

DOI: 10.5846/stxb202102270547

廖雨辰, 史雪威, 刘俊雁, 廖建, 谢雨, 朱忠福, 吴彦, Anđelka Plenković-Moraj. 九寨沟国家级自然保护区地震前后生态系统服务价值评估. 生态学报, 2022, 42(6): 2063-2073.

Liao Y C, Shi X W, Liu J Y, Liao J, Xie Y, Zhu Z F, Wu Y, ANDELKA Plenković-Moraj. Ecosystem service values assessment before and after earthquake in Jiuzhaigou National Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2022, 42(6): 2063-2073.

九寨沟国家级自然保护区地震前后生态系统服务价值评估

廖雨辰^{1,2}, 史雪威³, 刘俊雁^{1,2,4}, 廖建⁵, 谢雨¹, 朱忠福^{1,2,6}, 吴彦^{1,*},
ANDELKA Plenković-Moraj^{7,8}

1 中国科学院成都生物研究所, 成都 610041

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 生态环境部卫星环境应用中心, 北京 100049

4 西华师范大学, 南充 637002

5 自然资源部第三地理信息制图院, 成都 610100

6 九寨沟国家级自然保护区管理局, 九寨沟 623402

7 中国-克罗地亚生物多样性与生态系统服务“一带一路”联合实验室, 成都 610041

8 萨格勒布大学理学院, 萨格勒布 10000

摘要:九寨沟县为“中国旅游强县”, 区域社会经济发展与九寨沟自然保护区生态系统服务价值联系紧密。2017 年, 九寨沟保护区发生 7.0 级地震, 当地生态环境和社会经济发展遭受极大创伤。基于此, 分别以 2016、2018 年为地震前后基准年, 从供给服务、调节与维持服务、文化服务 3 个方面选取 7 项指标, 构建九寨沟自然保护区生态系统服务价值评价体系, 探明地震前后生态系统服务价值变化。研究表明: (1) 地震前后九寨沟保护区生态系统服务总价值分别为 1.96×10^{10} 元/a、 1.52×10^{10} 元/a, 单位面积价值量达 3.05×10^5 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 、 2.36×10^5 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$, 总降幅达 22.68%。(2) 地震前后三类服务价值均有所下降但价值占比序列未改变, 依次为供给服务、调节与维护服务和文化服务, 降幅分别为 24.61%、12.25% 和 86.02%。(3) 地震前, 7 项服务指标按其经济价值大小排序依次为: 木材供给>水源涵养>保育土壤>森林游憩>固碳释氧>大熊猫存在>科研教育, 前三项服务价值累计占比达 92.80%。地震后, 价值排序变化为: 木材供给>水源涵养>保育土壤>固碳释氧>大熊猫存在>科研教育>森林游憩, 前三项服务价值累计占比达 96.93%。(4) 三类服务中文化服务受地震影响较大, 总价值占比由 4.54% 下降至 0.82%, 7 项服务中仅科研教育和保育土壤价值有所增加, 其余 5 项服务均不同程度下降, 降幅依次为森林游憩、固碳释氧、木材供给、大熊猫存在和水源涵养。由于景区关闭, 以旅游收入测算的森林游憩价值变化最大, 其价值降幅达 97.74%, 说明地质灾害导致旅游收入呈断崖式下降, 短期内对当地社会经济发展具较大影响。

关键词: 生态系统服务; 价值评估; 地震; 九寨沟国家级自然保护区

Ecosystem service values assessment before and after earthquake in Jiuzhaigou National Nature Reserve

LIAO Yuchen^{1,2}, SHI Xuewei³, LIU Junyan^{1,2,4}, LIAO Jian⁵, XIE Yu¹, ZHU Zhongfu^{1,2,6}, WU Yan^{1,*},
ANDELKA Plenković-Moraj^{7,8}

1 Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

基金项目: 九寨沟灾后重建科研项目 (5132202020000046); 国家重点研发计划项目 (2017YFC0505005-1, 2020YFE0203200)

收稿日期: 2021-02-27; **网络出版日期:** 2021-11-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wuyan@cib.ac.cn

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3 Ministry of Ecology and Environment Center for Satellite Application on Ecology and Environment, Beijing 100049, China

4 China West Normal University, Nanchong 637002, China

5 The Third Geographic Information Mapping Institute, Ministry of Natural Resources, Chengdu 610100, China

6 Jiuzhaigou Nature Reserve Administration, Jiuzhaigou 623402, China

7 China-Croatia “Belt and Road” Joint Laboratory on Biodiversity and Ecosystem Services, Chengdu Institute of Biology, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

8 Department of Biology, Faculty of Science, University of Zagreb, Zagreb 10000, Croatia

Abstract: Jiuzhaigou County is an attractive tourism county in China, and the regionally social and economic development is closely related to the ecosystem service values (ESVs) of Jiuzhaigou National Nature Reserve. In 2017, a 7.0-magnitude earthquake occurred in Jiuzhaigou National Nature Reserve, which severely damaged the local ecological environment and regional social and economic development. Based on the ecologic environment status of Jiuzhaigou, taking 2016 and 2018 as the base years of before and after the earthquake respectively, seven indexes were selected from three aspects of provisioning services, regulating and maintenance services and cultural services to construct the ESVs evaluation system of Jiuzhaigou National Nature Reserve and identify the change of ESVs before and after earthquake. The results show that (1) the total ESVs of Jiuzhaigou before and after the earthquake were estimated to be 1.96×10^{10} yuan/a and 1.52×10^{10} yuan/a, respectively, while the unit area ESVs were 3.05×10^5 yuan $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ and 2.36×10^5 yuan $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$, with a decrease of 22.68%. (2) The three types of ecosystem service values all decreased before and after the earthquake, but the sequence of the ESVs proportion unchanged, followed by provisioning services, regulating and maintenance services and cultural services, with a decline of 24.61%, 12.25% and 86.02%, respectively. (3) Before the earthquake, the ESVs were in the order of wood supply, water retention, soil conservation, forest recreation, carbon fixation and oxygen release, existent of Giant Panda (*Ailuropoda melanoleuca*) and scientific education, and the top three services accounted for 92.80% of the total values. After the earthquake, the order of the ESVs changed into wood supply, water retention, soil conservation, carbon fixation and oxygen release, existent of Giant Panda (*Ailuropoda melanoleuca*), scientific education and forest recreation, while the top three ESVs accounted for 96.93% of the total values. (4) Among the three types of ecosystem services, cultural services were greatly affected by the earthquake, with the proportion of ESVs decreased from 4.54% to 0.82%. Among the seven indexes of ecosystem services, only the values of scientific education and soil conservation increased, while the values of the other five ecosystem services all decreased to various degrees, and the decreasing order was forest recreation, carbon fixation and oxygen release, wood supply, existent of Giant Panda (*Ailuropoda melanoleuca*) and water retention. Due to the closure of Jiuzhaigou National Nature Reserve, the values of forest recreation measured by tourism revenue changed the most, with a decrease of 97.74%, indicating that the geological disasters caused a cliff-like decline in tourism industry and had a huge impact on the development of social economic in Jiuzhaigou County.

Key Words: ecosystem services; values assessment; earthquake; Jiuzhaigou National Nature Reserve

生态系统服务是指生态系统与生态过程所形成的、维持人类生存的自然环境条件及其效用^[1-2]。随着社会经济发展和资源需求增加,生态环境问题日益突显,1993年联合国统计司发布《国民核算手册:综合环境经济核算体系》,初步探索尝试将生态环境纳入经济核算体系,以推动区域社会发展,为国家政策制定提供参考依据。1997年,Costanza等^[3]以货币化形式直观地阐述生态系统服务的经济价值,为类比各项生态系统服务占比及其动态变化提供依据,生态系统服务价值评估逐步成为生态系统资产核算和政策决策的基础。随后,联合国于2001年启动“千年生态系统评估”项目推动生态系统核算工作,并于2012年发布《环境经济核算——中心框架(2012)》作为首个环境经济核算体系的国际统计标准^[4]。为建设人与自然和谐共生的现代化国家,中国科学家于2013年首次提出生态系统生产总值(Gross Ecosystem Product, GEP)的概念,以践行绿色发展理念推进生态文明建设,并先后实施领导干部自然资源资产离任审计,启动“自然资本核算和生态系统服务评价”项目,我国成为首个执行生态系统服务政策的国家^[5-6]。2021年,深圳市发布《深圳市生态系统

生产总值核算技术规范》,成为全国首个针对高度城市化地区的 GEP 核算规范,为推动国际生态系统核算框架的制定提供了中国智慧和方案。然而,国际生态系统资产核算工作仍处于探索尝试阶段,而生态系统服务价值评估正是生态系统资产价值评估的基础和难点。因此,科学评估区域生态系统服务价值,探明其与生态系统资产、人类福祉的关系,对降低资源消耗速度、减缓生态系统的破坏进程,促进区域社会经济可持续发展具有重要意义。

目前,生态系统服务价值评估已成为国内外研究热点,其中基于单元价值路径法和基于原始数据的路径法是两种主流评价方法。相较而言,单元价值路径法对数据要求较少、简单易算,现有研究多采用该法基于不同尺度下土地利用变化情况,从人类活动、城市扩张和生态补偿等角度^[7-9],分析城市、森林、草地等典型生态系统服务的影响^[10-12],对自然保护区研究关注不足,多为空间格局和价值变化的表层分析,未能考虑到生态系统过程的变化。自然保护区作为保护区域生物多样性最有效的措施,在维持生态服务功能等方面发挥重要作用,特将该区域予以特殊保护和严格的分区管理,人类活动和土地利用变化对生态系统的影响有限。有研究表明,地震、火灾、台风等突发性自然灾害是生态系统剧变的风险因素,会对生态系统结构和功能造成不同程度的损害,表现为生态系统服务的变化,并将进一步影响人类福祉和社会经济发展,现有研究对突发性自然灾害关注不足。自然保护区具有较强的自我恢复力和抵抗力,是分析不同压力下生态系统生物/物理过程与功能结构的变化的天然实验场所,基于原始数据的路径法可较好解释生态系统内部以及不同生态系统之间物质、能量、信息的流动和迁移转化,便于类比不同压力前后生态系统服务价值,可在一定程度上反映突发性对自然保护区生态系统内部变化过程及其对社会发展、人类福祉的影响。

九寨沟国家级自然保护区是我国唯一拥有“世界自然遗产”、“人与生物圈保护区”、“绿色环球 21”三项国际桂冠的旅游胜地,其所在地九寨沟县被国家旅游局命名为“中国旅游强县”,区域社会经济发展与保护区生态系统服务价值联系紧密。2017 年,九寨沟保护区发生里氏 7.0 级地震,区内植被覆盖率下降,大熊猫栖息地面积减小,保护区生态环境质量及区域社会经济发展受不同程度影响^[13],亟需对该区域开展生态系统服务价值评价。以往九寨沟保护区研究多局限于水源涵养^[14]或景观游憩^[15]等某一类生态系统服务,尚未有系统性生态系统服务价值评估,少数研究从能量流动、生物量角度,分析旅游活动或土地利用变化对九寨沟保护区生态系统服务的影响^[16-17],然而上述研究多采用 2015 年前的数据,且受模型构建、情景参数影响较大,导致现有研究成果存在时滞性,无法精准反映突发性自然灾害对生态系统服务的影响。因此,本研究在参考国内外价值评价基础上,基于原始数据的路径法构建生态系统服务价值评价体系,以九寨沟地震为切入点,科学衡量地震前后九寨沟保护区生态系统服务价值变化情况,探明自然保护区与区域社会经济间的关系,为探索突发性自然灾害对自然保护区生态系统服务评估提供参考案例。

1 研究区域概况

九寨沟国家级自然保护区地处岷山南段弓杆岭的东北侧,系长江水系嘉陵江上游白水江源头的一条大支沟(图 1)。区内气候温和、降水适中,主要保护对象为大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)等珍稀野生生物及其森林生态系统。保护区占地面积 642.97 km²,其中乔木林和灌木林累计面积达 511.92 km²,占总面积的 80.81%,其次为冰雪裸岩,占 19.10%,水体和草地面积不足 0.1%。因此,本文以乔木林和灌木林为研究对象,分析地震前后九寨沟保护区生态系统服务价值变化情况。

2 数据与方法

2.1 数据来源

本研究基础数据来自《九寨沟自然保护区的生物多样性》^[18]、《世界自然遗产地——九寨与黄龙的生态环境与可持续发展》^[19]、《四川九寨沟自然保护区综合科学考察报告》、辅以国家统计局发布的社会公共数据和九寨沟管理局提供的九寨沟 7.0 级地震生态环境损失评估报告、九寨沟国家级自然保护区珍稀动物栖息地

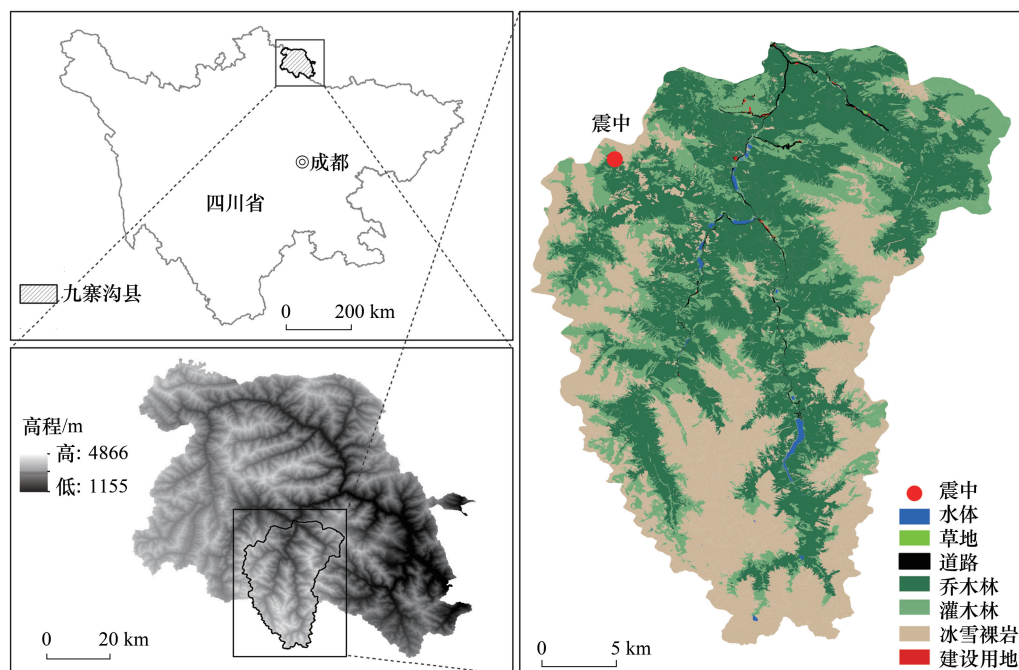


图1 研究区域示意图

Fig.1 The location of the study area

修复项目、“8·8”九寨沟地震灾后恢复重建生态环境修复保护专项实施方案等资料。

2.2 生态系统服务价值评价体系

根据九寨沟自然保护区的保护对象及其所在区域的社会经济特征,参考《森林生态系统服务功能评估规范》(LY/T1721—2008)^[20]、《森林生态系统服务功能评估规范》(GBT38582—2020)^[21]评估模型,采用欧洲环境署发布的国际通用生态系统服务分类体系(Common International Classification of Ecosystem Services, CICES)^[22],从供给服务、调节与维持服务和文化服务3个方面选取7项指标,构建九寨沟保护区生态系统服务价值评价体系,具体方法如表1所示。

2.3 生态系统服务价值修正

文本分别以2016年、2018年作为地震前后的评估年,为了去除通货膨胀的影响,参考国家统计局官方提供的居民消费价格指数(以1978年为基期),以2016年物价为价值基准,对生态系统服务价值进行修正^[33],评估地震前后九寨沟自然保护区生态系统服务价值变化情况,其计算公式如下:

$$U_{\text{价值基准}} = U_{\text{基期价值}} \times \text{CPI}_{\text{当期}} / \text{CPI}_{\text{基期}}$$

式中, $U_{\text{价值基准}}$ 为价值基准, $U_{\text{基期价值}}$ 为基期(原始数据调查年份,若年份不明则采用原始数据出版年份)价值, $\text{CPI}_{\text{当期}}$ 为当期(2016年)居民消费价格定基指数, $\text{CPI}_{\text{基期}}$ 为基期居民消费价格定基指数,CPI指数来源国家统计局官方公开数据^[37]。

3 研究结果

3.1 供给服务价值

运用表1模型得供给服务价值,如图2所示。森林生态系统通过光合作用生产有机质,是林木产品的主要来源。九寨沟保护区属于国家级自然保护区,其林副产品供给有限,因此本研究采用市场价值法以活立木年蓄积量计算林木价值,地震前后供给服务总价值分别为 1.12×10^{10} 元/a、 0.85×10^{10} 元/a。

表1 九寨沟国家级自然保护区生态系统服务价值评价指标、模型及参数说明

Table 1 Indexes, Models and parameters description of ecosystem service values evaluation system in Jiuzhaigou National Nature Reserve				
生态系统服务 Ecosystem services	指标 Indexes	评价方法 Methods	模型 Models	参数说明及修正 Parameters analysis and correction
供给服务 Provisioning services	木材供给	市场价值法 ^[20–21]	$V_A = U_a \times S_i$ $U_a = U_{*a} \times CPI_{16} / CPI_{10}$	V_A 为评估年木材产品价值(元); S_i 为年木材产品总蓄积量(m^3), 基于九寨沟保护区森林资源调查和震后专题报告, S_{16} 、 S_{18} 为 $1.11 \times 10^7 m^3$ 、 $0.83 \times 10^7 m^3$; 参考我国林业统计年鉴和保护区树种类型 ^[23] , U_{*a} 为基期(2010年)木材产品平均市场价格, 为 868 元/ m^3 ; $CPI_{16} = 627.5$ 、 $CPI_{10} = 536.1$; U_a 为修正后木材产品平均市场价格, 计算得 1015.99 元/ m^3 ;
	调节与维持服务 Regulating and Maintenance Services	水源涵养	成果参数法 影子工程法 ^[20–21]	$V_B = U_{调水} + U_{净水}$ $U_{调水} = G_{水} \times C_{库}$ $U_{净水} = G_{水} \times K_{水}$ $G_{水} = G_{养} + G_{灌}$ $G_{养} = \sum 10A \times (P - E - C)$ $G_{灌} = \sum P \times S_{灌} (1 - I_i) \times 10$
	保育土壤	成果参数法 价格替代法 影子工程法 成本替代法 ^[20–21]	$V_C = U_{固土} + U_{保肥}$ $U_{固土} = G_{固土} \times C_{土} / p$ $G_{固土} = A \times (X_{无} - X_{有})$ $U_{保肥} = G_N \times C_a / R_1 + G_P \times C_a / R_2 + G_M \times C_b$ $G_N = A \times N \times (X_{无} - X_{有})$ $G_P = A \times P \times (X_{无} - X_{有})$ $G_M = A \times M \times (X_{无} - X_{有})$	V_C 为评估年保育土壤总价值(元); $U_{固土}$ 、 $U_{保肥}$ 分别为固土价值和保肥价值(元); $G_{固土}$ 为年固土量(t/a); $C_{土}$ 为挖掘和运输单位体积土方所需费用, 修正得 $C_{土} = 18.24$ 元/ m^3 ^[20] ; p 为土壤容重, 参考《世界自然遗产地——九寨沟与黄龙的生态环境与可持续发展》 ^[19] 研究结果, $p = 0.82$ g/ cm^3 ; A 为乔木林、灌木林总面积, $A_{16} = 51192$ hm^2 、 $A_{18} = 38097.99$ hm^2 ; $X_{无}$ 、 $X_{有}$ 分别为无林地、有林地土壤侵蚀模数(t/hm^2), 根据鲜骏仁 ^[27] 对川西森林研究结果, 可认为保护区有林地未发生土壤侵蚀, $X_{有} = 0$ t $hm^{-2} a^{-1}$, 结合夏冰等 ^[28] 研究结果, $X_{无16} = 16.3465$ t $hm^{-2} a^{-1}$, $X_{无18} = 23.7811$ t $hm^{-2} a^{-1}$; G_N 、 G_P 、 G_M 分别为植被固持土壤而减少的氮、磷、有机质流失量(t/a); N 、 P 、 M 分别为土壤中氮、磷、有机质含量, 参考徐波等 ^[29] 研究结果, N 、 P 、 M 分别为 14.45%、1.01%、0.06%; C_a 、 C_b 分别为磷酸二铵、有机质化肥价格 ^[20] , 修正得 $C_a = 3051.05$ 元/ t , $C_{b16} = 406.81$ 元/ t ; R_1 、 R_2 分别为磷酸二铵化肥含氮、含磷量, $R_1 = 14.0\%$, $R_2 = 15.01\%$;

续表

生态系统服务 Ecosystem services	指标 Indexes	评价方法 Methods	模型 Models	参数说明及修正 Parameters analysis and correction
调节与维持服务 Regulating and maintenance services	固碳释氧	成果参数法	$V_D = U_{\text{碳}} + U_{\text{氧}}$	V_D 为评估年固碳释氧总价值(元); $U_{\text{碳}}$ 、 $U_{\text{氧}}$ 分别为固碳价值和释氧价值(元); $G_{\text{碳}}$ 、 $G_{\text{氧}}$ 分别为年固碳量和年释氧量(t/a); $C_{\text{碳}}$ 、 $C_{\text{氧}}$ 分别为固碳价格和释氧价格,基于我国造林成本 ^[20] 修正得 $C_{\text{碳}} = 862.24$ 元/ t , $C_{\text{氧}} = 801.61$ 元/ t ; $R_{\text{碳}}$ 为 CO_2 中碳的含量为27.27%; A_i 为第 i 类植被类型面积,参考《四川九寨沟7.0级地震生态环境损失评估报告》和《四川九寨沟自然保护区综合科学考察报告》;地震前乔木林、灌木林面积分别为24584、26608 hm^2 ,地震后为12970.74、25127.25 hm^2 ; B_i 为第 i 类植被年净生产力,参考《九寨沟自然保护区的生物多样性》研究结果 ^[18] ,乔木林、灌木林生态系统年净生产力分别为11.10 $\text{t hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 、4.41 $\text{t hm}^{-2} \text{a}^{-1}$;
		造林成本法 ^[20-21]	$U_{\text{碳}} = G_{\text{碳}} \times C_{\text{碳}}$ $G_{\text{碳}} = \sum 1.63 R_{\text{碳}} \times A_i \times B_i$ $U_{R_{\text{碳}}} = G_{\text{碳}} \times C_{\text{氧}}$ $G_{\text{释氧}} = \sum 1.19 A_i \times B_i$	
文化服务 Cultural services	大熊猫存在价值	成果参数法	$V_E = U_e \times N \times S_i$	V_E 为评估年大熊猫存在价值(元); U_e 为基期(2005年)单位面积栖息地大熊猫存在价值(元 $\text{只}^{-1} \text{hm}^{-2}$),参考宗雪等 ^[30] 对九寨沟保护区的研究结果, U_e 为858.49元 $\text{只}^{-1} \text{hm}^{-2}$; CPI_{16} 和 CPI_{05} 分别为当期(2016年)和基期(2005年)的居民消费价格定基指数, $\text{CPI}_{16} = 627.5$ 和 $\text{CPI}_{05} = 464.0$; U_e 为修正后单位面积栖息地大熊猫存在价值,1161.01元 $\text{只}^{-1} \text{hm}^{-2}$; N 为保护区内大熊猫数量(只),参考全国大熊猫调查报告和地震后九寨沟国家级自然保护区珍稀动物栖息地修复项目报告 ^[31-32] ,地震前后均取 $N = 3$ 只; S_i 为大熊猫栖息地面积,参考全国大熊猫调查报告和九寨沟震后专题报告 ^[33-34] ,地震前后大熊猫栖息地面积 $S_{16} = 24710.47 \text{ hm}^2$ 、 $S_{18} = 18705.83 \text{ hm}^2$;
		条件价值法 ^[30]	$U_e = U_{e,e} \times \text{CPI}_{16} / \text{CPI}_{05}$	
森林游憩	森林游憩	旅行费用法 ^[20-21,33]	$V_F = \text{CIT}$	V_F 为森林游憩价值(元),以保护区累计年收入表示; CIT 为旅行总费用,包括游客景区门票、停车费、住宿费、交通费和时间成本等 ^[34] ,由于收集到的数据资料有限,本研究用保护区年旅游综合收入(元/ a)代替旅行总费用 ^[22] ;根据九寨沟管理局提供的资料,修正得 $\text{CIT}_{16} = 8.05 \times 10^5$ 元, $\text{CIT}_{18} = 0.18 \times 10^8$ 元;
科研教育	科研教育	费用支出法 ^[35-36]	$V_G = U_{\text{科}} + U_{\text{环}}$	V_G 是科研教育价值(元); $U_{\text{科}}$ 为年国内科研教育项目总投入(元); $U_{\text{环}}$ 为年环境监测费用(元),保护区每年划拨10万元用于环境监测,修正得 $U_{\text{环}16} = 1.0 \times 10^5$ 元, $U_{\text{环}18} = 0.96 \times 10^5$ 元;根据九寨沟管理局数据,地震前国内外科研教育项目为九寨沟近现代环境历史重建与旅游可持续发展系统构建和基于GIS的九寨沟景区生态容量研究,累计投入 4.08×10^5 元。地震后,国内外科研教育项目为灾后保护修复对九寨沟世界自然遗产 OUV 影响的科学评估、灾后恢复重建项目对世界自然遗产突出普遍价值影响评估技术导则研发等项目,累计投入 4.27×10^7 元,修正得 $U_{\text{科}16} = 0.04 \times 10^7$ 元, $U_{\text{科}18} = 4.12 \times 10^7$ 元;

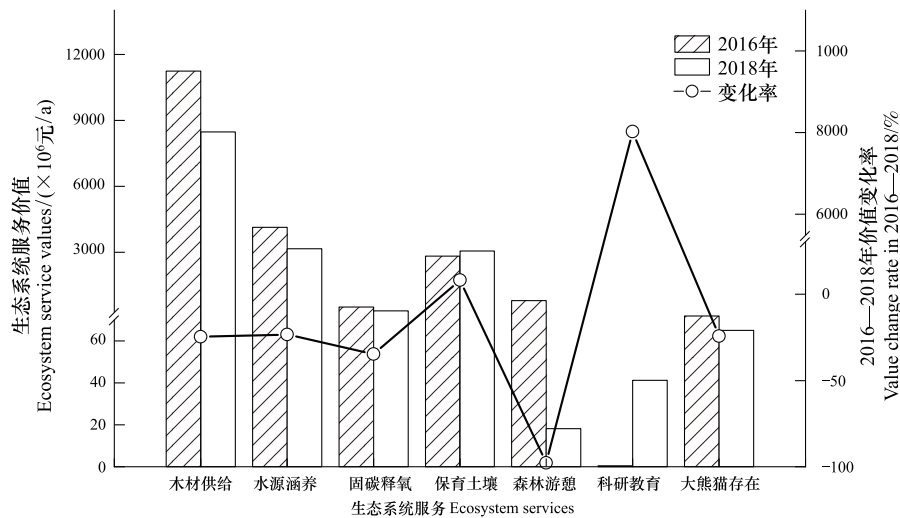


图 2 九寨沟国家级自然保护区生态系统服务价值

Fig.2 The ecosystem service values in Jiuzhaigou National Nature Reserve

3.2 调节与维持服务价值

植被与土壤存在“海绵效应”对保护区进行水量调节与净化。根据表 1 得植被调节与维持服务的实物量 and 价值量(表 2、图 3),地震前后九寨沟保护区水源涵养总价值分别为 4.14×10^9 元/a、 3.17×10^9 元/a,其中调水价值为 3.13×10^9 元/a、 2.40×10^9 元/a,净水价值为 1.01×10^9 元/a、 0.77×10^9 元/a。

表 2 九寨沟自然保护区调节与维持服务实物量

Table 2 The qualities of regulating and maintenance services in Jiuzhaigou Nature Reserve

服务指标实物量 Qualities of services indexes/($\times10^5$ t/a)	植被类型 Vegetation types	年份 Year		变化率 Change rate/%
		2016 年	2018 年	
调节净水量 Qualities of water retention	乔木林	1929.50	1067.70	-44.66
	灌木林	1861.39	1835.18	-1.41
保育土壤量 Qualities of soil conservation	乔木林	4.64	3.56	-23.24
	灌木林	5.02	6.90	37.39
固碳释氧量 Qualities of Carbon fixation and oxygen release	乔木林	4.46	2.35	-47.24
	灌木林	1.92	1.81	-5.57

植物根系与凋落物的分解可提高土壤肥力、改善土壤结构^[33]。根据表 1 可计算得图 3 地震前后保育土壤总价值分别为 2.83×10^9 元/a、 3.06×10^9 元/a,其中固土价值为 1.86×10^7 元/a、 2.02×10^7 元/a,保肥价值为 2.81×10^9 元/a、 3.04×10^9 元/a。

植被可通过光合作用吸收 CO_2 释放 O_2 ,调节大气组成、减缓温室效应。由表 1 可计算得九寨沟保护区固碳释氧价值,如图 3 所示,地震前后九寨沟保护区固碳价值为 1.50×10^8 元/a、 0.98×10^8 元/a,释氧价值为 3.72×10^8 元/a、 2.43×10^8 元/a。固碳释氧总价值分别为 5.22×10^8 元/a、 3.41×10^8 元/a。综合上述计算结果,地震前后九寨沟保护区调节与维持服务总价值分别为 7.49×10^9 元/a、 6.57×10^9 元/a。

3.3 文化服务价值

大熊猫是九寨沟自然保护区主要保护对象,为我国特有的国家一级保护物种,是我国开展外交工作的重要使者。根据表 1,可估算地震前后九寨沟保护区大熊猫存在价值,如图 2 所示,分别为 8.61×10^7 元/a、 6.52×10^7 元/a。此外,地震对保护区旅游影响巨大,结合九寨沟管理局提供的数据可知,地震前保护区旅游总超过 500 万人次,震后仅为 23.45 万人次,根据表 1,算得地震前后森林游憩价值分别为 8.05×10^8 元/a、 $0.18\times$

10^8 元/a。随着灾后重建项目的开展,科研教育费用增幅明显,根据表 1,算得地震前后科研教育费用分别为 0.05×10^7 元/a、 4.13×10^7 元/a,综合三者计算结果,地震前后九寨沟文化服务总价值分别为 8.91×10^8 元/a、 1.25×10^8 元/a。

3.4 生态系统服务总价值

九寨沟保护区生态系统服务价值及其占比如图 4 所示。地震前后,7 类生态系统服务总价值分别为 1.96×10^{10} 元/a、 1.52×10^{10} 元/a,单位价值达 3.05×10^5 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 、 2.36×10^5 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$,总降幅达 22.68%。地震前后三类服务价值均有所下降但价值占比未变化,依次为供给服务、调节与维持服务和文化服务,分别为 24.61%、12.25%和 86.02%。

4 讨论

4.1 地质灾害对九寨沟保护区生态系统服务的影响

九寨沟保护区生态系统服务价值整体呈负向变化。由图 4 可知,地震前后总价值量降幅达 22.68%,三类服务价值下降率从高到低依次为文化服务、供给服务和调节与维持服务,分别下降 86.02%、24.61%和 12.25%,其主要原因在于,受地震及次生灾害影响,保护区植被覆盖率下降,部分树木倒伏、折断或掩埋,森林质量较大程度下降,游览景点遭受不同程度的破坏,游客自我保护与安全意识增强,当地旅游业遭受短暂停滞,导致各类服务价值不同程度下降。

九寨沟保护区不同生态系统服务间存在内部差异性。其中,保育土壤呈正向增长,研究表明自然植被通过自身结构和过程可有效调节生态系统内部变化,降低地震对土壤侵蚀的影响,导致保育土壤价值较地震前增长 8.27%,值得注意的是,不同植被类型对调节与维持服务也存在差异(表 2),震中附近植被以乔木林为主,受灾面积达 47.81%,虽然植被具有一定的调节能力,但乔木林自身调整阈值远小于地震对大面积乔木植被的破坏程度,造地乔木林土壤保育量较地震前降低 23.24%,而灌木林受灾面积较小,仅为总面积的 5.57%,灌木林生态系统的稳定性与恢复能力远大于地质灾害对其的影响,保育土壤量较地震前呈大幅增长,增长率达 37.39%;同时,地震促进了区域生态环境保护的科研投入力度,科研教育价值由 $7.90 \text{ 元 } \text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 增至 $641.93 \text{ 元 } \text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$,为地震前的 80 余倍,涉及项目包括世界自然遗产景观与生态保护国家级综合观测站、九寨沟世界自然遗产社区发展研究和地灾对九寨沟遗产突出价值威胁的应急监测与防控策略等,积极推动了地质灾害、管理防治和社区共管工作的有序开展,导致科研教育价值增长幅度位居首位。

4.2 生态系统服务价值变化对社会经济发展和不同利益主体人类福祉的影响

九寨沟自然保护区是九寨沟县社会经济发展的重要支柱。生态系统服务是连接生态系统与人类福祉的桥梁,同一地区不同时期的生态系统服务价值变化将反映生态系统产生的人类福祉与生态效益水平。九寨沟县为“中国旅游强县”,产业结构为“三、二、一”型,为确保游客安全,九寨沟保护区实施短暂关闭、限量旅游等政策对,地震前后第三产业对地区生产总值(GDP)的贡献率分别为 61.2%、57.5%,区内旅游收入占比由 50.95%降至 1.29%。我国学者基于国内生产总值(GDP)概念先后提出生态系统生产总值(GEP),以衡量不同行政单元生态系统服务价值与人类福祉的联系^[5]。经测算,地震前后九寨沟生态系统生产总值(GEP)分别为 1.96×10^{10} 元、 1.52×10^{10} 元,下降率达 22.68%,说明地震对九寨沟县社会经济发展具较大影响。

另一方面,生态系统服务价值变化对人类福祉具不同程度影响。九寨沟保护区利益主体可概括为社区居民、旅游者及相关从业者以及九寨沟管理局等相关职能部门三类。社区居民是九寨沟保护区生态系统服务的

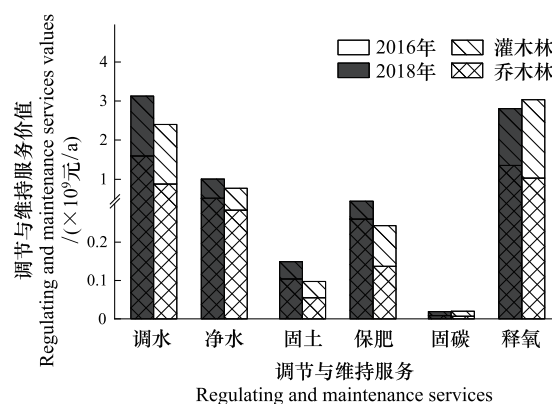


图 3 九寨沟国家级自然保护区调节与维持服务价值
Fig. 3 The values of regulating and maintenance services in Jiuzhaigou National Nature Reserve

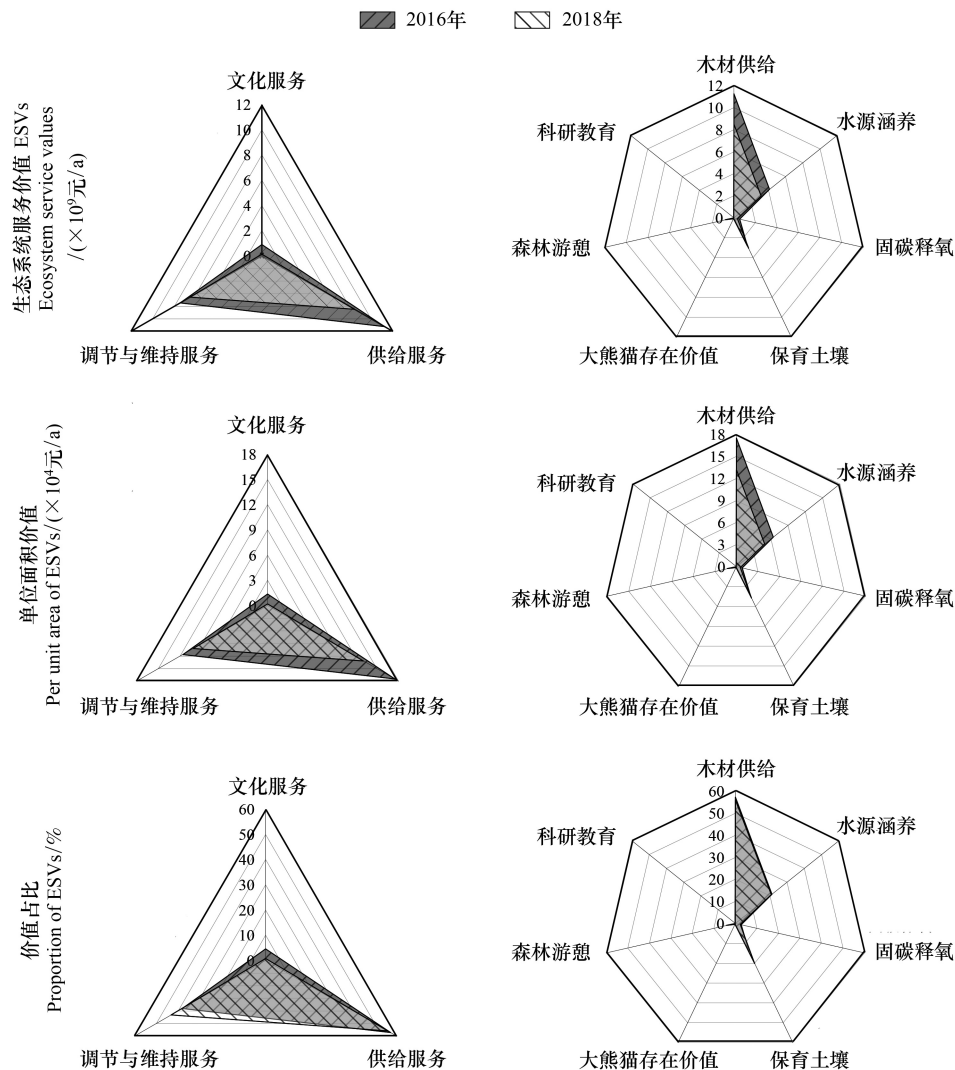


图4 九寨沟国家级自然保护区生态系统服务价值

Fig.4 The ecosystem service values (ESV) in Jiuzhaigou National Nature Reserve

核心利益群体,保护区居民提供了良好的生活环境、就近且可观的就业机会,受地震影响,生态系统供给能力下降生活成本提高,调节与维持服务下降,居民生活环境遭受破坏,居住地存在安全隐患,同时保护区居民以资金入股、年终分红的形式参与保护区旅游经营活动,森林游憩价值与其股份分红、工作收入休戚相关,生态系统服务变化对社区居民福祉具较大影响。旅游者及相关从业者是旅游活动的主要消费者和受益者,受地质灾害影响,九寨沟保护区部分景点遭受破坏并出现短暂关闭,造成森林游憩价值呈-97.74%的剧烈变化,游客在当地旅游消费大幅度下降,旅游从业者收入陡然下降。而九寨沟管理局等相关职能部门在灾后生态系统服务价值变化中起着主导作用,地震发生后,九寨沟管理部门积极推动了地质灾害防控、智慧景区建设工作,保护区灾害预警、风险防控意识大幅度增强,并开展野生动物巡护和生态环境综合监测工作,为自然保护区生态系统恢复与可持续发展提供了强有力的管理保障体系。

4.3 生态系统服务评价体系的可行性和局限性

本文为理解和评估突发性自然灾害对生态系统服务价值提供了新的视角。基于九寨沟保护区生态环境数据和经济学理论,从供给服务、调节与维持服务和文化服务三个方面构建了较为完善的生态系统服务评价体系,采用模型法和可比价格动态分析地震前后价值变化情况,较基于单位面积当量因子法更能准确真实反

映地震前后九寨沟保护区生态系统服务价值的动态变化,为探讨生态系统服务价值对生态系统自身功能与结构的动态变化,人类福祉和社会经济可持续发展的影响提供可行的评价方法。

由于数据资料的缺乏、研究方法的局限以及评估过程中主观因素制约,本研究仅对九寨沟自然保护区 7 项服务指标的价值进行了评估,其他如提供负离子、吸收气体污染物等服务价值未纳入评估体系之中,因此,九寨沟自然保护区生态系统服务实际价值应高于该研究结果。同时,受限于地震灾害的不可预知性,本文在对针对人类福祉的讨论中未对不同利益主体开展实地问卷调查,主要原因是,地震发生后人类主观意识或认知会发生变化,只有在不同时间对相同人群开展调研工作其结果才具有科学意义。目前,人类福祉的研究相对复杂,成熟的理论体系相对缺乏,指标体系有待进一步修改与完善。因此,本研究中有关人类福祉的影响仅为初步的探讨,尽管如此,通过比较地震前后的服务价值变化,分析其与人类福祉、社会经济发展的关系,可帮助当地民众及各部门管理人员认识到生态环境保护的重要性。

5 结论

通过对实物量和价值量进行估算发现,地震前后生态系统服务总价值分别为 1.96×10^{10} 元/a、 1.52×10^{10} 元/a,单位价值达 3.05×10^5 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$ 、 2.36×10^5 元 $\text{hm}^{-2} \text{a}^{-1}$,总降幅达 22.68%。地震前后三类服务价值均有所下降但价值占比未变化,依次为供给服务、调节与维护服务和文化服务,降幅分别为 24.61%、12.25% 和 86.02%。地震前,7 项服务指标的生态经济价值按其大小排序依次为:木材供给>水源涵养>保育土壤>森林游憩>固碳释氧>大熊猫存在>科研教育,前三项服务价值累计占比达 92.80%。地震后,价值排序变化为:木材供给>水源涵养>保育土壤>固碳释氧>大熊猫存在>科研教育>森林游憩,前三项服务价值累计占比达 96.93%。三类服务中文化服务受地震影响较大,总价值占比由 4.54% 下降至 0.82%,7 项服务中仅科研教育和保育土壤价值有所增加,其余 5 项服务均不同程度下降,降幅依次为森林游憩、固碳释氧、木材供给、大熊猫存在和水源涵养。由于景区关闭,以旅游收入测算的森林游憩价值变化最大,其价值降幅达 97.74%,说明地质灾害导致旅游收入呈断崖式下降,短期内对当地社会经济发展具较大影响。

参考文献 (References):

- [1] Costanza R. Social goals and the valuation of ecosystem services. *Ecosystems*, 2000, 3(1): 4-10.
- [2] Daily G C. *Nature's Service: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington: Island Press, 1997.
- [3] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [4] United Nations. *System of Environmental-Economic Accounting: Central Framework*. New York: United Nations, 2012.
- [5] 欧阳志云,朱春全,杨广斌,徐卫华,郑华,张琰,肖赓. 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.
- [6] 周鹏,周婷,彭少麟. 生态系统服务价值测度模式与方法. *生态学报*, 2019, 39(15): 5379-5388.
- [7] 徐媛银,孙思琦,薛达元,郭砾. 基于地形梯度的赣南地区生态系统服务价值对人为干扰的空间响应. *生态学报*, 2019, 39(1): 97-107.
- [8] 陈万旭,刘志玲,李江风,冉端,曾杰. 长江中游城市群生态系统服务和城镇化之间的空间关系研究. *生态学报*, 2020, 40(15): 5137-5150.
- [9] 王雯雯,叶菁,张利国,魏超,张红伟,刘寒寒. 主体功能区视角下的生态补偿研究——以湖北省为例. *生态学报*, 2020, 40(21): 7816-7825.
- [10] 徐雨晴,周波涛,於琰,石英,徐影. 气候变化背景下中国未来森林生态系统服务价值的时空特征. *生态学报*, 2018, 38(6): 1952-1963.
- [11] 茹克亚·萨吾提,阿斯娅·曼力克,李虎,尼加提·卡斯木,郑逢令,李学森,热娜·阿不都克力木,亚森·喀哈尔. 乌鲁木齐山地草地生态系统服务价值变化评估——基于遥感与 GIS. *生态学报*, 2020, 40(2): 522-539.
- [12] 荔琢,蒋卫国,王文杰,吕金霞,邓越. 基于生态系统服务价值的京津冀城市群湿地主导服务功能研究. *自然资源学报*, 2019, 34(8): 1654-1665.
- [13] 李孝永,杜国明,匡文慧. 九寨沟地震次生灾害风险及对自然保护区和自然遗产地的影响. *水土保持通报*, 2019, 39(2): 301-308.
- [14] 徐佩,彭培好,王玉宽,刘延国. 九寨沟自然保护区生态水的计量与评价研究. *地球与环境*, 2007, 35(1): 61-64.

- [15] 邴振华, 高峻. 九寨沟景观游憩价值评估及空间分异. 生态学报, 2016, 36(14): 4298-4306.
- [16] 唐中林, 朱忠福, 仲波, 卓曼他, 孙庚. 基于情景分析的九寨沟世界自然遗产地生态系统服务时空变化. 应用与环境生物学报, 2020, 26(6): 1309-1318.
- [17] 王楠楠, 章锦河, 刘泽华, 钟士恩, 李升峰. 九寨沟自然保护区旅游生态系统能值分析. 地理研究, 2013, 32(12): 2346-2356.
- [18] 刘少英, 章小平, 曾宗永. 九寨沟自然保护区的生物多样性. 成都: 四川科学技术出版社, 2007.
- [19] 吴宁, 包维楷, 吴彦. 世界自然遗产地——九寨与黄龙的生态环境与可持续发展. 北京: 科学出版社, 2012.
- [20] 国家林业局. LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [21] 国家市场监督管理总局, 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.
- [22] Haines-Young R, Potschin M B. Common international classification of ecosystem services (CICES) V5.1 and guidance on the application of the revised structure. (2018-01-02) [2021-07-12] <https://cices.eu>.
- [23] 国家林业局. 中国林业统计年鉴(2010). 北京: 中国林业出版社, 2011.
- [24] 《中国物价年鉴》编辑部. 中国物价年鉴(2017). 北京: 《中国物价年鉴》编辑部, 2017.
- [25] 王晶, 包维楷, 丁德蓉. 九寨沟林下地表径流及其与地表和土壤状况的关系. 水土保持学报, 2005, 19(3): 93-96.
- [26] 邓坤枚, 石培礼, 谢高地. 长江上游森林生态系统水源涵养量与价值的研究. 资源科学, 2002, 24(6): 68-73.
- [27] 鲜骏仁. 川西亚高山森林生态系统管理研究——以王朗国家级自然保护区为例[D]. 雅安: 四川农业大学, 2007.
- [28] 夏冰, 范宣梅, 郭晓军, 杨帆, 邹城彬, 熊坤勇. 地震效应下的土壤侵蚀空间分布特征及分析——以九寨沟地震为例. 中国水土保持科学, 2020, 18(1): 79-89.
- [29] 徐波, 朱忠福, 李金洋, 吴彦, 邓贵平, 吴宁, 石福孙. 九寨沟国家自然保护区不同森林类型土壤养分特征. 应用与环境生物学报, 2016, 22(5): 767-772.
- [30] 宗雪, 崔国发, 袁婧. 基于条件价值法的大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)存在价值评估. 生态学报, 2008, 28(5): 2090-2098.
- [31] 国家林业局. 全国第三次大熊猫调查报告. 北京: 科学出版社, 2006.
- [32] 四川省林业厅. 四川的大熊猫: 四川省第四次大熊猫调查报告. 成都: 四川科学技术出版社, 2015.
- [33] 缪建群, 孙松, 王志强, 黄国勤. 江西高天岩自然保护区生态系统服务功能价值评估. 生态学报, 2017, 37(19): 6422-6430.
- [34] 江波, 张路, 欧阳志云. 青海湖湿地生态系统服务价值评估. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3137-3144.
- [35] 李永涛, 杜振宇, 王霞, 杨庆山, 陈占强, 孙燕燕, 刘德玺. 黄河三角洲自然保护区湿地生态服务功能价值评估. 海洋环境科学, 2019, 38(5): 761-768.
- [36] 王玉涛, 郭卫华, 刘建, 王淑军, 王琦, 王仁卿. 昆崙山自然保护区生态系统服务功能价值评估. 生态学报, 2009, 29(1): 523-531.
- [37] 国家数据, 中华人民共和国国家统计局. [2021-07-12]. <http://www.stats.gov.cn>