

doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.04.014

北京延庆世界地质公园生态系统服务价值评价和生态地质调查工作建议

孙张涛^{1,2}, 余正伟¹, 舒思齐^{3*}, 刘稼丰⁴, 范景辉⁴, 张志光⁵, 苗淼^{1,6}

SUN Zhangtao^{1,2}, YU Zhengwei¹, SHU Siqi^{3*}, LIU Jiafeng⁴, FAN Jinghui⁴, ZHANG Zhiguang⁵, MIAO Miao^{1,6}

1. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 中国地质调查局地学文献中心, 北京 100083;

3. 中国地质调查局, 北京 100037;

4. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083;

5. 中国地质科学院, 北京 100037;

6. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083

1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Geosciences Documentation Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China;

3. China Geological Survey, Beijing 100037, China;

4. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China;

5. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

6. Oil and Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083, China

摘要:保护区域生态环境是世界地质公园主要功能之一。建立世界地质公园有利于促进区域生态环境保护,促进人与自然是和谐共生。研究世界地质公园的生态系统服务价值可为提升世界地质公园的生态功能提供技术支撑。基于 Costanza 等的全球生态系统服务价值单价模型,建立了中国生态系统服务价值单价,并以延庆世界地质公园为例,运用 GlobeLand30 数据和 ArcGIS 软件对 2000—2020 年间延庆世界地质公园及邻区的生态系统服务价值进行评估。近 20 年间延庆世界地质公园的生态系统服务总价值基本保持稳定,2000 年、2010 年和 2020 年延庆世界地质公园园区生态系统服务价值分别为 3040 百万元人民币、3103 百万元人民币和 3086 百万元人民币;在园区各类生态系统服务价值中以森林、草原和农田生态系统服务价值为主,占生态系统服务总价值的 96% 以上。针对园区生态系统特点,提出生态地质调查和生态保护建议:一是加强园区林分组成、林分结构、林分质量和林地土壤调查,提高森林生态系统质量;二是开展湿地地下水和水土流失监测,防止湿地进一步萎缩;三是连通妫水河流域和官厅水库水系,维护河流生态流量;四是基于系统观开展园区生态地质调查,协调开展园区山、水、林、田、湖、草等不同自然要素综合调查,提高生态系统服务总价值。五是建立跨部门、跨区域生态保护协调推进机制。

关键词:延庆;世界地质公园;生态系统服务价值;生态环境;生态地质

中图分类号:P622 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2023)04-0657-11

Sun Z T, Yu Z W, Shu S Q, Liu J F, Fan J H, Zhang Z G, Miao M. The evaluation of ecosystem service of Yanqing Global Geopark in Beijing and the suggestions for ecological geology. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(4): 657-667

Abstract: Protecting the regional ecological environment is one of the major functions of the Global Geoparks. The Global Geoparks benefit the regional environment protection and the harmonious coexistence between man and nature. The study on the values of

收稿日期:2022-07-05;修订日期:2023-02-01

资助项目:自然资源部数字制图与国土信息应用重点实验室开放研究基金资助项目《基于多源地理空间信息的乡村地域演变特征测度与分析》(编号:ZRZYBWD202207)和中国地质调查局项目《国际地学情报信息跟踪与分析》(编号:DD20221794)

作者简介:孙张涛(1981-),女,博士,副研究员,从事资源产业经济研究。E-mail:123223493@qq.com

*通信作者:舒思齐(1977-),男,博士,正高级工程师,从事可持续发展研究。E-mail:shusiqi@sina.com.cn

ecosystem services of global geoparks will provide technical support for improving the ecological functions of global geoparks. This study establishes the unit value of ecosystem services in China on the basis of the unit value model of global ecosystem services invented by Costanza et al, and evaluates the ecosystem services of Yanqing Global Geopark and adjacent areas from 2000 to 2020 via GlobeLand30 and Arcgis. The results show that the total values of ecosystem services of Yanqing Global Geopark has basically remained stable in the past 20 years, which are 3040 million CNY in 2000, 3103 million CNY in 2010, and 3086 million CNY in 2020 respectively. The values of forest ecosystem, grassland ecosystem and cropland ecosystem are dominated, accounting for more than 96% in total values of Yanqing Global Geopark ecosystem services. In terms of the characteristics of Yanqing Global Geopark, some suggestions for ecological geological survey are put forward as follows: the first is to strengthen the investigation on the components, structure, quality of forests and soil to improve the forest ecosystem; the second is to monitor the underground water and soil erosion to prevent further shrinkage of the wetland; the third is to interconnect the Guishui River basin and Gongting Reservoir water system to maintain the ecological flow; the fourth is to coordinate a comprehensive survey of different natural elements such as the mountains, water, forests, cropland, lakes and grassland on the basis of a systemic view to improve the total value of ecosystem services of Yanqing Global Geopark. The fifth is to establish a cross-departmental and cross-regional coordinating mechanism for promoting ecological protection.

Key words: Yanqing; Global Geopark; ecosystem services value; eco-environment; ecological geology

地质公园把地质遗迹资源作为一种特殊类型的自然资源加以保护和利用,在地质遗迹保护、生态环境保护 and 区域可持续发展中发挥了重要的作用,是人类合理利用地球资源的一项创举(张建平, 2000)。地质公园发挥自身优势,因地制宜,以地质遗迹和区域生态环境为主体,通过划分地质遗迹保护区及自然生态区并制定详细的分区管制措施来保护珍稀地质遗迹资源的完整性,促进区域生态环境的良性循环、物种繁衍与生物多样性,形成了独特风格和地域特色的科学公园,对区域可持续发展具有良好的社会效益、经济效益和生态效益(易平等, 2014; 赵岩等, 2021)。2000年中国成立了首批11家国家地质公园,至今中国已成立281个国家地质公园。2004年2月,在联合国教科文组织(UNESCO)和国际地质科学联合会的支持下,来自中国8家地质公园和欧洲17家地质公园在法国巴黎UNESCO总部成立首批世界地质公园。截至2022年6月,全球已拥有177家世界地质公园,分布在46个国家,其中中国拥有41家世界地质公园。

生态系统服务价值的研究可以追溯到20世纪60年代,20世纪后期迅速发展成为涉及生态学、经济学、社会学等领域的交叉学科,现在已成为生态学领域国际研究热点。《自然服务:社会对自然生态系统的依赖》一书,将生态系统服务定义为“生态系统及其生态过程所形成的、维持人类生存的自然环境条件与效用”(Daily, 1997)。Costanza et al. (1997)于《Nature》杂志上首次系统性地提出生态

系统服务价值的估算方法。Costanza et al. (1997)在总结过去几十年国际生态系统服务价值评价文献(包括100余项研究)的基础上,研究了海洋、海岸带、森林、草地、湿地、湖泊和河流、沙漠、苔原、冰和岩石、农田、城市11种生态系统服务功能,把全球生态系统服务划分为气体调节、气候调节、干扰调节、水调节、水供应、水土保持、土壤形成、营养循环、废物处理、授粉、生物控制、栖息和避难所、食物生产、提供原材料、遗传资源、娱乐和文化17大类,并对每一种生态系统功能价值进行计算。按照文献来源国与美国国民生产总值购买力平价将文献来源国生态系统服务功能价值换算为美元标准。根据美国居民消费价格指数把每公顷每年生态系统服务价值折算成1995年美元价值,计算全球生态系统服务价值的单价,并评价全球生态系统服务价值约为33万亿美元。后来, Costanza et al. (2014)进一步完善了评估方法和生态系统服务价值单价,并针对2011年全球生态系统面积,重新评估世界生态系统服务价值约为125万亿美元。

2001年,联合国主导实施了为期4年的千禧年生态系统评估国际工作计划《生态系统与人类福祉:评估框架》(MA)(张永民等, 2006)。来自全球95个国家1360余名专家从地区、流域、国家、区域、国际等多层次上评估生态系统服务功能与人类福祉之间的相互关系。2007年,联合国组织实施了生态系统和生物多样性研究(TEEB)。TEEB的总体目标是通过经济手段为生物多样性相关政策的制定提供理论依据和技术支持(杜乐山等, 2016)。谢

高地等(2003;2015)在 Costanza et al.(1997)生态系统服务功能分类的基础上,对中国 700 位具有生态学背景的专业人员进行问卷调查,得出了单位面积生态系统服务价值当量,构建了一种基于专家知识的生态系统服务价值评价方法。世界众多学者对全球尺度(Costanza et al.,2014)、国家尺度(Aziz,2021)和特定地区(Wang et al.,2019)的生态系统服务价值进行了评价,并对森林(Grammatikopoulou et al.,2021)、湿地(Sharma et al.,2015)、草地(Richter et al.,2021)、海洋(Sun et al.,2016)和城市(Editorial,2013)的生态系统服务价值进行了评价。祁黄雄等(2021)以中国国家级自然保护区为研究对象,对自然保护区的生态系统服务价值进行整体估算和评价。胡世辉等(2010)评价了西藏工布自然保护区生态系统服务价值。石仲选等(2014)评估了六盘山国家自然保护区森林生态系统服务价值。傅娇艳(2012)评价了闽江河口湿地自然保护区生态系统服务价值。Spanò et al.(2017)以意大利南部为例探讨了保护区生态系统服务热点和冷点分布关系。Zarandian et al.(2017)以伊朗北部自然保护区为例研究生态系统服务对土地空间规划和自然资源管理政策的影响。本文以延庆世界地质公园为例,探讨世界地质公园对区域生态服务价值的影响。

1 研究区概况

研究区延庆世界地质公园位于北京市延庆区,主要由环绕延庆的三面山体和部分延怀盆地组成。2001年12月28日,北京延庆硅化木国家地质公园获批,包括木化石中心区、滴水壶、乌龙峡谷、燕山天池、云龙山 5 个景区,总面积约 226 km²。2013年9月9日,基于北京延庆硅化木国家地质公园组建了北京延庆地质公园,园区面积拓展为 620.38 km²,主要包括北京市延庆区西部龙庆峡园区与古崖居园区、东部的千家店园区、南部的八达岭园区,并成功申请世界地质公园。2020年开始,延庆地质公园启动扩园工作,园区面积计划增加到 1402.37 km²(图 1)。

延庆世界地质公园位于暖温带与中温带、半干旱与半湿润带的过渡带,属于大陆性季风气候,冬冷夏凉,年均气温 8.4℃,年平均降水 466 mm,年平均蒸发量 1772.0 mm,年平均风速 3.1 m/s,年平均日照 2806.5 h。

延庆世界地质公园属于北京市的生态涵养区,生态功能十分重要,是北京市乃至京津冀地区重要的生态屏障。延庆世界地质公园内生态保护红线面积 597.9 km²,约占延庆区国土面积的 30%,有效服务保障首都生态安全。园区生物多样性十分丰富,复杂多样的地理条件为动物提供了多样化的栖息环境,孕育有超过 300 个种类的野生动物,受国家保护的一级动物有 8 种,二级动物有 53 种。公园内共分布有国家级及北京市级野生保护植物 84 种,有保护价值和培育前景的重点关注植物 12 种,共计 96 种。多数为具备观赏和药用价值的灌草植物,乔木植物较少。尽管自然生态本底较好,但其良好的生态系统产品与服务价值并未得到充分认识。部分植物由于受到自身原因(内因)和自然环境及人为因素(外因)的影响面临灭绝(刘清霞,2022)。近年来,延庆区一方面不断巩固造林营林成果,积极推进城乡环境绿化,如开展了京津风沙源治理、实施了四大生态走廊等一批生态修复和绿化工程项目;另一方面积极推进水源保护和水环境治理,如高标准建设滨河森林公园和官厅水库库滨带,强化农村面源污染、水污染治理(李志军,2016)。2020年,延庆世界地质公园园区实施了宜林荒山全部绿化,实施道路景观建设工程和大地美化工程,保育了森林、草地、湿地、农田、河湖等不同生态系统类型,提升了延庆世界地质公园生态功能,以及生态涵养能力和生态服务价值。

2 数据来源与分析方法

2.1 数据来源

卫星影像为评估土地使用和土地覆盖情况、监测生物多样性损失和生态系统变化提供了最好的数据源。GlobeLand30 是中国研制的 30 m 空间分辨率全球地表覆盖数据,包括美国陆地资源卫星(Landsat)TM5、ETM+多光谱影像和中国环境减灾卫星(HJ-1)多光谱影像。2014年发布了GlobeLand30 2000版和2010版(国家基础地理信息中心,2022)^①。2020年9月15日,中国自然资源部向社会发布了2020版30m全球地表覆盖数据,并向联合国捐赠了数据。GlobeLand30分类利用的影像为30m多光谱影像(GlobeLand30,2023)^②。该数据覆盖南北纬80°的陆地范围,包括农田、森林、草地、灌木地、湿地、水体、苔原、人造地表、裸地、冰

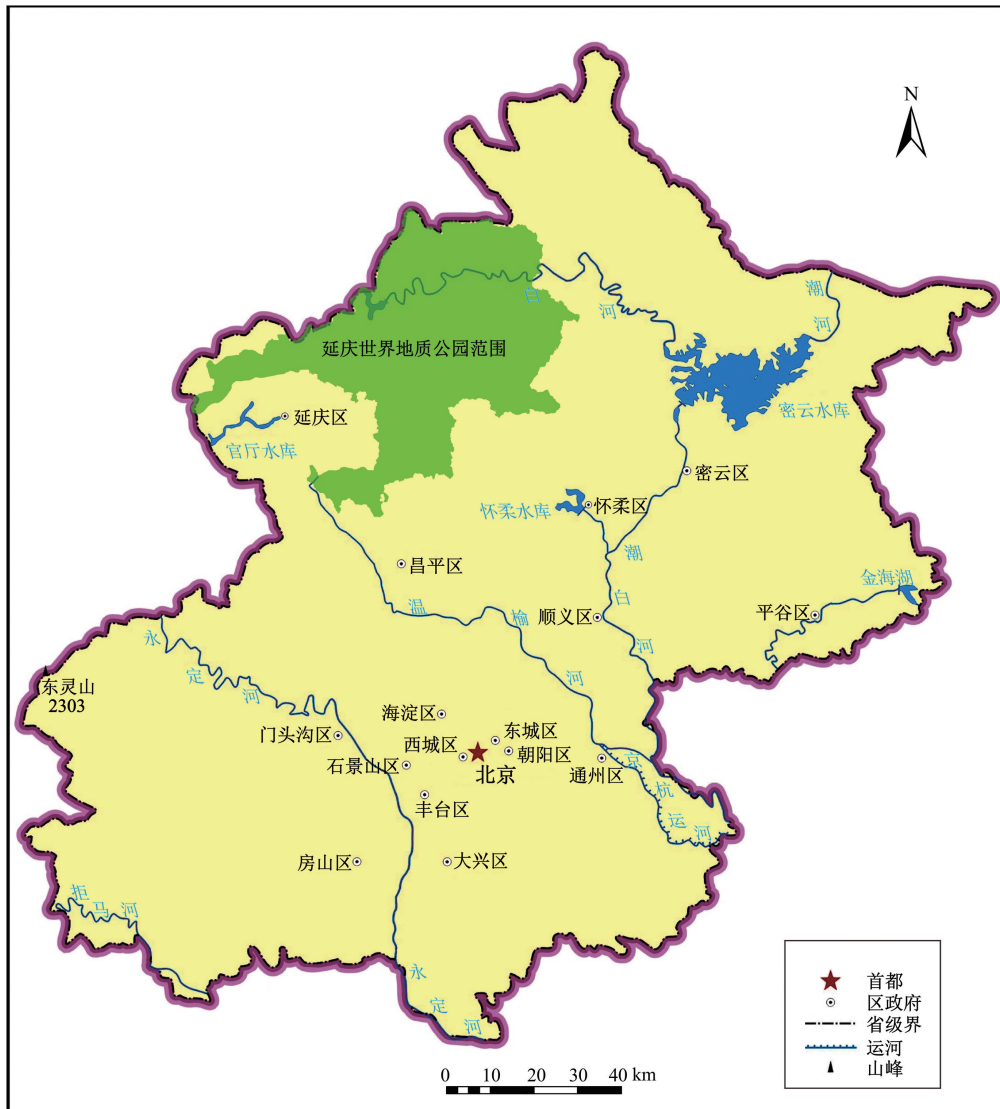


图1 延庆世界地质公园地理图

Fig. 1 Geographic map of Yanqing Global Geopark

川和永久积雪 10 种地表覆盖类型。GlobeLand30 分类精度达到 83%。通过 GlobeLand30 数据,可以准确刻画出与地球健康密切相关的地表覆盖类型的面积、空间分布及其变化情况,可评估人类活动对全球环境、生态等带来的积极和消极影响。

本次研究基于 GlobeLand30 2000、2010 和 2020 版数据和延庆世界地质公园边界数据获取园区数据,并采用 ArcGIS 软件的空间分析功能计算出园区内各时期不同利用类型土地的占地面积。

2.2 生态服务价值评价方法

本次研究以 2007 年为基准年,通过美国居民消费价格指数,以及人民币和美元购买力指数修正了

Costanza et al.(2014) 的生态系统服务价值单价,获得目标年中国生态系统服务价值单价。

$$USEV_{x_{i,j}} = USEV_{2007_{i,j}} \times \frac{CPI_x}{CPI_{2007}} \quad (1)$$

式中, $USEV_{2007_{i,j}}$ 代表 2007 年全球第 i 类生态系统第 j 项服务价值单价(美元)。 $USEV_{x_{i,j}}$ 代表目标年第 i 类生态系统第 j 项服务价值单价(美元)。 CPI_x 代表目标年美国居民消费价格指数; CPI_{2007} 代表 2007 年美国居民消费价格指数。

$$CUSEV_{x_{i,j}} = USEV_{x_{i,j}} \times \frac{CYUAN_x}{CUSD_x} \quad (2)$$

式中, $CUSEV_{x_{i,j}}$ 代表目标年中国第 i 类生态系统第 j 项服务价值单价(人民币); $CYUAN_x$ 代表目标年人民币购买力指数; $CUSD_x$ 代表目标年美元购买力指数。

针对森林、草地、湿地、湖/河、农田、城市 6 种生态系统的 17 项服务功能, 评估了延庆世界地质公园 2000 年、2010 年和 2020 年生态系统服务价值。根据 2007 年美国居民消费价格指数(207)和 2020 年美国居民消费价格指数(260)(TradingEconomics, 2023)^③, 以及 2020 年人民币购买力与美元购买力比值(4.2)(快易理财网, 2023)^④, 计算得 2020 年中国区域单位面积生态系统服务价值单价(表 1)。为便于直观比较 2000 年、2010 年、2020 年生态系统服务价值总值, 计算中采用 2020 年生态系统服务价值单价, 分别基于 2000 年、2010 年、2020 年各利用类型土地的占用面积计算生态系统服务价值。

3 结果与分析

3.1 土地利用类型变化情况

土地利用变化是陆地表层系统最重要的变化

之一, 也是全球环境和陆地生态系统变化的重要组成部分及造成其变化的重要原因, 直接影响全球生物圈、水圈、大气圈的功能和结构及全球生态的物质能量循环(Yi et al., 1998; 陈佑启等, 2001)。延庆世界地质公园土地利用变化将直接影响园区生态系统服务价值。延庆世界地质公园林地面积、草地面积、湿地面积、水体面积、耕地面积和人工建筑面积分别决定园区森林生态系统服务价值、草原生态系统服务价值、湿地生态系统服务价值、湖河生态系统服务价值、农田生态系统服务价值和城市生态系统服务价值。

2000—2010 年延庆世界地质公园及邻区草地和耕地变化最明显(图 2、图 3; 表 2、表 3)。耕地面积由 140.31 km² 增加至 200.75 km², 增幅高达 43.08%, 相应的农田生态系统服务价值由 412 百万元增加到 590 百万元。草地面积由 267.66 km² 减少至 205.66 km², 减幅高达 23.16%, 相应的草原生态系统服务价值由 588 百万元减少到 452 百万元。耕地和草地变化主要受到该时期的地区经济发展和政策影响, 农民大面积开垦草地, 种植农作物, 以增

表 1 2020 年中国单位面积生态系统服务价值单价

Table 1 Unit value of ecosystem service of Unit area in China

生态服务功能	森林	草原	湿地	湖与河	农田	城市
气体调节	2100	4700	0	0	0	0
气候调节	375100	21100	105500	0	216800	477400
干扰调节	10000	0	2424600	0	0	0
水调节	1600	1600	943800	3963900	0	8400
水供应	75400	31700	505900	953800	211000	0
水土保持	52800	23200	1850100	0	56400	0
土壤形成	7400	1100	0	0	280600	0
营养循环	34800	0	304400	0	0	0
废物处理	63300	39600	58738500	484300	209400	0
授粉	4700	18500	0	0	11600	0
生物控制	89200	16400	159800	0	17400	0
栖息和避难所	326500	640400	6568900	0	0	0
食物生产	142400	628800	502200	55900	1225500	0
提供原材料	80200	28500	219500	0	115500	0
遗传资源	236300	640400	128200	0	549700	0
娱乐	502700	13700	1160100	1142600	43300	3028100
文化	500	88100	335500	0	0	0

注: 百万元人民币/(km²·年)

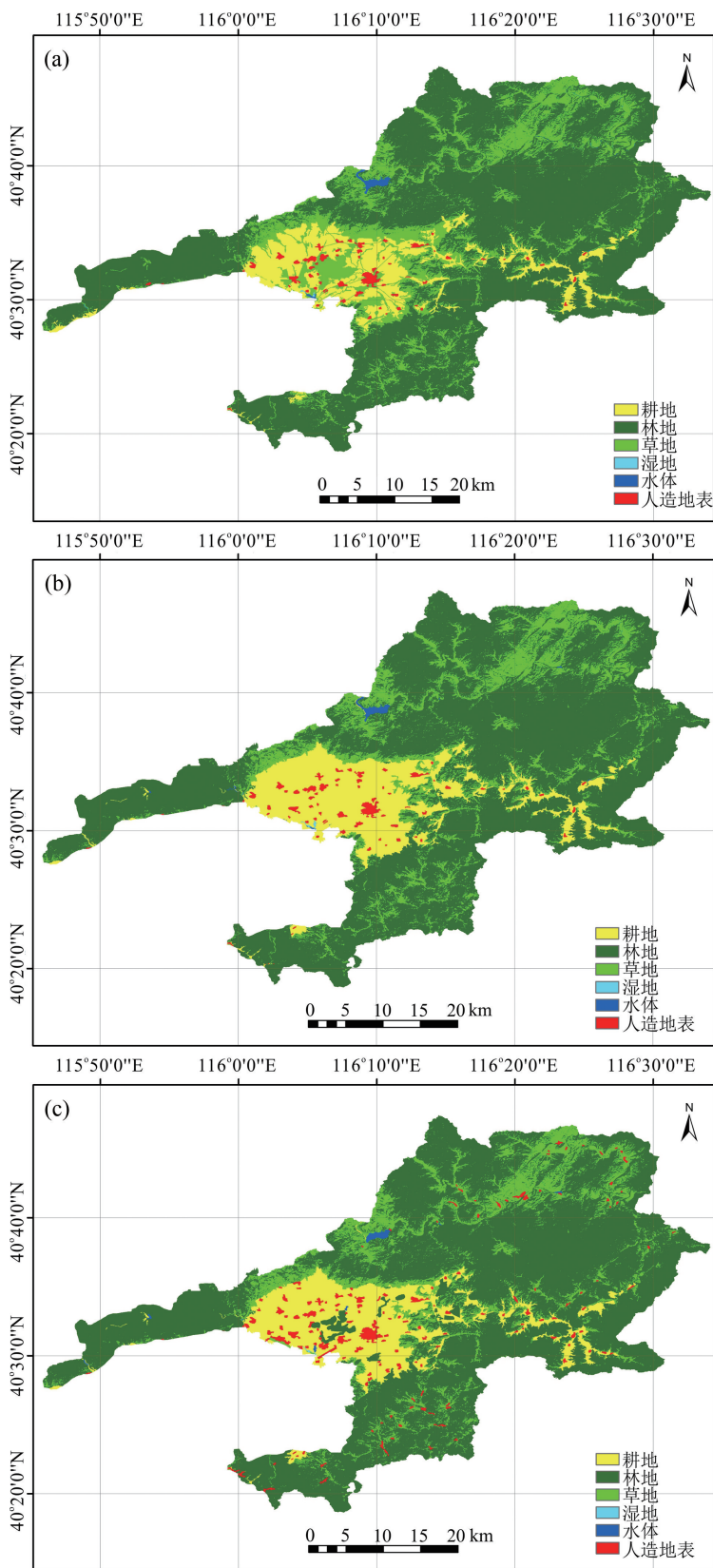


图2 2000年(a)、2010年(b)和2020年(c)延庆世界地质公园土地利用图

Fig. 2 The land use map of Yanqing Global Geopark in 2000(a), 2010(b) and 2020(c)

加收入。

2010—2020年,耕地面积由200.75 km²减少为178.29 km²,相应的农田生态系统服务价值由590百万元减少到524百万元。林地面积由978.60 km²增加为991.67 km²(图2、图4;表3),相应的森林生态系统服务价值由1962百万元增加到1989百万元。耕地和林地的变化主要得益于该时期实施的“北京市百万亩造林工程”。延庆区进行生态保护,一方面推动森林湿地建设,修复生态环境;另一方面,实施退耕还林。

水体面积由2000年的4.29 km²减少到2010年的3.70 km²和2020年的2.91 km²,相应的湖/河生态系统服务价值从2000年的28百万元减少到2010年的24百万元和2020年的19百万元。这主要受全球气候变化和人类过度开采地下水双重因素影响,导致华北平原涵养水源能力降低、地表水土流失和地下水水位大幅下降。人造地表面积由2000年的13.03 km²增加到2010年13.28 km²,再增加到2020年的27.62 km²,相应的城市生态系统服务价值由2000年46百万元增加到2010年的47百万元和2020年的97百万元。这主要受到区域经济发展的影响,建设公路等基础设施、公园旅游设施等。

3.2 生态系统服务价值变化原因分析

延庆世界地质公园园区内的林地主要分布在南、东、北三面的山区和地面崎岖的平原,地方政府重视植树造林,园区内林地面积数量保持稳定并稍有增加,2020年森林生态系统服务价值增加到1989百万元。延庆世界地质公园草地主要分布在北部山间低地和平原,随着经济发展,对草地不合理开发利用导致草地面积逐步减少,2020年园区草原生态系统服务价值减少到443百万元。延庆世界地质公园园区内耕地主要分布在西南部的平原和山谷平地。1998年,国家提出耕地占补平衡政策后,延庆区通过整理土地新增了耕地面积,增加了农民的收入。近年来,为加快生态文明建设,

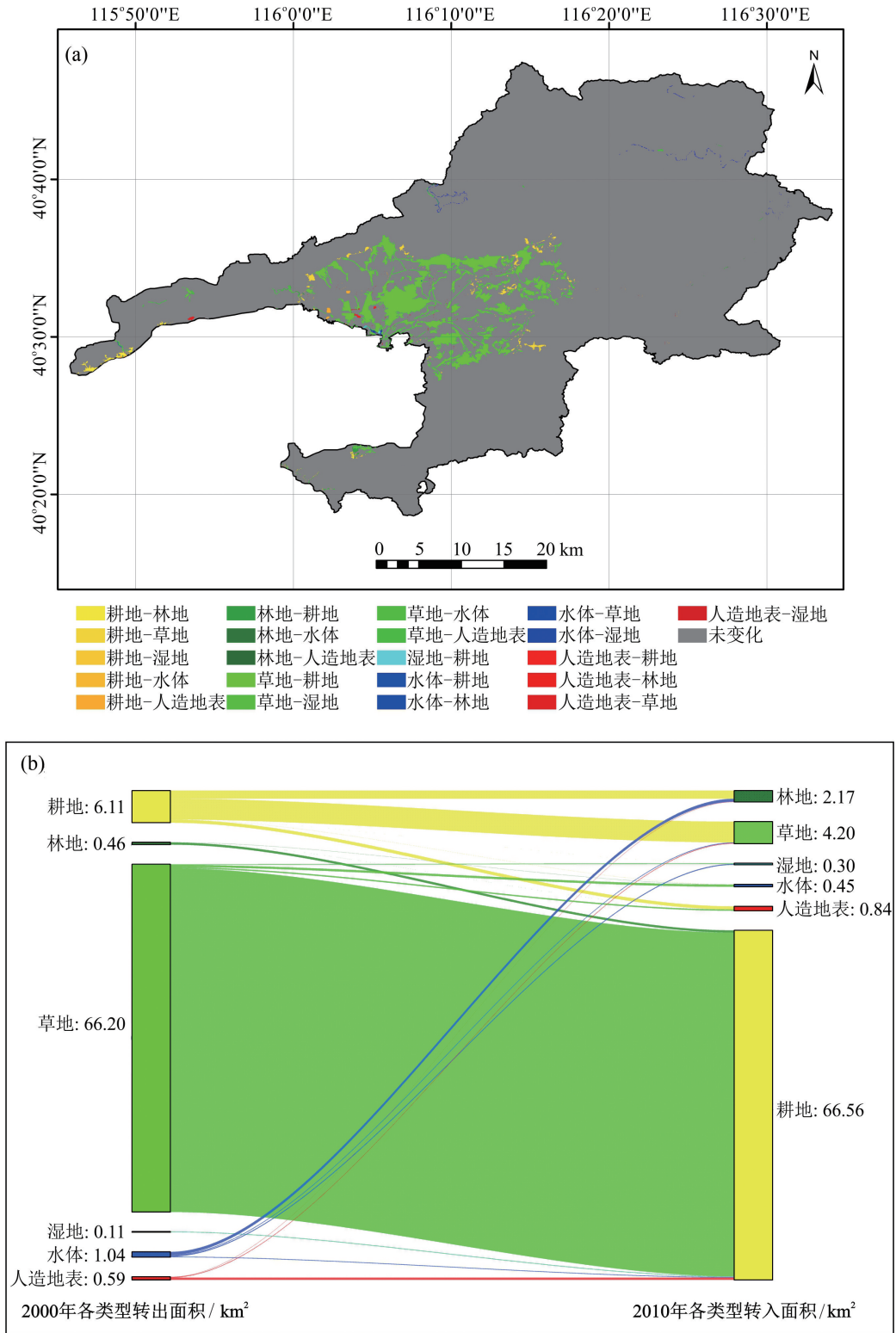


图 3 2000—2010 年延庆世界地质公园土地利用类型转用(a)及转出转入(b)情况

Fig. 3 The land use transition(a) as well as outflow and inflow situation (b) of Yanqing Global Geopark during 2000—2010

表 2 2000—2010 年延庆地质公园土地利用类型转用矩阵

Table 2 The matrix of land use transition of Yanqing Global Geopark during 2000—2010

		2010 年						km ²
土地利用类型	耕地	林地	草地	湿地	水体	人造地表	总计	
2000 年	耕地	134.20	1.54	3.96	0.00	0.01	0.60	140.31
	林地	0.43	976.43	0.00	0.00	0.02	0.00	976.89
	草地	65.44	0.00	201.46	0.11	0.41	0.24	267.66
	湿地	0.11	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.20
	水体	0.13	0.59	0.14	0.19	3.25	0.00	4.29
	人造地表	0.44	0.05	0.11	0.00	0.00	12.44	13.03
	总计	200.75	978.60	205.66	0.38	3.70	13.28	1402.37

表 3 2010—2020 年延庆地质公园土地利用类型转用矩阵

Table 3 The land use transition matrix of Yanqing Global Geopark during 2010—2020

		2020 年						km ²
土地利用类型	耕地	林地	草地	湿地	水体	人造地表	总计	
2010 年	耕地	172.77	15.88	2.59	0.03	0.23	9.25	200.75
	林地	1.85	943.42	32.18	0.00	0.24	0.91	978.60
	草地	2.28	32.20	165.61	0.00	0.04	5.53	205.66
	湿地	0.04	0.00	0.01	0.15	0.17	0.01	0.38
	水体	0.03	0.13	1.27	0.02	2.23	0.02	3.70
	人造地表	1.31	0.04	0.03	0.00	0.00	11.90	13.28
	总计	178.29	991.67	201.68	0.19	2.91	27.62	1402.37

延庆区实施退耕还湖还草工程,虽然农田面积减少,但有效遏制了湿地和草地面积的显著下滑。湿地主要分布在官厅水库及周围淹没区,白河堡水库、龙庆峡水库、松山水库等水库周围,以及妫水河两岸及其他支流地带。地下水资源的丰富程度是湿地发育的重要条件之一,地下水对湿地具有补给旱季水量和顶托补给的作用。北京市湿地面积与地下水资源量变化趋势一致,湿地最大/最小面积与地下水资源量最高/最低点重合,二者具有很强的正相关关系,且相关系数达 0.90(柳敏等,2011)。由于地下水超采等原因,造成湿地面积萎缩,湿地生态系统服务价值降到最低 14 百万元。水体主要分布在妫水河流域和官厅水库,由于农业过渡利用水资源,导致河湖生态系统服务价格降低。近年来,当地经济发展,园区开发旅游项目、公路等基础

设施建设,城市生态系统服务价值明显增加至 97 百万元。

2000—2020 年,延庆世界地质公园草原生态系统服务价值和湖/河生态系统服务价值逐步减少,森林生态系统服务价值和城市生态系统服务价值逐步增加,湿地生态系统服务价值和农田生态系统服务价值先增加后减少。其中,森林、草地和农田生态系统服务价值占园区总生态系统服务价值的主要部分,约占 96% 以上。尽管气候变化和人为因素多次改变延庆世界地质公园及邻区的地表覆盖类型,但延庆世界地质公园及邻区生态系统服务总价值基本保持平稳。

3.3 生态地质调查工作建议

为进一步巩固和扩大延庆世界地质公园的生态优势,提升园区生态系统服务价值,重点针对园区

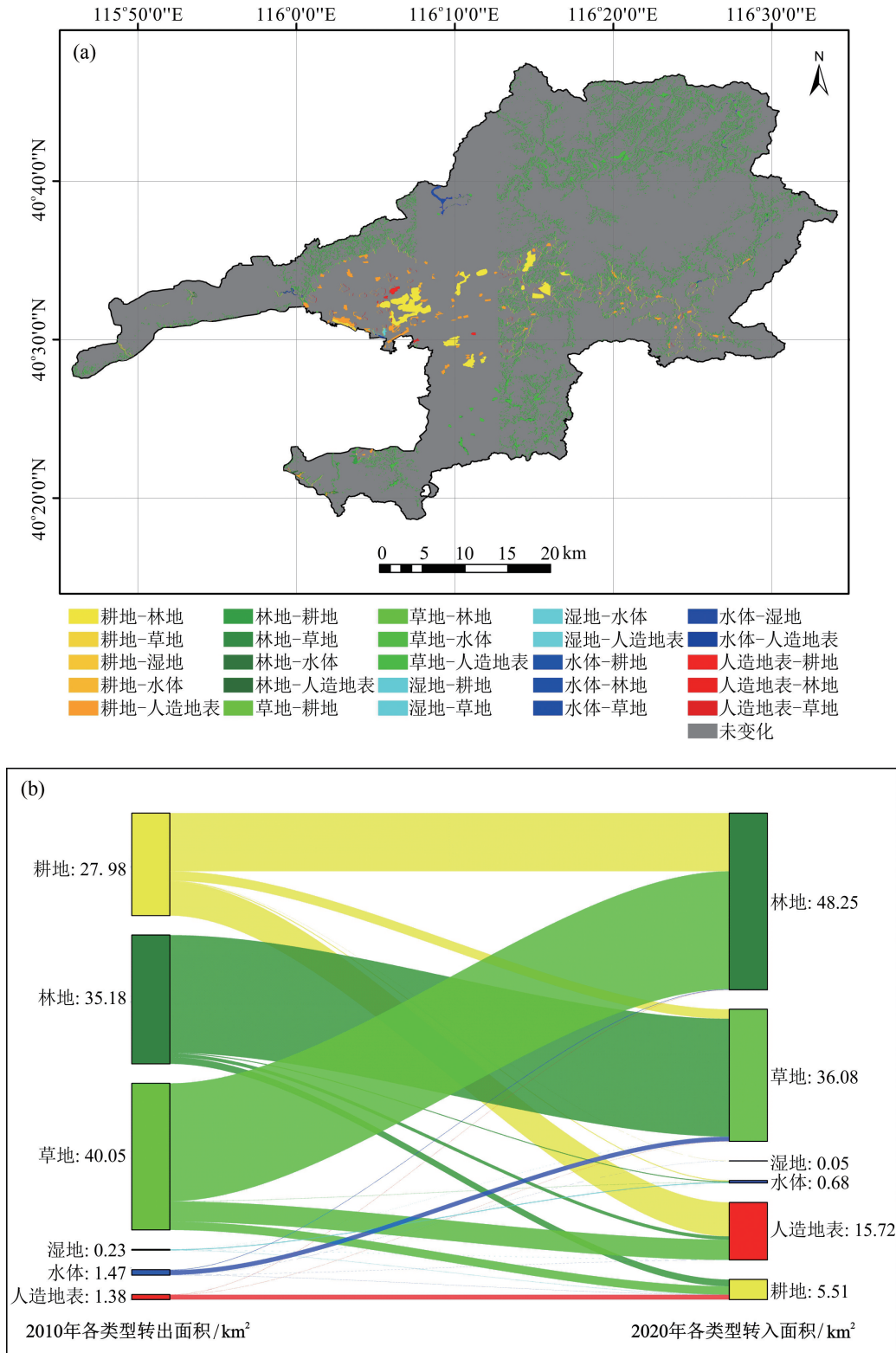


图 4 2010—2020 年延庆世界地质公园土地利用类型转用(a)及转出转入(b)情况

Fig. 4 The land use ransition(a) as well as outflow and inflow situation (b) of Yanqing Global Geopark during 2010—2020

表4 延庆世界地质公园生态系统服务价值
Table 4 The value of ecosystem service of
Yanqing Global Geopark

生态系统	百万元/年						合计
	林地	草地	湿地	湖与河	耕地	城市	
2000年	1956	588	15	28	412	46	3045
2010年	1962	452	28	24	590	47	3103
2020年	1989	443	14	19	524	97	3086

森林生态系统、湿地生态系统,以及湖与河生态系统,按照“点、线、面”的空间序列,开展“山、水、林、田、湖、草”一体化生态地质调查。为园区生态修复工程,生态廊道、生物多样性保护和国土空间利用提供技术支撑。

(1)加强延庆世界地质公园森林资源调查,确保园区生态系统服务价值主要组成部分森林生态系统服务价值稳步增加。主要针对分布在海拔800 m以上山区的天然林和分布在浅山区和崎岖平原地区的人工林及飞机播种造林开展调查,注重森林的景观功能、经济功能和生态功能的统一,提升生态效益。①开展树种、树龄、林分组成、林分结构、林分质量等调查。②调查山区的林地地貌、坡向、土壤厚度和母质风化状况等主导因子,突破贫瘠地造林。③调查平原地区土壤形成及土壤质地等主导因子,提高森林质量和郁闭度,改造低效林。

(2)开展延庆世界地质公园湿地调查,遏制湿地生态系统下滑趋势。园区湿地面积减少既有全球气候变暖等客观原因,也有湿地资源不合理开发利用等主观原因。进一步加强湿地资源调查:①开展地下水资源调查,监测地下水开发,避免地下水超采,造成地下水位下降,导致湿地面积萎缩。②开展湿地周边农田调查,避免湿地被围垦,推进退耕还湿。③监测水库周边滩涂,禁止挖沙、取土等破坏湿地环境的行为。④加强官厅水库和妫水河上游水土保护和生态保护,避免由于乱采、乱垦、植被破坏等原因,加剧水土流失,造成下游水库淤积。

(3)开展湖/河生态地质调查,加强水系连通,维护河流合理生态流量。延庆世界地质公园及邻区地处永定河、潮白河水系的上游,属独立水系。流域有Ⅳ级以上河流18条,其中Ⅲ级河流2条(白河、妫水河),加强流域上下游的生态保护。以妫河和南北干渠为骨架,以白河水库南干渠为纽带,实

施“一干九支”水系连通工程,优化调配水资源,优先满足生态流量需求,增加有水河段,构建区域河道-湖泊-绿地关联共生的生态空间。通过提升再生水生态补水水量,加大河湖生态补水,涵养地下水,促进地下水位逐年回升,推动河流生态保护与修复。

(4)基于系统观开展生态地质调查和生态系统保护。在要素上,生态系统保护要充分考虑山、水、林、田、湖、草等不同自然要素的相互联系。在空间上,生态地质调查要统筹考虑山上山下、地上地下。在措施上,要综合运用技术、管理、政策、经济等多种手段,根据不同生态系统受损、退化程度,因地制宜选取修复模式。

(5)破除行政界线的限制和部分分割的影响,建立延庆世界地质公园生态保护协调推进机制。建立跨区域跨部门工作机制,做好与周边昌平区、怀柔区和河北省怀来县、赤城县等县(区)的协调联动,建立财政、自然资源、生态环境等相关部门参与的工作领导机构,建立联席会议制度,打破部门界限,协同推进园区生态保护工作。

4 结论

生态价值是世界地质公园的主要价值之一。本文应用生态系统服务价值理念定量评估延庆世界地质公园及邻区生态价值,并提出生态地质调查建议,为延庆世界地质公园生态环境保护和优化国土空间结构提供技术支撑。

(1)基于Costanza等的全球生态系统服务价值单价,美国居民消费价格指数,以及人民币和美国购买力指数,建立中国生态系统服务价值单价动态评价模型,并根据该动态评价模型获得2020年中国生态系统服务价值单价。

(2)延庆世界地质公园生态系统服务价值中森林、草原和农田生态系统服务价值占主要部分。2000—2020年间,由于受全球气候变化和社会经济活动影响,延庆世界地质公园草原生态系统服务价值和湖(河)生态系统服务价值逐步减少,但是延庆通过实施植树造林工程等,森林生态系统服务价值在逐步增加,生态系统服务总价值基本平稳。

(3)提出在延庆世界地质公园实施一体化生态地质调查建议:一是开展森林资源及其基质土壤调查,提升生态质量;二是开展湿地地下水水系监测

和水土流失调查,避免湿地退化;三是开展妫水河和白河水系调查,确保生态用水;四是基于系统观开展园区山、水、林、田、湖、草等不同自然要素一体化生态地质调查;五是建立延庆世界地质公园跨县(区)和跨部门生态保护协调推进机制。

注释

- ①国家基础地理信息中心.全球 30 米地表覆盖数据(GlobeLand30)产品简介[R].国家基础地理信息中心,2022: 1-20.
- ②Globeland30. GlobeLand30: 全球地理信息公共产品 [EB/OL]. [2023-01-30]. [HTTP://WWW.GLOBALLANDCOVER.COM/](http://www.globallandcover.com/).
- ③TradingEconomics. 美国-居民消费价格指数 CPI [EB/OL]. [2023-01-30]. <https://zh.tradingeconomics.com/united-states/consumer-price-index-cpi>.
- ④快易理财网. 中国、美国历年购买力平价 GNP(国民生产总值)数据比较 [EB/OL]. [2023-01-30]. https://www.kylc.com/stats/global/yearly_per_country/g_gnp_ppp/chn-usa.html.

参考文献

- Aziz T. Changes in land use and ecosystem services values in Pakistan [J]. *Environmental Development*, 2021, 37: 1-14.
- Costanza R, D'Arge R, Groot R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 187: 253-260.
- Costanza R, Groot R D, Sutton P, et al. Changes in the global value of ecosystem services [J]. *Global Environmental Change*, 2014, 26: 152-158.
- Daily G C. *Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems* [M]. Washington: Island Press, 1997: 1-10.
- Editorial. Synthesizing different perspectives on the value of urban ecosystem services [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2013, 109: 1-6.
- Grammatikopoulou I, Vackarova D. The value of forest ecosystem services: A meta-analysis at the European scale and application to national ecosystem accounting [J]. *Ecosystem Services*, 2021, 48: 1-14.
- Richter F, Jan P, Benni N E, et al. A guide to assess and value ecosystem services of grasslands [J]. *Ecosystem Services*, 2021, 52: 1-17.
- Sharma B, Rasul G, Chettri N. The economic value of wetland ecosystem services: Evidence from the Koshi Tappu Wildlife Reserve, Nepal [J]. *Ecosystem Services*, 2015, 12: 84-85.
- Spanò M, Leronni V, Laforteza R, et al. Are ecosystem service hotspots located in protected areas? Results from a study in Southern Italy [J]. *Environmental Science and Policy*, 2017, 73: 52-60.
- Sun C, Wang S, Zou W. Chinese marine ecosystem services value: Regional and structural equilibrium analysis [J]. *Ocean & Coastal Management*, 2016, 125: 70-83.
- Wang C, Li X, Yu H, et al. Tracing the spatial variation and value change of ecosystem services in Yellow River Delta, China [J]. *Ecological Indicators*, 2019, 96(1): 270-277.
- Zhao Y, Liu Z G, Xu L. Changes of landscape pattern and its influence on environment in Dongling District, Shenyang City [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 1996, 8(4): 466-473.
- Zarandian A, Baral H, Stork N E, et al. Modeling of ecosystem services informs spatial planning in lands adjacent to the Sarvelat and Javaherdasht protected area in northern Iran [J]. *Land Use Policy*, 2017, 61: 487-500.
- 陈佑启, 杨鹏. 国际上土地利用/土地覆盖变化研究的新进展 [J]. *经济地理*, 2001, 21(1): 95-96.
- 杜乐山, 李俊生, 刘高慧, 等. 生态系统与生物多样性经济学 (TEEB) 研究进展 [J]. *生物多样性*, 2016, 24(6): 686-693.
- 傅娇艳. 闽江河口湿地自然保护区生态系统服务价值评价 [J]. *湿地科学与管理*, 2012, 8(4): 17-19.
- 胡世辉, 章力建. 西藏工布自然保护区生态系统服务价值评估与管理 [J]. *地理科学进展*, 2010, 29(2): 218-224.
- 李志军. 生态文明建设的“延庆道路” [J]. *环境经济*, 2016, 181/182: 108-111.
- 刘清霞. 延庆区重点保护植物致危原因及保护建议 [J]. *林业科技情报*, 2022, 54(3): 37-41.
- 柳敏, 王如松, 黄锦楼, 等. 北京市湿地面积动态变化及其驱动因子分析 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(S1): 571-574.
- 祁黄雄, 曹胜利, 荣浩, 等. 中国国家级自然保护区体系生态系统服务价值评估 [J]. *测绘与空间地理信息*, 2021, 44(2): 13-18.
- 石仲选, 胡永强, 曹荣荣. 六盘山国家自然保护区森林生态系统服务功能价值评估 [J]. *陕西农业科学*, 2014, 60(6): 102-104.
- 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估 [J]. *自然资源学报*, 2003, 18(2): 189-196.
- 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): 1243-1253.
- 易平, 方世明. 地质公园社会经济与生态环境效益耦合协调度研究——以嵩山世界地质公园为例 [J]. *资源科学*, 2014, 36(1): 206-216.
- 张建平. 解析联合国教科文组织世界地质公园标准 [J]. *地质论评*, 2000, 66(4): 874-880.
- 张永民, 赵洞土. 生态系统与人类福祉: 评估框架 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2006: 1-218.
- 赵岩, 郭常来, 李旭光, 等. 辽宁锦州市地质遗迹资源禀赋及保护性利用 [J]. *地质通报*, 2021, 40(10): 1688-1696.