protected area has high biodiversity and vital important ecological benefits, such as water conservation, soil and water conservation, sand fixation and wind prevention. In Beijing, the protected area are the core of the capital's ecological barrier. There are still many problems in the management of the protected area management, and human disturbance (population, economy and transportation) is prevalent, which seriously affects the ecological benefits of the protected area, especially in big cities such as Beijing. The natural factors also have impacts on ecological benefits of the

基金项目: 中国科学院 A 类战略性先导科技专项 (XDA23080000)

收稿日期: 2021-08-25; **网络出版日期:** 2022-07-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangpengqian@aliyun.com

protected area. However, there is still a gap in the understanding of the main factors affecting the ecological benefits of the protected area in Beijing. We calculated 5 typical ecological benefits of 79 natural protected areas in Beijing, and compared the difference of ecological benefits of 5 types of protected area (natural reserve, forest park, scenic and historical interest area, geopark and wetland park) with one-way ANOVA. The effects of two natural factors (annual average temperature and annual precipitation) and four human impacts (population density, proportion of construction land, proportion of cultivated land and road density) on ecological benefits were investigated based on redundancy analysis. The results showed as follows: (1) in 2020, the value of water conservation per unit area in Beijing's protected areas was 34347 yuan/ha, the value of wind prevention and sand fixation was 2774 yuan/ha, the ecological value of soil and water conservation was 1274 yuan/ha, and the carbon fixation value was only 473 yuan/ha. In addition, the mean value of habitat quality per unit area in Beijing's protected areas was 0.88. (2) While comparing ecological benefits among different types of protected area, except habitat quality, the total benefits of the other four types of ecological benefits, nature reserve and forest parks were significantly higher than the other three types of natural protected areas. The habitat quality of wetland parks was significantly lower than that of the other four types of protected area, and there was no significant difference among the four types of protected area. In terms of ecological benefits of water conservation, scenic and historical interest area and geoparks were significantly lower than other three types of natural protection area. (3) Compared with natural factors (16.63%), human factors (38.92%) were the main factors affecting the ecological benefits of the protected area in Beijing, mainly including wind prevention and sand fixation, soil and water conservation and carbon fixation. Habitat quality was affected by both natural and human impacts, and water conservation was mainly affected by natural factors. (4) Based on redundancy analysis (RDA), all the protected area in Beijing could be divided into three types: water conservation type, high-quality habitat type, and other ecological benefits (including wind prevention and sand fixation, water and soil conservation and carbon sequestration). The results showed that it was important and urgent to integrate and optimize the protected area in Beijing, and the key point was to reduce the construction and agricultural land in the protected area, and move excessive population out of the protected area. This study was of great significance to improve the ecological benefits of the protected area in Beijing, and provides theoretical and technical support for the scientific management of the protected area in Beijing.

Key Words: protected area; ecological benefits; natural factors; human impacts; redundancy analysis

自然保护区是生态文明的核心载体,生态价值高,生物多样性丰富,发挥着水源涵养、水土保持和防风固沙等重要的生态效益。我国经过 60 多年的努力,已建立数量众多、类型丰富、功能多样的各级各类自然保护区,在保护生物多样性、保存自然遗产、改善生态环境质量和维护国家生态安全方面发挥了重要作用。但现阶段的自然保护区受到人为干扰的现象普遍存在,管理上仍存在重叠设置、多头管理、边界不清、权责不明、保护与发展矛盾突出等问题,严重影响了自然保护区生态效益。

2019 年我国提出建立以国家公园为主体的自然保护区体系,包括国家公园、自然保护区和自然公园三类。中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《建立以国家公园为主体的自然保护区体系的指导意见》(以下简称《意见》),《意见》要求“构建以生态资产和生态系统服务为核心的考核评估指标体系和办法,加强自然保护区评估考核工作,探索建立第三方评估机制,将评估结果纳入相关评价考核体系”,该文件明确提示了自然保护区生态效益是自然保护区重要工作和重点考核内容。

北京现有 5 类 79 处自然保护区,总面积 3674.10km²,占国土面积 22% 以上^[1],是首都的重要生态屏障和生态涵养区。近年来,北京市主要的生态问题集中体现在人口增长和城市扩张所导致的野生动植物栖息地破坏、水资源短缺以及巨大的碳排放问题,并且由于地理位置导致北京可能会受到风沙天气的影响,部分区域水土流失问题严重^[2-3]。北京市自然保护区所主要发挥的水源涵养、水土保持、防风固沙、固碳、保护生物多样

性等重要生态功能对于缓解北京市上述生态问题发挥着极其重要的作用,其中前 4 类生态功能是与人类生产生活息息相关,常作为生态评估的重要指标^[4],因此这些生态功能作为自然保护区生态成效考核指标是非常合适的。

北京市自然保护区受到自然因素和人为因素干扰,而人为干扰因素最为主要,自然干扰因素包括气候变化、火灾和外来物种入侵等,人为干扰因素主要包括农业生产、树木采伐、城市化、道路修建、工业生产和旅游等^[5]。这些因素极大影响了北京市自然保护区的生态效益。

关于生态效益或生态系统服务价值影响因素的研究主要集中在分析宏观的经济因素(如 GDP)和社会因素(如人口数量)^[6-9],且以定性描述为主,对生态效益进行定量分析的研究较少^[10-13]。此外,关于北京市自然保护区生态效益影响因素的研究尚缺乏,人为干扰和自然因素的影响的相对贡献尚不清楚,最主要的影响因素也未明确。对这一问题的定量化探讨,将有助于指导自然保护区管理者约速人为干扰,提升北京市自然保护区生态效益。

本文拟通过核算北京市 79 处自然保护区的 5 种典型的生态效益,使用单因素方差分析比较不同类型自然保护区生态效益的差异性,并基于冗余分析法探究了 2 种自然因素(年均气温和年降水量)和 4 种人为因素(人口密度、建设用地比例、耕地比例和道路密度)对生态效益的影响水平。最后提出自然保护区生态效益提升的管理建议。

1 研究区域概况

北京市位于华北平原北端,总面积 16410km²。属于北温带半湿润大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季寒冷干燥。北京的西、北、东北面群山环绕,东南面为开阔的平原,西部山地统称西山,属太行山脉,北部山地统称军都山,属燕山山脉^[14]。地形和气候的复杂多样,孕育了北京丰富的动植物资源,北京的西北山地属于太行山生物多样性保护优先区域的一部分。

北京共有 5 类 79 处自然保护区,其中自然保护区 21 处、风景名胜区 11 处、森林公园 31 处、地质公园 6 处和湿地公园 10 处。截至 2020 年,北京市自然保护区批复总面积 5094.57km²,实际覆盖面积达到 3674.10km²^[15],其中自然保护区数量占 27.1%,自然公园数量占 72.9%(表 1)。

2 研究方法

2.1 自然保护区生态效益评估

本文综合考虑北京市特点和数据可获取性,基于千年生态系统服务评估框架(MA)^[16],选取水源涵养、固碳、水土保持、防风固沙、生境质量 5 项指标评估自然保护区的生态效益。其中,水源涵养是生态系统通过其特有的结构与水相互作用,对降水进行截留、渗透、蓄积,并通过生态系统的蒸散发实现对水流、水循环的调控,能够缓和地表径流、补充地下水、减缓河流流量的季节波动、滞洪补枯、保证水质^[17]。土壤保持是生态系统通过其结构与过程减少由于水蚀所导致的土壤侵蚀的作用。防风固沙是生态系统通过其结构与过程减少由于风蚀所导致的土壤侵蚀作用。固碳能力是绿色植物通过光合作用吸收大气中的 CO₂,转化为葡萄糖等碳水化合物以有机碳的形式固定在植物体内或者土壤中^[18]。

由于保护区生态系统服务总价值受保护地面积影响较大,为剔除面积因素的影响,本研究采用每个保护区的不同生态系统服务单位面积价值作为生态效益指标值。

$$ECOI_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^s ESV_{ijk}}{TA_i}$$

式中,ECOI_{ij}是保护区 *i* 的生态效益指标 *j* 的指标值(元/hm²)(栖息地质量指数无单位);ESV_{ijk}是保护区 *i* 中栅格 *k* 的生态系统服务 *j* 的价值(元);TA_i是保护区 *i* 的总面积(hm²)。

2.2 生态效益影响因素分析

北京市自然保护区影响因素可分为自然因素和人为因素 2 类。温度和降水是影响生态系统过程和功能的主要自然因素,故自然影响因素选择了 2020 年年均气温和年降水量。人类活动对生态系统的影响是十分巨大的,选择反映生产、生活和交通活动的指标(人口密度、建设用地比例、耕地比例和道路密度)作为生态效益的人为影响因素。

由于北京市各类自然保护区存在较为突出的交叉重叠和管理缺失问题,部分保护区存在事实上的“划而未建、划而未管”,本研究选择了 24 个有独立管理机构且尽量避免交叉重叠的自然保护区为研究样本,使用冗余分析法(RDA)分析 6 个因素对 5 个生态效益的影响作用^[19]。

2.3 数据来源与处理

2.3.1 数据来源

本文所使用的数据包括地理数据、环境数据、植被数据和社会经济数据。道路数据来源于全国地理信息资源目录服务系统(<http://www.webmap.cn>)。数字高程模型(DEM)、气象站点、人口密度数据来源于资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>)。土地利用类型数据(2020 年)来源于中科院空天信息创新研究院(<http://data.casearth.cn/>)。土壤属性、植被净初级生产力(NPP)、归一化植被指数(NDVI)数据来源于美国航空航天局(NASA, <http://www.nasa.gov>)。

2.3.2 数据处理

通过 InVEST 模型计算出北京市 2020 年生境质量指数、水源涵养功能量、防风固沙功能量、水土保持功能量和固碳量,参考过去的研究对水源涵养^[20—22]、防风固沙^[20, 23]、水土保持^[20, 24]和固碳^[20, 25—26]的价值进行定量化,计算出 4 类生态系统服务价值,再基于 ArcGIS 10.2 中的局域统计工具,计算出 79 个自然保护区生境质量指数平均值和 4 种生态系统服务的单位面积价值,得到 5 种生态效益结果。

使用单因素方差分析以及多重比较(Duncan 检验)的方法分析北京市 5 类自然保护区的 5 种生态效益的差异性,单因素方差分析和多重比较在 SPSS 22.0 中实现。以 24 个自然保护区的 5 个生态效益结果为因变量,以 6 个影响因素为自变量,进行冗余分析(RDA),探究 5 个生态效益的主要影响因素,冗余分析基于 R 3.6.3 编程实现。数据前处理和统计分析图片的绘制在 Excel 2016 中实现,冗余分析结果图基于 R 3.6.3 的 ggplot 2 包绘制。

3 结果与分析

3.1 北京市自然保护区生态效益总体评价

北京市自然保护区单位面积生态效益最高的是水源涵养(34347 元/hm²),其次是防风固沙(2774 元/hm²)和水土保持(1274 元/hm²),固碳价值最低(473 元/hm²),北京市自然保护区生境质量较高,生境质量指数最大值为 1,单位面积生境质量指数的均值高达 0.88。

北京市 6 个地质公园的生境质量指数十分接近,均接近 1;湿地公园的生境质量远低于其它 4 类保护区,且变化范围大(0.37—0.74);森林公园、自然保护区和风景名胜区生境质量均出现了离群低值,如:古桑国家森林公园、北宫国家森林公园、共青滨河市级森林公园、拒马河市级水生野生动物自然保护区、金牛湖区级自然保护区和云居寺市级风景名胜区(图 1),其它森林公园和自然保护区的生境质量均高于 0.98。

水源涵养、防风固沙和水土保持这 3 个生态效益在自然保护区之间变化幅度均很大。(图 2—5),其中对于水源涵养效益,怀沙河怀九河市级水生野生动物自然保护区和西山国家森林公园在 40000 元/hm²以上,十渡国家地质公园和马坊小龙河市级湿地公园在 30000 元/hm²以下,其余保护区水源涵养价值均在 30000—40000 元/hm²之间。对于地质公园保护区,硅化木国家地质公园和云蒙山国家地质公园为相对的离群高值点(图 2)。

表 1 北京市自然保护区名单

Table 1 List of protected area in Beijing

编号 No.	自然保护区名称 Name of protected area	编号 No.	自然保护区名称 Name of protected area
1	松山国家级自然保护区	41	龙门店市级森林公园
2	百花山国家级自然保护区	42	静之湖市级森林公园
3	云蒙山市级自然保护区	43	古北口市级森林公园
4	喇叭沟门市级自然保护区	44	共青滨河市级森林公园
5	怀沙河怀九河市级水生野生动物自然保护区	45	白虎涧市级森林公园
6	蒲洼市级自然保护区	46	双龙峡东山市级森林公园
7	朝阳寺市级木化石自然保护区	47	南石洋大峡谷市级森林公园
8	雾灵山市级自然保护区	48	二帝山市级森林公园
9	云峰山市级自然保护区	49	莲花山市级森林公园
10	野鸭湖市级湿地自然保护区	50	西峰寺市级森林公园
11	四座楼市级自然保护区	51	妙峰山市级森林公园
12	汉石桥市级湿地自然保护区	52	崎峰山国家森林公园
13	拒马河市级水生野生动物自然保护区	53	承德避暑山庄外八庙国家级风景名胜区(古北口司马台长城景区)
14	石花洞市级自然保护区	54	石花洞国家级风景名胜区
15	太安山区级自然保护区	55	八达岭—十三陵国家级风景名胜区
16	水头区级自然保护区	56	慕田峪长城市级风景名胜区
17	玉渡山区级自然保护区	57	云蒙山市级风景名胜区
18	莲花山区级自然保护区	58	龙庆峡-松山-古崖居市级风景名胜区
19	白河堡区级自然保护区	59	东灵山-百花山市级风景名胜区
20	大滩区级自然保护区	60	云居寺市级风景名胜区
21	金牛湖区级自然保护区	61	潭柘-戒台寺市级风景名胜区
22	云蒙山国家森林公园	62	十渡市级风景名胜区
23	十三陵国家森林公园	63	金海湖-大峡谷-大溶洞市级风景名胜区
24	上方山国家森林公园	64	平谷黄松峪国家地质公园
25	喇叭沟门国家森林公园	65	延庆硅化木国家地质公园
26	鹫峰国家森林公园	66	云蒙山国家地质公园
27	小龙门国家森林公园	67	石花洞国家地质公园
28	黄松峪国家森林公园	68	十渡国家地质公园
29	八达岭国家森林公园	69	圣莲山市级地质公园
30	北宫国家森林公园	70	野鸭湖国家湿地公园
31	大杨山国家森林公园	71	长沟泉水国家湿地公园
32	天门山国家森林公园	72	大兴长子营市级湿地公园
33	大兴古桑国家森林公园	73	大兴杨各庄市级湿地公园
34	西山国家森林公园	74	玉渊潭东湖市级湿地公园
35	霞云岭国家森林公园	75	汤河口市级湿地公园
36	银河谷市级森林公园	76	马坊小龙河市级湿地公园
37	丫髻山市级森林公园	77	琉璃庙市级湿地公园
38	五座楼市级森林公园	78	穆家峪红门川市级湿地公园
39	马栏市级森林公园	79	雁翅九河市级湿地公园
40	龙山市级森林公园		

对于防风固沙效益,西山国家森林公园、鹫峰国家森林公园和汤河口市级湿地公园为各自类型保护地的离群高值,而共青滨河市级森林公园、古桑国家森林公园、北宫国家森林公园、龙山市级森林公园和云居寺市级风景名胜区为各自类型保护地的离群低值,湿地公园的防风固沙效益明显低于其余 4 类保护地(<1000 元/

hm^2) (图 3)。不同保护地水土保持效益跨度差异明显,特别是自然保护区和森林公园跨度大,而其余 3 类保护地跨度相对较小,湿地公园明显低于其余 4 类保护地 ($<500 \text{ 元}/\text{hm}^2$) (图 4)。

固碳效益仅存在森林公园的两个离群高值(西山国家森林公园和鹫峰国家森林公园),各类自然保护区内部的固碳效益相差不大,湿地公园明显低于其余 4 类保护地 ($<300 \text{ 元}/\text{hm}^2$) (图 5)。

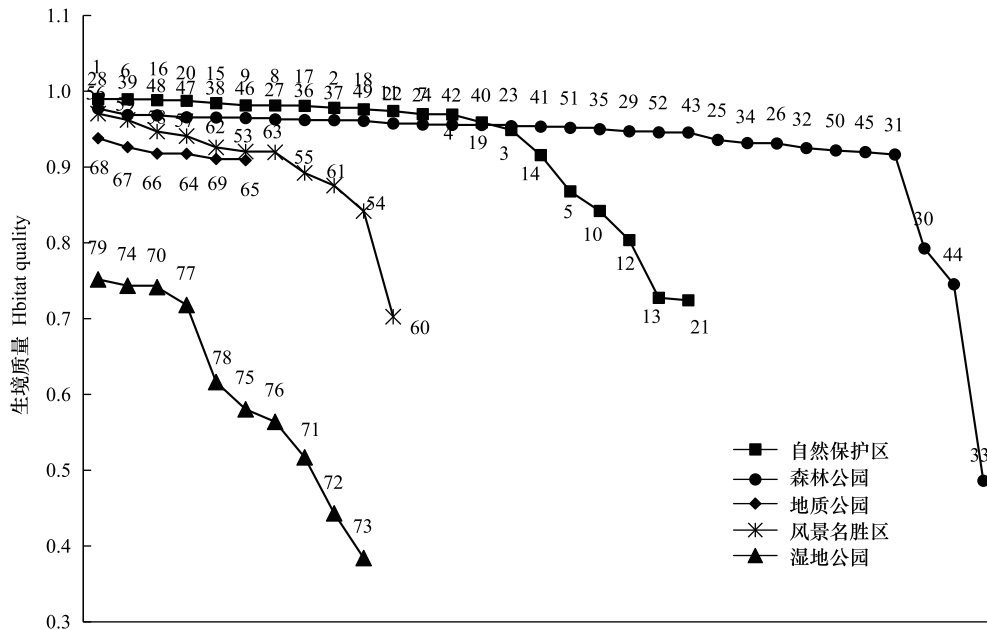


图 1 北京市各自然保护区生境质量状况

Fig.1 Habitat quality of protected area in Beijing

图中数字为自然保护区编号,1:松山国家级自然保护区;2:百花山国家级自然保护区;3:云蒙山市级自然保护区;4:喇叭沟门市级自然保护区;5:怀沙河怀九河市级水生野生动物自然保护区;6:蒲洼市级自然保护区;7:朝阳寺市级木化石自然保护区;8:雾灵山市级自然保护区;9:云峰山市级自然保护区;10:野鸭湖市级湿地自然保护区;11:四座楼市级自然保护区;12:汉石桥市级湿地自然保护区;13:拒马河市级水生野生动物自然保护区;14:石花洞市级自然保护区;15:太安山区级自然保护区;16:水头区级自然保护区;17:玉渡山区级自然保护区;18:莲花山区级自然保护区;19:白河堡区级自然保护区;20:大滩区级自然保护区;21:金牛湖区级自然保护区;22:云蒙山国家森林公园;23:十三陵国家森林公园;24:上方山国家森林公园;25:喇叭沟门国家森林公园;26:鹫峰国家森林公园;27:小龙门国家森林公园;28:黄松峪国家森林公园;29:八达岭国家森林公园;30:北宫国家森林公园;31:大杨山国家森林公园;32:天门山国家森林公园;33:大兴古桑国家森林公园;34:西山国家森林公园;35:霞云岭国家森林公园;36:银谷谷市级森林公园;37:丫髻山市级森林公园;38:五座楼市级森林公园;39:马栏市级森林公园;40:龙山市级森林公园;41:龙门市级森林公园;42:静之湖市级森林公园;43:古北口市级森林公园;44:共青滨河市级森林公园;45:白虎涧市级森林公园;46:双龙峡东山市级森林公园;47:南石洋大峡谷市级森林公园;48:二帝山市级森林公园;49:莲花山市级森林公园;50:西峰寺市级森林公园;51:妙峰山市级森林公园;52:崎峰山国家森林公园;53:承德避暑山庄外八庙国家级风景名胜区(古北口司马台长城景区);54:石花洞国家级风景名胜区;55:八达岭—十三陵国家级风景名胜区;56:慕田峪长城市级风景名胜区;57:云蒙山市级风景名胜区;58:龙庆峡-松山-古崖居市级风景名胜区;59:东灵山-百花山市级风景名胜区;60:云居寺市级风景名胜区;61:潭柘-戒台寺市级风景名胜区;62:十渡市级风景名胜区;63:金海湖-大峡谷-大溶洞市级风景名胜区;64:平谷黄松峪国家地质公园;65:延庆硅化木国家地质公园;66:云蒙山国家地质公园;67:石花洞国家地质公园;68:十渡国家地质公园;69:圣莲山市级地质公园;70:野鸭湖国家湿地公园;71:长沟泉水国家湿地公园;72:大兴长子营市级湿地公园;73:大兴杨各庄市级湿地公园;74:玉潭潭东湖市级湿地公园;75:汤河口市级湿地公园;76:马坊小龙河市级湿地公园;77:琉璃庙市级湿地公园;78:穆家峪红门川市级湿地公园;79:雁翅九河市级湿地公园。

3.2 不同类型自然保护区间生态效益比较

除生境质量外,从其它 4 个生态效益的总效益来看,自然保护区和森林公园均处于前 2 位,显著高于其它 3 类自然保护区。风景名胜区的生境质量、防风固沙、水土保持和固碳效益相对较高,地质公园的生境质量、防风固沙和水土保持效益相对较高,湿地公园的水源涵养效益相对较高。水源涵养效益则是风景名胜区和地质公园偏低,而自然保护区和森林公园较高,湿地公园居中;固碳效益则是森林公园最高,自然保护区和风景

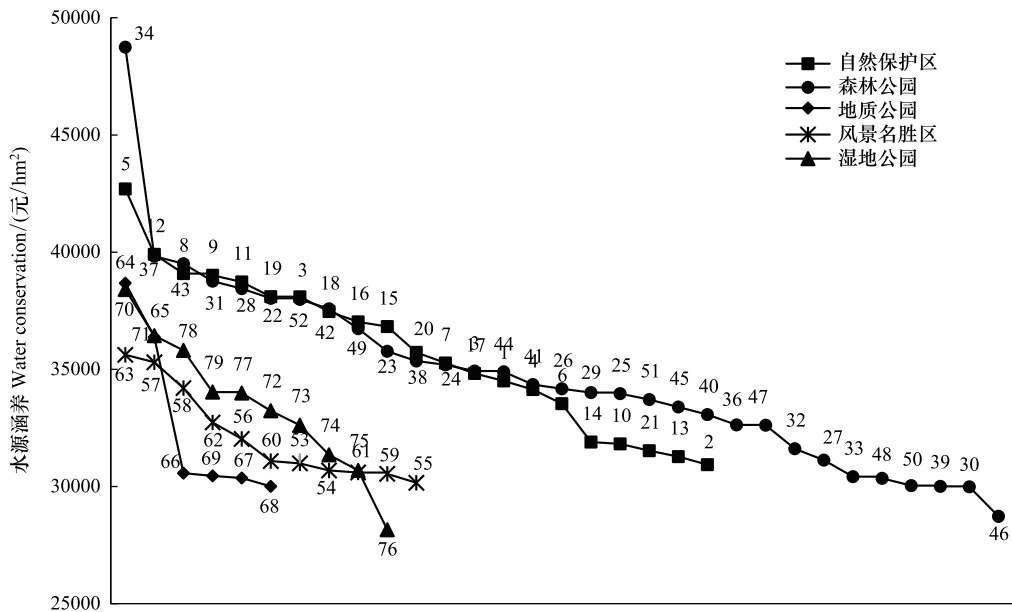


图 2 北京市各自然保护地水源涵养价值

Fig.2 Benefits of water conservation of protected area in Beijing

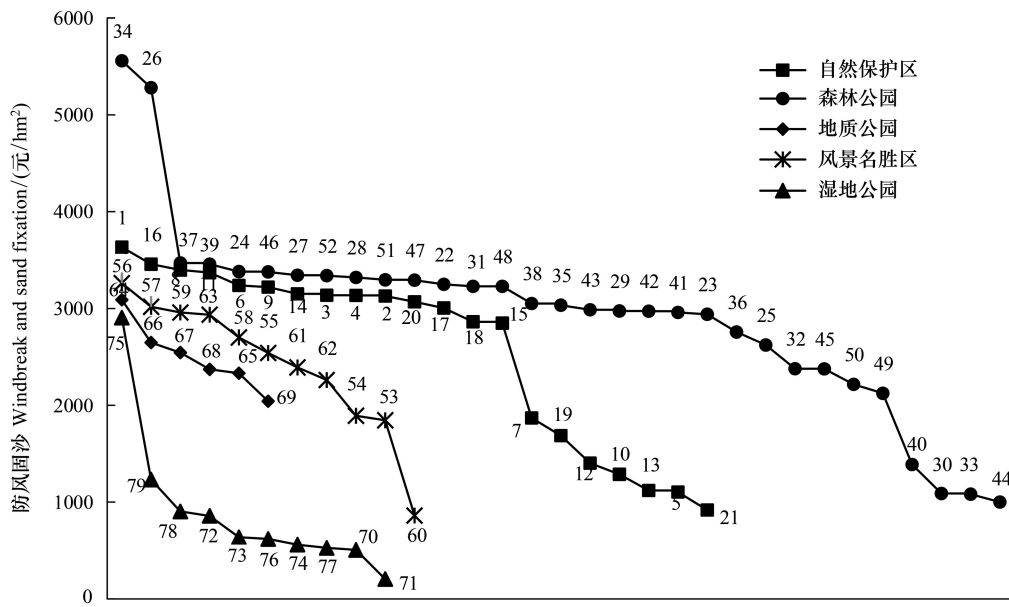


图 3 北京市各自然保护地防风固沙价值

Fig.3 Benefits of windbreak and sand fixation of protected area in Beijing

名胜区略低,但差异不显著,湿地公园最低,与前 4 类保护地均有显著差异(图 6)。

同其他类型保护地相比,森林公园的防风固沙(2928 元/hm²)、水土保持(1531 元/hm²)和固碳效益(544 元/hm²)均最高,湿地公园的防风固沙(896 元/hm²)、水土保持(213 元/hm²)和固碳效益(213 元/hm²)均最低除去难以价值化的生境质量效益后,单位面积 4 类生态总效益的排序为森林公园(40358 元/hm²)、自然保护区(40296 元/hm²)、地质公园(37042 元/hm²)、风景名胜区(36299 元/hm²)和湿地公园(34817 元/hm²) (图 6)。

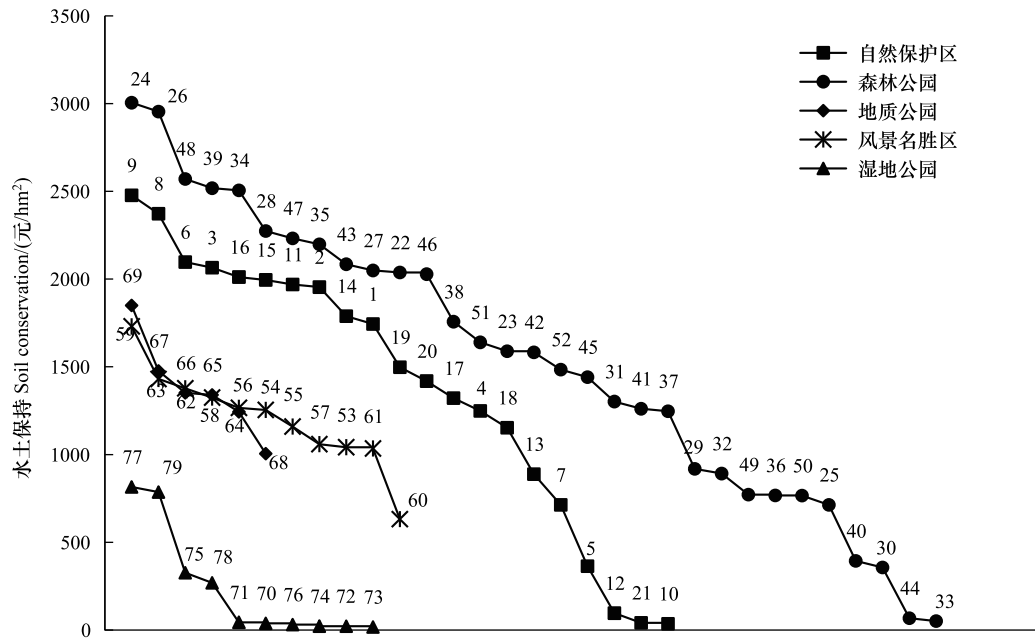


图 4 北京市各自然保护区水土保持价值

Fig.4 Benefits of soil conservation of protected area in Beijing

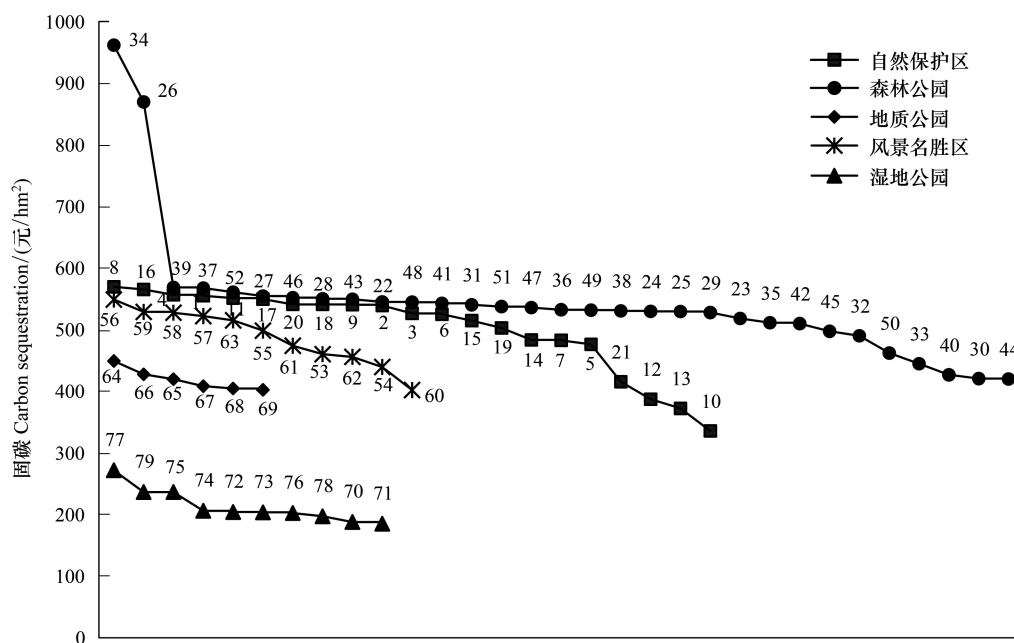


图 5 北京市各自然保护区固碳价值

Fig.5 Benefits of carbon sequestration of protected area in Beijing

湿地公园的生境质量显著低于其它 4 类保护地,而其它 4 类保护地之间生境质量并无显著差异,生境质量最高的自然保护区类型是自然保护区(均值为 0.93),从水源涵养的生态效益来看,风景名胜区和地质公园显著低于其它 3 类自然保护区。自然保护区水源涵养价值最高(35828 元/hm²),风景名胜区最低(32177 元/hm²)(图 6)。

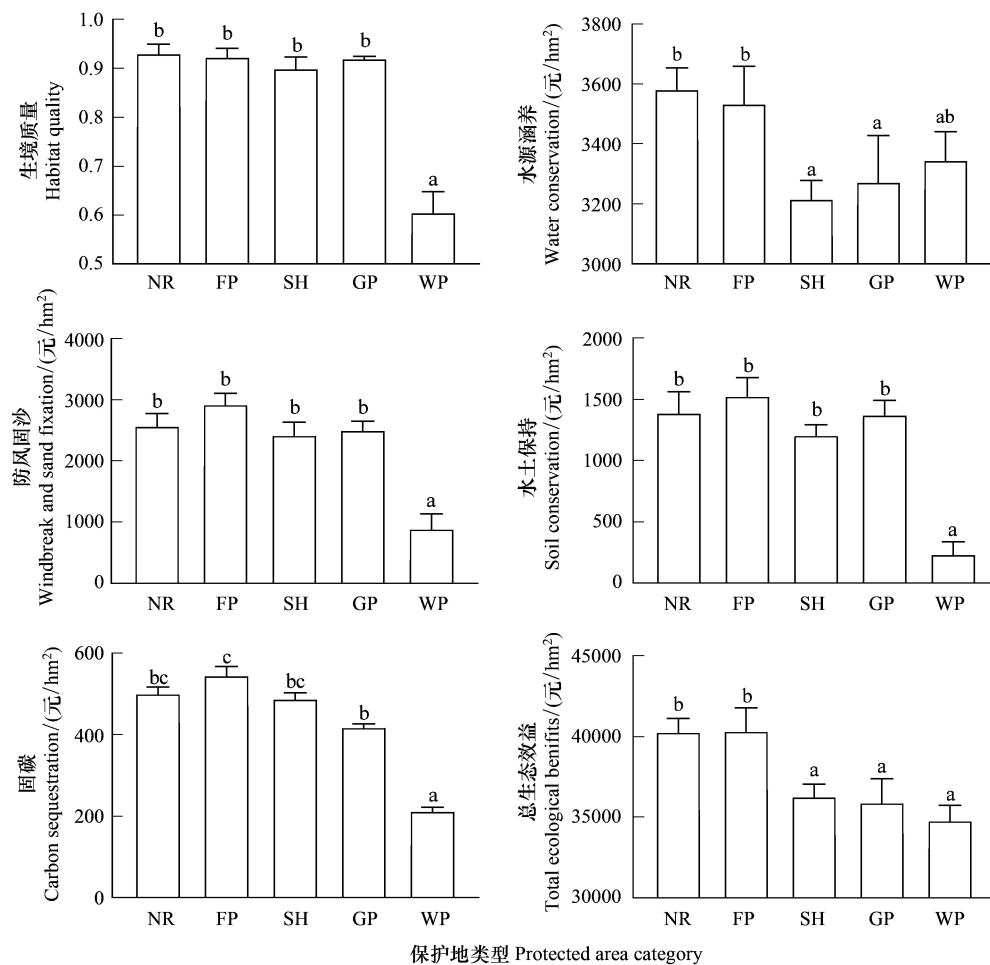


图6 不同类型自然保护地不同类型生态效益比较

Fig.6 Comparison of ecological benefits of different types of protected area

NR:自然保护区;FP:森林公园;SH:风景名胜区;GP:地质公园;WP:湿地公园;不同小写字母表示同种生态效益中不同类型自然保护地差异显著

3.3 北京市自然保护地生态效益的影响因素

RDA 模型整体的决定系数 (R^2) 为 0.658, 校正后的决定系数 (R^2) 为 0.612, P 值为 0.002 (置换检验), 这说明模型具有较高的可信度。模型将包括自然和人为在内的 6 个影响因素划分成 4 个典范轴 (RDA1-4) 和 2 个非约束轴 (PC1-2), 非约束轴对因变量没有影响, 而 4 个典范轴中, 前两个典范轴 RDA1 (第一轴) 和 RDA2 (第二轴) 的累积贡献度达到了 95.67%, 因此 RDA1 和 RDA2 能够反映 6 个影响因素绝大多数的信息。

基于前两个典范轴绘制了冗余分析结果图 (图 7), 其中人口密度 (PD)、建设用地比例 (AL)、耕地比例 (GL) 和道路密度 (RD) 4 个影响因素落在了轴 RDA1 上 (贡献度为 63.59%), 这说明 RDA1 综合反映了人为干扰因素。年降水量 (AP) 和年均气温 (AT) 落在轴 RDA2 上 (贡献度为 32.08%), 这表明 RDA2 综合反映了自然因素。典范轴的解释度与校正后的决定系数的乘积可以量化影响因素对生态效益的影响水平, 依此计算可得人为干扰因素 (RDA1) 影响水平为 38.92%, 自然因素 (RDA2) 影响水平为 16.63%。因此, 人为干扰因素对生态效益的影响程度高于自然因素。

防风固沙、水土保持、固碳和生境质量均与人为因素呈明显的负相关关系, 说明人为因素是影响防风固沙、水土保持、固碳和生境质量的主要因素。此外, 生境质量还与年均气温呈正相关, 这表明生境质量同时受人为干扰和自然因素影响; 水源涵养与自然因素的相关性较强, 其中水源涵养与年降水量呈正相关, 与年均气

温呈负相关,但水源涵养与人为因素的相关性不强(图7)。

不同自然保护区自然地理条件和受到人为干扰程度不同,所发挥的主要生态效益也不同,基于冗余分析结果图,24个自然保护区可分成3类(图7):第一类主要发挥水源涵养功能,包括汉石桥市级湿地自然保护区、怀沙河怀九河市级水生野生动物自然保护区、拒马河市级水生野生动物自然保护区、野鸭湖市级湿地自然保护区、长沟泉水国家湿地公园、汤河口市级湿地公园和四座楼市级自然保护区,这些自然保护区主要是湿地公园或湿地类自然保护区,在冗余分析图中这些保护区偏向于RDA1的正方向,且在轴的附近,相比于其他自然保护区,它们受到人为干扰更强,导致除水源涵养之外,其他4类生态效益弱于其他类型的保护区。第二类主要为高质量栖息地,包括八达岭-十三陵国家级风景名胜区、石花洞风景名胜区、云居寺风景名胜区、北宫国家森林公园、云峰山市级自然保护区和太安山区级自然保护区,这些保护区中主要是风景名胜区和低级别的保护区,受到一定水平人为干扰。其余的自然保护区均属于第三类自然保护区,以自然保护区和森林公园为主,它们距离4种人为干扰因素最远,具有人为干扰程度低,森林覆盖率高的特征,主要发挥防风固沙、水土保持和固碳3个生态效益。

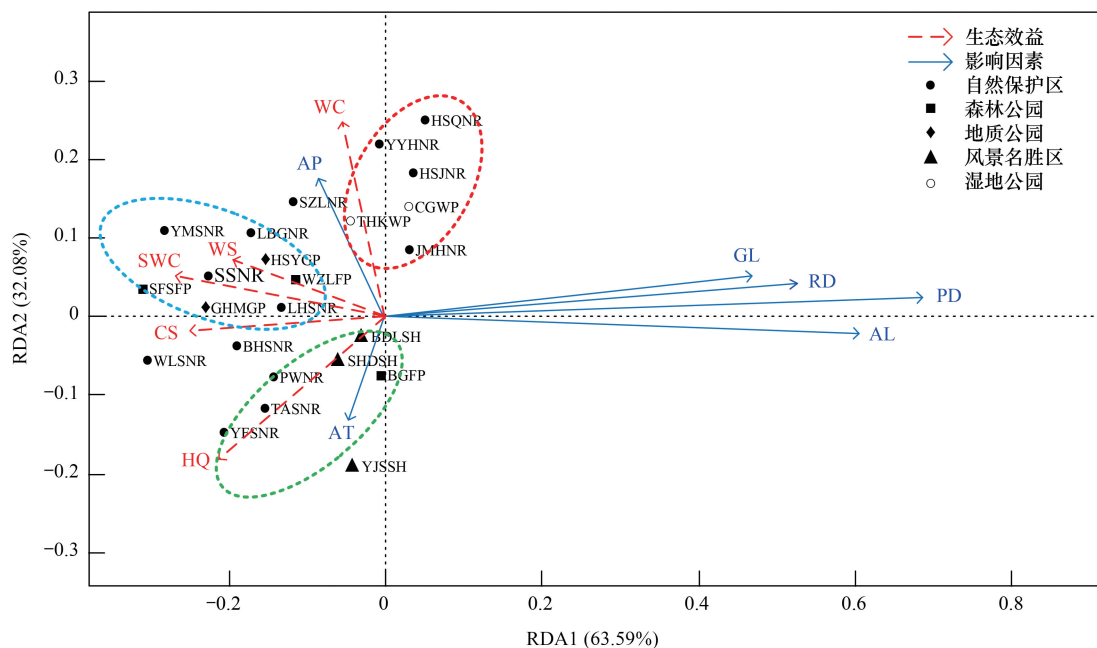


图7 北京市自然保护区生态效益影响因素冗余分析

Fig.7 Redundancy analysis of factors affecting ecological benefits of protected area in Beijing

WC:水源涵养;WS:防风固沙;SWC:水土保持;CS:固碳;HQ:生境质量;AP:年降水量;AT:年均气温;PD:人口密度;AL:建设用地比例;GL:耕地比例;RD:道路密度;SSNR:松山国家级自然保护区;BHSNR:百花山国家级自然保护区;YYHNR:野鸭湖市级湿地自然保护区;HSQNR:汉石桥市级湿地自然保护区;HSJNR:怀沙河怀九河市级水生野生动物自然保护区;JMHN:拒马河市级水生野生动物自然保护区;LBGNR:喇叭沟门市级自然保护区;LHSNR:莲花山区级自然保护区;PWN:蒲洼市级自然保护区;SZLNR:四座楼市级自然保护区;TASNR:太安山区级自然保护区;WLSNR:雾灵山市级自然保护区;YFSNR:云峰山市级自然保护区;YMSNR:云蒙山市级自然保护区;BGFP:北宫国家森林公园;SFSFP:上方山国家森林公园;WZLFP:五座楼市级森林公园;HSYGP:黄松峪国家地质公园;GHMGP:硅化木国家地质公园;BDLSH:八达岭-十三陵国家级风景名胜区;SHDSH:石花洞风景名胜区;YJSSH:云居寺风景名胜区;CGWP:长沟泉水国家湿地公园;THKWP:汤河口市级湿地公园

4 讨论与结论

本文核算了北京79处自然保护区的5类生态效益,比较了不同自然保护区类型间生态效益的差异,最后分析了自然因素和人为干扰对北京自然保护区生态效益的影响。研究表明:(1)北京自然保护区生境质量

高,生境质量指数均值高达 0.88;北京市保护地水源涵养价值最高(34347 元/hm²),其次是防风固沙价值(2774 元/hm²),再者是水土保持生态价值(1274 元/hm²),固碳价值最低,仅为 473 元/hm²。(2)不同自然保护地类型之间,自然保护区和森林公园在各类生态效益中均处于前 2 位,而风景名胜区和地质公园在水源涵养功能方面存在劣势,湿地公园仅在水源涵养功能方面有较好的效益。(3)总体来看,人为因素对生态效益的影响对北京市自然保护地远高于自然因素,并主要影响防风固沙、水土保持和固碳效益,而生境质量同时受到自然因素和人为因素的影响;自然因素是影响水源涵养的主要因素。(4)基于冗余分析,北京自然保护地可分为 3 个类群:水源涵养型、高质量栖息地型、其它生态效益型(包括防风固沙、水土保持和固碳)。

对于北京市自然保护地,本研究发现人类活动的影响超过自然因素的影响,这与北京市人口密度大,生态系统承受压力大的现实相匹配^[27]。建设用地、人口密度、耕地和道路密度等 4 类人为干扰因素对北京市大多数自然保护地生态效益产生了负面影响,因此控制上述人为干扰因素应是北京市自然保护地管理的重点工作。北京市自然保护地的整合优化重点工作之一就是自然保护地中城镇和农村建设用地和基本农田调出保护地范围,这些将直接降低自然保护地内建设用地和耕地比例和人口,有利于提升北京市自然保护地的生态效益。北京市自然保护地整合优先工作完成后,还要开展勘界立标和确权登记工作,明确自然保护地空间范围和管理者的管辖权限^[28-29]。后续管理中应当重点对自然保护地范围内的人类活动开展常态化监测,核查和整治自然保护地中可能存在的违法情况,防止人类活动破坏自然保护地^[30-32],维持和提升自然保护地生态效益。此外,由于湿地公园生境质量偏低,建议在今后的管理工作中加强对湿地公园的管理,自然恢复为主,辅以必要的生境改善措施。水源涵养主要受自然因素影响,建议在保护地的保护成效评估中谨慎使用水源涵养这一项生态效益指标。

参考文献(References):

- [1] 北京市园林绿化局编纂委员会. 北京园林绿化年鉴—2020. 北京: 中国林业出版社, 2020:141.
- [2] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 欧阳志云, 郑华. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. 生态学报, 2013, 33(3): 726-736.
- [3] 王少剑, 方创琳, 王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度. 生态学报, 2015, 35(7): 2244-2254.
- [4] 欧阳志云, 朱春全, 杨广斌, 徐卫华, 郑华, 张琰, 肖懿. 生态系统生产总值核算: 概念、核算方法与案例研究. 生态学报, 2013, 33(21): 6747-6761.
- [5] 王玉君. 保护区发展与保护政策的效益及影响因素评估[D]. 南充: 西华师范大学, 2020:47-49.
- [6] 刘耀彬, 李仁东, 宋学锋. 中国区域城市化与生态环境耦合的关联分析. 地理学报, 2005, 60(2): 237-247.
- [7] Munns W R Jr, Helm R C, Adams W J, Clements W H, Cramer M A, Curry M, DiPinto L M, Johns D M, Seiler R, Williams L L, Young D. Translating ecological risk to ecosystem service loss. Integrated Environmental Assessment and Management, 2009, 5(4): 500-514.
- [8] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. 地理科学进展, 2014, 33(4): 441-446.
- [9] 汪翡翠, 汪东川, 张利辉, 刘金雅, 胡炳旭, 孙志超, 陈俊合. 京津冀城市群土地利用生态风险的时空变化分析. 生态学报, 2018, 38(12): 4307-4316.
- [10] 耿甜伟, 陈海, 张行, 史琴琴, 刘迪. 基于 GWR 的陕西省生态系统服务价值时空演变特征及影响因素分析. 自然资源学报, 2020, 35(7): 1714-1727.
- [11] 胡蕾, 吴健, 李海萍. 生态系统服务与居民收入的耦合关系及影响因素——以丽江市海流域为例. 生态学报, 2018, 38(18): 6402-6411.
- [12] 孙艺杰, 任志远, 郝梦雅, 段艺芳. 黄土高原生态系统服务权衡与协同时空变化及影响因素——以延安市为例. 生态学报, 2019, 39(10): 3443-3454.
- [13] 潘莹, 郑华, 易齐涛, 李若男. 流域生态系统服务簇变化及影响因素——以大清河流域为例. 生态学报, 2021, 41(13): 5204-5213.
- [14] 田至美. 山地生态旅游资源特点和开发途径——以北京山区为例. 资源产业, 2005, 7(1): 42-45.
- [15] 冯达, 胡理乐, 陈建成. 北京市自然保护地空间分布格局与交叉重叠特征. 生态学杂志, 2020, 39(10): 3421-3429.

- [16] Millennium ecosystem assessment, M. E. A. Ecosystems and Human Well-being. Washington, DC: Island Press, 2005:76-79.
- [17] 傅斌, 徐佩, 王玉宽, 彭怡, 任静. 都江堰市水源涵养功能空间格局. 生态学报, 2013, 33(3): 789-797.
- [18] 王莉. 北京城市森林生态服务功能及价值评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2009:14-15.
- [19] 王莉雁, 肖赓, 江凌, 饶恩明, 欧阳志云, 郑华. 城镇化发展对呼包鄂地区生态系统服务功能的影响. 生态学报, 2016, 36(19): 6031-6039.
- [20] 国家标准化管理委员会.GB/T 38582—2020, 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2020: 1-19
- [21] 祝萍, 刘鑫, 郑瑜晗, 王世豪, 黄麟. 北方重点生态功能区生态系统服务权衡与协同. 生态学报, 2020, 40(23): 8694-8706.
- [22] 李元寿, 王根绪, 王一博, 王军德, 贾晓红. 长江黄河源区覆被变化下降降水的产流产沙效应研究. 水科学进展, 2006, 17(5): 616-623.
- [23] 张彪, 李庆旭, 王爽, 谢高地. 京津风沙源区防风固沙功能的时空变化及其区域差异. 自然资源学报, 2019, 34(5): 1041-1053.
- [24] 李亚平, 卢小平, 张航, 路泽忠, 王舜瑶. 基于 GIS 和 RUSLE 的淮河流域土壤侵蚀研究——以信阳市商城县为例. 国土资源遥感, 2019, 31(4): 243-249.
- [25] 张彪, 史芸婷, 李庆旭, 谢高地. 北京湿地生态系统重要服务功能及其价值评估. 自然资源学报, 2017, 32(8): 1311-1324.
- [26] 王兵, 任晓旭, 胡文. 中国森林生态系统服务功能及其价值评估. 林业科学, 2011, 47(2): 145-153.
- [27] 唐小平. 中国自然保护区网络现状分析与优化设想. 生物多样性, 2005, 13(1): 81-88.
- [28] 唐小平, 刘增力, 马炜. 我国自然保护区整合优化规则与路径研究. 林业资源管理, 2020, (1): 1-10.
- [29] 唐小平, 栾晓峰. 构建以国家公园为主体的自然保护区体系. 林业资源管理, 2017, (6): 1-8.
- [30] 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): 1338-1350.
- [31] 徐网谷, 秦卫华, 刘晓曼, 夏欣, 周大庆, 范鲁宁, 蒋明康. 中国国家级自然保护区人类活动分布现状. 生态与农村环境学报, 2015, 31(6): 802-807.
- [32] 刘晓曼, 付卓, 闻瑞红, 靳川平, 王雪峰, 王超, 肖如林, 侯鹏. 中国国家级自然保护区人类活动及变化特征. 地理研究, 2020, 39(10): 2391-2402.