

doi: 10.12029/gc20221027001

孙张涛,余正伟,舒思齐,许闯胜,舒阳. 2023. 中国省域生态系统服务价值评价与生态地质调查工作建议[J]. 中国地质, 50(2): 479-494.

Sun Zhangtao, Yu Zhengwei, Shu Siqu, Xu Chuangsheng, Shu Yang. 2023. Evaluation of ecosystem services of Chinese provincial land and suggestions for ecological geological survey[J]. Geology in China, 50(2): 479-494(in Chinese with English abstract).

中国省域生态系统服务价值评价与生态地质调查工作建议

孙张涛^{1,2},余正伟¹,舒思齐³,许闯胜⁴,舒阳⁵

(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. 自然资源部国土空间生态修复司,北京 100812;5. 江苏省连云港市住房和城乡建设局,江苏 连云港 222023)

摘要:【研究目的】保护生态环境,推动可持续发展是各国共同责任。开展全国生态系统服务价值评价有利于促进生态环境保护,建立人与自然和谐共生的现代化。【研究方法】生态系统服务价值评价已成为生态学领域国际研究热点。本研究基于 Costanza 等于 2014 年提出的生态系统服务价值评价方法,运用居民消费指数、人民币和美元购买力指数,建立了生态系统服务价值动态评价模型,基于第三次全国国土调查数据对中国省域生态环境进行评价,并采用热点分析技术研究了省域生态系统服务价值空间分布规律。【研究结果】2019 年度中国大陆生态系统服务价值为 35.79 万亿元人民币。中国青海省属于热点区域,黑龙江省属于次热点区域,贵州省和重庆市属于次冷点区域,陕西省属于冷点区域。【结论】针对青藏高原地区、东北地区、黄河流域、长江流域和海岸带等“两区三带”地质本底和生态特征,提出开展“山、水、林、田、湖、草、沙”一体化生态地质调查建议:一是在青藏高原生态屏障区开展冰川冻土消融、草原退化和土地沙化调查;二是在东北地区开展森林质量、生态多样性和湿地资源调查;三是在黄河流域开展上游生态退化、中游水土流失和下游湿地萎缩调查;四是在长江流域开展上游水源涵养、中游岩溶地区石漠化和水土流失调查及下游河湖湿地退化调查;五是重点调查海岸线岸滩海浪侵蚀和红树林等典型海洋生态系统调查。

关键词:生态系统服务价值;环境保护;热点分析;第三次全国国土调查;生态地质调查工程

创新点:(1)基于第三次全国国土调查数据评价了 2019 年度全国生态系统服务价值为 35.79 万亿元人民币;(2)提出中国省域生态系统服务价值空间分布规律;(3)针对青藏高原地区、东北地区、黄河流域、长江流域和海岸带的地质本底和生态环境特征,提出生态地质调查建议。

中图分类号:X171.1 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2023)02-0479-16

Evaluation of ecosystem services of Chinese provincial land and suggestions for ecological geological survey

SUN Zhangtao^{1,2}, YU Zhengwei¹, SHU Siqu³, XU Chuangsheng⁴, SHU Yang⁵

收稿日期:2022-10-27;改回日期:2022-11-30

基金项目:中国地质调查局项目“国际地学情报信息跟踪与分析(DD20221794)”资助。

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

通讯作者:舒思齐,男,1977年生,博士,正高级工程师,从事可持续发展研究;E-mail: shusiqi@sina.com。

(1. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China; 2. Geosciences Documentation Center of China Geological Survey, Beijing 100083, China; 3. China Geological Survey, Beijing 100037, China; 4. Department of National Land Space Ecological Restoration of Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China, Beijing 100812, China; 5. Bureau of Housing and Urban-Rural Development of Lianyungang City, Jiangsu Province of the People's Republic of China, Lianyungang 222023, Jiangsu, China)

Abstract: This paper is the result of ecological geological survey engineering.

[Objective] It is the common responsibility of all countries to protect the ecological environment and promote the sustainable development. The nationwide evaluation of ecosystem service is conducive to the promotion of ecological environment protection and the establishment of the modernization of harmonious coexistence between human and nature. **[Methods]** The study on the evaluation of ecosystem service has become a hot topic in the field of ecological sciences. Based on the evaluation method of ecosystem service proposed by Costanza et al. in 2014, this study establishes a dynamic evaluation model of ecosystem service by using the Consumer Price Index, the Purchasing Power Indexes of US dollar and Chinese RMB, which is used to evaluate the ecological system services of Chinese provincial land with the data of the Third National Land Survey, and studies the spatial distribution of ecosystem service value of Chinese provincial land via Hotspot analysis technique. **[Results]** The value of ecological system services of Chinese mainland in 2019 is 35.79 trillion RMB. Qinghai province is located in a hotspot area, Heilongjiang province is located in a sub-hotspot area, Guizhou province and Chongqing municipality are located in sub-Coldspot, and Shannxi Province is located in Coldspot area. **[Conclusions]** In terms of the geological background and ecological characteristics of the so-called "Two Zones and Three Belts" which involve the Qinghai-Tibet plateau, Northeast zone, Yellow River basin, Yangtze River basin, and coastal zone, we propose to carry out the integrated ecological geological survey of mountain, water, forest, cropland, lake, grass, and sand. The first is to carry out investigation on glacier melting and permafrost thaw, degradation of grasslands and desertification of land in Qinghai-Tibet area. The second is to carry out investigation on forest quality, ecological diversity, and wetland resources in Northeast China. The third is to carry out investigation on ecological degradation in the upstream, water and soil loss in the midstream, and the wetlands shrinkage in the downstream of the Yellow River. The fourth is to carry out investigation on water conservation in the upstream, the rocky desertification and soil erosion of Karst area in the midstream, and wetlands degradation in the downstream of the Yangtze River. The fifth is to focus on the investigation of typical marine ecosystems such as coastal erosion and mangroves.

Key words: ecosystem services value; environmental protection; hotspot analysis; the Third National Land Survey; ecological geological survey engineering

Highlights: (1) The value of ecological system services of Chinese mainland in 2019 is 35.79 trillion RMB on the basis of the data of the Third National Land Survey; (2) The spatial distribution of ecological system services value is studied; (3) Suggestions for ecological geological survey are proposed aiming at the geological background and ecological characteristics of Qinghai-Tibet plateau, Northeast zone, Yellow River basin, Yangtze River basin, and Coastal zone.

About the first author: SUN Zhangtao, female, born in 1981, Ph.D. candidate, associate research fellow, engaged in the study of resources industry economy; E-mail: 123223493@qq.com

About the corresponding author: SHU Siqi, male, born in 1977, Ph.D., professor level senior engineer, engaged in the study of sustainable development; E-mail: shusiqi@sina.com.

Fund support: Supported by the project of China Geological Survey "Tracking and Analysis of International Geoscience Information" (No.DD20221794).

1 引 言

经济的快速发展极大促进人类社会的进步,与此同时,资源的不合理勘查开发和过度利用导致了

全球性生态环境问题日益突出(舒思齐等,2017),特别是气候变暖、生态退化、环境恶化、灾害频发等问题,不仅影响全球社会经济的可持续发展,而且威胁到人类的生存基础和生命健康(王琦安和柳钦

火,2022)。联合国高度重视生态环境保护,并发布了《变革我们的世界:2030年可持续发展议程》(联合国,2015)。党的二十大报告指出,“我们要推进美丽中国建设,坚持山水林田湖草沙一体化保护和系统治理”和“加快实施重要生态系统保护和修复重大工程”(习近平,2022)。调查、研究人类活动与地质-生态环境的相互影响效应,提出评价、预测和控制的方法与途径,以规范人类活动行为,提高生态-地质环境质量,减轻环境灾害对人类的威胁,构成了开展生态环境地质调查的主体(黄润秋,2001)。作为基础性、公益性、战略性的地质调查工作应主动适应这种形势,在工作内涵和服务对象上要进行深度调整,促进深刻变化(李金发,2004)。王京彬等(2020)提出基于地质建造的生态地质调查思路和技术方法。

近年来,生态系统服务价值被广泛用来评价生态环境。1997年,Daily(1997)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”;同年,Costanza et al.(1997)首次系统性地提出生态系统服务价值的估算方法,并评价了全球生态系统价值约为33万亿美元;之后,Costanza et al.(2014)进一步完善了评估方法,重新评估世界生态系统服务价值约为125万亿美元。2001年,联合国组织来自全球95个国家1360余名专家从地区、流域、国家、区域和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(赵士洞和张永民,2006)。2007年,联合国组织实施了生态系统和生物多样性研究(TEEB)(杜乐山等,2016)。

中国学者对中国大陆生态系统服务价值进行了广泛研究。谢高地等(2003,2015)在Costanza et al.(1997)建立的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。欧阳志云等(1999)在中国大量生态学研究的基础上,综合运用生态学及经济学方法,探讨了生态服务功能的内涵与评价方法,评价了1999年中国生态系统对水源涵养,水土保持,土壤肥力的更新与维持,营养物的循环,二氧化碳的固定等的作用及其间接经济价值约为30.5万亿人民币。蔡中

华等(2014)基于Costanza等关于生态系统服务的分类方法与参数,运用2010年中国生态系统的统计数据,对中国生态服务价值进行再计算,得出2010年中国生态系统服务价值为12.14万亿元人民币。陈仲新和张新时(2000)采用Costanza等的生态系统服务价值评价方法,对中国生态系统功能与效益进行了估算,以1994年为基准年得出中国生态系统总价值是7783.45亿元人民币/年;其中,陆地生态系统价值为5609.85亿元人民币/年;海洋生态系统价值为2173.60亿元人民币/年。曹世雄等(2018)指出传统的生态系统服务价值评估方法忽略了相关成本分析,提出生态系统服务净价值的概念,即生态系统服务价值减去生态保护以及修复的直接投资成本、机会成本及其外部性成本,评价出中国大陆的农田、草地、林地和湿地2014年生态系统服务净价值为7.2万亿元人民币。谢高地等(2015)通过模型运算和地理信息空间分析等方法,对单位面积价值当量因子静态评估方法进行了改进和发展,构建了基于单位面积价值当量因子法的中国陆地生态系统服务价值的动态评估方法,并对中国14种生态系统类型及其11类生态服务功能价值在时间(月尺度)和空间(省域尺度)上的动态综合评估,评估结果为,2010年中国不同类型生态系统服务的总价值为38.1万亿元人民币。Shi et al.(2012)基于单位面积服务价值,根据归一化植被指数(NDVI)数据计算出2008年中国大陆生态系统服务价值为6.57万亿元人民币。何浩等(2005)利用遥感技术,结合生态学方法,在对生态参数遥感测量的基础上,计算了中国陆地生态系统2000年生态系统服务价值为9.17万亿元人民币。毕晓丽和葛剑平(2004)以国际地球生物圈(IGBP)所提供的1 km²分辨率土地覆盖分类数据和Costanza提出的生态系统服务功能价值,对中国陆地及各省市的生态系统服务功能价值进行评估,得出中国陆地生态系统服务价值为4.07万亿元人民币。王尧等(2020)基于ArcGIS、Google Earth Engine等平台,对2000—2015年间黄河流域生态系统服务价值的变化进行评估,揭示黄河流域生态系统总服务价值增长了33.4%。热点分析(Getis-Ord Gi*)方法常被用来分析区域生态系统服务价值的空间分布。如张鹏岩等(2020)分析了黄河下游地区地均生态系统服务价值冷热点格局及

演变特征。朱殿珍等(2021)研究了青藏高原生态屏障区不同生态系统服务间的协同关系。张晓瑶等(2021)分析了青藏高原土地利用变化对生态系统服务价值影响。刘华妍等(2021)研究了北京市生态系统服务时空变化。

然而,前人研究主要聚焦时间因素对中国大陆生态系统的影响,而缺少从空间的视角研究中国大陆全域生态价值的变化,且没有提出针对性的生态地质调查建议。本文基于第三次全国国土调查的各类土地利用数据,对中国省域生态系统服务价值进行评价,运用热点分析方法研究中国大陆生态系统服务价值空间分布规律,并依据此提出生态地质调查建议,这将为未来中国大陆开展生态环境保护提供科学方案。

2 数据与方法

2.1 中国生态系统格局

第三次全国国土调查(以下简称“三调”)通过全面普查中国的土地资源使用情况,以期掌握翔实准确的国土利用现状和自然资源变化情况,形成全国范围内的土地利用基础数据,为全面支撑新时代自然资源管理、更科学有效推进生态文明建设夯实数据基础。“三调”在客观反映土地资源现状的基础上,进一步强化土地作为自然资源生态本底的基本

属性,为实现山水林田湖草整体保护、系统修复、综合治理奠定坚实基础。“三调”将全国土地利用现状分为12个一级类和55个二级类(中华人民共和国自然资源部,2019)。为了与Costanza et al. (1997)提出的生态系统分类保持良好的衔接,本研究按照森林、草地、湿地、淡水、农田和城市六大生态系统将三调土地分类一级类(二级类)重新分类(表1)。根据2021年第三次全国国土调查主要数据公报公布的“三调”数据(中华人民共和国中央人民政府网,2021),获得各省生态系统面积(表2)。

2019年,全国森林面积为30497.15万 hm^2 ,草地面积为26492.3万 hm^2 ,湿地面积为2478.64万 hm^2 ,淡水面积为2887.51万 hm^2 ,农田面积为12798.18万 hm^2 ,城市面积为4561.91万 hm^2 ,分别占“三调”国土面积的38%、33%、3%、4%、16%和6%(图1)。由于各地自然条件不同和经济发展水平不一致,全国各省级行政区内的不同生态系统格局存在明显差异(表2)。

2.1.1 森林生态系统格局

森林生态系统是以乔木和灌木为主体的生物群落,是陆地上生物总量最高的生态系统。中国森林植物和森林类型极为丰富,主要包括东北针叶林及针阔叶混交林、西南亚高山针叶林和针阔叶混交林、南方松杉林和常绿阔叶林及油茶、油桐等经济

表1 “三调”生态系统面积
Table 1 The ecosystem area of the Third National Land Survey

序号	Costanza 生态系统分类	“三调”土地分类 [一级类(二级类)]	“三调”土地利用 面积/(万 hm^2)
1	森林生态系统	林地(乔木林地、竹林地、灌木林地、其他林地)、种植园用地(果园、茶园、橡胶园、其他园地)	30497.15
2	草地生态系统	草地(天然牧草地、人工牧草地、其他草地)	26492.3
3	湿地生态系统	湿地(红树林地、森林沼泽、灌丛沼泽、沼泽草地、盐田、沿海滩涂、内陆滩涂、沼泽地)	2478.64
4	淡水生态系统	水域及水利设施用地(河流水面、湖泊水面、水库水面、坑塘水面、沟渠)	2887.51
5	农田生态系统	耕地(水田、水浇地、旱地)	12798.18
6	城市生态系统	住宅用地(城镇住宅用地、农村宅基地)、商业服务业用地(商业服务业设施用地、物流仓储用地)、工矿用地(工业用地、采矿用地)、公共管理与公共服务用地(机关团体新闻出版用地、科教文卫用地、公共设施用地、公园与绿地)、特殊用地、交通用地(铁路用地、轨道交通用地、公路用地、城镇村道路用地、交通服务场站用地、农村道路、机场用地、港口码头用地、管道运输用地)、水域及水利设施用地(水工建筑用地)、其他土地(空闲地、实施农用地、田坎)	4561.91

表2 中国各省(自治区、直辖市)生态系统面积
Table 2 Ecosystem areas in the provinces (autonomous regions, municipalities) of China

省份	森林面积 /万 hm ²	草地面积 /万 hm ²	湿地面积 /万 hm ²	淡水面积 /万 hm ²	农田面积 /万 hm ²	城市面积 /万 hm ²
北京市	109.39	1.45	0.31	5.66	9.35	36.8
天津市	18.52	1.5	3.27	22.35	32.96	39.13
河北省	743.12	194.73	14.27	53.63	603.42	254.48
山西省	673.66	310.51	5.44	16.68	386.95	129.37
内蒙古自治区	2564.81	5457.82	423.44	107.82	1160.46	232.8
辽宁省	654.36	48.72	28.64	66.87	518.21	164.8
吉林省	883.55	67.47	23.03	59.63	749.85	113.37
黑龙江省	2168.56	118.57	350.1	164.22	1719.54	175.29
上海市	9.69	0	7.27	18.85	16.2	32.65
江苏省	101.75	9.36	42.72	243.19	409.89	257.45
浙江省	685.39	6.35	16.52	67.78	129.05	141.84
安徽省	446.42	4.79	4.77	163.74	554.69	215.23
福建省	972.98	7.49	18.86	36.44	93.2	93.1
江西省	1098.61	8.87	91	40.83	272.16	145.34
山东省	386.77	23.52	24.62	123.67	646.19	334.16
河南省	482.41	25.7	3.91	80.38	751.41	287.36
湖北省	976.71	8.94	6.12	191.77	476.86	180.74
湖南省	1360.28	14.05	23.61	76.37	362.89	202.88
广东省	1211.73	23.85	17.89	131.15	190.19	212.19
广西壮族自治区	1776.56	27.62	12.72	73.96	330.76	134.16
海南省	239.19	1.71	12.12	17.98	48.69	30.54
重庆市	496.96	2.36	1.5	26.78	187.02	79.74
四川省	2662.28	968.78	123.08	48.77	522.72	232.82
贵州省	1121.01	18.83	0.71	25.1	347.26	110.79
云南省	2754.12	132.29	3.98	55.39	539.55	161.16
西藏自治区	1790.8	8006.5	430.25	385.56	44.21	33.22
陕西省	1369	221.03	4.87	25.94	293.43	123.43
甘肃省	839.14	1430.71	118.56	29.96	520.95	119.3
青海省	466.59	3947.08	510.12	202.08	56.42	51.08
宁夏回族自治区	104.53	203.1	2.49	16.54	119.84	39.51
新疆维吾尔自治区	1328.26	5198.6	152.45	308.42	703.86	197.18

林。云南省、四川省、内蒙古自治区和黑龙江省森林资源约占全国森林资源的1/3(图2)。森林生态系统在陆地生态系统中具有调节气候、涵养水源、保持水土、防风固沙等方面的功能。

2.1.2 草地生态系统格局

草地生态系统是指在大陆性半湿润和半干旱

气候条件下,由多年生耐旱、耐低温、以禾草占优势的植物群落的总称,是自然资源生态系统的重要组成部分。草地有天然草地和人工草地。中国草地资源主要分布在3个主要区域:北方温带草原地区、青藏高原高寒草地区和南方及东部次生草地区。西藏自治区、内蒙古自治区、新疆维吾尔自治区和

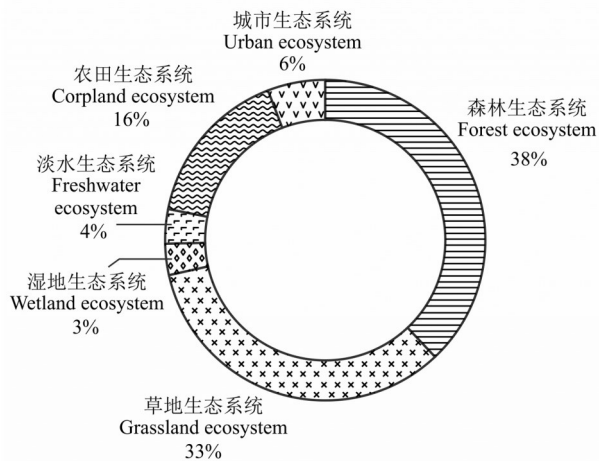


图1 中国大陆各类生态系统面积占比
Fig.1 Percentage of different ecosystem areas in China mainland

青海省等4省草原面积约占全国草原面积85%(图3)。草地生态系统具有防风、固沙、保土、调节气候、净化空气、涵养水源等生态功能。

2.1.3 湿地生态系统格局

湿地生态系统是由陆地和水域相互作用形成的自然综合系统。中国的淡水资源主要分布在河流湿地、湖泊湿地、沼泽湿地和库塘湿地之中,湿地维持着约2.7万亿t淡水,保存了全国96%的可利用淡水资源,湿地是淡水安全的生态保障。“三调”数据显示,青海省、西藏自治区、内蒙古自治区、黑龙江省等4省区湿地面积均超过350万 hm^2 ,约占全国湿地总面积的70%(图4)。湿地生态系统具有蓄水调洪的水资源再分配的重要功能,也是评价水源涵养、水土保持等生态服务功能的重要参数。

2.1.4 淡水生态系统格局

淡水生态系统是指在一定的空间和时间范围内,淡水环境中栖息的各种生物和它们周围的自然环境所共同构成的基本功能单位。淡水生态系统主要包括江河、溪流、水渠、湖泊、池塘和水库等。中国淡水生态系统主要位于长江流域片、黄河流域片、珠江流域片、东南诸河片、海河流域片、松辽河流域片、淮河流域片、西南诸河片、内陆河片等九大流域片区(图5)。

2.1.5 农田生态系统格局

农田生态系统是指人类在以作物为中心的农田中,利用生物和非生物环境之间以及生物群落之

间的相互关系,通过合理的生态结构和高效生态技能,进行能量转化和物质循环,并按人类社会需要进行物质生产的综合体。农田生态系统包括耕地、田埂、园地、农田林网。中国农田生态系统主要分布在中国东北平原、华北平原、长江中下游平原、珠江三角洲、四川盆地等区域(图6)。

2.1.6 城市生态系统格局

城市生态系统是一个综合系统,由自然环境、社会经济和文化科学技术共同组成,包括作为城市发展基础的房屋建筑和其他设施,以及作为城市主体的居民及其活动。城市中的自然系统包括城市居民赖以生存的基本物质环境,如阳光、空气、淡水、土地、动物、植物、微生物等;经济系统包括生产、分配、流通和消费的各个环节;社会系统涉及城市居民社会、经济及文化活动的各个方面,主要表现为人与人之间、个人与集体之间以及集体与集体之间的各种关系。中国城市的空间分布集中分布在东部沿海。“十四五”期间,中国城镇呈现“两横三纵”格局。两横包括沿长江通道及陆桥通道;三纵包括沿海、京哈京广、包昆通道(图7)。

2.2 生态系统服务价值评价方法

Costanza et al.(1997)把全球生态系统服务划分为17大类,研究了全部生态系统服务价值评估方法,并对每一种生态系统和生物群落生态服务功能价值进行初步计算。2014年,Costanza et al.(2014)根据TEEN数据和基于2007年美元价值更新了全球生态系统服务价值的单价,并针对2011年全球生态系统面积,对全球生态系统服务价值进行了评估。本研究根据美国居民消费价值指数(Trading Economics, 2022),以2007年为基准年修正了Costanza et al.(2014)的生态系统服务价值单价,并通过人民币和美元购买力指数(快易理财网,2023)获得中国生态系统服务价值单价。

$$\text{UESV}_{2019_{i,j}} = \text{UESV}_{2007_{i,j}} \times \frac{\text{CPI}_{2019}}{\text{CPI}_{2007}} \quad (1)$$

$$\text{CUESV}_{2019_{i,j}} = \text{UESV}_{2019_{i,j}} \times \frac{\text{CYUAN}}{\text{USD}} \quad (2)$$

式中, $\text{UESV}_{2019_{i,j}}$ 、 $\text{UESV}_{2007_{i,j}}$ 分别代表2019年、2007年全球第*i*种生态系统类型,第*j*种生态系统服务功能价值单价(美元); CPI_{2019} 、 CPI_{2007} 分别代表2019年、2007年的美国居民消费价格指数; $\text{CUESV}_{2019_{i,j}}$ 代表2019年中国第*i*类生态系统类

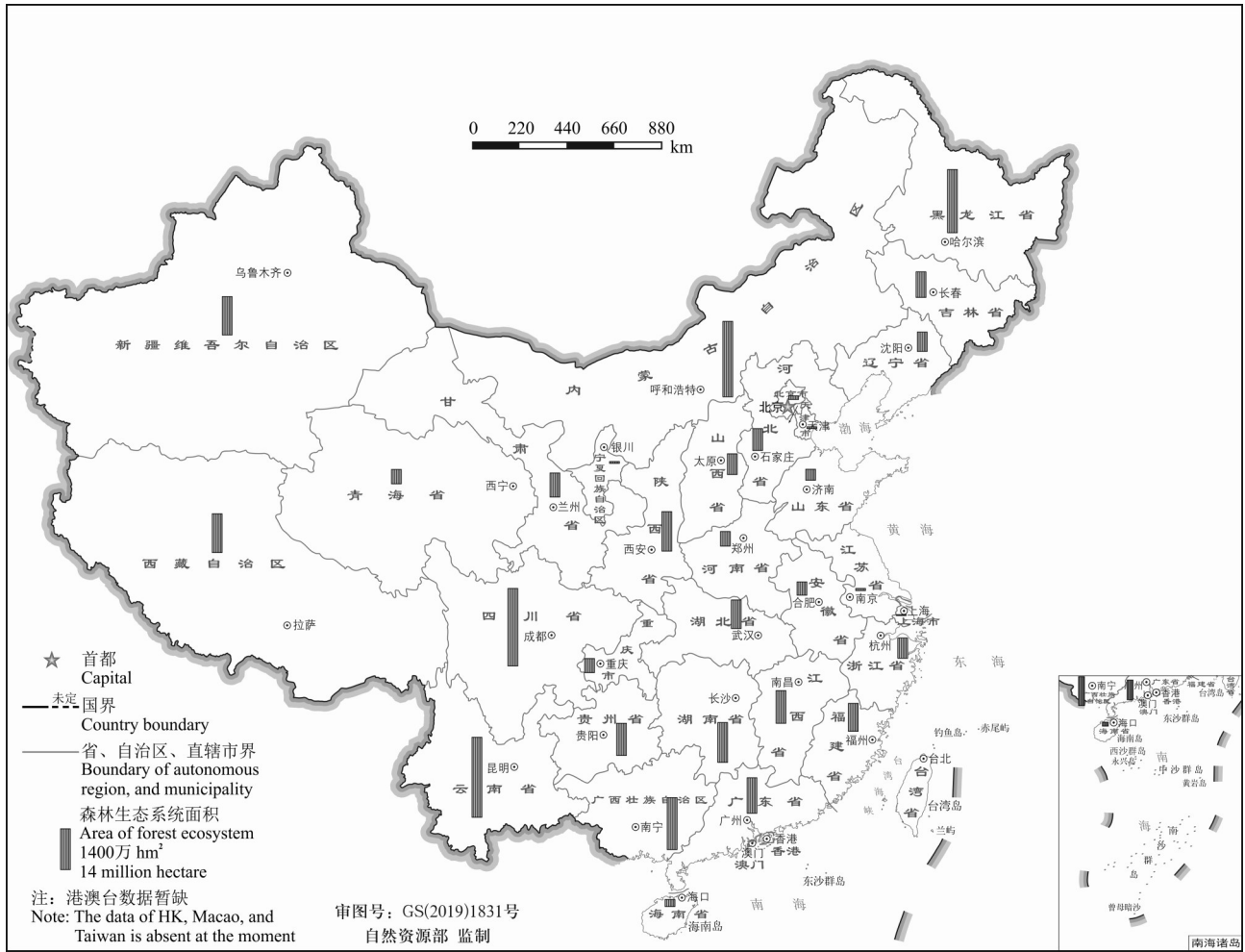


图2 中国省域森林生态系统格局
Fig.2 The pattern of Chinese provincial forest ecosystem

型,第*j*种生态系统服务功能价值单价(人民币);CYUAN代表2019年人民币购买力平价;USD代表2019年美元购买力平价。

$$ESV = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^m (CUESV_{2019_{ij}} \cdot U_i) \quad (3)$$

$$AESV = \frac{ESV}{\sum_{i=1}^m U_i} \quad (4)$$

式中ESV为研究区内生态系统服务价值总量,CNY; U_i 为土地利用类型*i*的面积, hm^2 ; AESV代表单位面积的平均生态系统服务价值。

2.3 热点分析

热点分析已经被广泛应用于探索生态系统服务价值的空间异质性研究中(刘华妍等,2021),热点和冷点分别代表生态系统服务价值及其变化量

在统计上显著的高值空间集聚和低值空间集聚,并将其空间集聚的位置进行可视化表达。其公式为

$$Gi^* = \frac{\sum_b W_{ab}(d)S_a}{\sum_b S_b} \quad (5)$$

$$Z(Gi^*) = \frac{Gi^* - E(Gi^*)}{\sqrt{Var(Gi^*)}} \quad (6)$$

式中 $E(Gi^*)$ 为 Gi^* 值的数学期望, $Var(Gi^*)$ 为 Gi^* 值的方差; W_{ab} 为第*a*、*b*地理空间权重系数。当 $Z(Gi^*) > 1.96$ 时,表示为生态系统服务价值的热点区,当 $Z(Gi^*)$ 介于1.65~1.96区间时,为生态系统服务价值的次热点区。当 $Z(Gi^*)$ 介于-1.65~-1.65区间时,为生态系统服务价值的不显著变化区;当 $Z(Gi^*)$ 介于-1.96~-1.65区间时,为生态系统服务价值的次

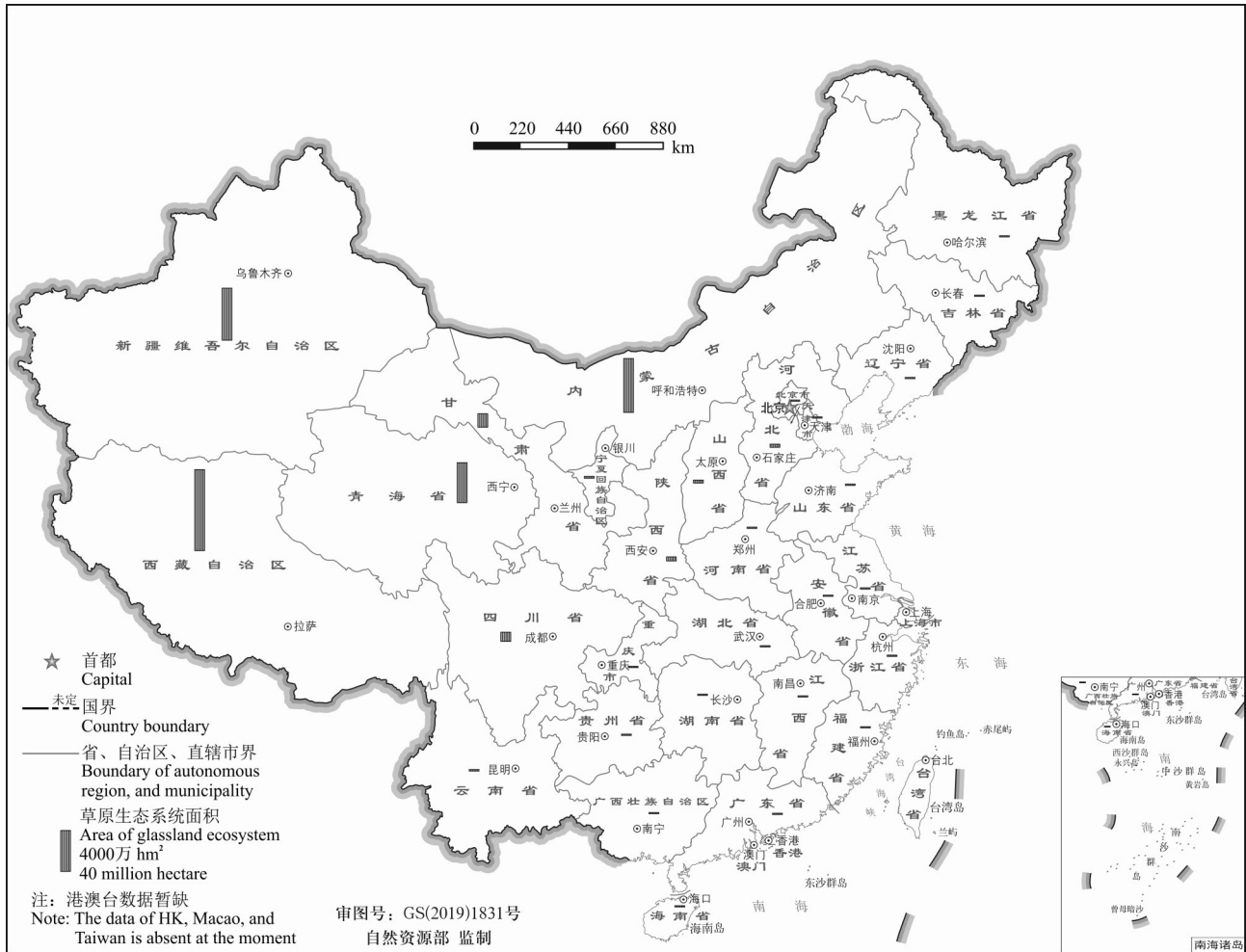


图3 中国省域草地生态系统格局

Fig.3 The pattern of Chinese provincial grass ecosystem

冷点区;当 $Z(G_i^*)$ 介于 $Z(G_i^*) < -1.96$ 时,为生态系统服务价值的冷点区。

3 结果与分析

3.1 中国单位面积生态系统服务价值的空间变化

2007年和2019年美国CPI均值分别为207和255。2019年人民币与美元购买力比值约4.2。通过式(1)~(4)可计算得2019年中国各省单位面积生态系统服务价值(表3)。为了更加清晰表达全国范围AESV的空间演变趋势,将 $AESV > 90000$ 元/ hm^2 划分为高值区,70000~90000元/ hm^2 为较高值区,50000~70000元/ hm^2 为中值区,30000~50000元/ hm^2 为较低值区,<30000元/ hm^2 为低值区。将总体来看,中国地均生态系统服务价值空间分布差异显著(图8)。根据Costanza等的模型,湿地生态系统的

单位面积生态价值最高,湖泊生态系统、城市生态系统、耕地生态系统、草地生态系统和森林生态系统的单位面积生态价值依次降低。中国单位面积生态系统服务价值高值主要分布在青藏高原、东北地区 and 东部地区,这些地区广泛分布湿地和湖泊。如,孕育有“三江源”的青海省的湖泊星罗棋布,高原沼泽湿地分布面积大、沼泽湿地类型多养。它既有起源于水体形成的湖滨滩地沼泽、古河道沼泽,也有起源于陆地形成的阶地沼泽和山前洼地沼泽等类型。低值主要分布在中部地区,这些地区分布云贵高原、黄土高原等高原和巫山、太行山等高大山脉地区,孕育有森林,很少有湿地和湖泊,导致这些地区单位面积生态系统服务价值较低。

3.2 中国单位面积生态系统服务价值冷热点格局

根据式(5)和(6),运用ArcGIS 10.2软件中的

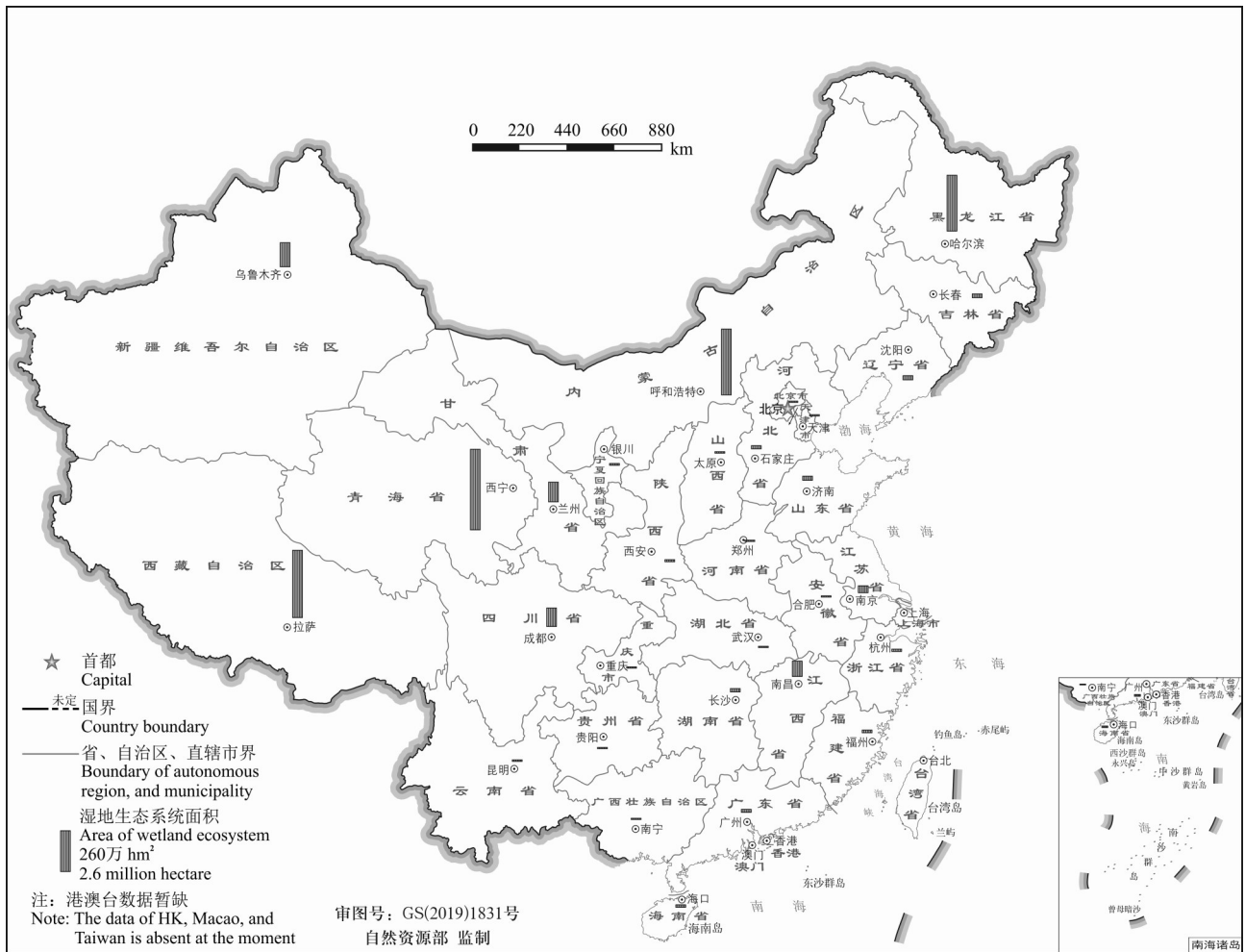


图4 中国省域湿地生态系统格局
 Fig.4 The pattern of Chinese provincial wetland ecosystem

空间统计工具箱对2019年生态服务价值进行冷热点计算,并划分为生态系统服务价值冷点区、次冷点区、次热点区和热点区4种类型,最终得到全国2019年生态系统服务价值空间冷热点分布图(图9)。2019年全国生态系统服务价值热点区分布在青海省,该地区拥有三江源湿地,具有很高的生态系统服务价值。次热点区分布在黑龙江省,此地区拥有松嫩平原和丰富的森林资源。次冷点区分布在云贵高原,该地区石头山分布广泛,土地和湿地资源贫瘠。冷点区分布在黄土高原,该地区湿地资源贫乏。

4 生态地质调查工作建议

根据生态系统服务价值分布特点,建议充分保护和提升现有生态系统,强化“两区三带”生态地质调查工作,开展森林、草原、河流、湿地、荒漠、海岸带、冰

川、冻土和生物多样性评价,促进“山、水、林、田、湖、草、沙”一体化保护。其中,湿地是地球上单位面积生态系统服务价值最高的生态系统类型,是陆地生态系统碳循环的重要组成部分,不仅在维系区域生态安全中扮演重要角色,而且具有巨大的水源涵养和气候调节等生态系统服务功能,需要重点加强保护。

4.1 青藏高原生态屏障区

青藏高原生态屏障区单位面积生态系统服务价值较高,其中青海省是生态热点区,每公顷生态系统服务价值大于90000元,但青藏高原属于生态脆弱区,生态系统抵御干扰的能力较低,恢复能力不强。建议开展冰川冻土消融、草原退化和土地沙化等影响生态保护因素的调查,推动重点区域荒漠化、沙化土地和黑土滩型等调查,遏制草原沙化趋势,提升草原生态功能。重点开展三江源地区、若尔盖草原湿地—

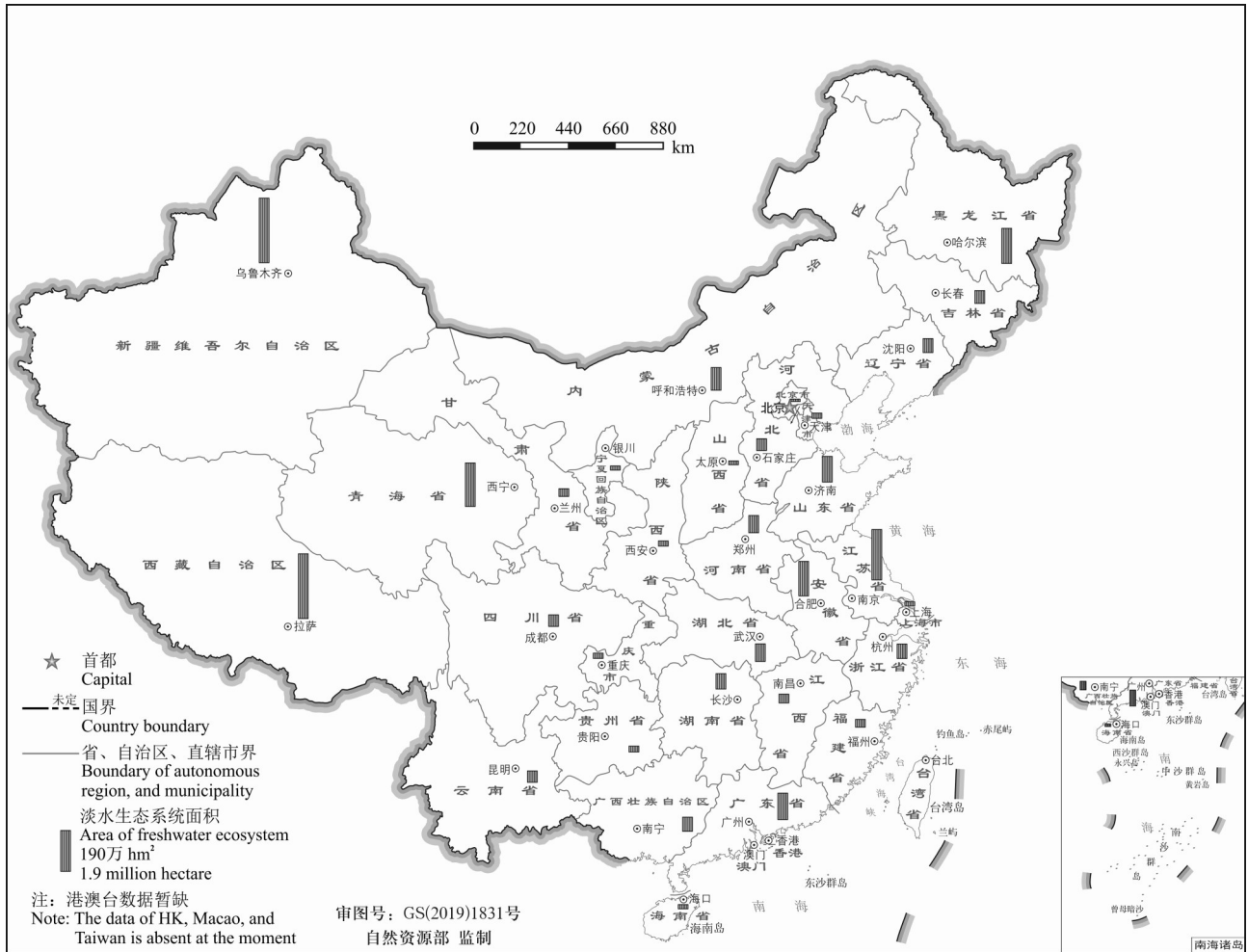


图5 中国省域淡水生态系统格局
 Fig.5 The pattern of Chinese provincial fresh water ecosystem

甘南黄河重要水源补给地区河湖、湿地、人工草场和自然草场调查,开展藏西北羌塘高原—阿尔金地区草原草甸调查,恢复退化草原。开展藏东南和雅鲁藏布江、怒江及拉萨河、年楚河、雅砻河、狮泉河等“两江四河”地区森林调查,服务构建以水土保持林、水源涵养林、护岸林为主体的防护林体系。

4.2 东北地区

东北地区单位面积生态系统服务价值总体较高,但分布不均衡,其中黑龙江省每公顷生态系统服务价值约为77000元,吉林省约为34000元,辽宁省约为40000元。东北地区森林生态系统占比大,但是存在森林结构不合理、质量不高、生态多样性破坏等影响森林生态系统健康发展的的问题。建议重点开展大小兴安岭、长白山森林资源和生物多样性调查,服务天然林保护和公益林管护。东北地区

是中国湿地的主要分布区,区域湿地约占全国湿地总面积的48.3%,但是,1950年以来社会经济发展和农业开垦造成了东北地区大面积湿地的损失和退化。建议聚焦东北三江平原和松嫩平原湿地生态系统调查,重点调查农业开垦、全球气候变化、黑土区水土流失等影响湿地资源保护的因素。

4.3 黄河流域生态保护带

由于自然演变与强烈的人类活动叠加,致使黄河流域资源环境格局发生了显著变化,面临诸多资源短缺、环境退化和生态破坏问题,进而影响其开发利用布局(王尧等,2021)。黄河流域发源地生态系统服务价值较高,下游生态系统服务价值次之,但是中游宁夏回族自治区、陕西省和山西省单位面积生态系统服务价值较低,分别为28900元/hm², 9500元/hm², 26500元/hm²,其中陕西位于生态系统

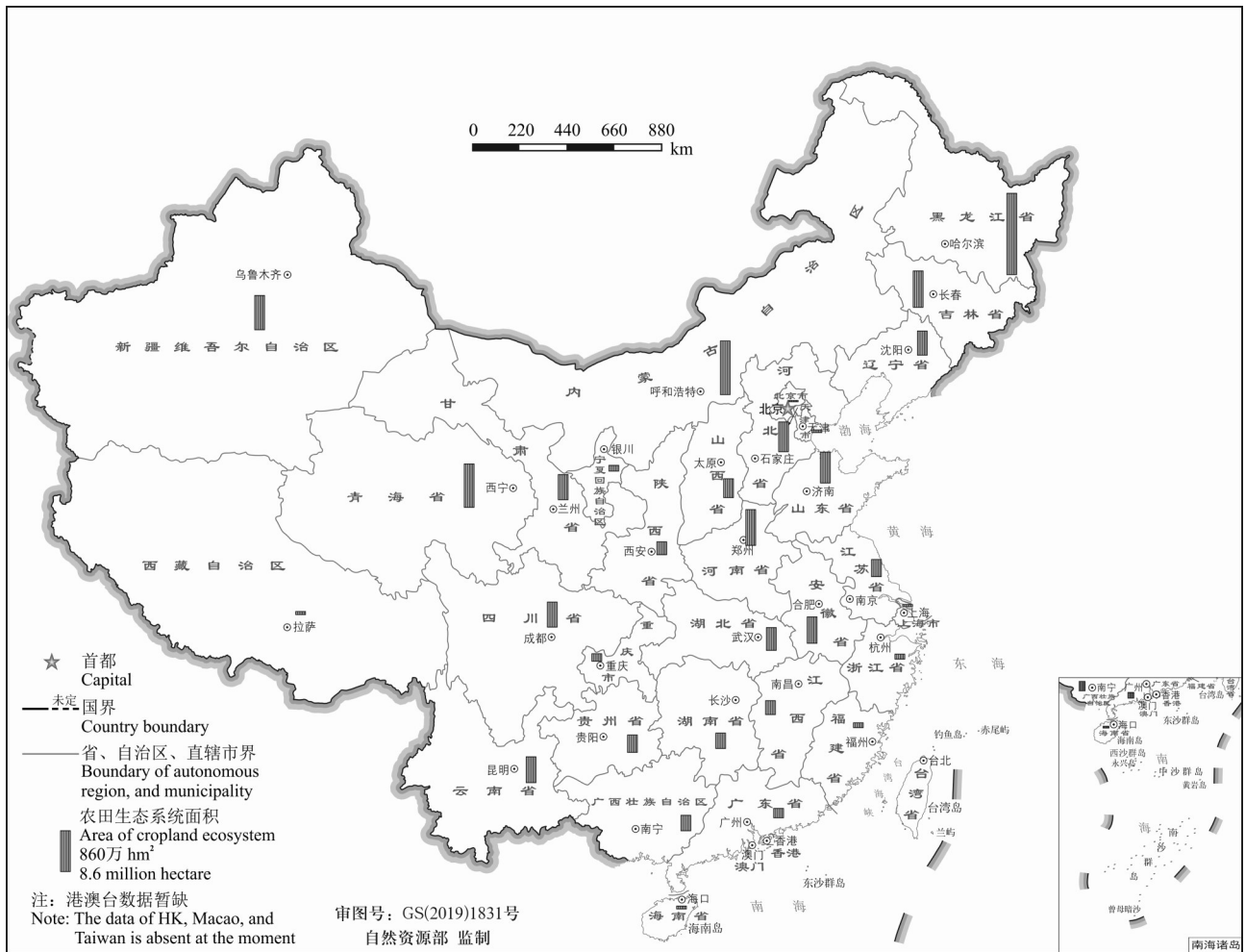


图6 中国省域农田生态系统格局

Fig.6 The pattern of Chinese provincial cropland water ecosystem

服务价值的冷点地区。建议调查黄河流域上游局部地区生态系统退化、水源涵养功能降低、土地荒漠化和沙化问题,中游水土流失、水沙关系不协调问题;下游河口湿地萎缩,生态流量低的问题。以渭北、陇西、晋西南为重点,开展水土流失调查,实施小流域综合治理。以太行山、吕梁山、湟水流域为重点,开展森林资源和草原资源调查,实施以水定林定草。以库布其、毛乌素等地为重点,实施土地沙漠化和石漠化调查,通过人工治理和自然修复相结合,建设完善沙区生态防护体系。以秦岭和贺兰山为重点,开展天然林资源和生物多样性调查和水土流失调查,加强水源涵养林、防护林建设和退化修复。

4.4 长江流域生态保护带

长江流域发源地生态系统服务价值较高,下游生态系统服务价值次之,但是中游重庆市单位

面积生态系统服务价值较低并位于生态系统服务价值的冷点地区。近些年,中国学者积极探索形成了滨海盐碱地、长江滨岸湿地、沿江化工污染场地、重金属污染场地和废弃矿山等5种类型生态修复示范关键技术(姜月华等,2021)。建议重点调查长江上游水源涵养功能、中游岩溶地区石漠化和水土流失对生态环境的影响,下游河湖湿地退化等问题。重点开展横断山区、大巴山区、武陵山区生物多样性调查和水源涵养林调查;开展洞庭湖、鄱阳湖等河湖区的湿地调查,实施退垸还湖(河)、退耕还湖(湿)和植被恢复工程,加强河道整治、优化水源资源配置;开展三峡库区和长江重点生态区历史遗留矿山生态修复,实施矿山开采边坡综合整治,进行地形重塑、生态植被重建和恢复矿区生态环境。

表3 中国各省(自治区,直辖市)单位面积生态系统服务价值

Table 3 Ecosystem service value in the provinces (autonomous regions, municipalities) of China

省份	北京市	天津市	河北省	山西省	内蒙古自治区	辽宁省	吉林省	黑龙江省
单位面积生态系统服务价值/元	26330	55050	31390	26520	52390	40050	34050	77420
省份	上海市	江苏省	浙江省	安徽省	福建省	江西省	山东省	河南省
单位面积生态系统服务价值/元	97280	33480	36690	33190	33570	62040	41460	30280
省份	湖北省	湖南省	广东省	广西壮族自治区	海南省	重庆市	四川省	贵州省
单位面积生态系统服务价值/元	30390	32470	32630	26910	48730	26040	40090	20210
省份	云南省	西藏自治区	陕西省	甘肃省	青海省	宁夏回族自治区	新疆维吾尔自治区	
单位面积生态系统服务价值/元	23060	49970	9510	50070	90680	28920	36290	

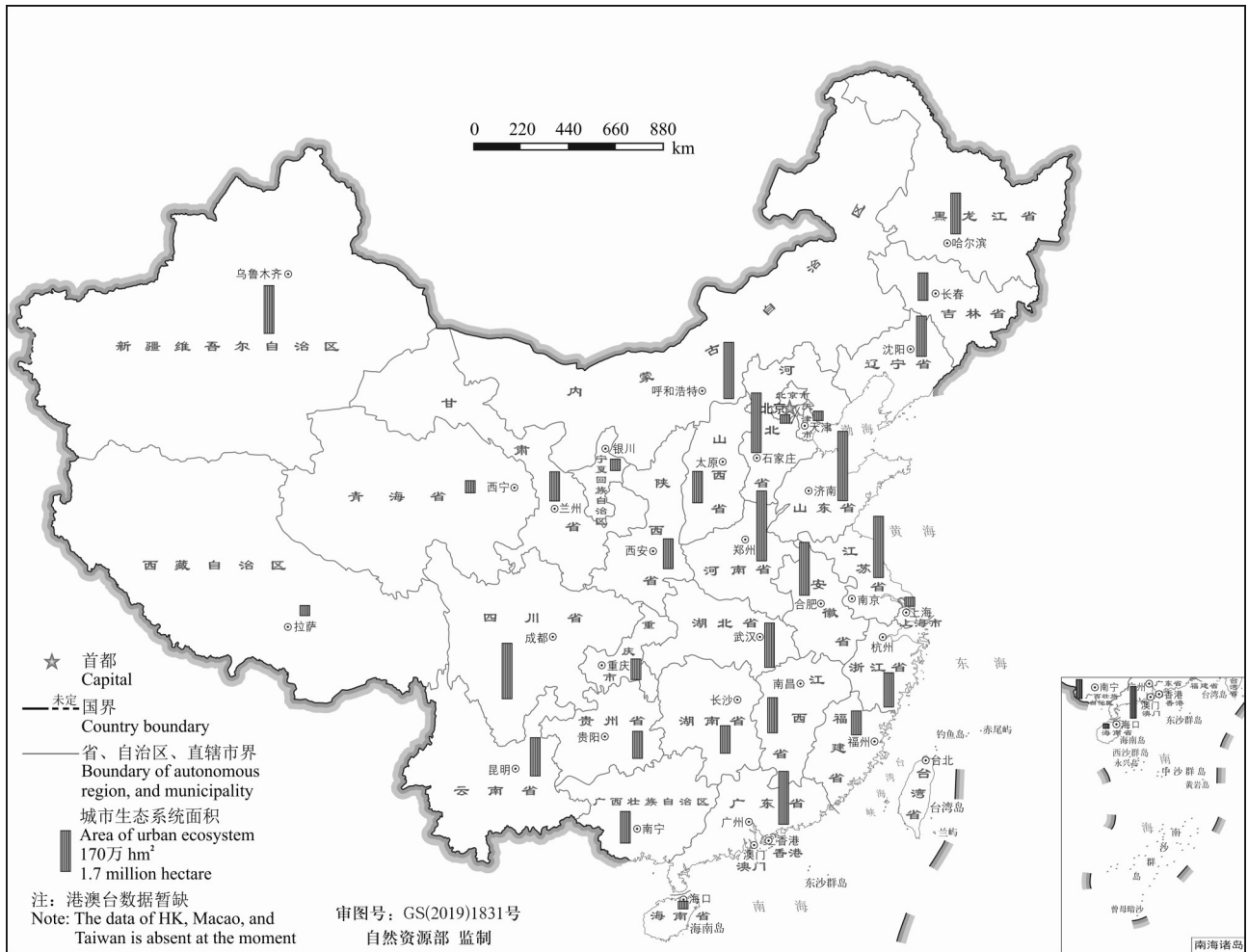


图7 中国省域城市生态系统格局
Fig.7 The pattern of Chinese provincial urban water ecosystem

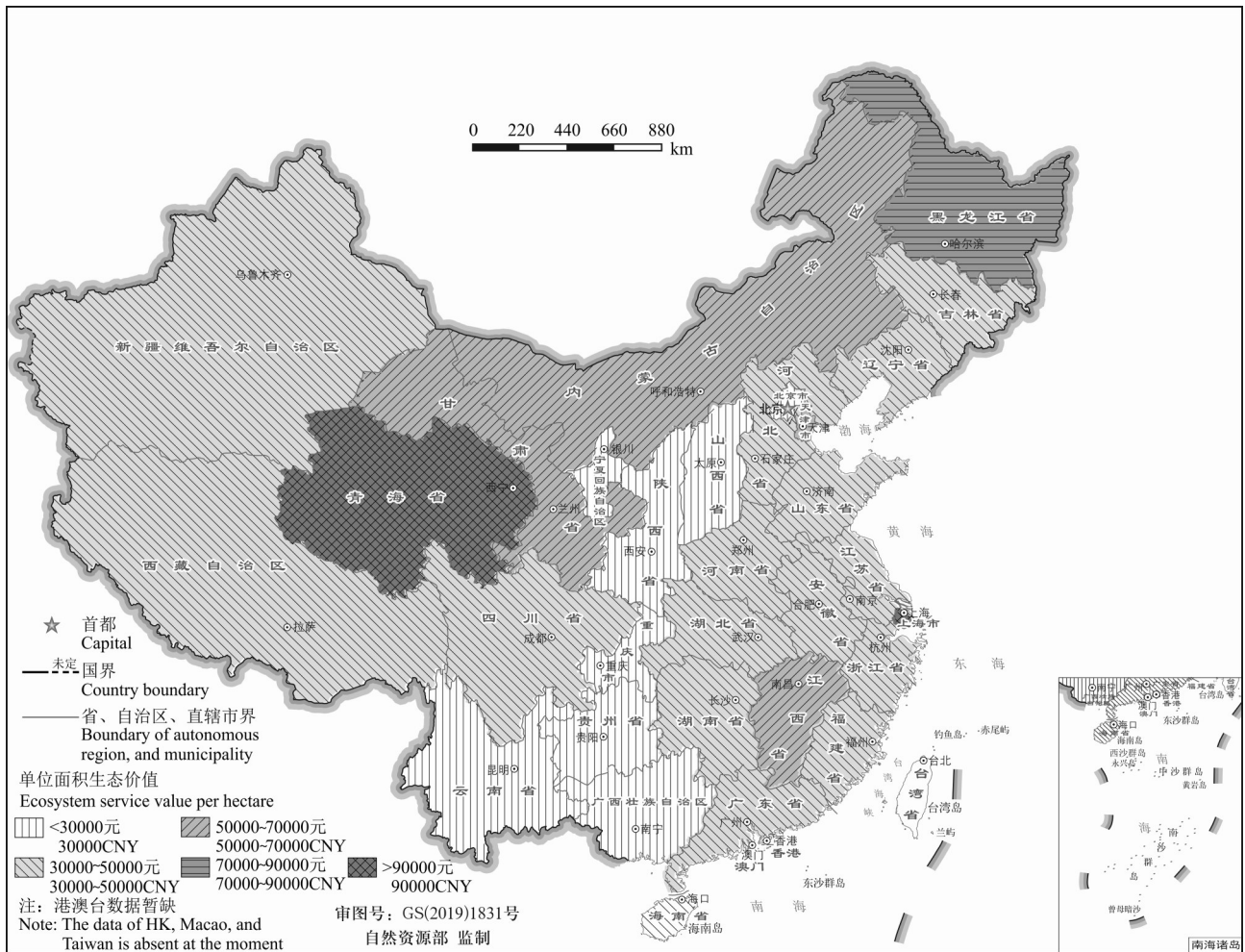


图8 中国大陆单位面积生态系统服务价值分布图

Fig.8 The national distribution of ecosystem service value of unit area in China mainland

4.5 海岸带

沿海地带的环地质问题研究已经成为国际地质工作关注的焦点之一。沿海地区单位面积生态系统服务价值较高,但是人为因素和外来物种破坏生态系统的潜在危险比较大。建议推进“蓝色海湾”整治,重点调查局部海岸线岸滩海浪侵蚀,河口海湾红树林、珊瑚礁等典型海洋生态系统。实施互花米草等外来入侵物种调查。重点调查粤港澳大湾区、渤海、北部湾和长江、黄河入海口等重要滨海湿地生态系统结构和功能。加强海南岛热带雨林和海洋特有动植物及其生境调查以及水生态地质调查,服务提升海岸带生态系统服务功能和防灾减灾能力。

5 结论

(1)本研究基于Costanza等于2014年提出的生

态系统服务价值评价方法,运用居民消费指数(CPI)以及美元和人民币购买力指数,建立了中国陆域生态系统服务价值评价模型,减少了通货膨胀和不同国家货币汇率对评价结果的影响。

(2)本研究将“三调”数据作为生态系统服务价值评估基础,计算出中国大陆生态系统服务价值约为35.79万亿元人民币。然而,“三调”没有对沙漠、苔原面积进行单独调查,且Costanza等也没有给出沙漠生态系统、苔原生态系统等服务价值单价,本研究没有对其进行评价。随着上述生态系统服务价值研究的深入,中国大陆生态系统服务价值将大于现在评估值。

(3)基于ArcGIS10.2分析了2019年中国单位面积生态系统服务价值冷热点格局,青海省属于热点区,黑龙江省属于次热点区,云贵高原和重庆市属于次冷点区,黄土高原属于冷点区,其他区域属于

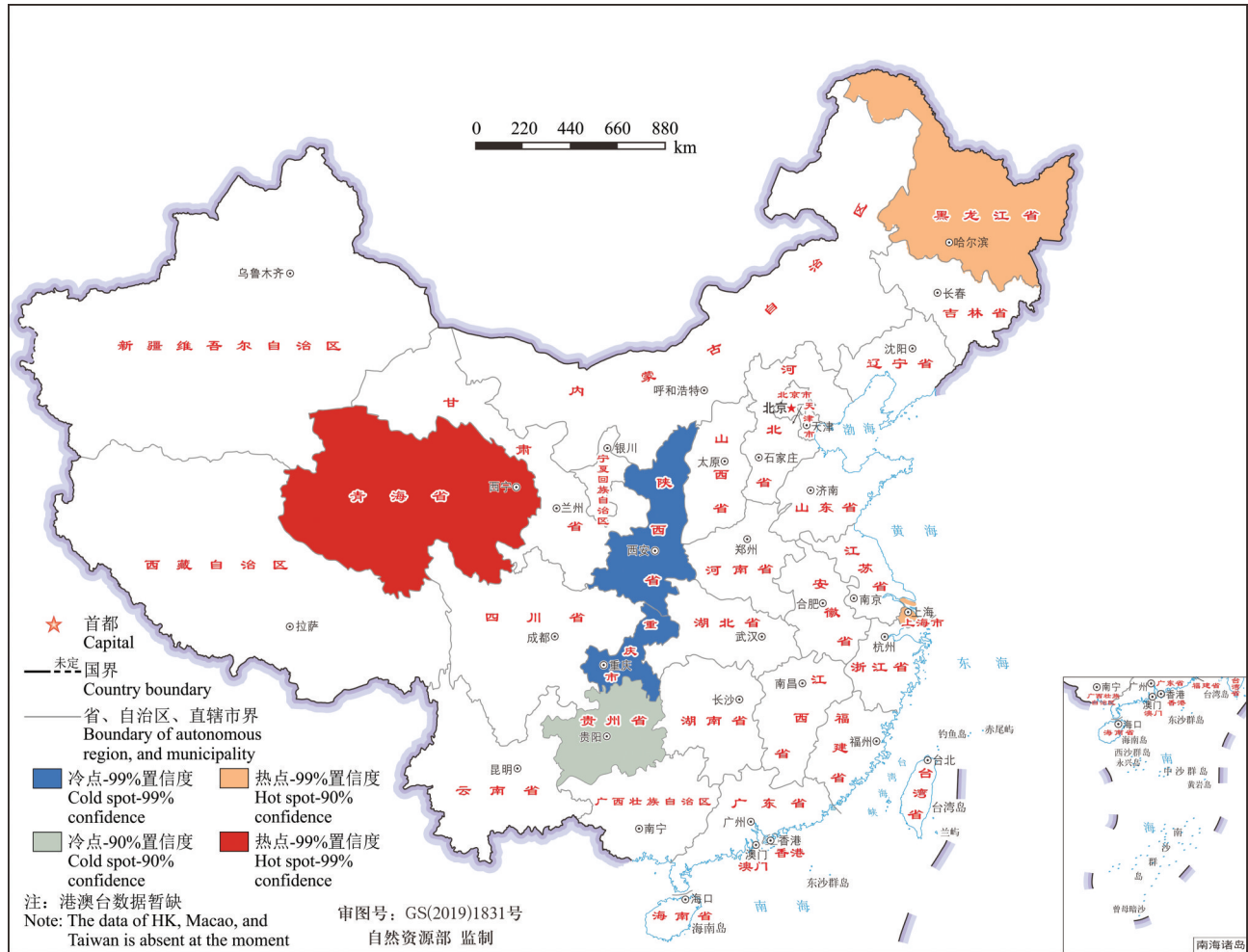


图9 中国大陆生态系统服务价值热点空间分布图

Fig.9 Distribution of hotspot of ecosystem service value in China mainland

热点不明显区域,并针对青藏高原、东北平原、长江流域、黄河流域和海岸带等“两区三带”生态本底和生态系统特点提出了生态地质调查建议。

References

- Bi Xiaoli, Ge Jianping. 2004. Evaluating ecosystem service valuation in China based on the IGBP land cover datasets[J]. *Journal of Mountain Science*, 22(1): 48–53(in Chinese with English abstract).
- Cai Zhonghua, Wang Qing, Liu Guangqing. 2014. Value re-evaluation for ecosystem services of China[J]. *Ecological Economy*, 30(2): 16–23(in Chinese with English abstract).
- Cao Shixiong, Liu Yujie, Su Wei, Zheng Xinyi, Yu Zhongqi. 2018. The net ecosystem services value in mainland China[J]. *Science China Earth Sciences*, 48(3): 331–339(in Chinese).
- Cheng Zhongxin, Zhang Xinshi. 2000. The value of China ecological benefits[J]. *Chinese Science Bulletin*, 45(1): 17–22(in Chinese).
- Costanza R, d'Arge R, Groot R D, Farberk S, Grasso M, Hannon B,

Limburg K, Naem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Suttonk P, Belt M V D. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. *Nature*, 387: 253–260.

Costanza R, Groot R D, Sutton P, Ploeg S V D, Anderson S J, Kubiszewski I, Farber S, Turner R K. 2014. Changes in the global value of ecosystem services[J]. *Global Environmental Change*, 26: 152–158.

Daily G C. 1997. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*[M]. Washington D C: Island Press, 1–100.

Du Leshan, Li Junsheng, Liu Gaohui, Zhang Fengchun, Xu Jing, Hu Lile. 2016. Progress in the researches on the economics of ecosystems and biodiversity(TEEB) [J]. *Biodiversity Science*, 24(6): 686–693(in Chinese with English abstract).

Huang Runqiu. 2001. Basic characteristics and technical support of the eco-environmental geology[J]. *Geology in China*, 28(11): 20–24 (in Chinese with English abstract).

He Hao, Pan Yaozhong, Zhu Wenquan, Liu Xulong, Zhang Qing, Zhu Xiufang. 2005. Measurement of terrestrial ecosystem service value

- in China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 16(6): 1122–1127 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Yuehua, Ni Huayong, Zhou Quanping, Cheng Zhiyan, Duan Xuejun, Zhu Zhimin, Wu Jichun, Ren Haiyan, Fan Chenzi, Yang Jinwei, Chen Chao, Hu Jian, Wang Xiaolong, Jiang Xiaye, Liu Yongbing, Yang Hai, Guo Wei, Feng Naiqi, Wei Guangqing, Jin Yang, Yang Hui, Liu Lin, Mei Shijia, Zhang Hong, Chen Pengjun, Yuan Jihai, Qi Qiuju, Lü Jinsong, Gu Xuan, Liu Peng. 2021. Key technology of ecological restoration demonstration in the Yangtze River Economic Zone and its application[J]. Geology in China, 48(5): 1305–1333(in Chinese with English abstract).
- Kuaiyi Finance Network. 2023. Purchase power parity and GNP data comparison between China and USA[EB/OL]. https://www.kyle.com/stats/global/yearly_per_country/g_gnp_ppp/chn-usa.html
- Li Jinfa. 2004. The geological survey serving ecological civilization[J]. Resources Environment & Engineering, 28(1): 1–4(in Chinese).
- Liu Huayan, Xiao Wenfa, Li Qi, Tian Yu, Zhang Qianru, Zhu Jianhua. 2021. Spatiotemporal variations and trade-offs of ecosystem services in Beijing[J]. Chinese Journal of Ecology, 40(1): 209–219(in Chinese with English abstract).
- Ouyang Zhiyun, Wang Xiaoke, Miao Hong. 1999. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values[J]. Acta Ecologica Sinica, 19(5): 607–613(in Chinese with English abstract).
- Shi Y, Wang R S, Huang J L, Yang W R. 2012. An analysis of the spatial and temporal changes in Chinese terrestrial ecosystem service functions [J]. Chinese Science Bulletin, 57(17): 2120–2131.
- Shu Siqi, Zhang Hongtao, Pei Rongfu, Xiang Junfeng, Sun Zhangtao. 2017. Quaternion model for sustainable exploration and development of mines (QMM)[J]. Geological Bulletin of China, 36(8):1476–1482(in Chinese with English abstract).
- The Government of the People's Republic of China. 2021. The Third National Land Survey Main Data Bulletin[EB/OL]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-08/26/content_5633490.htm.
- The Central People's Government of the People's Republic of China. 2021. Main Data Bulletin of the Third National Land Survey[EB/OL].
- The Ministry of Natural Resources of the People's Republic of China. 2019. Technical Regulation of the Third Nationwide Land survey (TD/T1055–2019)[R].
- United Nations. 2015. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development[EB/OL].http://infogate.fmprc.gov.cn/web/ziliao_674904/zt_674979/dnzt_674981/qtzt/2030kcxzyc_686343/zw/201601/t20160113_9279987.shtml.
- Trading Economics. 2022. USA–Consumer Price Index CPI. <https://zh.tradingeconomics.com/united-states/consumer-price-index-cpi> Trading Economics.
- Wang Jingbing, Wei Xiaofeng, Zhang Huiqiong, Gan Fengwei. 2020. The eco-geological survey based on geological formation, exemplified by integrated geological survey of National Ecological Civilization Demonstration Area in Chengde City, Hebei Province[J]. Geology in China, 47(6): 1611–1624(in Chinese with English abstract).
- Wang Qi'an, Liu Qinhuo. 2022. The 2021 Report on Remote Sensing Monitoring of Global Ecological Environment[M]. Beijing: Surveying and Mapping Publishing House, 1–94(in Chinese).
- Wang Yao, Chen Ruishan, Xia Zilong, Guo Chihui. 2020. The evaluation of ecosystem service value and its spatial change in the Yellow River Basin and suggestions from the ecological geology perspectives[J]. Geological Bulletin of China, 39(10): 1650–1662 (in Chinese with English abstract).
- Wang Yao, Chen Ruishan, Guo Chihui, Xia Zilong. 2021. Changes of resource and environmental pattern of the Yellow River Basin in the past 40 years and suggestions on geological work[J]. Geology in China, 48(1): 1–20(in Chinese with English abstract).
- Xi Jinping. 2022. Hold High the Great Banner of Socialism with Chinese Characteristics and Strive in Unity to Build a Modern Socialist Country in All Respects– Report to the 20th National Congress of the Communist Party of China[M]// The Writing Group, the Tutorial book for the Report of the 20th National Congress of Communist Party of China. Beijing: People's Publishing House, 1–64.
- Xie Gaodi, Lu Chunxia, Leng Yunfa, Zheng Du, Li Shuangcheng. 2003. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 18(2): 189–196(in Chinese with English abstract).
- Xie Gaodi, Zhang Caixia, Zhang Leiming, Chen Wenhui, Li Shimei. 2015. Improvement of the Evaluation Method for Ecosystem Service Value Based on Per Unit Area[J]. Journal of Natural Resources, 30(8): 1243–1253(in Chinese with English abstract).
- Zhang Pengyan, Geng Wenliang, Yang Dan, Li Yanyan, Zhang Yu, Qin Mingzhou. 2020. Spatial-temporal evolution of land use and ecosystem service value in the Lower Reaches of the Yellow River Region[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 36(11): 277–288.
- Zhang Xiaoyao, Lu Lin, Yu Hu, Zhang Xiao, LI Donghua. 2021. Multi-scenario simulation of the impacts of land-use change on ecosystem service value on the Qinghai–Tibet Plateau[J]. Chinese Journal of Ecology, 40(3): 887–898(in Chinese with English abstract).
- Zhao Shidong, Zhang Yongmin. 2006. Ecosystem and human well being: the achievements, contributions and prospects of the millennium ecosystem assessment[J]. Advances in Earth Science, 21(9): 895–902(in Chinese with English abstract).
- Zhu Dianzhen, Chu Lei, Ma Shuai, Wang Liangshi, Zhang Jinchi. 2021. Trade off and synergistic relationship among ecosystem services of the ecological barrier zone in Qinghai–Tibet Plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 28(4): 308–31(in

Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 毕晓丽,葛剑平. 2004. 基于IGBP土地覆盖类型的中国陆地生态系统服务功能价值评估[J]. 山地学报, 22(1): 48-53.
- 蔡中华,王晴,刘广青. 2014. 中国生态系统服务价值的再计算[J]. 生态经济, 30(2): 16-23.
- 曹世雄,刘玉洁,苏蔚,郑鑫怡,余中淇. 2018. 中国陆地生态系统服务净价值评估[J]. 中国科学:地球科学, 48(3): 331-339.
- 陈仲新,张新时. 2000. 中国生态系统效益的价值[J]. 科学通报, 45(1): 17-22.
- 中华人民共和国中央人民政府. 2021. 第三次全国国土调查主要数据公报[EB/OL]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-08/26/content_5633490.htm.
- 杜乐山,李俊生,刘高慧,张凤春,徐靖,胡理乐. 2016. 生态系统与生物多样性经济学(TEEB)研究进展[J]. 生物多样性, 24(6): 686-693.
- 黄润秋. 2001. 生态环境地质的基本特点与技术支撑[J]. 中国地质, 28(11): 20-24.
- 何浩,潘耀忠,朱文泉,刘旭拢,张晴,朱秀芳. 2005. 中国陆地生态系统服务价值测量[J]. 应用生态学报, 16(6): 1122-1127.
- 姜月华,倪化勇,周权平,程知言,段学军,朱志敏,吴吉春,任海彦,范晨子,杨晋炜,陈超,胡建,王晓龙,姜夏烨,刘永兵,杨海,郭威,冯乃琦,魏广庆,金阳,杨辉,刘林,梅世嘉,张鸿,陈澎军,袁继海,齐秋菊,吕劲松,顾轩,刘鹏. 2021. 长江经济带生态修复示范关键技术及其应用[J]. 中国地质, 48(5): 1305-1333.
- 快易理财网. 2023. 中国、美国历年购买力平价GNP(国民生产总值)数据比较 [EB/OL]. https://www.kylc.com/stats/global/yearly_per_country/g_gnp_ppp/chn-usa.html.
- 李金发. 2004. 为生态文明服务的地质调查工作[J]. 资源环境与工程, 28(1): 1-4.
- 联合国. 2015. 变革我们的世界:2030年可持续发展议程 [EB/OL]. http://infogate.fmprc.gov.cn/web/ziliao_674904/zt_674979/dnzt_674981/qtzt/2030kcxzfzyc_686343/zw/201601/t20160113_9279987.shtml
- 刘华妍,肖文发,李奇,田宇,张倩如,朱建华. 2021. 北京市生态系统服务时空变化与权衡分析[J]. 生态学杂志, 40(1): 209-219.
- 欧阳志云,王效科,苗鸿. 1999. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究[J]. 生态学报, 19(5): 607-613.
- 舒思齐,张洪涛,裴荣富. 2017. 矿业可持续勘查开发“四元”模型(QMM)[J]. 地质通报, 36(8): 1476-1482.
- 王京彬,卫晓锋,张会琼,甘凤伟. 2020. 基于地质建造的生态地质调查方法——以河北省承德市国家生态文明示范区综合地质调查为例[J]. 中国地质, 47(6): 1611-1624.
- 王琦安,柳钦火. 2022. 全球生态环境遥感监测2021年度报告[M]. 北京: 测绘出版社, 1-50.
- 王尧,陈睿山,夏子龙,郭迟辉. 2020. 黄河流域生态系统服务价值变化评估及生态地质调查建议[J]. 地质通报, 39(10): 1650-1662.
- 王尧,陈睿山,郭迟辉,夏子龙. 2021. 近40年黄河流域资源环境格局变化分析与地质工作建议[J]. 中国地质, 48(1): 1-20.
- 习近平. 2022. 高举中国特色社会主义伟大旗帜为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告[M]//本书编写组. 党的二十大报告辅导读本. 北京: 人民出版社, 1-64.
- 谢高地,鲁春霞,冷允法,郑度,李双成. 2003. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 18(2): 189-196.
- 谢高地,张彩霞,张雷明,陈文辉,李士美. 2015. 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, 30(8): 1243-1253.
- 张鹏岩,耿文亮,杨丹,李颜颜,张宇,秦明周. 2020. 黄河下游地区土地利用和生态系统服务价值的时空演变[J]. 农业工程学报, 36(11): 277-288.
- 张晓瑶,陆林,虞虎,张潇,李冬花. 2021. 青藏高原土地利用变化对生态系统服务价值影响的多情景模拟[J]. 生态学杂志, 40(3): 887-898.
- 赵士洞,张永民. 2006. 生态系统与人类福祉——千年生态系统评估的成就、贡献和展望[J]. 地球科学进展, 21(9): 895-902.
- 中华人民共和国自然资源部. 2019. 第三次全国国土调查技术规程(中. T. T. 1055-2019)[S].
- 朱殿珍,初磊,马帅,王良杰,张金池. 2021. 青藏高原生态屏障区生态系统服务权衡与协同关系[J]. 水土保持研究, 28(4): 308-315.