

昆嵛山国家级自然保护区生态系统服务价值演变

张文馨¹, 范小莉¹, 王强², 房用¹, 时良³, 梁玉¹

(1.山东省林业科学研究院, 济南 250014; 2.山东省林业外资与工程项目管理站, 济南 250014; 3.烟台市昆嵛山林场, 山东 烟台 264112)

摘要:昆嵛山国家级自然保护区位于山东省东部沿海,是胶东半岛重要的生态屏障区,研究该区土地利用类型和生态系统服务价值的动态变化,为进一步明确该区域主体服务功能,完善昆嵛山自然保护地体系构建提供科学依据。通过解译 2008—2018 年的遥感影像数据,分析不同土地利用类型动态变化,运用当量因子法估算昆嵛山国家级自然保护区生态系统服务价值。结果表明 2008—2018 年昆嵛山国家级自然保护区土地利用类型变化主要是裸地及其他、耕地和林地之间的转移,面积增加最多的土地利用类型是林地,面积减少较大的土地利用类型是耕地、裸地及其他。2008—2018 年,昆嵛山国家级自然保护区生态系统服务价值由 3.36 亿元增长至 3.68 亿元,食物生产功能价值呈减少趋势,原料生产、水资源供给、气体调节、气候调节、净化环境、水文调节、土壤保持、维持养分循环、生物多样性、美学景观功能价值均呈不同程度的增长趋势,其中气候调节和水文调节功能价值增长显著。生态功能是昆嵛山的主要服务功能,其中调节服务是昆嵛山的主要生态功能。不同土地利用类型中,林地的生态服务能力较高,也是维持昆嵛山生态系统服务的主体,昆嵛山自然保护区土地利用结构向着增强其生态功能的方向发展。

关键词:昆嵛山; 土地利用变化; 生态系统价值评估

中图分类号: X171.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2022)01-0288-07

Evolution of Ecosystem Service Value of Kunyu Mountain National Nature Reserve

ZHANG Wenxin¹, FAN Xiaoli¹, WANG Qiang², FANG Yong¹, SHI Liang³, LIANG Yu¹

(1.Shandong Academy of Forestry, Jinan 250014, China; 2.Forestry Foreign Investment and Project Management Station of Shandong Province, Jinan 250014, China; 3.Kunyu Mountain Forest Farm of Yantai City, Yantai, Shandong 264112, China)

Abstract: Kunyu Mountain National Nature Reserve is located in the east of Shandong coastline which is the important ecological barrier area to Jiaodong Peninsula. In order to clarify the main service function of this region and provide a scientific basis for the construction of natural protected area system in Kunyu Mountain, the dynamic changes of land use types and ecosystem service values in this area were examined in this study. We analyzed the dynamic change of different land use types based on the remote sensing image data from 2008 to 2018 by using the equivalent factor method to estimate the ecosystem service value of Kunyu Mountain National Nature Reserve. The results show that the change of land use types in Kunyu Mountain National Nature Reserve from 2008 to 2018 was mainly the transfer between bare land and other land, cultivated land and woodland; among them, the largest increase in area was woodland, while the largest decrease in area was cultivated land, bare land and other land; during the same period, the ecosystem service value of Kunyu Mountain area increased from 336 million yuan to 368 million yuan; the food production function value showed a decrease trend, the value of raw material production, water supply, gas regulation, climate regulation, purifying environment, hydrology regulation, soil retention, maintaining nutrient cycling, biological diversity and aesthetic landscape functions showed the increase trend, the value of climate regulation and hydrological adjusting function increased significantly. This study indicated that the ecological function was

收稿日期: 2021-01-12

修回日期: 2021-02-07

资助项目: 山东生物多样性调查专题“昆嵛山自然保护区生物多样性调查与研究”(0010068); 山东省农业科技资金项目“山东林草自然资源生命共同体服务功能维持机制与适应性管理研究”(2019LY010)

第一作者: 张文馨(1989—), 女, 山东济南人, 博士研究生, 高级工程师, 研究方向为生态学。E-mail: zhangwenxin_508@163.com

通信作者: 梁玉(1979—), 女, 山东潍坊人, 博士研究生, 研究员, 研究方向为生态学。E-mail: ly7779@163.com

the main service function, and the regulating service was the main ecological function of Kunyu Mountain. The woodland had higher ecological service ability among the different types of lands, and also maintained the ecosystem service in Kunyu Mountain. The development of land use structure of Kunyu Mountain Nature Reserve was towards the direction of enhancing ecological function.

Keywords: Kunyu Mountain; land use change; ecosystem value assessment

生态系统服务是指生态系统和生态过程所形成并维持人类生存所必需的环境条件及获得的福祉^[1-3]。生态系统服务价值(ecosystem service value, ESV)核算是表征一个地区生态环境变化的重要指标,是实现生态安全,评估生态保护成效的重要手段^[3-5],基于此,ESV 在相关研究领域成为国内外研究的重点和热点^[6]。1997 年,Costanza 首次对全球生态系统服务价值进行了核算^[7],推进了 ESV 研究的快速发展。作为生态系统服务价值主要估算方法之一,基于土地利用/覆被数据的面积当量法在 ESV 研究中发挥了重要作用^[8],尤其是谢高地对中国多种陆地生态系统单位面积 ESV 当量表修订后^[9],该方法在核算森林、湿地等 ESV 及分析土地利用对 ESV 影响等多个领域都取得了显著进展,黄木易等对 1970—2015 年大别山区生态服务价值进行测算^[10],邓楚雄等分析了洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化^[11],王航等分析了土地利用及景观格局演变对淮河流域上游生态系统服务价值的影响^[12],薛冰等评估了贵州省森林生态系统服务功能^[13],娄佩卿等分析了 1998—2018 年京津冀土地利用变化对生态系统服务价值的影响^[14],这些研究成果为我国国土空间管制^[15]、重点生态功能区管理和国家生态安全格局的构建^[16-17]及自然保护地生态补偿等^[18]方面提供了有益参考。

昆崙山国家级自然保护区成立于 2008 年,是山东省第一个森林生态类型的国家级自然保护区^[19],也是山东省重要生态功能区,在保护生物多样性、涵养水源、水土保持等方面发挥了重要作用。昆崙山国家级自然保护区地处我国东部沿海的经济发达地区,经济的快速发展和频繁的人类活动对该区域的生态系统造成了较大威胁,也使得土地利用类型发生了变化。土地作为经济发展和人类活动的基础,其类型的变化对生态系统服务功能及价值产生明显的影响^[11,20-21]。目前针对昆崙山区域的生态系统价值评估,主要采用影子工程法、机会成本法、市场价值法及利用森林资源调查及长期监测数据进行核算^[22-23],在区域尺度上基于土地利用/覆被数据的面积当量法计算昆崙山区域的 ESV 尚未见报道。本文研究 2008—2018 年不同时期土地利用类型变化背景下保

护区 ESV 的变化,掌握自然保护区经过十年的发展后其生态系统服务功能价值的动态变化,为自然保护区整合、生态效益补偿等提供重要参考,从而进一步明确保护区的生态功能定位,促进昆崙山国家级自然保护区的可持续发展。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

昆崙山国家级自然保护区位于山东半岛东部,跨牟平、文登两区(市),地理坐标为东经 121°37'0"—121°51'0",北纬 37°12'20"—37°18'50"。保护区气候属暖温带季风型大陆性气候,受太平洋暖湿气流和西伯利亚干冷气流控制,具有四季分明,季风显著,雨热同期,空气湿润,温差较小,光照充足等特点。年均气温 11.9℃,年均降水 984.4 mm,年均蒸发量 1 923.4 mm,年均相对湿度 71%,无霜期 200 d 左右。昆崙山国家级自然保护区森林覆盖率 77.07%,属于典型的森林生态系统,是我国天然赤松林面积最大、保护最为完整的区域,在世界上也具有代表性^[22-23]。

1.2 数据来源与处理

研究中 2008 年、2013 年和 2018 年不同时期昆崙山的遥感影像分别是由 Landsat TM 数据和 Landsat OLI 数据组成,分辨率 30 m。其中,2008 年遥感影像数据采用的是陆地卫星 TM5 数据,2013 年遥感影像数据以及 2018 年的遥感影像数据则采用陆地卫星 Landsat OLI 数据。研究所利用数据均从地理空间数据云平台和中国科学院遥感和数字研究所数据共享平台获取。

根据昆崙山国家级自然保护区土地利用现状和研究目标,参照土地利用现状分类标准(GB/T21010—2007),将研究区的土地利用分为 5 类,分别为林地、耕地、建设用地、水域、裸地及其他用地。

1.3 土地利用动态度分析

土地利用动态度是评价一定时期内不同土地利用类型变化速度的指标,包括单一土地利用类型动态度和综合土地利用动态度^[24-26]。

单一土地利用类型动态度:

$$K = \frac{U_a - U_b}{U_b} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 为研究期某种土地利用类型动态度(%); U_a 和 U_b 分别为研究期末和期初某种土地利用类型面积(hm^2); T 为研究时长(a)。

综合土地利用动态度 C (%):

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n U_{i,j}}{2 \sum_{i=1}^n U_i} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中: U_i 为研究期初第 i 类土地利用类型面积(hm^2); $U_{i,j}$ 为研究期第 i 类土地利用类型转为非 i 类土地利用类型面积的绝对值(hm^2); T 为研究时长(a); n 为研究区的土地利用类型总数。

1.4 生态系统服务价值核算

本研究的生态系统服务价值核算运用当量因子法,参照谢高地等人研究结果,将昆崙山生态系统服务类型分为供给服务、调节服务、支持服务和文化服务 4 个一级类型,进一步细化为食物生产、原料生产、水资源供给、气体调节、气候调节、水文调节、净化环境、土壤保持、维持养分循环、生物多样性和美学景观 11 个二级类型^[9,27]。

根据谢高地等人制定的价值当量表以及对价值当量的计算,结合我国不同省份农田生态系统生物量因子^[9,28],根据昆崙山实际,对自然保护区各生态系统的服务价值系数进行修正:林地对应针阔混交林,耕地对应旱地,水域为湿地和水系的平均值,裸地及其他对应裸地,建设用地不考虑生态系统服务价值,从而得出昆崙山单位面积生态系统服务价值当量(表 1)和生态系统服务价值系数(表 2)。

生态系统服务价值计算引用 Costanza 等^[7] 计算公式为:

$$ESV = \sum_{i=1}^n A_i \times VC_i \quad (3)$$

$$ESV_f = \sum_{i=1}^n A_i \times VC_{fi} \quad (4)$$

式中: ESV 为昆崙山生态系统服务价值总量(元); A_i 为第 i 类土地利用类型面积(hm^2); VC_i 为第 i 类土地利用类型对应的价值系数(元/ $\text{hm}^2 \cdot \text{a}$); n 为研究区的土地利用类型总数。 ESV_f 为昆崙山生态系统各类服务价值(元); VC_{fi} 为各类服务功能价值系数[元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)]。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化分析

2.1.1 不同土地利用类型变化分析 基于遥感解译的 2008—2018 年昆崙山土地利用类型及其面积比例见图 1 和表 3。昆崙山土地利用类型为林地、耕地、建设用地、水域、裸地及其他。其中林地为最主要的

土地利用类型,2008 年、2013 年、2018 年面积分别为 10 551 hm^2 , 10 715 hm^2 , 11 554 hm^2 , 面积占比分别为 67.75%, 68.81% 和 74.19%, 分布范围较广; 其次为耕地, 主要分布于昆崙山的西北方向, 2008 年、2013 年、2018 年面积分别为 3 458 hm^2 , 3 369 hm^2 , 2 896 hm^2 , 面积占比分别为 22.21%, 21.63% 和 18.59%; 裸地及其他分布较为分散, 2008 年、2013 年、2018 年面积分别为 1 238 hm^2 , 1 059 hm^2 , 666 hm^2 , 面积占比分别为 7.95%, 6.8% 和 4.27%。

表 1 昆崙山自然保护区生态系统服务价值当量因子

一级类型	二级类型	林地	耕地	水域	建设用地	裸地及其他
供给服务	食物生产	0.43	1.17	0.91	0.00	0.00
	原料生产	0.98	0.55	0.51	0.00	0.00
	水资源供给	0.51	0.03	7.51	0.00	0.00
调节服务	气体调节	3.24	0.92	1.85	0.00	0.03
	气候调节	9.70	0.50	4.07	0.00	0.00
	净化环境	2.75	0.14	6.32	0.00	0.14
	水文调节	4.84	0.37	87.27	0.00	0.04
支持服务	土壤保持	3.95	1.42	4.47	0.00	0.03
	维持养分循环	0.30	0.17	0.18	0.00	0.00
文化服务	生物多样性	3.59	0.18	7.19	0.00	0.03
	美学景观	1.57	0.08	4.57	0.00	0.01

表 2 昆崙山国家级自然保护区单位面积生态系统服务价值系数 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$)

一级类型	二级类型	林地	耕地	水域	建设用地	裸地及其他
供给服务	食物生产	378.56	1037.99	805.97	0.00	0.00
	原料生产	867.03	488.46	451.83	0.00	0.00
	水资源供给	451.83	24.42	6643.12	0.00	0.00
调节服务	气体调节	2869.73	818.18	1636.36	0.00	24.42
	气候调节	8584.77	439.62	3602.43	0.00	0.00
	净化环境	2430.11	122.12	5592.92	0.00	122.12
	水文调节	4286.28	329.71	7226.28	0.00	36.63
支持服务	土壤保持	3492.52	1257.80	3956.56	0.00	24.42
	维持养分循环	268.66	146.54	158.75	0.00	0.00
文化服务	生物多样性	3175.02	158.75	6362.25	0.00	24.42
	美学景观	1392.12	73.27	4042.05	0.00	12.21

2008—2018 年期间,林地面积增加了 1 003 hm^2 , 所占面积比例由 67.75% 增至 74.19%; 建设用地和水域也略有增长, 分别增长 72 hm^2 , 60 hm^2 , 建设用地所占面积比例由 0.87% 增至 1.33%, 水域所占面积比例由 1.22% 增至 1.61%; 耕地面积减少 562 hm^2 , 所占面积比例由 22.21% 减少至 18.59%; 裸地及其他面积减少 572 hm^2 , 所占面积比例由 7.95% 减少至 4.27%。

2.1.2 土地利用变化动态度 2008—2018 年,昆崙山不同土地利用类型土地利用变化动态度见表 4。从单一土地利用动态度(K)来看,10 a 间,林地、建设

用地和水域呈正向变化趋势,动态变化分别为0.95%,5.33%和3.14%;耕地、裸地及其他呈负向变化趋势,动态变化度分别为-1.63%和-4.62%,二者是林地、建设用水域面积增长的主要来源。2008—

2013年林地、耕地、裸地及其他土地利用类型的单一土地利用动态变化程度低于2013—2018年,但水域和建设用水地在2008—2013年的单一土地利用动态变化程度高于2013—2018年。

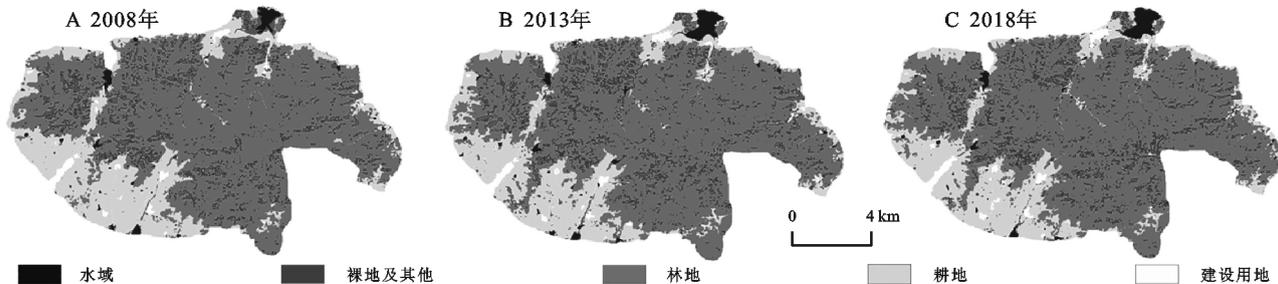


图 1 昆嵛山国家级自然保护区土地利用分类

表 3 昆嵛山国家级自然保护区 2008—2018 年土地利用变化

土地利用类型	2008 年		2013 年		2018 年	
	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
林地	10551	67.75	10715	68.81	11554	74.19
耕地	3458	22.21	3369	21.63	2896	18.59
建设用地	135	0.87	174	1.12	207	1.33
水域	191	1.22	255	1.64	251	1.61
裸地及其他	1238	7.95	1059	6.80	666	4.27
合计	15573	100.00	15573	100.00	15573	100.00

整体来看,2008—2018 年综合土地利用动态度(LC)为 0.68%,2008—2013 年综合土地利用动态度为 1.35%,2013—2018 年综合土地利用动态度为 1.02%。

2.1.3 土地利用类型转移特征 根据昆嵛山土地利用变化转移矩阵可知(表 5),2008—2018 年,土地利用类型变化主要是裸地及其他、耕地和林地之间的转移,转入面积最多的土地利用类型是林地,10 a 间转入面积 1 129.93 hm²;转出面积较大的土地利用类型是耕地和裸地及其他,分别转出 699.98 hm²,744.37 hm²。2008—2013 年及 2013—2018 年,土地利用类型变化依然是林地和耕地、裸地及其他之间的转移,整体变化趋势与十年间是一致的。

表 4 昆嵛山国家级自然保护区 2008—2018 年期间土地利用变化动态度 %

土地利用类型	单一土地利用动态度		
	2008—2013 年	2013—2018 年	2008—2018 年
林地	0.16	0.78	0.95
耕地	-0.26	-1.40	-1.63
建设用地	2.89	1.9	5.33
水域	3.35	-0.16	3.14
裸地及其他	-1.45	-3.71	-4.62

2.2 昆嵛山生态系统服务价值

由表 6 可知,2008—2018 年,昆嵛山生态系统服务价值(ESV)增加了 3 201.82 万元,增长率达 9.53%。其中,2008—2013 年,昆嵛山 ESV 增长较少,仅增长 1 121.53 万元;2013—2018 年,昆嵛山 ESV 增长较

为明显,增长 2 080.29 万元。生态服务功能一级分类中,对昆嵛山 ESV 贡献率最大的是调节服务价值,2008 年、2013 年、2018 年分别占到了 ESV 总值的 63.92%,64.29%和 64.46%;其次为支持服务价值,2008 年、2013 年、2018 年分别占到了 ESV 总值的 24.01%,23.72%和 23.74%;文化服务的比例最低,2008 年、2013 年、2018 年分别占到了 ESV 总值的 4.68%,4.67%和 4.71%。

生态服务功能二级分类中,气候调节、水文调节、土壤保持价值的贡献率较大,其中贡献率最大的为气候调节(表 6)。2008 年、2013 年、2018 年,气候调节的 ESV 分别为 9 278.62 万元、9 438.55 万元和 10 136.58 万元,分别占当年 ESV 的 27.63%,27.20%和 27.56%。各项生态服务功能 ESV 比例各年度变化不大,表明研究区生态系统服务价值格局比较稳定。

昆嵛山 2008—2018 年期间各土地利用类型生态系统服务价值见表 7。不同土地利用类型中,林地和水域的生态系统服务价值呈增长趋势,耕地、裸地及其他呈减少趋势。2008 年、2013 年、2018 年,林地 ESV 贡献率分别达到 88.58%,87.05%和 88.56%,表明林地对昆嵛山生态系统服务功能发挥有着至关重要的作用。5 种不同土地利用类型中,ESV 由大到小依次为:林地>水域>耕地>裸地及其他>建设用地。

3 讨论

土地利用格局变化是表征一个趋于生态环境变化的重要指标,对不同土地利用类型的生态系统服务价值有着显著影响^[29-31]。昆嵛山自然保护区成立以后,为进一步加强对于森林资源的保护,2008—2018 年,保护区采取了一系列荒山造林、退耕还林、生态修复等措施,实施了“绿水青山生态修复”、“大地环境全面整治”、“原生动物种群保育”等工程,同时加大了基础设施建设的力度,在土地利用变化上表现为昆嵛山

的林地、建设用地(主要为防火道路建设)和水域面积呈增长趋势,耕地、裸地及其他面积呈减少趋势。林地是昆崙山主要的土地利用类型,2018 年林地面积占到了昆崙山总面积的 74.19%。2008—2018 年昆崙山自然保护区土地利用类型变化主要是裸地及其他、耕地和林地之间的转移,面积增加最多的土地利用类型为林地,林地增加 1 003 hm²,面积比例增加 6.44%,10 a 间林地的 ESV 增长 2 828.13 万元,虽然占总 ESV 的比例略有降低,但仍然是维持昆崙山生态系统服务的主体,这与昆崙山作为森林生态类型的

自然保护区的生态定位相一致;面积减少较大的土地利用类型是耕地、裸地及其他,其 ESV 也呈现出下降的趋势;虽然建设用地在面积上有一定程度上的增长,但由于整体所占比例较低,土地利用开发强度不高,其产生的效应对生态系统造成的负面效应微弱^[32]。各土地利用类型变化趋势及其 ESV 的变化,表明昆崙山自然保护采取的一系列生态修复措施实施效果显著,昆崙山国家级自然保护区土地利用结构朝着增强其生态功能的方向发展,也印证了适度人为干预对森林生态系统具有一定正向促进作用^[33]。

表 5 不同时期昆崙山国家级自然保护区土地利用变化转移矩阵

hm²

土地利用		2008 年					
类型	林地	耕地	建设用地	水域	裸地及其他	转入面积	
2018 年	林地	9918.88	492.66	14.13	13.25	609.89	1129.93
	耕地	173.23	2859.93	25.49	28.08	41.13	267.93
	建设用地	29.16	112.61	85.97	1.69	12.69	156.15
	水域	10.31	56.25	6.64	146.54	80.66	153.86
	裸地及其他	362.48	38.45	4.61	0.90	397.13	406.44
	转出面积	575.17	699.98	50.87	43.92	744.37	2114.30
土地利用		2013 年					
类型	林地	耕地	建设用地	水域	裸地及其他	转入面积	
2018 年	林地	10258.81	308.21	14.96	5.94	467.03	796.14
	耕地	122.94	2920.68	33.82	12.11	78.10	246.96
	建设用地	13.79	82.37	114.91	4.05	28.78	128.99
	水域	4.86	24.73	5.11	231.98	34.88	69.57
	裸地及其他	314.73	32.74	5.63	1.13	450.56	354.22
	转出面积	456.32	448.04	59.51	23.22	608.78	1595.88
土地利用		2008 年					
类型	林地	耕地	建设用地	水域	裸地及其他	转入面积	
2013 年	林地	9763.94	355.91	9.54	8.78	573.28	947.50
	耕地	233.21	2997.14	30.44	28.53	37.26	329.45
	建设用地	18.77	63.07	80.44	0.77	10.55	93.15
	水域	7.22	39.51	4.75	131.20	71.91	123.39
	裸地及其他	470.90	104.29	11.68	21.20	448.49	608.06
	转出面积	730.10	562.77	56.41	59.27	693.00	2101.54

表 6 2008—2018 年昆崙山国家级自然保护区生态系统服务价值

生态服务功能		2008 年		2013 年		2018 年	
一级类型	二级类型	ESV/万元	比例/%	ESV/万元	比例/%	ESV/万元	比例/%
供给服务	食物生产	773.75	2.30	775.88	2.24	758.22	2.06
	原料生产	1092.34	3.25	1105.10	3.18	1154.56	3.14
	水资源供给	612.05	1.82	661.76	1.91	695.86	1.89
调节服务	气体调节	3345.06	9.96	3394.87	9.78	3595.33	9.77
	气候调节	9278.62	27.63	9438.55	27.20	10136.58	27.56
	净化环境	2728.18	8.12	2800.56	8.07	2991.63	8.13
	水文调节	6116.03	18.21	6676.98	19.24	6988.67	19.00
支持服务	土壤保持	4198.50	12.50	4269.47	12.30	4500.46	12.23
	维持养分循环	337.16	1.00	341.28	0.98	356.83	0.97
	生物多样性	3529.40	10.51	3620.34	10.43	3875.71	10.54
文化服务	美学景观	1572.88	4.68	1620.71	4.67	1731.95	4.71
合计		33583.97	100.00	34705.51	100.00	36785.79	100.00

表 7 2008—2018 年期间昆崙山国家级自然保护区各土地利用类型生态系统服务价值

生态服务功能	2008 年		2013 年		2018 年	
	ESV/万元	比例/%	ESV/万元	比例/%	ESV/万元	比例/%
林地	29750.26	88.58	30212.69	87.05	32578.39	88.56
耕地	1693.33	5.04	1649.75	4.75	1418.13	3.86
建设用地	0	0	0	0	0	0
水域	2110.14	6.28	2817.20	8.12	2773.01	7.54
裸地及其他	30.24	0.09	25.86	0.07	16.27	0.04
合计	33583.97	100.00	34705.51	100.00	36785.79	100.00

当量因子法主要是基于各种服务的价值当量,结合生态系统的分布面积对生态系统服务进行评估,小尺度区域上运用当量因子法核算生态系统服务价值具有更高的可靠性和实践性^[34]。运用当量因子法对昆崙山 2008—2018 年的生态系统服务价值及其变化进行测算,对昆崙山自然保护区生态系统的保护与可持续发展具有指导意义。研究发现昆崙山 ESV 为 3.5 亿元/年,2008—2018 年间,昆崙山 ESV 增加 3 201.82 万元,增长率达 9.53%。生态系统服务功能 11 个二级指标中,食物生产功能价值呈减少趋势,其余功能价值均呈不同程度的增长趋势,其中气候调节和水文调节功能价值增长明显。生态功能是昆崙山的主要服务功能,其中调节服务是昆崙山的主要生态功能,其 ESV 贡献率在 2008 年、2013 年、2018 年分别达到 63.92%、64.29% 和 64.46%。对同一个研究区域,指标体系、评估方法的不同会导致评估结果的差异^[34-35],王玉涛采用影子工程法、机会成本法、市场价值法等研究方法,得出昆崙山自然保护区的生态系统服务功能价值达 4.99 亿元/年,主要的生态系统服务功能为涵养水源和净化空气^[22],这与本研究结果存在一定差异。但按照直接价值(供给服务)和间接价值(调解服务、支持服务和文化服务)分类,研究结果都表明昆崙山生态系统服务功能主体是间接服务,与欧阳志云等人的研究结果一致^[36],这也进一步表明了昆崙山主体功能是生态功能,而不是原材料供给。基于生态系统服务价值的昆崙山生态服务功能分类结果对保护区生态保护及相关措施的实施具有一定指导意义,保护区应合理规划昆崙山土地利用格局,严格保护森林生态系统,维持其提供生态功能的能力。

4 结论

本研究探究了 2008—2018 年昆崙山自然保护区不同土地利用类型动态变化,运用当量因子法估算了昆崙山国家级自然保护区生态系统服务价值。10 a 间,不同土地利用类型中,面积增加最多的土地利用类型是林地,林地面积增加 1 003 hm²,面积比例增加 6.44%;面积减少较大的土地利用类型是耕地、裸地及其他,面积分

别减少 562 hm² 和 572 hm²,面积比例分别下降 3.62% 和 3.68%。10 a 间林地、建设用地和水域呈增长趋势,其他类型土地呈下降趋势。从单一土地利用动态来看,10 a 间,林地、建设用地和水域动态变化分别为 0.95%、5.33% 和 3.14%;耕地、裸地及其他呈动态变化度分别为 -1.63% 和 -4.62%,土地利用类型变化主要是裸地及其他、耕地与林地之间的转移。

不同土地利用类型中,林地是昆崙山主要的土地利用类型,2018 年林地面积占昆崙山总面积的 74.19%,林地的生态系统服务价值呈增长趋势,2008—2018 年,林地的 ESV 增长 2 828.13 万元,2018 年林地 ESV 贡献率达到 88.56%。林地对昆崙山生态系统服务功能发挥着至关重要的作用,是维持昆崙山生态系统服务的主体。

昆崙山自然保护区生态系统服务价值 10 a 间呈增长趋势,ESV 增加了 3 201.82 万元,增长率达 9.53%。各类生态系统服务功能中,除食物生产功能价值有所减少,其余功能价值均呈不同程度的增长。调节服务价值 10 a 间增长 2 242.32 万元,占 ESV 总值的比例提高 0.54%。二级类型中,气候调节和水文调节功能价值增长最为明显,气候调节的 ESV 10 年间增长 857.96 万元,水文调节的 ESV 10 年间增长 872.64 万元,调节服务是昆崙山自然保护区的主要生态功能。

昆崙山的土地利用和 ESV 的变化都向着有利于促进森林生态系统生态功能发挥的方向发展,但作为胶东半岛重要的生态屏障,昆崙山生态功能的发挥程度对于维持区域生态安全具有重要意义,虽然前期保护区通过荒山造林、退耕还林、加大基础设施建设力度、生态修复等措施的实施,有效维护了昆崙山生态系统的安全,不断提升了生态系统服务功能,但生态系统保护和修复是一项长期工程,今后应在加大保护力度基础上,结合自然保护地整合优化,进一步优化自然保护地布局,合理利用并规划土地利用,促进昆崙山自然保护区生态系统健康稳定发展。

本研究仅测算了昆崙山国家级自然保护区建立后 10 a 间保护区土地利用格局及生态系统服务功能的变化,没有涉及更长时间的变化,在下步研究中,将进一步扩大研究的时间序列,对昆崙山国家级自然保

护区的土地利用格局及生态系统服务功能的变化开展更为完善的研究,为区域生态政策的制定和生态保护与建设工程的实施提供更多的科学依据。

参考文献:

- [1] Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units [J]. *Ecological Economics*, 2007, 63(2/3): 616-626.
- [2] Daily G. *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems* [M]. Washington: Island Press, 1997.
- [3] 李俊翰,高明秀.滨州市生态系统服务价值与生态风险时空演变及其关联性[J].*生态学报*, 2019, 39(21): 7815-7827.
- [4] 李曼,张洁,李园园.1985—2010年疏勒河流域生态系统服务价值评估[J].*山西师范大学学报:自然科学版*, 2019, 33(3): 56-61.
- [5] 张学斌,罗君,石培基,等.格网尺度下张掖生态系统服务价值时空演变及地形梯度分异特征[J].*应用生态学报*, 2020, 31(2): 543-553.
- [6] 娄佩卿,付波霖,林星辰,等.基于GEE的1998—2018年京津冀土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].*环境科学*, 2019, 40(12): 5473-5483.
- [7] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [8] 钱大文,曹广民,杜岩功,等.2000—2015年祁连山南坡生态系统服务价值时空变化[J].*生态学报*, 2020, 40(4): 1392-1404.
- [9] 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): 1243-1254.
- [10] 黄木易,岳文泽,方斌,等.1970—2015年大别山区生态服务价值尺度响应特征及地理探测机制[J].*地理学报*, 2019, 74(9): 1904-1920.
- [11] 邓楚雄,钟小龙,谢炳庚,等.洞庭湖区土地生态系统的服务价值时空变化[J].*地理研究*, 2019, 38(4): 844-855.
- [12] 王航,秦奋,朱筠,等.土地利用及景观格局演变对生态系统服务价值的影响[J].*生态学报*, 2017, 37(4): 1286-1296.
- [13] 薛冰,肖骁,李春花,等.基于空间分析的贵州省森林生态系统服务功能的价值评估[J].*贵州师范大学学报:自然科学版*, 2019, 37(5): 37-44.
- [14] 娄佩卿,付波霖,林星辰,等.基于GEE的1998—2018年京津冀土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J].*环境科学*, 2019, 40(12): 5473-5483.
- [15] 黄心怡,赵小敏,郭熙,等.基于生态系统服务功能和生态敏感性的自然生态空间管制分区研究[J].*生态学报*, 2020, 40(3): 1065-1076.
- [16] 刘慧明,高吉喜,刘晓,等.2000—2015年祁连山南坡生态系统服务价值时空变化[J].*生态学报*, 2020, 40(4): 1392-1404.
- [17] 熊善高,万军,龙花楼,等.重点生态功能区生态系统服务价值时空变化特征及启示:以湖北省宜昌市为例[J].*水土保持研究*, 2016, 23(1): 296-302.
- [18] 杜金鸿,刘方正,周越,等.自然保护地生态系统服务价值评估研究进展[J].*环境科学研究*, 2019, 32(9): 1475-1482.
- [19] 邵国栋,艾娟娟,孙启武,等.昆崙山不同林分类型土壤质量状况及评价[J].*林业科学研究*, 2018, 31(6): 175-184.
- [20] 古璠,黄义雄.基于土地利用变化的福建省自然保护区生态系统服务价值研究[J].*防护林科技*, 2017(1): 14-18.
- [21] 李益敏,段亚苹,蒋德明,等.人类活动条件下兰坪县土地利用景观格局及生态系统服务价值[J].*水土保持研究*, 2019, 26(1): 293-300.
- [22] 王玉涛,郭卫华,刘建,等.昆崙山自然保护区生态系统服务功能价值评估[J].*生态学报*, 2009, 29(1): 523-531.
- [23] 孙中元,王正茂,曲宏辉,等.昆崙山国家级自然保护区森林生态系统服务功能价值评估[J].*林业资源管理*, 2019, 0(3): 99-106.
- [24] 卢周扬帆,许端阳,张绪教,等.阿拉善干旱荒漠区土地利用变化对生态系统服务的影响[J].*水土保持研究*, 2019, 26(6): 296-302.
- [25] 王秀兰,包玉海.土地利用动态变化研究方法探讨[J].*地理科学进展*, 1999, 18(1): 81-87.
- [26] 肖建设,乔斌,陈国茜,等.黄河源区玛多县土地利用和生态系统服务价值的演变[J].*生态学报*, 2020, 40(2): 510-521.
- [27] 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.
- [28] 谢高地,肖玉,甄霖,等.我国粮食生产的生态服务价值研究[J].*中国生态农业学报*, 2005, 13(3): 10-13.
- [29] 傅伯杰,张立伟.土地利用变化与生态系统服务:概念、方法与进展[J].*地理科学进展*, 2014, 33(4): 441-446.
- [30] 蒋斋,孙小银,刘飞,等.1975—2015年南四湖自然保护区生态系统服务价值时空变化分析[J].*生态科学*, 2019, 38(3): 201-210.
- [31] 韩蕊,孙思琦,郭涿,等.川东地区生态系统服务价值时空演变及其驱动力分析[J].*生态与农村环境学报*, 2019, 35(9): 1136-1143.
- [32] 雷金睿,陈宗铸,吴庭天,等.海南岛东北部土地利用与生态系统服务价值空间自相关格局分析[J].*生态学报*, 2019, 39(7): 2366-2377.
- [33] 郝少英.自然恢复和人工重建对退化森林生态系统的影响[J].*种子科技*, 2020, 38(7): 92-93.
- [34] 袁周炎妍,万荣荣.生态系统服务评估方法研究进展[J].*生态科学*, 2019, 38(5): 210-219.
- [35] 周小平,冯宇晴,罗维,等.两种生态系统服务价值评估方法比较研究:以四川省金堂县三星镇土地整治工程为例[J].*生态学报*, 2020, 40(5): 1799-1809.
- [36] 欧阳志云,王效科,苗鸿.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*, 1999, 19(5): 607-613.