

DOI: 10.5846/stxb201905301137

孔令桥, 郑华, 欧阳志云. 基于生态系统服务视角的山水林田湖草生态保护与修复——以洞庭湖流域为例. 生态学报, 2019, 39(23): 8903-8910.

Kong L Q, Zheng H, Ouyang Z Y. Ecological protection and restoration of forest, wetland, grassland and cropland based on the perspective of ecosystem services: a case study in Dongting Lake Watershed. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(23): 8903-8910.

基于生态系统服务视角的山水林田湖草生态保护与修复

——以洞庭湖流域为例

孔令桥^{1,2}, 郑 华^{1,2,*}, 欧阳志云^{1,2}

1 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085

2 中国科学院大学, 北京 100049

摘要:山水林田湖草系统保护与修复的重要目标是维护和提升区域生态系统服务。基于山水林田湖草生命共同体理念,以维护和提升人类福祉所需的重要生态系统服务为目标,提出生态系统服务视角下的山水林田湖草系统治理框架,以实现流域生态系统整体保护、质量提升和格局优化。基于该框架,以洞庭湖流域为例,通过流域生态系统格局、生态系统质量状况分析、流域生态系统服务重要性评估和生态问题识别,构建流域生态安全格局,为实现可持续的山水林田湖草生命共同体提出系统保护与修复布局建议。通过洞庭湖流域的分析案例为流域山水林田湖草生态保护与修复重要区域的识别提供了可借鉴的指标和定量分析方法,为流域尺度构建生态安全格局、实现山水林田湖草系统保护和修复提供思路和途径。

关键词:生态系统服务;生态保护;流域;生态保护与修复;生态安全格局

Ecological protection and restoration of forest, wetland, grassland and cropland based on the perspective of ecosystem services: a case study in Dongting Lake Watershed

KONG Lingqiao^{1,2}, ZHENG Hua^{1,2,*}, OUYANG Zhiyun^{1,2}

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

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

Abstract: The important goal of protection and restoration of forest, wetland, grassland and cropland is to maintain and enhance the regional ecosystem services. Based on the concept of life community of forest, wetland, grassland and cropland, and aiming at maintaining and improving the important ecosystem services needed for human well-being, we proposed a systematic governance framework of forest, wetland, grassland and cropland from the perspective of ecosystem services to achieve the overall protection, quality improvement, and pattern optimization of the ecosystem in the watershed. On the basis of the framework, taking the Dongting Lake Basin as a case, the ecological security pattern of the basin was constructed through the analysis of ecosystem pattern, ecosystem quality, the importance assessment of ecosystem services and the identification of ecological problems in the basin, and the suggestions of systematic protection and restoration layout were given for realizing the sustainable life community of forest, wetland, grassland and cropland. This paper provides

基金项目:国家自然科学基金项目(41901257)

收稿日期:2019-05-30; 修订日期:2019-09-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhenghua@rcees.ac.cn

referable indices and quantitative analysis methods for identifying the important areas of ecological protection and restoration of forest, wetland, grassland and cropland in the basin, as well as thoughts and ways for constructing ecological security pattern at the basin scale to realize the systematic protection and restoration of ecosystem.

Key Words: ecosystem service; ecological protection; watershed; ecological protection and restoration; ecological security pattern

山水林田湖草是一个生命共同体。山水林田湖草系统理念体现了对生态系统整体性和系统性的尊重,反映了山水林田湖草各生态系统之间的协同性和有机联系,是生态保护修复的重要理念和指导思想^[1]。现有研究对山水林田湖草生命共同体理念的内涵、山水林田湖草整体保护与系统修复方法进行了探索^[1-8],指出山水林田湖草系统保护修复需强调区域生态系统的森林、草地、湿地、河流、湖泊、农田等要素间相互依存、相互制约的关系,通过保护与修复受损生态系统结构、优化区域生态系统格局,维护和增强生态系统服务,以维持生态系统较高的稳定性,最终实现生态系统良好的可持续性^[1]。统筹山水林田湖草系统治理需实施以生态系统服务提升为导向的保护修复,以提升生态保护与修复工程的系统性和整体性,确保生态系统健康和可持续发展,保障生态产品和服务的可持续供给^[2]。

生态系统服务是指人类从生态系统获得惠益。生态系统具有水源涵养、土壤保持、防风固沙、洪水调蓄以及保护生物多样性等服务功能,为支撑经济社会发展发挥基础保障作用^[9]。森林、草地等生态系统通过其特有的结构,对降水进行截留、渗透、蓄积,并通过蒸散发,实现对水流、水循环的调控,从而实现缓和地表径流、补充地下水、减缓河流流量的季节波动、滞洪补枯、保证水质等,即水源涵养功能;森林、草地等生态系统还能通过其结构与过程减少由于水蚀所导致的土壤侵蚀作用,即土壤保持功能;湿地生态系统通过暂时蓄积洪峰水量,而后缓慢泄出,削减并滞后洪峰,从而减轻河流水系洪水威胁的作用,实现洪水调蓄功能;同时,农田生态系统还为人类提供粮食和畜牧产品等。在流域尺度统筹考虑流域上下游森林、草地、湿地、农田等生态系统的相互依存关系,以维护重要生态系统服务为核心目标,突出生态系统服务提升和主要生态问题的解决,分析山水林田湖草整体保护和系统修复框架和途径,从而有效实现山水林田湖草整体保护和系统修复,确保生态产品和服务的持续供给,对维护流域生态安全具有重要意义。

洞庭湖为我国第二大淡水湖,是长江流域重要的调蓄湖泊。洞庭湖流域是长江流域中游的重要子流域之一,生态系统服务极其重要,也是我国重要的农产品提供区域。近年来由于自然灾害和人类不合理开发利用等多重因素影响,局部生态系统服务退化严重,人与自然矛盾突出,对流域自然生态系统平衡和经济社会持续发展造成威胁^[10]。以洞庭湖流域为例开展山水林田湖草生态保护与修复研究具有较高的典型性和代表性,对维护我国生态安全和社会可持续发展具有重要意义。

本文首先提出基于生态系统服务视角的山水林田湖草系统保护与修复框架,然后以洞庭湖流域为对象,基于该框架开展流域生态安全格局分析,提出山水林田湖草生态保护与修复建议,为流域尺度进行山水林田湖草整体保护和系统修复以协调多种生态系统服务持续有效供给提供可借鉴的思路和途径。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域

洞庭湖流域是长江流域中游重要的子流域之一,总面积约 26 万 km²,主要包括湖南省、贵州东部、广西省、湖北省和江西省的部分地区。地貌类型主要有平原、丘陵和山地,生态系统类型多样,森林、灌丛、草地、湿地、农田和城镇分别占比 43.19%、16.41%、3.92%、3.51%、29.35%和 3.37%(图 1)。洞庭湖流域提供了重要的水文调节、洪水调蓄、水质净化等生态系统调节服务,在维护长江流域生态安全上占据重要地位,同时也是我国重要的农产品提供区域,具备重要的生态系统供给服务功能。

1.2 研究方法

通过生态系统服务重要性和生态问题格局分析,明确生态保护重要区域,识别山水林田湖草生态保护与修复的重点区域。

1.2.1 生态系统服务评价方法

(1) 生态系统水源涵养功能

水源涵养指一段时间内生态系统保留的水分。根据 InVEST 模型中的计算方法,使用水量平衡方程进行评估^[11]:

$$TQ = \sum_{i=1}^j (P_i - ET_i - R_{fi}) \times A_i$$

式中, TQ 为总水源涵养量(m^3); P_i 为降雨量(mm); R_{fi} 为实际地表径流量(mm); ET_i 为实际蒸散发(mm); A_i 为*i*类生态系统的面积;*i*为研究区第*i*类生态系统类型;*j*为研究区生态系统类型数。地表径流量使用降雨量乘以地表径流系数得到^[12]。

(2) 生态系统土壤保持功能

土壤保持是指生态系统在一定时期内保留的土壤。它主要与气候、土壤、地形和植被有关。以土壤保持量作为生态系统土壤保持功能的评价指标,即潜在土壤侵蚀量与实际土壤侵蚀量的差值。采用通用土壤流失方程计算土壤侵蚀量和土壤保持量,主要考虑了降雨、土壤、地形和植被覆盖对土壤侵蚀以及土壤保持的影响。计算方法如下^[13]:

$$SC = R \times K \times LS \times (1 - C)$$

式中, SC 为土壤保持量($\text{t hm}^{-2} \text{a}^{-1}$); R 为降雨侵蚀力因子($\text{MJ mm hm}^{-2} \text{h}^{-1} \text{a}^{-1}$); K 为土壤可蚀性因子($\text{t hm}^2 \text{h hm}^{-2} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$); LS 为地形因子; C 为植被覆盖因子。

(3) 生态系统固碳功能

碳固定是指陆地生态系统对碳的吸收,从而减缓大气中二氧化碳的增长速度^[14]。通过评估森林、灌丛和草地生态系统的生物碳储量变化以及陆地生态系统平均年固碳量对生态系统固碳功能进行定量评价。不同生态系统类型的生物碳储量(BCS_{in})用以下公式计算:

$$\text{BCS}_{\text{in}} = \sum_{j=1}^n \text{BCD}_{ijm} \times \text{AR}_i \times 10^{-6}$$

$$\text{BCD}_{ijm} = B_{ijm} \times \text{CC}_i$$

$$\text{ACS} = (\sum \text{BCS}_{it_2} - \sum \text{BCS}_{it_1}) / (t_2 - t_1)$$

式中, BCD_{ijm} 是第*m*年第*j*个像元第*i*类生态系统的生物碳密度。第*i*类生态系统表示森林、灌丛或草地。 BCD_{ijm} 的单位是 C/km^2 。 AR_i 是每个像元的面积。 B_{ijm} (t/km^2)是第*m*年第*j*个像元第*i*类生态系统的生物量密度。 CC_i 是第*i*类生态系统的生物量碳含量,森林和灌丛赋值为 0.5,草地赋值为 0.45^[15]。 ACS (TgC/a)是年份 t_1 至年份 t_2 陆地生态系统的平均年碳汇。

(4) 生态系统洪水调蓄功能

洪水调蓄量与暴雨降水量($>50 \text{ mm}$)、地表径流量和生态系统类型等因素密切相关。洪水调蓄主要通过以下方程计算得到^[16]:

$$FQ = \sum_{i=1}^j (P_{ri} - R_{ri}) \times A_i$$

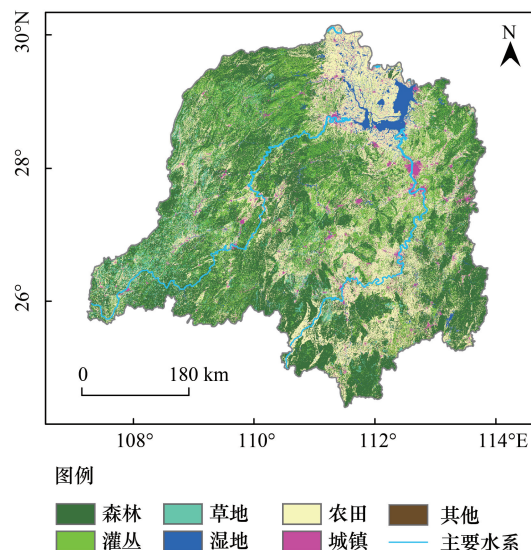


图1 洞庭湖流域

Fig.1 Dongting Lake Basin

式中, FQ 为洪水调蓄量(m^3); P_{ri} 为暴雨降雨量(mm); R_{ri} 为暴雨径流量(mm); A_i 为 i 类生态系统的面积。 i 为研究区第 i 类生态系统类型; j 为研究区生态系统类型数(包括森林、灌丛、草地和湿地)。

(5) 生物多样性保护

生物多样性保护功能是生态系统在维持物种、基因多样性中发挥的作用,采用物种分布模型进行评估。具体评价方法见参考文献^[17]。

1.2.2 生态问题空间特征

由于流域生态系统土壤保持功能的退化,洞庭湖流域局部区域面临着较严重的水土流失和石漠化问题。通过分析土壤侵蚀敏感区域和石漠化敏感区域,识别生态敏感脆弱区域。

采用通用水土流失方程评估土壤侵蚀量^[13],使用水蚀强度指标评价土壤侵蚀强度。通过石漠化敏感性评估识别容易产生石漠化的区域,评估石漠化对人类活动的敏感程度。具体评价方法见参考文献^[18]。

生态系统退化问题评价方法为:(1)根据森林和灌丛质量来评估森林和灌丛的退化状况,即评价区域森林或灌丛生物量和同一自然地理带内未退化的同一类型最大森林或灌丛生物量的比值;(2)根据草地质量来评估草地的退化状况,即评价区域草地植被覆盖度和同一自然地理带内未退化的最大草地植被覆盖度的比值。

1.2.3 生态保护重要性评价方法

以生态系统服务功能量为基础确定各生态系统服务功能重要性级别,按栅格单元服务功能值大小进行降序排列,分别将累积服务功能量占前 50%、50%—75%、75%—90%、90%—100%的栅格单元划分为极重要、较重要、中等重要、一般地区 4 个等级,形成各服务功能重要性评价结果。然后进行空间叠加处理:(1)将各单项生态系统服务功能重要性图层进行空间叠加,形成生态系统服务功能重要性综合图层;(2)将各单项生态敏感性图层进行空间叠加,形成生态敏感性图层;(3)将生态系统服务功能重要性图层与生态敏感性图层进行空间叠加,形成生态保护重要性图层。

2 结果分析

2.1 生态系统服务视角的山水林田湖草系统保护与修复框架

基于山水林田湖草生命共同体理念,从人类福祉所需的生态系统服务视角,提出了山水林田湖草系统治理框架(图 2)。该框架通过明确生态系统服务需求目标、生态系统服务重要性评估和生态问题识别,构建流域生态安全格局,提出系统保护与修复方案,从而提升生态系统质量、优化生态系统格局,实现森林、灌丛、草地、湿地、农田等生态系统可持续地提供生态系统服务功能,提升人类福祉,最终实现可持续的山水林田湖草生命共同体。

2.2 洞庭湖流域生态系统服务重要性及生态问题空间特征

2015 年,洞庭湖流域生态系统提供的土壤保持总量为 132.0 亿吨,其中,森林生态系统、灌丛生态系统和草地生态系统的土壤保持功能量分别占比 71.2%、15.3% 和 3.8%;洞庭湖流域生态系统提供的水源涵养总量为 1218.5 亿 m^3 ,其中,森林生态系统、灌丛生态系统、草地生态系统和湿地生态系统的水源涵养功能量分别占比 57.4%、19.3%、4.2% 和 4.9%;洞庭湖流域生态系统提供的固碳总量为 569.7 Tg,其中,森林生态系统、灌丛生态系统和草地生态系统的固碳量分别占比 69.4%、20.0% 和 3.8%;洞庭湖流域生态系统提供的洪水调蓄总量为 246.2 亿 m^3 ,其中,森林生态系统、灌丛生态系统、草地生态系统和湿地生态系统的洪水调蓄量分别占比 63.2%、24.1%、4.4% 和 5.6%。

通过生态保护重要性综合评价,得到洞庭湖流域生态保护重要性格局(图 3)。生态保护极重要区包含生态系统服务功能极重要区域和生态极敏感脆弱区域,总面积为 9.23 万 km^2 ,占洞庭湖流域总面积的 35.24%。其中,洞庭湖流域水源涵养极重要区面积为 7.69 万 km^2 ,土壤保持极重要区面积为 2.80 万 km^2 ,生物多样性保护极重要区面积为 2.99 万 km^2 ;洞庭湖流域生态极敏感区面积为 0.37 万 km^2 。生态保护极重要区对流域



图 2 生态系统服务视角的山水林田湖草生态保护与修复框架

Fig. 2 Ecological protection and restoration framework of forest, wetland, grassland, and cropland from the perspective of ecosystem services

生态系统服务功能的贡献最大;生态保护极重要区土壤保持功能占流域土壤保持服务功能总量的 67.9%,极重要区水源涵养功能占流域水源涵养服务功能总量的 61.1%,极重要区洪水调蓄功能占流域洪水调蓄服务功能总量的 57.5%,极重要区固碳功能占流域固碳功能总量的 59.2%。

生态保护极重要区中森林生态系统面积最大,为 6.54 万 km²,占比 70.85%,灌丛、草地和湿地生态系统分别占比 17.60%、3.55%和 7.99%。洞庭湖流域生态保护极重要区内森林、灌丛、草地和湿地生态系统提供的生态系统服务功能及比例见表 1 和图 4。

表 1 生态保护极重要区内各类生态系统构成及服务功能供给情况
Table 1 Composition of ecosystems and their supply of ecosystem services within the important areas

生态系统类型 Ecosystem types	极重要区 Extremely important / 10 ⁴ km ²	占国土面积比例 Proportion/%	土壤保持量 Soil retention/ 10 ⁸ t	水源涵养量 Water retention/ 10 ⁸ m ³	洪水调蓄量 Flood mitigation/ 10 ⁸ m ³	固碳量 Carbon sequestration/Tg
森林 Forest	6.54	24.95	70.61	490.27	94.82	264.10
灌丛 Shrub	1.62	6.20	11.78	121.06	23.80	51.38
草地 Grassland	0.33	1.25	2.97	21.52	3.96	8.04
湿地 Wetland	0.74	2.82	0.44	48.16	11.12	1.15
合计 Sum	9.23	35.22	85.80	681.00	133.70	324.67

2.3 山水林田湖草系统保护与修复布局建议

通过分析洞庭湖流域生态保护重要性格局(图 3),以维护重要生态系统服务功能为目标,洞庭湖流域生态保护的重点区域主要集中分布于:(1)洞庭湖流域西北部和中部山地(张家界中部、恩施东南部、湘西北部、益阳西部、娄底西北部和怀化东部),以水源涵养和土壤保持功能为主要保护目标;(2)洞庭湖流域南部山地(黔东南、邵阳西南部、桂林东北部、永州中部和南部),以生物多样性保护、土壤保持和水源涵养功能为主要保护目标;(3)洞庭湖流域东部山地(郴州东部、株洲东南部、萍乡、岳阳东部),以水源涵养和土壤保持功能为主要保护目标;(4)洞庭湖区,以洪水调蓄功能为主要保护目标;(5)通过生态保护极重要区内的生态系统退化问题识别(图 5),发现洞庭湖流域南部和东部的森林和灌丛生态系统存在局部退化问题,主要分布于黔东南、桂林、邵阳、永州、岳阳等地。在以上生态保护极重要区域和生态系统退化区域建议通过系统保护和修复工程优化生态系统格局、维护和提升生态系统质量。具体地,在洞庭湖流域西北部、中部、东部和南部生态功

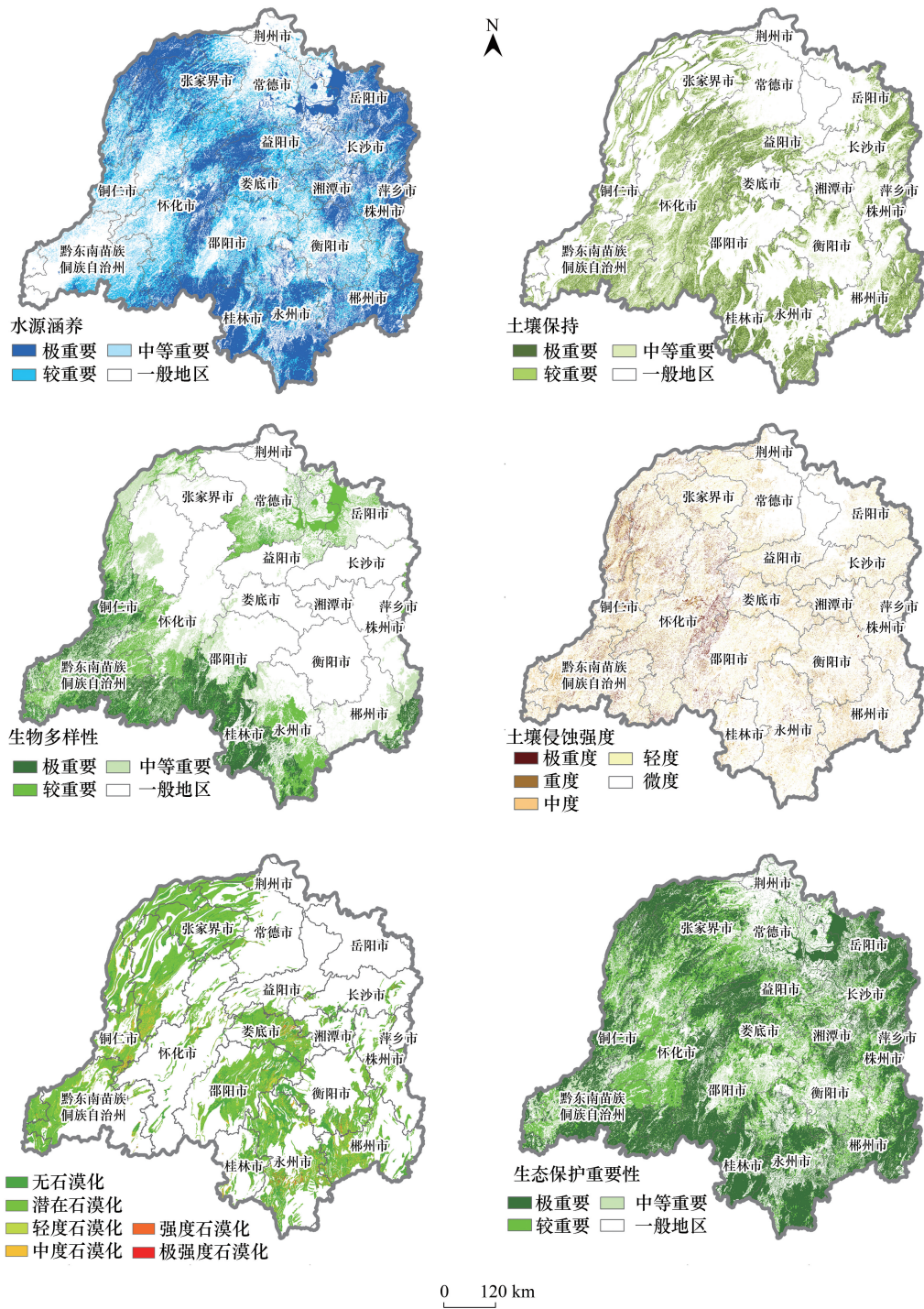


图3 洞庭湖流域生态保护重要性评价结果

Fig.3 Spatial pattern of importance of ecological conservation in Dongting Lake Basin

能极重要和生态极敏感脆弱区分布的山地应重点推进退耕还林、减少和修复人类活动破坏(如矿区生态环境修复和农业面源污染治理),通过维护和提升该区域的森林生态系统质量,确保森林生态系统水源涵养、土壤保持、生物多样性维护等生态功能的持续有效供给;在洞庭湖区,需通过退耕还湿、岸线保护和修复、水环境治理与生态修复等工程,提升岸线生态系统质量、修复和治理湖区水环境,从而维护和提升湿地的生物多样性和洪水调蓄、水资源供给等生态功能。

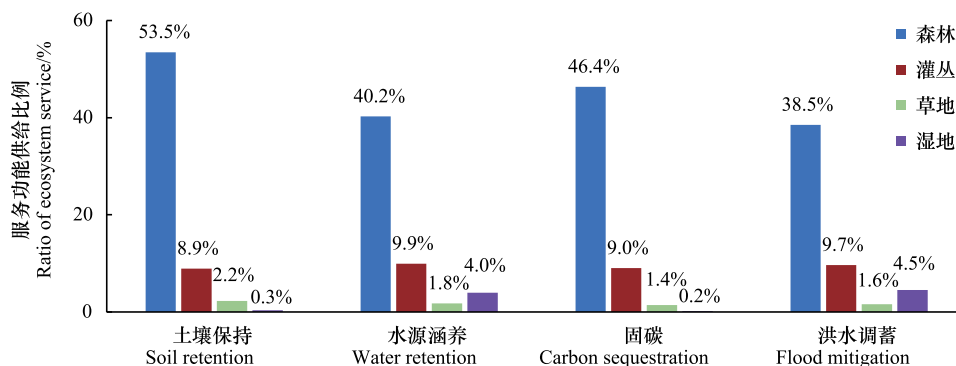


图4 生态保护极重要区生态系统提供的服务功能量占流域服务功能总量比例

Fig.4 Ratio of ecosystem services provided by forest, shrub, wetland, grassland in the important areas of ecological conservation

3 讨论

基于山水林田湖草生命共同体理念,以维护和提升人类福祉所需的重要生态系统服务为目标,提出了生态系统服务视角下的山水林田湖草生态保护和系统治理框架。基于该框架,以洞庭湖流域为例,通过流域生态系统格局、生态系统质量状况分析、流域生态系统服务功能重要性评估和生态问题识别,分析流域生态安全格局。以流域生态系统质量提升和格局优化为途径,分析了洞庭湖流域生态保护极重要区域和生态系统退化区域的空间特征及可实施的系统保护与修复工程,为提升洞庭湖流域生态系统水源涵养、土壤保持、洪水调蓄和生物多样性维护等生态功能,实现可持续的山水林田湖草生命共同体提出了系统保护与修复建议。从生态系统服务视角,将森林、灌丛、草地、湿地、农田等生态系统作为一个有机整体,以这个整体系统提供生态系统服务的能力作为衡量生态保护重要性的标准,综合生态系统服务退化问题空间特征的识别,确定重点保护和修复目标和重点区域,本文构建的山水林田湖草生态保护与修复框架能为流域尺度构建生态安全格局、实现退化生态系统修复^[3]提供思路和途径。通过洞庭湖流域的分析案例为流域山水林田湖草生态保护与修复重要区域的识别提供了可借鉴的指标和定量分析方法。

洞庭湖流域提供了重要的水源涵养、土壤保持、洪水调蓄和生物多样性保护功能,同时也是我国农产品供给的重要区域,但局部地区面临着较严重的土壤侵蚀问题、生态系统退化和农业面源污染问题。在识别流域生态保护与修复重点区域的基础上,需实施生态系统格局优化和生态环境质量提升工程,包括进一步加快推进退耕还林还湿工程^[19]、实施生物多样性保护修复和生态功能提升工程^[20],同时需综合考虑流域生态环境与社会经济发展状况,关注矿产开发、农业开发等人类活动干扰对生态系统和生态功能的破坏,加强水环境治理和农村生态环境治理、矿区生态修复等。

参考文献 (References):

[1] 邹长新, 王燕, 王文林, 徐德琳, 林乃峰, 李文静. 山水林田湖草系统原理与生态保护修复研究. 生态与农村环境学报, 2018, 34(11):

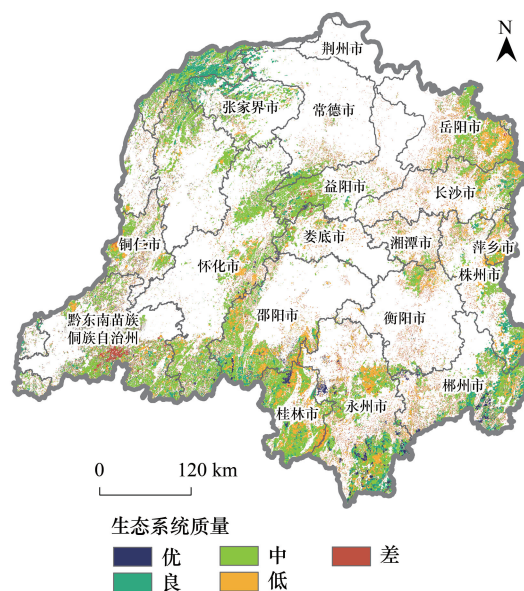


图5 生态保护极重要区的生态系统质量

Fig.5 Ecosystem quality of the important areas of ecological conservation

961-967.

- [2] 王夏晖, 何军, 饶胜, 蒋洪强. 山水林田湖草生态保护修复思路与实践. 环境保护, 2018, 46(3/4): 17-20.
- [3] 邹长新, 王燕, 王文林. 统筹设计 科学分区 强化管理——青海祁连山山水林田湖草生态保护与修复探索实践. 中国生态文明, 2019, (1): 74-75.
- [4] 王波, 王夏晖, 张笑千. “山水林田湖草生命共同体”的内涵、特征与实践路径——以承德市为例. 环境保护, 2018, 46(7): 60-63.
- [5] 吴运连, 谢国华. 赣州山水林田湖草生态保护修复试点的实践与创新. 环境保护, 2018, 46(13): 80-83.
- [6] 孔登魁, 马萧. 构建“山水林田湖草”生态保护与修复的内生机制. 国土资源情报, 2018, (5): 22-29.
- [7] 张进德. 科学实施山水林田湖草生态保护与修复工程. 水文地质工程地质, 2018, 45(3): 3.
- [8] 刘威尔, 宇振荣. 山水林田湖生命共同体生态保护和修复. 国土资源情报, 2016, (10): 37-39, 15-15.
- [9] 欧阳志云. 我国生态系统面临的问题与对策. 中国国情国力, 2017, (3): 6-10.
- [10] 谢永宏, 张琛, 蒋勇. 洞庭湖湿地生态环境演变. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2014.
- [11] Natural Capital Project. InVEST+VERSION+documentation. [2019-07-19]. <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/>.
- [12] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wnag Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Liang L, Wang X K, Yang G B, Gong S H, Wu B F, Zeng Y, Yang W, Daily G C. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. Science, 2016, 352(6292): 1455-1459.
- [13] Rao E M, Ouyang Z Y, Yu X X, Xiao Y. Spatial patterns and impacts of soil conservation service in China. Geomorphology, 2014, 207: 64-70.
- [14] Piao S L, Fang J Y, Ciais P, Peylin P, Huang Y, Sitch S, Wang T. The carbon balance of terrestrial ecosystems in China. Nature, 2009, 458(7241): 1009-1013.
- [15] Fang J Y, Yang Y H, Ma W H, Mohammad A, Shen H H. Ecosystem carbon stocks and their changes in China's grasslands. Science China Life Sciences, 2010, 53(7): 757-765.
- [16] Kong L G, Zheng H, Xiao Y, Ouyang Z Y, Li C, Zhang J J, Huang B B. Mapping ecosystem service bundles to detect distinct types of multifunctionality within the diverse landscape of the Yangtze river basin, China. Sustainability, 2018, 10(3): 857.
- [17] Xu W H, Xiao Y, Zhang J J, Yang W, Zhang L, Hull W, Wang Z, Zheng H, Liu J G, Polasky S, Jiang L, Xiao Y, Shi X W, Rao E M, Lu F, Wang X K, Daily G C, Ouyang Z Y. Strengthening protected areas for biodiversity and ecosystem services in China. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2017, 114(7): 1601-1606.
- [18] 孔令桥, 王雅晴, 郑华, 肖赓, 徐卫华, 张路, 肖洋, 欧阳志云. 流域生态空间与生态保护红线规划方法——以长江流域为例. 生态学报, 2019, 39(3): 835-843.
- [19] 胡长清. 全面推进湿地保护和洞庭湖综合治理. 林业与生态, 2018, (7): 5-7.
- [20] 江波, 李红清, 李志军, 林国俊, 柳雅纯. 基于生态系统服务的洞庭湖湿地生态保护. 湿地科学与管理, 2015, 11(3): 46-50.