

DOI: 10.5846/stxb201605230993

房志, 徐卫华, 张晶晶, 肖燧, 张路. 基于生物多样性与生态系统服务功能的秦岭山系自然保护体系规划. 生态学报, 2017, 37(16): 5334-5341.

Fang Z, Xu W H, Zhang J J, Xiao Y, Zhang L. Designing protected area systems in the Qinling Mountains based on biodiversity and ecosystem service evaluation. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(16): 5334-5341.

基于生物多样性与生态系统服务功能的秦岭山系自然保护体系规划

房志¹, 徐卫华^{2,*}, 张晶晶^{2,3}, 肖燧², 张路²

1 环境保护部自然生态保护司, 北京 100035

2 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

3 中国科学院大学, 北京 100049

摘要: 生物多样性与生态系统服务是目前生态保护的两大主要目标, 在保护区体系规划设计中兼顾两个保护目标有助于发挥自然保护区的综合效益。以生物多样性与生态系统服务功能都重要的秦岭山系为研究区域, 在生物多样性、水源涵养和土壤保持重要性评估的基础上, 通过空缺分析, 提出了秦岭山系的保护区体系优化方案。研究表明, 现有的自然保护区保护了 33.5% 的生物多样性极重要区, 22.9% 的水源涵养极重要区, 但是只保护了 7.4% 的土壤保持极重要区; 建议在秦岭主峰、秦岭西部和东南部分别建立自然保护区群和生态功能保护区, 保护区面积占秦岭山系总面积的 31.4%, 使生物多样性、水源涵养、土壤保持的极重要区的保护比例达 76.2%、70.5% 和 41.5%, 生态保护效益得到提升。研究结果可以为秦岭山系生态保护政策的制定提供参考, 同时对于其他地区自然保护体系规划, 以及国家公园构建也具有重要的借鉴意义。

关键词: 秦岭山系; 生物多样性; 生态系统服务功能; 保护体系规划; 水源涵养; 土壤保持

Designing protected area systems in the Qinling Mountains based on biodiversity and ecosystem service evaluation

FANG Zhi¹, XU Weihua^{2,*}, ZHANG Jingjing^{2,3}, XIAO Yi², ZHANG Lu²

1 Department of Nature and Ecology Conservation, Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, Beijing 100035, China

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

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

Abstract: Biodiversity and ecosystem services are the two major targets in ecological protection. Considering both biodiversity and ecosystem services in ecological protection designing will contribute to the comprehensive effects of protected area networks. In this study, biodiversity and ecosystem services, including water supply and soil retention, were evaluated in the Qinling Mountains. On the basis of these evaluations, gap analysis was carried out and a protected area network was proposed. The results showed that the current nature reserves covered 33.5% of the highly important area for biodiversity and 22.9% for water supply, but only 7.4% for soil retention. We propose to establish a protected area network that includes nature reserves and ecosystem service reserves in middle Qinling, Southwest Qinling, and Southeast Qinling. The protected area network will cover 31.4% of the entire Qinling area, and encompass a high proportion of highly important areas for biodiversity (76.2%), water supply (70.5%), and soil retention (41.5%). The results of this study will provide

基金项目: 国家自然科学基金(41671534)

收稿日期: 2016-05-23; 网络出版日期: 2017-03-27

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

a basis for ecological conservation policy in these mountains, and also have implications for the establishment of protected area systems in other regions.

Key Words: Qinling Mountains; biodiversity; ecosystem service; protected area designing; water supply; soil retention

目前生物多样性和生态系统服务是生态保护的主要两大主要目标^[1]。建立自然保护区是减缓人类活动强度,实现生物多样性和生态系统服务两大保护目标的主要途径。但在保护实践尤其是自然保护区设计与规划中,生物多样性仍然是保护主体,生态系统服务很少能得到充分考虑。因此,如何在保护资源有限的前提下兼顾二者的保护需求、实现生态保护效益的最大化是生态保护领域的热点和难点。

生物多样性与生态系统服务二者之间的空间关系是实现二者保护效益最大化的关键之一。但是二者的空间关系随研究的尺度不同而存在差异。在全球尺度上,生物多样性热点地区与生态系统服务热点地区在空间上并不完全一致,一些生态系统服务高的地区并未被生物多样性热点地区所涵盖^[2]。但在区域尺度上,例如中国的海河流域,生态系统服务与生物多样性之间存在很高的空间一致性^[3]。此外,二者的空间关系还受生物多样性与生态系统服务类型的影响,由于生物多样性包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性等不同层次,而生态系统服务又包括产品提供、调节功能、文化功能和支持功能等多个方面,当研究对象、尺度、区域等不同时,都会导致生物多样性和生态系统服务关系的存在不确定性^[4-6]。

尽管保护生物多样性和生态系统服务之间的空间关系存在不确定性,二者的保护优先程度也存在权衡,但仍然可以通过系统规划实现二者的协调^[7],同时将生态系统服务纳入保护规划也可能是最具成本效益的保护途径^[8]。南非和南北美洲的研究表明,基于生物多样性的保护规划能够使生态系统服务得到一定的程度保护,且基于生态系统服务的保护项目更容易吸引保护资金^[9-10]。因此,将生态系统服务纳入自然保护规划体系成为当前保护生物学和生态系统管理的研究热点^[8]。

秦岭山系是我国南北气候的分界线,不仅是我国生物多样性保护优先区,还是我国南水北调的主要水源地,生态服务功能十分重要,因此在保护实践中需要兼顾二者的保护需求。目前该山系已建立了 34 个自然保护区,但主要以保护大熊猫等濒危物种为主,对生态系统服务功能的保护成效并不清楚。本研究拟在生物多样性和生态系统服务功能空间格局评估的基础上,评估现有的自然保护区空间布局的合理性,识别空缺区域,并提出该区域的保护区体系规划方案,以期为该区域生态保护政策的制定及优化提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域

本研究区域位于陕西中南部的秦岭山系,涉及太白、眉县、周至等 38 个县级行政区,总面积达 5.8 万 km²。秦岭主峰为太白山,海拔 3767m(图 1)。秦岭山系是我国南北气候的分界线,同时也是重要的生物地理分界线。复杂的地形与多样的气候与土壤条件为生物生存提供了良好的条件,生物多样性资源丰富,是我国生物多样性保护优先区域之一。秦岭山系有种子植物 159 科 892 属 3,124 种、野生脊椎动物 35 目 115 科 365 属 736 种,其中国家一级重点保护野生动物 19 种,包括大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)、羚牛(*Budorcas taxicolor*)等^[11-12]。同时,该区域具有重要的水源涵养和土壤保持功能,是我国重要的生态功能区,是南水北调的重要水源区、西安等大城市的重要饮用水源地。因此该山系的生态环境的保护对于保障区域生态安全和社会经济发展具有十分重要的意义。

为了保护秦岭大熊猫及其它珍稀濒危物种,自 1978 年建立第一个自然保护区——佛坪大熊猫自然保护区以来,已经在秦岭山系建立自然保护区 34 个,保护区总面积逾 5000km²,包括佛坪、长青、太白山等 10 多个国家级自然区,使秦岭山系的生物多样性得到了较好的保护。

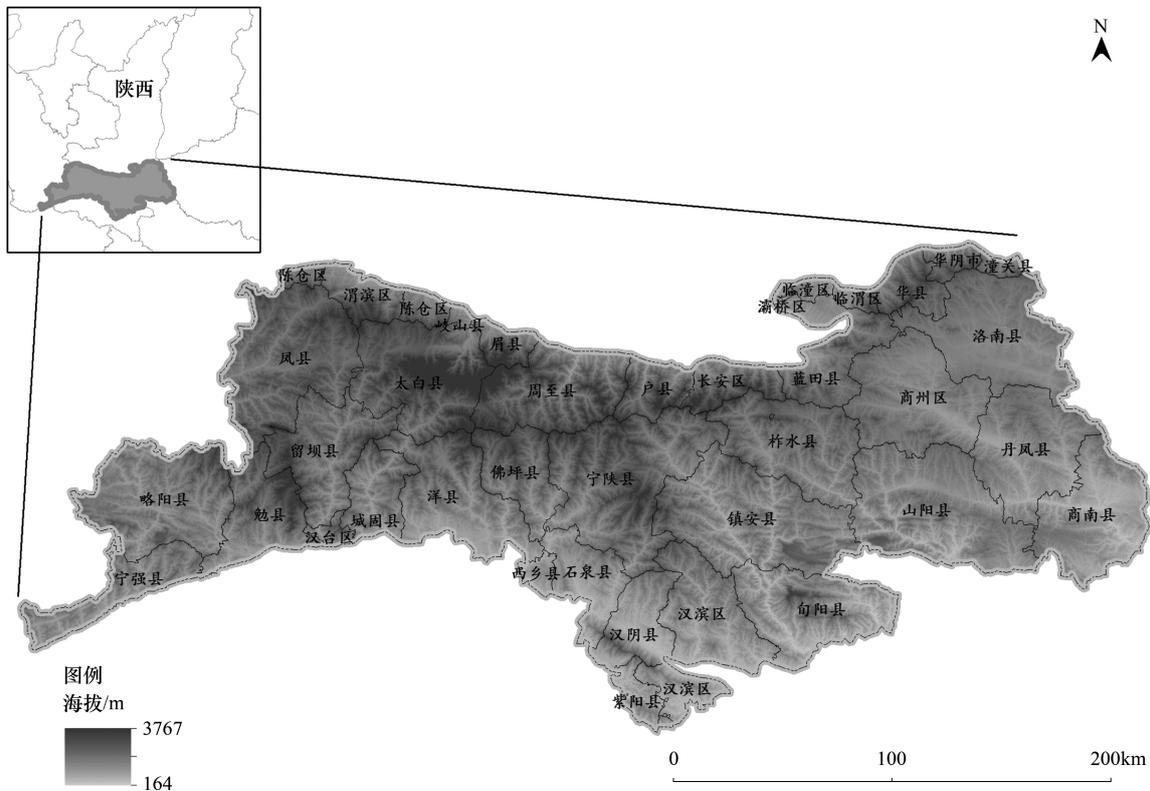


图1 秦岭山系位置示意图

Fig.1 Location of Qinling Mountains

1.2 研究方法

1.2.1 生物多样性评估

本研究选择珍稀濒危的动植物物种作为生物多样性评价指标,通过物种的筛选、栖息地的评估和重要区的识别来明确生物多样性保护的重要区域。

首先,确定物种的筛选准则。主要包括:(1)国家重点保护物种;(2)《中国生物多样性红色名录》确定的受威胁物种;(3)数据的可获得性。参照《国家重点保护野生植物名录》和《国家重点保护野生动物名录》来选择国家一、二级保护动物;根据《中国生物多样性红色名录》^[13-14],筛选极危、濒危和易危3个等级的动植物物种。根据数据的可获得性,共选择50种指示物种进行评价,其中包括植物12种,动物38种。

其次,进行潜在栖息地的评估。采取机理模型对所选取的物种来进行栖息地评价^[15],主要考虑物种分布区、分布海拔和植被类型3个因子,通过叠加分析,明确每个物种的潜在栖息地。物种分布区和栖息地的需求信息主要来自国内外权威的数据库,以及有关物种的论文与专著。海拔分布图来自于美国NASA的DEM,分辨率为90m,植被分布图来自于2010年全国生态系统评估数据,分辨率为30m。

最后,重要区域的确定。对所有物种的潜在栖息地进行叠加,根据叠加数值的大小划分为4个等级,将50%以上物种的集中分布区确定为极重要区,25%—50%的物种集中分布区为重要区,其余的物种栖息地为较重要区,非栖息地分布区为一般地区。

1.2.2 生态系统服务功能评估

(1) 水源涵养功能

采用降水贮存量法,即用生态系统的蓄水效应来衡量其涵养水分的功能(公式(1)—公式(3)),参见全国生态环境遥感十年评估的方法^[16]。

$$Q = A \times J \times R \quad (1)$$

$$J = J_0 \times K \quad (2)$$

$$R = R_0 - R_g \quad (3)$$

式中, Q 为与裸地相比较,森林、草地、湿地、耕地等生态系统涵养水分的增加量($\text{mm hm}^{-2} \text{a}^{-1}$); A 为生态系统面积(hm^2); J 为计算区多年均产流降雨量($P > 20\text{mm}$)(mm); J_0 为计算区多年均降雨总量(mm); K 为计算区产流降雨量占降雨总量的比例; R 为与裸地(或皆伐迹地)比较,生态系统减少径流的效益系数; R_0 为产流降雨条件下裸地降雨径流率; R_g 为产流降雨条件下生态系统降雨径流率。

(2) 土壤保持功能

采用通用水土流失方程进行评价,通过降雨、坡度坡长、植被和土壤等因素评价生态系统土壤保持功能的强弱。在具体计算的时候,需要利用已有实测的土壤保持数据对模型模拟结果进行验证,并且修正参数,详见全国生态环境遥感十年评估的方法^[16]。

$$A = R \times K \times LS \times (1 - C) \quad (4)$$

式中, A 表示土保持量; R 为降雨侵蚀力; K 为土壤可蚀性; LS 为坡度-坡长因子; C 为植被覆盖因子; P 为管理因子。

(3) 生态系统服务重要性评估

生态系统服务重要性指示不同生态单元的生态保护意义。首先以秦岭地区水源涵养和土壤保持量为基础,分别计算其重要性。根据重要性大小分为 4 级,将功能量最高的 50% 的区域划分为极重要区,50%—75% 的区域划分为重要区,75%—90% 的区域为较重要地区,其余为一般地区。

将生物多样性保护、水源涵养和土壤保持的重要性结果进行叠加,取三者的最高等级作为生态保护的最终重要性等级。

1.2.3 保护空缺分析及自然保护体系设计

以生物多样性保护重要性与生态系统服务重要性为基础进行保护网络设计,通过 GAP 分析,将秦岭地区生态系统分布图、生物多样性保护重要性分布图、生态系统服务重要性图与自然保护区分布现状图进行叠加分析,识别出生物多样性与生态系统服务功能极重要区域中尚未分布在保护区内的空间单元。并根据如下规则进行规划:(1)自然保护区外生物多样性与生态系统服务都为极重要的地区,或者只有生物多样性极重要的地区,建议新建或扩建自然保护区;(2)自然保护区外,生物多样性保护不重要、但生态系统服务极重要的地区,建议新建生态功能保护区。

2 研究结果

2.1 生物多样性保护与生态系统服务功能重要性格局

(1) 生物多样性

秦岭山系生物多样性保护重要区主要分布在中西部的中高海拔地区,集中分布在太白、周至、洋县、佛坪、宁陕等县(市),以及城固、留坝、凤县、户县、眉县等县的部分地区,另外在略阳、宁强、勉县等县(市)山区也有分布(图 2)。其中,极重要与重要地区面积分别为 7882.8km^2 与 7295.3km^2 ,占山系总面积的 13.6% 和 12.6% (表 1)。较重要地区主要分布在秦岭山系的中东部与南部的部分地区,面积为 18532.1km^2 ,占山系总面积的 32.0%。

(2) 水源涵养功能评估

秦岭山系水源涵养功能极重要区主要分布在中西部地区的太白、眉县、周至、户县、城固、洋县、佛坪、宁陕等区县,另外,西南部的勉县和留坝,南部的西乡、汉阴、资阳与旬阳的部分地区分布也较为集中(图 2),占山系总面积的 25.2% (表 1)。水源涵养重要地区主要分布在西部与东南部地区的凤县、留坝、镇安、旬阳等区县,占总面积的 19.7%。较重要地区主要分布在秦岭山系的中东部地区,占总面积的 17.2%。

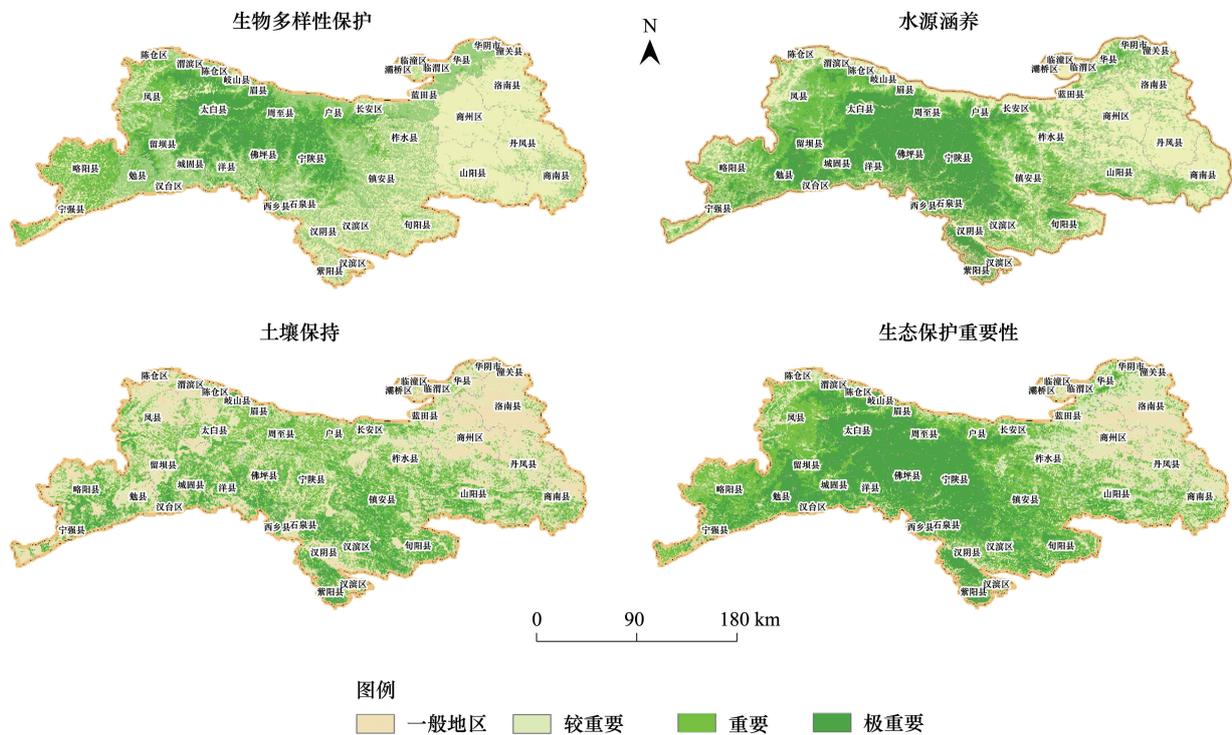


图 2 秦岭山系生物多样性与生态服务功能重要性空间分布

Fig.2 Spatial patterns of biodiversity and ecosystem services importance in Qinling Mountains

表 1 秦岭山系生态保护重要性等级面积与比例

Table 1 Area and proportion of ecological protection importance in Qinling Mountains

类型 Types	极重 Highly important		重要 Important		较重要 Moderately important		一般 Common area	
	面积/km ²	%	面积/km ²	%	面积/km ²	%	面积/km ²	%
生物多样性保护 Biodiversity conservation	7882.8	13.6	7295.3	12.6	18532.1	32.0	24151.8	41.7
水源涵养 Water supply	14586.9	25.2	11407.1	19.7	9933.9	17.2	21934.1	37.9
土壤保持 Soil retention	14323.6	24.8	12820.1	22.2	11275.0	19.5	19443.3	33.6
综合重要性 Comprehensive importance	22392.6	38.7	15217.7	26.3	12498.2	21.6	7753.5	13.4

(3) 土壤保持功能评估

秦岭山系土壤保持功能极重要区主要分布在中南部的镇安、旬阳、安康、紫阳、石泉、洋县、城固、略阳等区县(图 2), 占山系总面积的 24.8%(表 1)。水源涵养重要地区主要分布在中北部的太白、周至、宁陕、户县等区县, 占总面积的 22.2%。较重要地区主要分布在秦岭山系的中部, 占总面积的 19.5%。

(4) 生物多样性与生态系统服务功能综合分析

秦岭山系生物多样性重要区域与水源涵养功能的重要区域具有较大的重叠性, 都主要分布在秦岭中段。与二者不同的是, 土壤保持重要区域主要分布在中南部地区。综合考虑生物多样性、水源涵养和土壤保持三者的重要性, 秦岭山系生态保护极重要与重要地区分别为 22392.6 km²和 15217.7 km², 占总面积的 38.7%和 26.3%(表 1), 主要分布在秦岭中段, 西秦岭南部, 以及东秦岭南部。生态保护较重要地区面积为 12498.2 km², 占总面积的 21.6%, 主要分布在秦岭东部地区(图 2)。

2.2 保护状况分析与自然保护体系规划

目前秦岭山系已建立了自然保护区 34 个, 占整个秦岭山系总面积的 9.8%, 集中分布在秦岭山系的中西部地区。自然保护区与生物多样性及水源涵养功能重要区域的重叠度相对较高, 生物多样性与水源涵养极重

要区在自然保护区的保护比例分别为 33.5% 和 22.9%。但自然保护区对土壤保持功能的保护不够,仅涵盖了 7.4% 的极重要区。尤其是在水源涵养与土壤保持功能都重要的西南与东南部地区,保护区分布很少,存在较大的保护空缺。

基于生物多样性与生态系统服务重要性评估结果,通过新建和扩建自然保护区,新建生态功能保护区,来构建整个秦岭山系的保护体系(图 3)。

(1) 秦岭中段自然保护区群。秦岭中段主峰太白山及周边区域包括太白、周至、城固、洋县、佛坪、宁陕等县(市),是大熊猫、金丝猴、扭角羚等珍稀濒危物种的集中分布区,目前已经建立了 14 个自然保护区,包括太白山、佛坪、长青等国家级自然保护区,但仍有部分重要栖息地位于自然保护区以外。建议以现有的自然保护区为基础,通过在娘娘山、板桥等地新建与扩建自然保护区,建立秦岭中段自然保护区群,使珍稀濒危物种及其生境能得到有效保护。同时建议在物种隔离的关键地段建设生态廊道,恢复自然栖息地,促进物种之间的交流。由于该区域也是水源涵养重要区,自然保护区群的建设也能促进水源涵养功能的保护与恢复。

(2) 西秦岭南部保护区。西秦岭南部区域包括留坝、勉县、略阳等县(市),具有水源涵养、土壤保持等生态系统功能,同时也分布有扭角羚、大鲵等珍稀物种。目前该区域已建立了紫柏山、宝峰山与略阳大鲵三个省级自然保护区,使物种的主要栖息地得到了保护,但大部分的水源涵养与土壤保持的重要区域仍位于保护区外。建议在该区域的勉县北部、留坝南部等地新建生态功能保护区,使主要的生态系统服务功能得到有效保护与恢复。

(3) 东秦岭南部生态功能保护区。东秦岭区域包括镇安、旬阳、紫阳、安康市汉滨区、汉阴等县(市),是主要的水源涵养区,同时土壤保持功能也十分重要,珍稀濒危动物分布较少。建议在该区域新建生态功能保护区,使水源涵养和土壤保持极重要的区域得到保护。

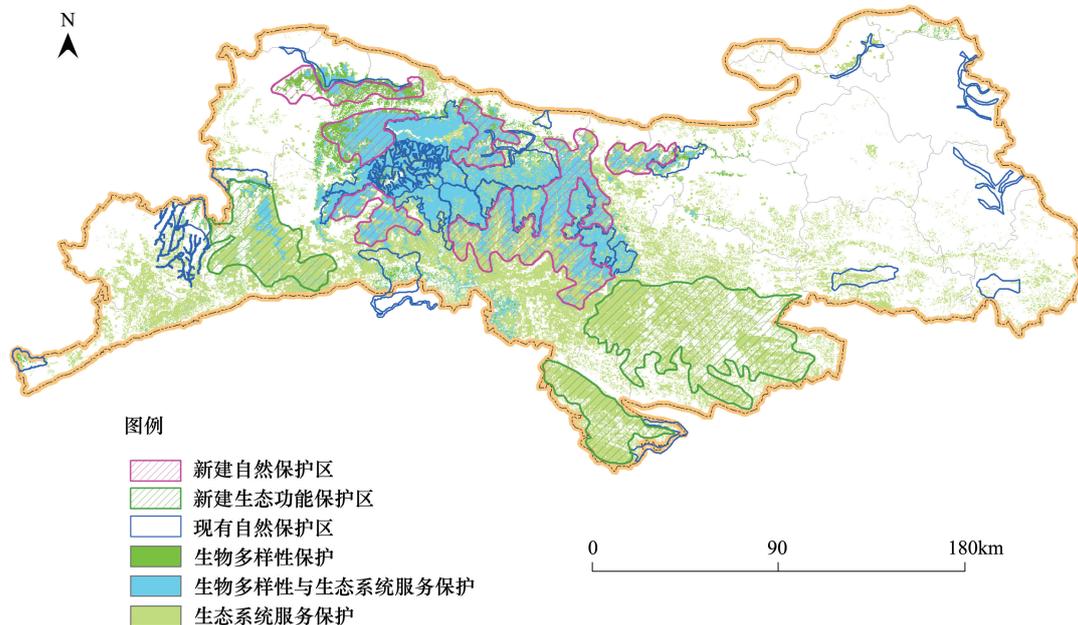


图 3 秦岭山系保护区体系规划

Fig.3 Protected area systems designing in Qinling Mountains

3 讨论

生物多样性与生态系统服务是目前生态保护的两大主要目标,兼顾生物多样性与生态系统服务的自然保护区规划有助于发挥保护区的综合效益,更容易使地方政府和居民接受,从而有利于自然保护区的建设^[17]。同时,由于生物多样性保护重要区域与其他生态系统服务保护重要区域在空间上并不完全重叠,秦岭

山系生物多样性重要区域与水源涵养功能的重要区域具有较大的重叠性,都主要分布在秦岭中段,但土壤保持重要区域主要分布在中南部地区,因此,以生物多样性为主要保护对象建立的自然保护区并不能完全兼顾其他服务功能的保护需求。为了使生物多样性与生态系统服务功能都得到保护,急需对现有的保护体系进行优化。

本研究提出的基于生物多样性与生态系统服务的保护体系规划提高了保护效率。以生物多样性、水源涵养、土壤保持空间格局为基础,提出了自然保护体系优化方案,将使生态重要区域的保护比例大大提高。生物多样性极重要区的保护比例由现状的 33.5% 提高至 76.2%,水源涵养极重要区的保护比例由 22.9% 提高至 70.5%,土壤保持极重要区的保护比例由 7.4% 提高至 41.5%,使秦岭山系大部分生态重要区域得到较为严格的保护。

建议针对保护对象和保护区类型的不同采取相应的管理对策。对于生物多样性为主要保护对象的秦岭中部区域,建议尽快新建与扩建自然保护区,严格禁止或控制威胁生物多样性的开发活动,通过生态廊道建设和栖息地的恢复增强野生动植物栖息地的连通性。对于水源涵养生态功能保护区,应该禁止开展与保护水源无关的建设项目,并通过退耕还林还草、生态恢复提高水源涵养能力,保障南水北调、西安等大城市对水资源的需求。对土壤保持生态功能保护区,开展小流域综合治理和退耕还林还草等生态工程,增加区域植被覆盖,降低区域水土流失。建议在本研究的基础上,构建秦岭国家公园,统筹自然保护区、生态功能保护区,以及风景名胜、森林公园、地质公园等其他各类自然保护地,对秦岭山系生态系统进行统一规划与管理。

综合考虑生物多样性与生态系统服务是保护评价和规划是今后的发展方向^[8]。生物多样性一直是生态保护的主要目标,但近年来我国自然保护区面积变化不大,稳定在国土面积的 15% 左右,因此要大幅增加陆地自然保护区面积可能性不大。然而,以生态系统服务为主要保护对象的保护区很少,通过建立生态功能保护区提升自然保护空间的潜力巨大。因此结合自然保护区与生态功能保护区来完善自然保护体系是一种可行的途径。本研究建立了兼顾生物多样性和生态系统服务的区域自然保护体系规划方法,提出了秦岭山系的自然保护体系,为秦岭山系保护区的建设明确了方向,同时对于全国其他地区自然保护体系规划、以及国家公园的构建也具有借鉴意义。

参考文献 (References):

- [1] Mace G M. Whose conservation?. *Science*, 2014, 345(6204): 1558-1560.
- [2] Turner W R, Brandon K, Brooks T M, Costanza R, da Fonseca G A B, Portela R. Global conservation of biodiversity and ecosystem services. *BioScience*, 2007, 57(10): 868-873.
- [3] Bai Y, Zhuang C W, Ouyang Z Y, Zheng H, Jiang B. Spatial characteristics between biodiversity and ecosystem services in a human-dominated watershed. *Ecological Complexity*, 2011, 8(2): 177-183.
- [4] Díaz S, Lavorel S, de Bello F, Quétier F, Grigulis K, Robson T M. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2007, 104(52): 20684—20689.
- [5] Anderson B J, Armsworth P R, Eigenbrod F, Thomas C D, Gillings S, Heinemeyer A, Roy D B, Gaston K J. Spatial covariance between biodiversity and other ecosystem service priorities. *Journal of Applied Ecology*, 2009, 46(4): 888-896.
- [6] Naidoo R, Balmford A, Costanza R, Fisher B, Green R E, Lehner B, Malcolm T R, Ricketts T H. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9495-9500.
- [7] Chan K M A, Shaw M R, Cameron D R, Underwood E C, Daily G C. Conservation planning for ecosystem services. *PLoS Biology*, 2006, 4(11): e379.
- [8] Chan K M A, Hoshizaki L, Klinkenberg B. Ecosystem services in conservation planning: less costly as costs and side-benefits. *BC Journal of Ecosystems and Management*, 2011, 12(1): 98-100.
- [9] Egoh B, Reyers B, Rouget M, Bode M, Richardson D M. Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa. *Biological Conservation*, 2009, 142(3): 553-562.
- [10] Goldman R L, Tallis H, Kareiva P, Daily G C. Field evidence that ecosystem service projects support biodiversity and diversity options. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(27): 9445-9448.

- [11] 徐卫华, 罗翀, 欧阳志云, 张路. 区域自然保护区群规划——以秦岭山系为例. 生态学报, 2010, 30(6): 1648-1654.
- [12] Xu W H, Viña A, Qi Z X, Ouyang Z Y, Liu J G, Liu W, Wan H. Evaluating conservation effectiveness of nature reserves established for surrogate species: case of a giant panda nature reserve in Qinling Mountains, China. Chinese Geographical Science, 2014, 24(1): 60-70.
- [13] 环境保护部, 中国科学院. 关于发布《中国生物多样性红色名录——高等植物卷》的公告. 公告 2013 年第 54 号. 北京: 环境保护部, 2013.
- [14] 环境保护部, 中国科学院. 关于发布《中国生物多样性红色名录——脊椎动物卷》的公告. 公告 2015 年第 32 号. 北京: 环境保护部, 2015.
- [15] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 谭迎春, 张和民. 卧龙自然保护区大熊猫生境评价. 生态学报, 2001, 21(11): 1869-1874.
- [16] Ouyang Z Y, Zheng H, Xiao Y, Polasky S, Liu J G, Xu W H, Wang Q, Zhang L, Xiao Y, Rao E M, Jiang L, Lu F, 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.
- [17] 肖麓, 陈圣宾, 张路, 岳平, 欧阳志云, 刘贤词. 基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划. 生态学报, 2011, 31(24): 7357-7369.