

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2014.02.001

云雾山国家级自然保护区典型 草原生态系统价值评估

赵新宇^{1,2}, 李红红³, 程积民^{1,3,4*}, 苏纪帅³, 朱仁斌⁴

(1. 中国科学院水土保持与生态环境研究中心, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院大学, 北京 100049;
3. 西北农林科技大学动物科技学院, 陕西 杨凌 712100; 4. 西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要:以云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统为对象,利用能值理论以及生态系统服务单价表对研究区封育 30 年来系统生态资产价值及生态服务价值进行评估,以期对封育效益进行评价。结果表明:封育最初 10 年,草原生态系统生态价值显著上升,封育 10~25 年间获得的效益一直保持在较高水平,但在封育 25 年后呈现下降趋势。其中,在 2002 年,即封育 20 年后,生态资产价值与生态服务价值达到峰值,分别为 9994.97 万元和 1.07 亿元。总体而言,30 年封育期总体价值均远高于封育前状况,说明为期 30 年的封育措施使得草原生态系统价值得到大幅增长,封育效益显著。

关键词:典型草原生态系统;生态资产;生态系统服务;价值评估

中图分类号:X361

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2014)02-0217-07

Value Assessment of Typical Steppe Ecosystem in Yunwu Mountain National Nature Reserve

ZHAO Xin-yu^{1,2}, LI Hong-hong³, CHENG Ji-min^{1,3,4*}, SU Ji-shuai³, ZHU Ren-bin⁴

(1. Institute of Soil & Water Conservation and Eco-Environment, Chinese Academy of Sciences, Yangling, Shaanxi Province 712100, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;
3. College of Animal Science and Technology, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi Province 712100, China;
4. College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi Province 712100, China)

Abstract: In order to evaluate the value and benefit of enclosure for grassland, typical steppe ecosystem in Yunwu Mountain National Nature Reserve was selected as the study model using emergy theory and the schedule of ecosystem unit service price in this paper to evaluate the value of ecological asset system and ecological service over 30 years' enclosure. Results indicated that after enclosure, the ecological value increased sharply in the earliest 10 years, then it maintained a high value during 10 to 25 years, and it declined slowly after 25 years. According to these data, the value of ecological asset system and ecological service reached at the peaks of 99,949,700 yuan and 107,000,000 yuan respectively in 2002. In general, the total values of the 30 years' period after enclosure are much higher than before indicating that enclosure has greatly improved the value of ecological asset system and ecological service, and has a significant effect on grassland.

Key words: Typical steppe ecosystem; Ecological assets; Ecological services; Value assessment

草地资源是我国陆地上面积最大的生态系统,可利用面积约 $3.10 \times 10^8 \text{ hm}^2$ ^[1]。其在发展畜牧业、保护生物多样性、保持水土和维护生态平衡方面

有着重大的作用和价值。草地的生态作用效益过去常常被忽视,在开发和利用草地资源的过程当中,往往只顾及眼前的经济利益而忽视了草地的生态效

收稿日期:2013-07-15;修回日期:2013-08-23

基金项目:国家自然科学基金重点项目“气候变化背景下黄土高原土地利用影响径流的空间尺度效应”(41230852);中国科学院战略性先导科技专项“应对气候变化的碳收支认证及相关问题”(XDA05050202);农业部现代农业产业技术体系建设专项(CARS-35-40)资助

作者简介:赵新宇(1987-),女,山西永济人,硕士研究生,主要从事恢复生态学, E-mail: shui_jing_xin_yu@hotmail.com; * 通信作者 Author for correspondence, E-mail: guzjcm@ms.iswc.ac.cn

益,造成草地退化、沙化和生态环境恶化的现象。为了达到草地资源有效合理的可持续利用及发展,有必要进一步明确草地生态系统的价值,从而进一步增强草地生态系统建设和提高其管理水平。因此分析与评估草地生态经济价值已经成为当前经济学、生态学以及社会科学共同研究和关注的问题。在传统经济学中,尽管不同流派对价值的认识有所不同,但都是从个人利益的角度去看待价值,并且将其等同于社会价值^[2]。现在人们已经认识到,生态系统与人类福利之间存在着密切的联系^[3-4],仅靠传统的经济学和生态学已经不能解决眼前的问题,迫切需要用新的标准和方法去衡量财富、价值、生产,以及由环境所提供的“自然资本”和“生态服务”。因此,加强生态系统价值的多学科研究,科学评估生态系统生态资产及其服务功能变得非常必要。

云雾山国家级自然保护区是我国继锡林郭勒国家级草原自然保护区之后建立的第 2 个草原保护区^[5],1982 年开始封育,30 年来进行了不同领域的多项科学研究。邱莉萍等^[6]分析了坡向坡位和撂荒地云雾山草地土壤酶活性的影响;周梦华等^[7]对云雾山本氏针茅(*Stipa bungeana*)群落根系分布特征进行了研究;程杰等^[8]研究了云雾山封禁草原 30 年植被恢复对气候变化的响应;陈芙蓉等^[9]通过云雾山国家级自然保护区研究了不同干扰对黄土高原典型草原土壤有机碳的影响。但对云雾山国家级自然保护区价值的研究还从未涉及。为了对云雾山封育 30 年来的效果进行全面评价,有必要明确其生态系统的价值,从而进一步增强其开发建设和提高管理水平。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏回族自治区固原市北部 45 km 的云雾山国家级自然保护区(E 106°24′~106°28′, N 36°13′~36°19′),是中国第 2 个草原保护区^[5,10],海拔 1800~2150 m,处于黄土高原腹地,植被类型为典型草原。本区为温带半干旱区大陆性气候,年平均气温 7.01℃;7 月气温最高 22~25℃;1 月气温最低 -18~-15℃;≥0℃年积温 2847~3592℃;年日照时长 2300~2500 h;年降雨量 425.5 mm,60%~75%的降雨集中分布于 7—9 月;无霜期 137 d。地势为南低北高,阳坡平缓,阴坡较陡,属温凉半干旱黄土覆盖的长梁缓坡丘陵区,土壤为黄土母质上发育的淡黑垆土和黄绵土,土层分布均匀深厚,地下

水位深,土壤水补充能力差。保护区最初封育面积为 3000 hm²,封育前 5 年增长 1000 hm²,1992 年达到 5333 hm²,之后匀速逐步扩大为现在的 6660 hm²,其中包括核心区(1000 hm²)、缓冲区(1300 hm²)和试验区(4360 hm²),核心区内设有不同封育时期的群落。经 2012 年全面考察,保护区内共有植物 313 种,其中栽培植物 16 种,野生植物 297 种,主要优势植物为本氏针茅、大针茅(*Stipa grandis*)、百里香(*Thymus mongolicus*)、铁杆蒿(*Artemisia sacrorum*)、星毛委陵菜(*Potentilla acaulis*)等,其中丛生禾本科植物本氏针茅在该区分布范围最广。

1.2 生态资产价值评估方法

目前国内外对于生态系统价值评估的研究还处于摸索阶段,尚未形成公认的、比较完善的评估方法和技术体系。传统计算方法立足于现有社会经济模式对自然资源进行经济分析估算,虽然在一定程度上可以弥补生态资源的损失,但缺乏统一标准,片面性和主观性强。

以 20 世纪著名生态学家 Odum 创立^[11-13]的能值理论以能值为基准,先将生态系统和生态经济系统中不同种类的能量通过能值转化率转换成同一标准的能值,再进行系统价值的衡量,其可应用于不同系统的定量分析。能值理论的评估方法摆脱了传统经济学、生态学计算方法的片面性和主观性,提供了衡量自然资源对经济发展真实贡献的标准。以能值为基础,可以衡量和比较不同类别、不同类型资源的真实价值;可把不同种类、不可比较的资源转换成可进行比较的同一标准。因此本研究选择基于能值理论的活生物量的宏观经济价值作为生态资产的指标进行模拟:

$$B=Q \times E$$

$$M=iB$$

$$VQ=M/R$$

$$\text{因此: } VQ=Q \times E \times i/R$$

式中: B 为生物能量; Q 为活的生物量干重(g); E 为生物量的能量折算标准(16744 J·g⁻¹)^[14]; M 为太阳能值; i 为草地生物量的太阳能值转化率(27576 sej·J⁻¹)^[14-18]; VQ 为生物量生态资产; R 为能值-货币比率(5×10¹¹ sej·RMB⁻¹)。

1.3 生态服务价值评估方法

生态系统服务是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然效用。生态系统服

务包括气体调节、气候调节、扰动调节、水调节、水供给、控制侵蚀和保持沉积物、土壤形成、养分循环、废物处理、传粉、生物控制、避难所、食物生产、原材料、基因资源、休闲、文化共 17 个类型^[19]。

在评价生态效益时,通常采取的做法是综合不同区域内的研究,通过统计归纳总结出主要生态功能及生态系统效益的价值。Costanza 等^[19]在《自然》杂志上发表的《全球生态系统服务价值和自然资本》一文以生态系统服务供求曲线为一条垂直直线为假设,逐项估计各种生态系统类型的服务价值,使生态系统服务价值估算的原理及方法从科学意义上得以明确。而谢高地等^[1,20-21]在 Costanza 等^[19]的研究基础上,针对其研究不足之处,同时参考可靠的

部分制定出我国生态系统生态服务价值当量因子表。生态系统生态服务价值当量因子是指生态系统产生的生态服务的相对贡献大小的潜在能力,即 1 hm² 全国平均产量的农田每年自然粮食产量的经济价值的权重因子等于 1^[20]。以此可将权重因子表转换成当年生态系统服务单价表,经过综合比较分析,确定 1 个生态服务价值当量因子的经济价值量等于当年全国平均粮食单产市场价值的 1/7^[21]。

2007 年谢高地等^[22]又进行了一次针对接受过生态学教育背景的人的问卷调查。在此次问卷调查基础上对我国生态系统生态服务价值当量因子表进行了调整,并得出中国生态系统服务单价表(表 1)。

表 1 中国生态系统单位面积生态服务价值
Table 1 The values of ecosystem service per unit area in China yuan · hm⁻² · a⁻¹

一级类型 First type	二级类型 Second type	森林 Forest	草地 Grassland	农田 Cropland	湿地 Wetland	河流/湖泊 Stream/lake	荒漠 Desert
供给服务 Provision service	食物生产 Food production	148.20	193.11	449.10	161.68	238.02	8.98
	原材料生产 Raw material production	1338.32	161.68	175.15	107.78	157.19	17.96
调节服务 Regulation service	气体调节 Gas regulation	1940.11	673.65	323.35	1082.33	229.04	26.95
	气候调节 Climate regulation	1827.84	700.60	435.63	6085.31	925.15	58.38
	水文调节 Hydrology regulation	1836.82	682.63	345.81	6035.90	8429.61	31.44
	废物处理 Waste treatment	772.45	592.83	624.25	6467.04	6669.14	116.77
支持服务 Support service	保持土壤 Soil conservation	1805.38	1005.98	660.18	893.71	184.13	76.35
	维持生物多样性 Maintain biodiversity	2025.44	839.82	458.08	1657.18	1540.41	179.64
文化服务 Cultural service	提供美学景观 Provide aesthetic landscape	934.13	390.72	76.35	2106.28	1994.00	107.78
合计 Total		12628.69	5241.00	3547.89	24597.21	20366.69	624.25

表 1 所示仅提供了一个全国平均水平的生态系统生态服务价值的单价,且生态系统的生态服务功能大小与该生态系统的生物量有密切关系。一般来说,生物量越大,生态服务功能越强。为此,谢高地等^[1,22]假定生态服务功能强度与生物量成线性关系,并提出草地生态系统的单位面积服务价值与其生物量成正比。本研究按单价修正公式,根据生物量按下式对草地生态系统服务单位价值进行修正:
 $p_{ij} = (b/B)P_i$ 。

式中: p_{ij} 为修正后的云雾山国家级自然保护区

典型草原的单位面积生态系统生态服务价值; $i=1, 2, \dots, 9$ 分别代表食物生产、原材料生产、气体调节、气候调节、水文调节、废物处理、保持土壤、维持生物多样性、提供美学景观这 9 种不同类型的生态系统服务价值; $j=1, 2$ 分别代表封育地区、退化地区; P_i 为表中不同生态系统服务价值基准单价; b 为云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统单位面积的生物量; B 为我国草地类型生态系统单位面积平均生物量^[23-25]。

草地生态系统生态服务总价值:

$$V_j = \sum_{i=1}^9 A_j p_{ij}$$

式中: V_j 为服务总价值; A_j 为面积; p_{ij} 为修正后的生态服务单价。

云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统生态服务总价值:

$$V = \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^2 A_j p_{ij}$$

式中: V 为生态系统总服务价值; A_j 为面积; p_{ij}

为修正后的生态服务单价。

2 结果与分析

2.1 生态资产价值评估

由以上评估方法得出云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统在封育后 30 年来生态资产价值变动状况如表 2 所示。

表 2 云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统生态资产价值

Table 2 Ecological asset value of typical grassland ecosystem in Yunwu Mountain National Nature Reserves

年份 Year	生物量 Dry weight/t		总干重 Total dry weight/t	总能量 Total energy/J	总太阳能值 Total solar energy/sej	资产价值/万元 Asset value/ $\times 10^4$ yuan
	封禁 Enclosure	退化 Degradation				
1982	22060.47	19112.20	41172.67	0.69×10^{15}	1.90×10^{19}	3802.15
1987	52088.49	14853.38	66941.87	1.12×10^{15}	3.09×10^{19}	6181.85
1992	96787.88	9923.27	106711.16	1.79×10^{15}	4.93×10^{19}	9854.40
1997	97042.58	6506.03	103548.61	1.73×10^{15}	4.78×10^{19}	9562.35
2002	104128.93	4104.45	108233.37	1.81×10^{15}	5.00×10^{19}	9994.97
2007	101706.19	2002.99	103709.18	1.74×10^{15}	4.79×10^{19}	9577.18
2012	79169.89	0.00	79169.89	1.33×10^{15}	3.66×10^{19}	7311.06

注:表中生物量数据来自本课题组多年实际调查结果

Note: The data of dry weight in table were from our survey results

由于云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统不同封育年限草地具有不同的生物群落变化和生物生产量,因而相应的生态资产价值亦有差异。对云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统生态资产价值评估表明,随着封育时间的延长,生态资产价值呈现前 10 年陡增,10~25 年保持高水平波动,25 年之后开始下降的形式。在封育 10~25 年间生态资产价值均值为 9747.23 万元,其中 2002 年达到峰值 9994.97 万元。前 10 年中后 5 年的平均增长率 > 前 5 年平均增长率,且近 5 年的下降幅度 > 前 10 年平均增幅(图 1)。

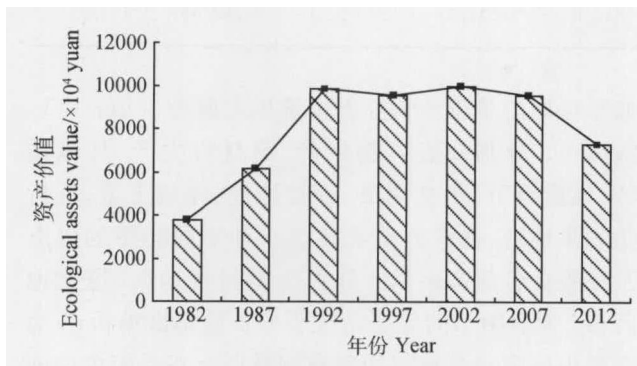


图 1 云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统资产价值变动

Fig. 1 Variations of ecological asset value of typical grassland ecosystem in Yunwu Mountain National Nature Reserves

2.2 生态服务价值评估

由以上评估方法得出云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统在封育后 30 年来生态服务价值变动状况如表 3 所示。

生态系统服务价值大小依次为(图 3):保持土壤 > 维持生物多样性 > 气候调节 > 水文调节 > 气体调节 > 废物处理 > 提供美学景观 > 食物生产 > 原材料生产。其总体变化趋势为(图 2):前 10 年增加,10~25 年保持较高水平波动,25 年之后开始下降。其原因在于封育显著提高了草原植被各项指标,但长期封育不利于草地的繁殖更新和再生,各物种生长环境受限,资源不足,种内种间竞争均有所加剧,导致生物量下降^[26-28]。生态系统服务价值最高年份出现在 2002 年达 10790.40 万元,但 2012 年已降至 7892.89 万元,比峰值下降了 1/4 多。

2.3 生态价值与牧业产值比较

由于云雾山国家级自然保护区价值与当地牧业生产有着较近的联系,现将其近 10 年生态资产价值和生态服务价值与周边地区牧业年总产值进行比较(表 4)。结果表明:在 2002 年云雾山生态价值达到顶峰时其超过了所在原州区牧业一年的总产值,生态资产价值和生态服务价值分别相当于固原市牧业

年总产值的 23.44% 和 25.31%, 相当于宁夏牧业年总产值的 3.12% 和 3.37%; 2007 年云雾山生态价值略有下降, 但牧业总产值快速增长, 因此比值下

降; 2011 年云雾山生态价值大幅降低, 地区牧业总产值依然快速增长, 使得比值降得更低。

表 3 云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统生态服务价值(万元)

Table 3 Ecological service value of typical grassland ecosystem in Yunwu Mountain National Nature Reserves ($\times 10^4$ yuan)

一级类型 First type	二级类型 Second type	1982 年	1987 年	1992 年	1997 年	2002 年	2007 年	2012 年
供给服务	食物生产 Food production	151.24	245.90	391.99	380.37	397.58	380.96	290.82
Provision service	原材料生产 Raw material production	126.63	205.88	328.19	318.47	332.87	318.96	243.49
调节服务	气体调节 Gas regulation	527.60	857.82	1367.43	1326.91	1386.94	1328.96	1014.51
Regulation service	气候调节 Climate regulation	548.71	892.13	1422.14	1379.99	1442.43	1382.13	1055.10
	水文调节 Hydrology regulation	534.63	869.25	1385.66	1344.60	1405.43	1346.68	1028.03
	废物处理 Waste treatment	464.29	754.88	1203.34	1167.67	1220.50	1169.49	892.77
支持服务	保持土壤 Soil conservation	787.88	1281.00	2042.03	1981.51	2071.15	1984.58	1515.00
Support service	维持生物多样性 Maintain biodiversity	657.74	1069.41	1704.74	1654.22	1729.06	1656.78	1264.76
文化服务	提供美学景观	306.01	497.54	793.12	769.61	804.43	770.81	588.42
Cultural service	Provide aesthetic landscape							
合计 Total		4104.74	6673.81	10638.64	10323.35	10790.40	10339.35	7892.89

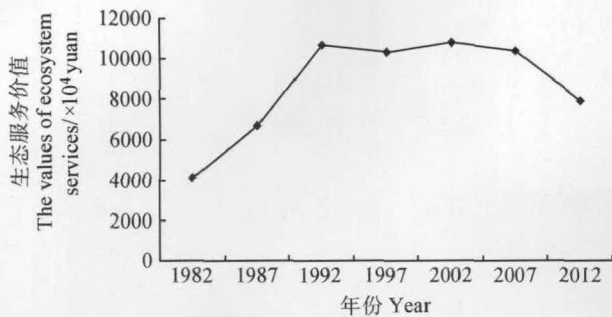


图 2 云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统服务价值变动

Fig. 2 Variations of ecological service value of typical grassland ecosystem in Yunwu Mountain National Nature Reserves

3 讨论与结论

云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统自 1982 年开始封育以来, 草地植被得到了有效恢复。但其封育实际经验与各方研究成果都证明, 草原保护不能只是单纯的简单封育下去。封育初期草地植被各项指标都有大幅度提高^[8, 29-30], 但随着封育年限的延长, 植被覆盖率提高, 同时引起平均空间可利用资源的减少, 种内种间竞争加剧, 导致了植被质量的下降^[26-28]。

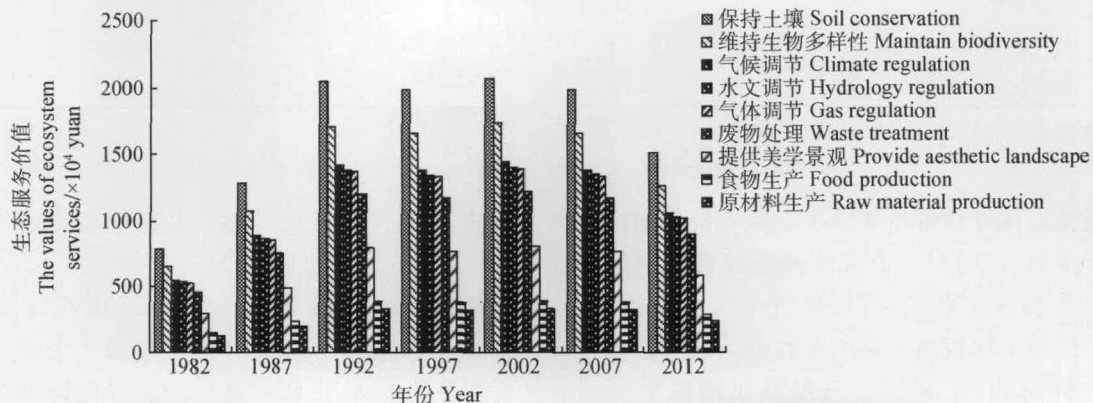


图 3 云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统二级服务价值分类变动

Fig. 3 Variations of second level ecological service value of typical grassland ecosystem in Yunwu Mountain National Nature Reserve

云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统生物量干重在封育后呈现先上升后下降的趋势。其价值在封育前 10 年间显著上升; 之后的 15 年间一直

处于很高水平; 而在最近 5 年间又呈现大幅下降。经过分析 30 年来各项资料发现, 前 10 年快速增长在于封育使得生态系统有了很好的恢复, 植被覆盖

率显著增大,生物量迅速增加,再加上封育面积的快速扩展,资产价值与服务价值有了显著的上升;1997年的小幅回落原因主要在于当年降雨量偏小,植被生长受限导致生物量减小,虽然封育面积有所增加,但还是没有抑制资产价值与服务价值的减小;近5年快速下降的原因是由于封育时间长,各物种生长环境受限,资源不足,种内种间竞争均有所加剧,长

期封育不利于草地的繁殖更新和再生^[26-28],因此价值降低。但就30年封育期总体价值而言均远高于封育前,说明在这30年的封育中其价值有了大幅增长,封育效益显著。比较封禁地区与退化地区单位面积生态服务价值发现,封禁地区30年平均价值为 $1.44 \text{ 万元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,退化地区只有 $0.53 \text{ 万元} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$,封禁地区价值明显高于退化地区。

表 4 云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统生态价值与地区牧业总产值对比表

Table 4 Comparison between the ecological value of typical grassland ecosystem in Yunwu Mountain National Nature Reserve and the gross output value of regional animal husbandry

年份 Year	地区 Area	牧业总产值/万元 Gross output value of regional animal husbandry/ $\times 10^4$ yuan	生态资产价值/万元 Ecological asset value/ $\times 10^4$ yuan	比值 Ratio/%	生态服务价值/万元 Ecological service value/ $\times 10^4$ yuan	比值 Ratio/%
2012	原州区 Yuanzhou	45546		16.05		17.33
	固原市 Guyuan	189574	7311.06	3.86	7892.89	4.16
	宁夏 Ningxia	975986		0.75		0.81
2007	原州区 Yuanzhou	26968		35.51		38.34
	固原市 Guyuan	109372	9577.18	8.76	10339.35	9.45
	宁夏 Ningxia	532784		1.80		1.94
2002	原州区 Yuanzhou	9727		102.75		110.93
	固原市 Guyuan	42637	9994.97	23.44	10790.40	25.31
	宁夏 Ningxia	320370		3.12		3.37

注:表中牧业总产值数据来自宁夏统计年鉴

Note: The data of gross output value of regional animal husbandry in table were from Ningxia Statistical Yearbook

从所得总体评估价值来看生态服务价值均高于生态资产价值,说明对于云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统来说,其服务价值远高于资产。单封育后保持土壤服务一项的最高价值已经占封育前总资产价值的54.47%。可见其对周围生态系统、社会系统和经济系统的服务性提高有重要意义。虽然目前价值有下降的趋势,但其总体价值仍为封育前的192.28%。

封育30年来云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统生态资产价值与生态服务价值均有大幅

提升,取得了良好的效益。系统生态资产价值达到7311.06万元,比封育前增长3508.91万元;系统生态服务价值达到7892.89万元,比封育前增长了3788.15万元。但其总体趋势呈现先上升再持平之后下降的形式,由此可见对于云雾山国家级自然保护区典型草原生态系统的保护不能只是简单地封育。随着封育年限的增加,要建立合理的开发模式,在保证生态价值的同时可以增加经济产值,使得系统资源得到良性循环,生态价值长期保持在较高水平。

本研究中生态资产价值与生态服务价值的计算均是为基于生物量的估算,因此二者估算结果均与生物量变化有着相同的趋势。就现在的认知而言,虽然生物量是生态资产价值与生态服务价值的最重要决定因素,但并不排除其他因素对其变化的影响。因此,在今后的研究中应努力探索多因素综合影响下生态资产价值与生态服务价值的评估模式,进一步完善评估体系,使评估结果更具客观性与可信度。

参考文献

- [1] 谢高地,张钰铨,鲁春霞,等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报,2001,16(1):47-53
- [2] 沈满洪. 生态经济学[M]. 北京:中国环境科学出版社,2008:294-347
- [3] 联合国环境规划署千年生态系统评估秘书处. 千年生态系统评估框架:生态系统与人类福利的关系[R]. 2000
- [4] Peters C M, Gentry A H, Mendelsohn R O. Valuation of an Amazonian rainforest[J]. Nature,1989,339(6227):655-656
- [5] 朱仁斌,程积民,刘永进,等. 宁夏云雾山自然保护区种子植物区系研究[J]. 草地学报,2012,20(3):439-443
- [6] 邱莉萍,张兴昌,程积民. 坡向坡位和撂荒地对云雾山草地土壤酶活性的影响[J]. 草业学报,2007,16(1):87-93
- [7] 周梦华,程积民,万惠娥,等. 云雾山本氏针茅群落根系分布特征[J]. 草地学报,2008,16(3):267-271
- [8] 程杰,呼天明,程积民. 黄土高原半干旱区云雾山封禁草原30年植被恢复对气候变化的响应[J]. 生态学报,2010,30(10):2630-2638
- [9] 陈芙蓉,程积民,刘伟,等. 不同干扰对黄土高原典型草原土壤有机碳的影响[J]. 草地学报,2012,20(2):298-311
- [10] 陈芙蓉,程积民,刘伟,等. 不同干扰对黄土区典型草原土壤理化性质的影响[J]. 水土保持学报,2012,26(2):105-110
- [11] Odum H T. Self-organization, transformity and information[J]. Science,1988,242(4882):1132-1139
- [12] Odum H T. Emergy: A basis for public policy[M]. New York: John Wiley & sons,1994:61-93
- [13] Odum H T, Odum E C, Brown M. Environment and society in Florida[M]. Boca Racon: Lew is Publishers,1998:102-109
- [14] 于遵波,洪绶曾,韩建国,等. 基于能值理论评估草地生态系统的价值[J]. 东北林业大学学报,2006,34(1):52-55
- [15] 蓝盛芳,钦佩,陆宏芳. 生态经济系统能值分析[M]. 北京:化学工业出版社,2002:411-418
- [16] 蓝盛芳. 生态-经济系统能值(EMERGY)分析[C]//刘建国. 当代生态学博论. 北京:中国科学技术出版社,1992:268-278
- [17] 蓝盛芳,钦佩. 生态系统的能值分析[J]. 应用生态学报,2001,12(1):129-131
- [18] 杨丙山. 能值分析理论及应用[D]. 长春:东北师范大学,2006
- [19] Costanza R, Arge R, Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. Nature,1997,386(6630):253-260
- [20] 谢高地,鲁春霞,肖玉,等. 青藏高原高寒草地生态系统服务价值评估[J]. 山地学报,2003,21(1):50-55
- [21] 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
- [22] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报,2008,23(5):911-919
- [23] 张宇. 宁夏草地生态系统服务价值评估[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012
- [24] 周旭英. 中国草地资源综合生产能力研究[M]. 北京:中国农业科学技术出版社,2008:79-90
- [25] 王亮,牛克昌,杨元合,等. 中国草地生物量地上-地下分配格局:基于个体水平的研究[J]. 中国科学:生命科学,2010,40(7):642-649
- [26] 程积民,邹厚远,本江昭夫. 黄土高原草地合理利用与草地植被演替过程的试验研究[J]. 草业学报,1995,4(4):17-22
- [27] 王炜,刘钟龄,郝敦元,等. 内蒙古草原退化群落恢复演替的研究 I. 退化草原的基本特征与恢复演替动力[J]. 植物生态学报,1996,20(5):449-459
- [28] 李学斌,陈林,李国旗,等. 干旱半干旱地区围栏封育对甘草群落特征及其分布格局的影响[J]. 生态学报,2013,33(13):3995-4001
- [29] 邹厚远,关秀琦,张信,等. 云雾山草原自然保护区的管理途径探讨[J]. 草业科学,1997,14(1):3-4
- [30] 程杰,高亚军. 云雾山封育草地土壤养分变化特征[J]. 草地学报,2007,15(3):273-277

(责任编辑 李美娟)