

中国草地生态系统服务功能间接价值评价

赵同谦^{1,2}, 欧阳志云^{1*}, 贾良清¹, 郑 华¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心 系统生态重点实验室, 北京 100085; 2. 河南理工大学, 河南焦作 454000)

摘要: 草地是我国陆地面积最大的生态系统类型, 对维持我国自然生态系统格局、功能和过程具有特殊的生态意义。目前, 草地退化导致的区域生态问题越来越突出, 评价我国草地资源生态服务功能的经济价值, 尤其是其潜在的生态调节功能和生命支持功能的价值, 对于制定合理的区域生态保护和经济开发决策、保护和恢复草地生态系统具有重要意义。构成草地生态系统服务功能间接价值的功能指标主要包括侵蚀控制、截留降水、土壤 C 累积(气候调节)、废弃物降解、营养物质循环、空气质量调节、文化多样性和生境提供等。本研究选取其中的侵蚀控制、截留降水、土壤 C 累积、废弃物降解、营养物质循环和生境提供 6 类功能进行了评价, 基于服务功能机制对其物质量评价方法进行了探索, 并在此基础上对其生态经济价值进行了评价, 得出我国草地生态系统 6 类服务功能的年生态经济价值分别为 228.21×10^8 、 692.0×10^8 、 6575.06×10^8 、 228.35×10^8 、 832.62×10^8 和 246.77×10^8 元人民币, 6 类功能的总价值为 8803.01×10^8 元。研究表明, 草地生态系统除为社会提供直接产品价值外, 还具有巨大的间接使用价值, 而且这种价值对人类的贡献与提供产品本身同样重要。今后草地生态系统服务功能及其价值评价工作应注重加强草地生态系统服务功能机制研究。

关键词: 草地生态系统; 生态系统服务功能; 间接价值; 评价

Ecosystem services and their valuation of China grassland

ZHAO Tong-Qian^{1,2}, OUYANG Zhi-Yun¹, JIA Liang-Qing¹, ZHENG Hua¹ (1. *Research Center for Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China*; 2. *He'nan University of Technology, Jiaozuo, He'nan 454000, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(6): 1101~1110.

Abstract: Grassland ecosystem is the biggest one in China terrestrial ecosystems, and plays special role in maintaining the structure, functions and ecological processes of natural ecosystems. At present, a series of ecological problems are becoming more and more serious because of grassland degradation in some regions. One of the essential reasons is that some important ecological functions of grassland ecosystem and their values are neglected. The economic valuation of grassland ecosystem services, especially the regulating and supporting services that is remarkable but unfamiliar by public, will help to the conservation, reclamation and rational development of grassland resources in China.

The services of China grassland ecosystem that provide indirect values for human being comprise soil erosion control, rainfall regulation, soil C accumulation (weather regulation), waste degradation, nutrient cycling, air quality purifying, cultural diversity, and biodiversity maintenance. This paper took 6 services as components of indirect value to assessment, which include soil erosion control, rainfall regulation, soil C accumulation, waste degradation, nutrient cycling, and biodiversity maintain. The grassland ecosystem is categorized into 18 types during assessment including Temperate Meadow Steppe (TMS), Temperate Steppe (TS), Temperate Desert Steppe (TDS), Temperate Steppe Desert (TSD), Temperate

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(30230090); 国家重点基础研究发展规划(973)资助项目(G2000046807); 中国科学院知识创新工程资助项目(KZCX2~405)

收稿日期: 2003-11-13; **修订日期:** 2004-04-21

作者简介: 赵同谦(1969~), 男, 河北石家庄人, 博士生, 副教授, 主要研究方向为生态系统评价与规划。E-mail: zhtqeric@sina.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: zyouyang@mail.rcees.ac.cn

Foundation item: National Science Key Foundation (No. 30230090), National Basic Priorities Programme (No. G2000046807), Knowledge Innovation Item of CAS(No. KZCX2-405)

Received date: 2003-11-13; **Accepted date:** 2004-04-21

Biography: ZHAO Tong-Qian, Ph. D. candidate, Associate professor, mainly engaged in the research of ecosystem assessment and planning. E-mail: zhtqeric@sina.com

Desert (TD), Alpine Meadow Steppe (AMS), Alpine Steppe (AS), Alpine Desert Steppe (ADS), Alpine Desert (AD), Warm Tussock (WT), Warm Shrubby Tussock (WST), Tropical Tussock (TT), Tropical Shrubby Tussock (TST), Arid-tropical Shrubby Tussock (ATST), Low-land Meadow (LLM), Montane Meadow (MM), Alpine Meadow (AM), and Marsh(M). Every type has its special features in distribution, area, net primary production, and soil erosion, etc.

The assessment of grassland services is divided into two steps in this paper, physical and value assessment. Physical assessment is to quantify the services by choosing reasonable methods and parameters based on the function mechanism analyses. Many researches on grassland function are collected and utilized during physical assessment including investigation, field long-term study, geographic features and spatial distribution. The data processing is carried out by ARCVIEW software. Value assessment is to value the results of physical assessment by some economic methods such as replacement cost, avoided cost, market pricing, and willing to pay, etc. As a result, the economic values of these 6 services are 228.21×10^8 , 692.0×10^8 , 6575.06×10^8 , 228.35×10^8 , 832.62×10^8 , and 246.77×10^8 Yuan RMB, respectively. The total indirect value of the foregoing services of the grassland ecosystem in China is up to 8803.01×10^8 Yuan RMB.

The results show that grassland ecosystem provides huge indirect value to human being besides the direct value of goods, and that the indirect value is same important as the direct value. Not recognizing all the services provided by grasslands will mislead the decision-makers since all the management efforts are aimed at maximizing the production of goods and services with market value. There are still many difficulties in the field of ecosystem services valuation. The focuses of grassland ecosystem services and their valuation in the future should be the service mechanism.

Key words: grassland ecosystem; ecosystem services; indirect value; assessment

文章编号:1000-0933(2004)06-1101-10 中图分类号:Q16,Q948,S812 文献标识码:A

草地是我国陆地面积最大的生态系统类型,总面积达 $3.9 \times 10^8 \text{hm}^2$,占世界草地面积的 13%,占全国国土面积的 41%左右^[1,2]。草地生态系统不仅提供了大量人类社会经济发展中所需的畜牧产品、植物资源,还对维持我国自然生态系统格局、功能和过程,尤其是干旱、高寒和其它生境严酷地区起到关键性作用,具有特殊生态意义。由于长期以来对草地资源采取自然粗放经营的方式,重利用、轻建设、轻管理,草地资源普遍存在着过度放牧、乱开滥垦等现象,草地退化、沙化、盐碱化面积日益发展,草地生态系统破坏严重,由此而产生的区域生态问题越来越突出^[3]。评价我国草地资源生态服务功能的经济价值,尤其是潜在的调节功能和生命支持功能的价值,对于制定合理的区域生态保护和经济开发决策、保护和恢复草地资源效用具有重要意义。

目前,国内外关于草地生态系统的服务功能及其价值评价的研究开展得不多。Sala 等人^[4]阐述了草地维持大气成分、基因库、改善小气候和土壤保持的功能,并对部分功能的生态经济价值进行了评价;Costanza 等人^[5]在全球生态系统服务价值评价中,草地生态系统评价选取的功能包括气体调节、水调节、控制侵蚀和保持沉积物、土壤形成等 9 类,并给出了基于全球尺度的各功能类型的单位面积平均价值;陈仲新等^[6]根据 Costanza 等人的研究结果对中国的生态系统服务功能进行了核算,其中草地生态系统的价值为 8697.68×10^8 元人民币;谢高地等人^[7]将全国草地分为 18 个生态系统类型、21 个亚类进行价值估算,并利用生物量指数对 Costanza 等人给出的服务功能单位面积价值进行了订正,以此为依据估算得出全国自然草地生态系统的年生态经济价值为 1497.9×10^8 美元。本研究拟从草地生态系统服务功能机制分析出发,探索适宜的价值评价方法,并对我国草地生态系统服务功能的间接价值进行评价。

1 草地生态服务功能间接价值评价指标

根据千年生态系统评估框架工作组提出的生态系统服务功能分类方法^[8],草地生态系统的服务功能可以归纳为提供产品功能、调节功能、文化功能和支持功能四大类。其中,提供产品功能和文化功能中的旅游休闲收入构成了草地生态系统服务功能的直接价值,而调节功能、支持功能和部分文化功能则构成了草地生态系统服务功能的间接价值,这些功能指标主要包括侵蚀控制、截留降水、土壤 C 累积(气候调节)、废弃物降解、营养物质循环、空气质量调节、文化多样性和生境提供等。本次评价选取其中六类功能作为评价指标(表 1),而空气质量调节和文化多样性两个功能暂时还难以找到适宜的全国尺度的评价方法,因而未予考虑。

本研究中,草地生态系统的划分采用农业部草地资源调查采用的分类方法,即划分为温性草甸草原、温性草原、温性荒漠草原、温性草原化荒漠、温性荒漠、高寒草甸、高寒草甸草原、高寒草原、高寒荒漠草原、高寒荒漠、暖性灌草丛、暖性草丛、热性草丛、热性灌草丛、干热稀树灌草丛、山地草甸、低地草甸、沼泽类共 18 类草地类型^[2]。

2 草地生态系统服务功能间接价值评价

2.1 土壤侵蚀控制

草地生态系统的土壤侵蚀控制功能表现在对防止风力和水力侵蚀具有显著作用,本次研究主要是评价草地生态系统防止风、水蚀的作用及其由此产生的生态效益。

表 1 草地生态系统服务功能间接价值评价指标

Table 1 Grassland ecosystem services and the indexes system for their valuation

功能指标 Services	评价内容 Assessment contents	功能类型 Category
侵蚀控制 Erosion control	防止土壤风力侵蚀和水力侵蚀的生态效益 Soil erosion control and their economic value	调节功能 Regulating services
截留降水 Rainfall regulation	调节径流、涵养水分功能的生态效益 Rainfall regulation and its benefits	调节功能 Regulating services
土壤 C 累积 Soil C accumulation	土壤有机碳累积对全球气候产生的影响及其生态经济价值 The benefits of soil C accumulation in grassland ecosystem	调节功能 Regulating services
废弃物降解 Waste degradation	牲畜粪便降解清除、养分归还的生态效益 Degradation of livestock excrement and their economic value	调节功能 Regulating services
营养元素循环 Nutrient cycling	草地生态系统主要营养元素的循环及其生态效益 The major nutrients cycling and their benefits of grassland ecosystem	调节功能 Regulating services
维持生物多样性 Biodiversity maintain	草地生态系统维持生物多样性功能的生态经济价值 The benefits of grassland ecosystem in biodiversity protection	支持功能 Supporting services

2.1.1 评价方法 物质量评价采用如下公式^[9]:

$$A_t = A_w + A_s \quad (1)$$

$$A_w, A_s = A_p - A_r \quad (2)$$

式中, A_t 为草地生态系统土壤保持总量; A_w, A_s 分别为风蚀为主区和水蚀为主区土壤保持量; A_p 为潜在土壤侵蚀量, 取全国土壤侵蚀等级分类中的“强度”级对应的风蚀或水蚀模数^[10]; A_r 为草地分布区现实土壤侵蚀量, 来自于全国第二次土壤侵蚀普查数据。

价值量评价采用机会成本法, 估算草地生态系统因控制土壤侵蚀而减少土地废弃所产生的生态经济效益:

$$E_s = A_t \cdot B / (H \cdot 10000 \cdot \rho) \quad (3)$$

式中, E_s 为减少土地废弃产生的生态经济价值; A_t 为土壤保持量; B 为单位农田年均收益, 取 10671.99 元/hm²^[11]; H 为表土平均厚度, 取 0.5m^[12,13]; ρ 为土壤容重, 取 1.35g/cm³^[10]。

2.1.2 评价结果 利用 ARCVIEW 软件的空间分析功能, 将第二次全国土壤侵蚀调查图与草地类型分布图进行叠加处理, 得到不同地区各草地类型斑块的土壤风蚀或水蚀的现实土壤侵蚀模数及其斑块面积。根据公式 1、2 进行数据整理, 得到全国草地生态系统抵御风水蚀的土壤保持总量, 再利用公式 3 计算得到各草地生态系统减少土壤侵蚀量相对应的土地面积, 以及各草地生态系统土壤侵蚀控制功能的价值(表 2)。

2.2 截留降水、涵养水分功能

完好的天然草地不仅具有截留降水的功能, 而且比空旷裸地有较高的渗透性和保水能力, 对调控径流具有重要的意义。据测定, 相同的气候条件下草地土壤含水量较裸地高出 90% 以上^[2]。

2.2.1 评价方法 根据我国气候、地貌以及草地植被特征, 确定该功能的评价区为降雨量大于 400mm 的东部地区。利用 ARCVIEW 软件的空间分析功能估算草地生态系统的涵养水分功能及其价值。

物质量评价采用降水贮存量法^[14], 即用草地生态系统的蓄水效应来衡量其截留降水、涵养水分的功能:

$$Q = A \cdot J \cdot R \quad (4)$$

$$J = J_0 \cdot K \quad (5)$$

$$R = R_0 - R_g \quad (6)$$

式中, Q 为与裸地相比较, 草地生态系统截留降水、涵养水分增加量; A 为计算区草地面积; J 为计算区多年均产流降雨量 ($P > 20\text{mm}$); J_0 为计算区多年均降雨总量; 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, 草地生态系统截留降水、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 为产流降雨条件下草地降雨径流率。

考虑计算区不同区域的降雨强度、降雨量变化特征和不同草地类型的减流效益特征, 可将公式(4)进一步改写为:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{z=1}^p A_{ijz} \cdot J_{0i} \cdot K_j \cdot R_z \quad (7)$$

式中, $i=1, \dots, n$, n 为计算区降雨量 J_0 分区数; $j=1, \dots, m$, m 为降雨特征; K 为不同区域的侵蚀性降雨比例; $z=1, \dots, p$, p 为计算区草地类型数。

该功能的生态经济价值可采用替代工程法进行评价,水库蓄水成本取 0.67 元/m³[15]。

表 2 各草地生态系统抵御风水蚀的土壤保持量及其生态经济价值

Table 2 The decrease of soil erosion control of all grassland ecosystems and their economic values

草地生态系统类型 Grassland type	抵御风蚀土壤保持量 Wind erosion control(10 ⁴ t/a)	抵御水蚀土壤保持量 Water erosion control (10 ⁴ t/a)	土壤保持总量 Total erosion control(10 ⁴ t/a)	折合土地面积 Converted land area (hm ²)	价值 Value (10 ⁸ Yuan/a)
温性草甸草原类 Temperate meadow steppe(TMS)	24213.01	68660.10	92873.11	137589.79	14.68
温性草原类 Temperate steppe(TS)	170749.25	94715.83	265552.70	393411.41	41.99
温性荒漠草原类 Temperate desert steppe(TDS)	79893.95	35168.33	115062.28	170462.63	18.19
温性草原化荒漠类 Temperate steppe desert(TSD)	9707.54	42345.19	52052.73	77115.15	8.23
温性荒漠类 Temperate desert(TD)	14235.08	103263.97	117499.05	174072.66	18.58
高寒草甸草原类 Alpine meadow steppe(AMS)	527.89	2231.96	2759.84	4088.66	0.44
高寒草原类 Alpine steppe(AS)	15034.28	20399.96	35434.23	52495.16	5.60
高寒荒漠草原类 Alpine desert steppe(ADS)	8369.47	2503.31	10872.78	16107.83	1.72
高寒荒漠类 Alpine desert(AD)	458.96	2874.69	3333.65	4938.74	0.53
暖性草丛类 Warm tussock(WT)	17.96	21853.76	21871.72	32402.55	3.46
暖性灌草丛类 Warm shrubby tussock(WST)	12.04	60129.10	60141.14	89097.98	9.51
热性草丛类 Tropical tussock(TT)	23.39	101424.97	101860.74	150904.79	16.10
热性灌草丛类 Tropical shrubby tussock(TST)	18.96	95250.29	95269.24	141139.62	15.06
干热稀树灌草丛类 Arid- tropical shrubby tussock (ATST)	5.17	207.53	212.69	315.10	0.03
低地草甸类 Low-land meadow(LLM)	91625.27	98297.45	189922.71	281366.98	30.03
山地草甸类 Montane meadow(MM)	4282.72	89166.81	93449.54	138443.76	14.77
高寒草甸类 Alpine meadow(AM)	8175.28	162123.76	170299.04	252294.87	26.92
沼泽类 Marsh(M)	4664.38	10310.91	14975.29	22185.61	2.37
合计 Total	432514.60	1010927.92	1443442.48	2138433.29	228.21

2.2.2 主要参数的选取

J_0 根据全国多年降雨总量的分布特征,将计算区划分为 400~600、600~800、800~1200、1200~1600mm、>1600mm 等 5 个降雨强度区,其降雨量参数分别取 500、700、1000、1400、1800mm。

K 将计算区以秦岭—淮河一线为界划分为北方区和南方区。北方地区降雨较少,较强降雨相对集中于 6~9 月份,甚至一年的降水主要集中在一两次降雨中;南方降雨次数多、降雨量大,主要集中在 4~9 月的雨季。根据降雨特征分别选取 K 参数值 ($P>20$ mm)为:北方区 K_1 取 0.4^[16~20],南方区 K_2 取 0.6^[21~23]。

R 根据已有的实测和研究成果,结合各草地生态系统类型的分布、植被覆盖、土壤、地形特征以及对应裸地的相关特征,确定计算区各草地植被类型的 R 值(表 3)。

表 3 计算区主要草地生态系统类型 R 值

Table 3 R values of the various grassland ecosystems in the calculated region

草地类型 Type	温性草原 TS	温性草甸 草原 TMS	暖性草丛 WT	暖性灌草 丛 WST	热性草丛 TT	热性灌草 丛 TST	山地草甸 MM	低地草甸 LLM	沼泽类 M
R	0.15	0.18	0.20	0.20	0.35	0.35	0.25	0.20	0.40

* 各草地类型的 R 值由黄欠如等^[21]、段舜山等^[23]、阮伏水^[24]、柳云龙^[25]、陈祥伟^[26]、张启民^[27]、赵焕胤^[28]、侯喜禄^[29]、Zhongwei Guo^[30]、张金香^[31]等人的实测结果整理得到; The R value of various grassland derive from experimentation results of Huang Q R, Duan S S, Ruan F S, Liu Y L, Chen X W, Zhang Q M, Zhao H Y, Hou X L, Guo Z W, Zhang J X, *et al*

2.2.3 评价结果 首先将降雨量等值线图、地形图及植被类型图划定评价区范围,利用 ARCVIEW 软件将得到的评价范围图层与草地类型分布图进行叠加,得到评价区不同草地类型、降雨量以及 K 系数的综合分布图以及数据库,根据公式(7)进行计算得到物质量评价结果,在此基础上进一步估算得到价值量评价结果(表 4)。

2.3 土壤 C 累积

2.3.1 评价方法 利用 ARCVIEW 软件,将 1:100 万全国草地分布图和土壤有机质分布图进行叠加,计算出各草地类型有机质贮存量及其总和(公式 8),再折算成土壤有机碳总固定量:

$$M_o = \sum_{i=1}^{18} \sum_{j=1}^n A_{ij} \cdot H_i \cdot \rho_i \cdot C_{ij} \quad (8)$$

$$M_C = M_O \cdot \lambda \quad (9)$$

式中, M_O 为草地生态系统土壤有机质总量; A_{ij} 为各草地类型各侵蚀斑块面积; H_i 为各草地类型的平均计算深度, 一般取 $1\text{m}^{[34]}$, 青藏高原区的主要草地类型取 $0.72^{[35]}$; ρ_i 为各草地类型的平均土壤容重, 计算中取均值 $1.35\text{g}/\text{cm}^3^{[10]}$; C_i 为各草地类型土壤有机质含量; i 为草地类型数, $i=1, \dots, 18$; j 为各草地类型不同有机质含量斑块数, $j=1, \dots, n$; M_C 为草地生态系统土壤有机质折合 C 总量; λ 为折算系数(有机质含 C 比例), 取 $0.58^{[36]}$ 。

表 4 计算区各草地生态系统类型水分涵养量及其价值

Table 4 Water regulating amount of the various grassland ecosystems and their values in the calculated region

草地类型 Type	温性草原 TS	温性草甸 草原 TMS	暖性草丛 WT	暖性灌 草丛 WST	热性草丛 TT	热性灌 草丛 TST	山地草甸 MM	低地草甸 LLM	沼泽类 M	合计 Total
面积(10^6hm^2) Calculated area	10.81	4.85	3.39	8.80	12.99	12.79	10.82	10.73	1.19	76.38
水量($10^8\text{t}/\text{a}$) Water amount	30.62	17.91	23.17	64.91	362.32	362.70	51.48	107.90	11.74	1032.75
价值 Value(10^8 元/a)	20.5	12.0	15.5	43.5	242.8	243.0	34.5	72.3	7.9	692.0

价值量评价引用 Fankhauser 和 Pearce 等人的研究成果^[4,32,33]进行估算, CO_2 释放的成本价值取 20.4 美元/tC (1991~2000 年间), 折合人民币 168.85 元/tC, 得到草地 C 累积、减缓温室效应影响的总生态经济价值。按假定其开发利用期为 100 年、年率降为 5%^[6,14]估算出该功能每年的价值。

2.3.2 评价结果 利用 ARCVIEW 的空间分析功能, 将草地图与土壤有机质图叠加, 并对生成的属性数据库按公式 8 进行计算, 得到不同草地类型的土壤有机质总量, 然后根据公式 9 换算各草地类型的土壤含 C 量(表 5)。在此基础上, 进一步计算得到全国草地土壤 C 累积的潜在生态经济价值为 6575.06×10^8 元/a。

2.4 废弃物降解及养分归还功能

牲畜放牧过程中, 大量的排泄物散落在草地生态系统中, 在自然风化、淋滤以及生物碎裂和微生物分解等综合作用下, 得以降解, 养分归还草原生态系统。该功能避免了大量牲畜粪便积存, 对于维持草地生态系统功能与过程至关重要。

2.4.1 评价方法 通过估算我国主要草地牲畜粪便中, 散落在草地部分的营养成分总量, 来评价草地生态系统对于牲畜粪便的降解能力和养分归还功能:

$$G = \lambda \cdot \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^3 W_i \cdot r_{ij} \cdot \omega_{ij} \quad (10)$$

式中, G 为因废弃物降解而归还的营养物质总量, λ 为牲畜粪便归还草地的比率, i, j 分别为评价的牲畜类型(牛、马、羊)和营养物类型(N, P_2O_5), W_i 分别取草地的牛、马、羊载畜量, r_{ij} 为不同类型牲畜个体粪便量, ω_{ij} 为不同类型牲畜个体粪便中营养元素的平均含量。

价值量评价采用影子价格法, 以我国平均化肥价格 2549 元/t^[15]来估算草原生态系统的废弃物降解及养分归还功能的生态经济价值。

2.4.2 评价结果 2000 年我国主要牲畜保有量为牛 12866.3×10^4 头, 马 876.6×10^4 头, 羊 29031.9×10^4 只^[11]。

根据蒋丽红等人^[37]在内蒙古鄂温克旗的研究结果, 按干物质计算, 牛粪中含有有机质量为 88.3%, 含 N 和 P_2O_5 分别为 1.5% 和 0.7%; 羊粪中含有有机质 90.8%, 含 N 和 P_2O_5 分别为 2.4% 和 0.7%; 马粪粪中含有有机质 87.6%, 含 N 和 P_2O_5 分别为 2.0% 和 0.9%。按此推算, 一年内牛、马、羊个体分别平均要排出 N 为 31.2kg、42.0 kg 和 6.2kg; P_2O_5 为 14.5 kg、11.1kg 和 2.8 kg。

根据陈国阶^[38]的研究, 长江中上游牧区平均每人烧掉牛粪 5t/a; 陈佐忠等人^[39]则认为, 约 30% 以上的排泄物排放到宿营地而没能归还给草地; 蒋丽红等人^[37]在内蒙古的调查也表明, 牧区全年约 50% 的家畜粪便被当作燃料烧掉, 约有 20% 的畜圈粪肥被当作垃圾扔掉或烧掉, 只有 30% 的粪肥被散落在放牧场上, 作为粪肥归还草地。因此物质质量评价中, 归还率可取 30%。

表 5 各草地类型土壤有机质及 C 总量计算结果

Table 5 The amount of organic matter and C of all grassland ecosystems

草地类型 Type	面积比例 (%)Area proportion	有机质总量 (10^9t)Organic matter amount	C 总量 (10^9t) C amount
温性草甸草原类 TMS	3.7	8.49	4.92
温性草原类 TS	10.46	13.78	7.99
温性荒漠草原类 TDS	4.82	4.26	2.47
温性草原化荒漠类 TSD	2.72	1.528	0.886
温性荒漠类 TD	11.47	4.421	2.564
高寒草甸草原类 AMS	1.75	1.25	0.72
高寒草原类 AS	10.59	9.46	5.49
高寒荒漠草原类 ADS	2.44	1.62	0.94
高寒荒漠类 AD	1.92	1.651	0.958
暖性草丛类 WT	1.69	0.90	0.52
暖性灌草丛类 WST	2.98	2.58	1.49
热性草丛类 TT	3.62	3.94	2.29
热性灌草丛类 TST	4.44	3.46	2.01
干热稀树灌草丛类 ATST	0.22	0.01	0.00
低地草甸类 LLM	6.42	13.14	7.62
山地草甸类 MM	4.26	15.43	8.95
高寒草甸类 AM	16.22	36.50	21.17
沼泽类 M	0.73	1.66	0.96
合计 Total	—	143.06	71.97

根据公式 10 进行计算,得到物质质量评价结果见下表(表 6)。在此基础上,进一步计算得到草地生态系统废弃物降解、养分归还功能的价值为 228.35×10^8 元/a。

2.5 营养物质循环

生态系统营养物质循环的最主要过程是生物与土壤之间的养分交换过程,也是植物进行初级生产的基础,对维持生态系统的功能和过程十分重要^[40~42]。参与生态系统维持养分循环的物质种类很多,其中的大量营养元素有氮、磷、钾等。

2.5.1 评价方法及草地净初级生产力(NPP)估算 基于营

养物质循环功能的服务机制,可以认为构成草地净初级生产力的营养元素量即为参与循环的养分量。评价过程中,根据基础数据的齐备程度选取氮、磷进行评价。

草地生态系统 NPP 计算中,以各类草地生态系统类型干草产量测定数据作为其地上部分净生产力^[2];地下部分生产力基础研究资料较少,根据高寒地区矮嵩草草甸地下生产力研究结果^[43],高寒草甸草原类、高寒草原类、高寒荒漠草原类、高寒草甸类五类草地类型采用地下净生产量与地上净生物量的比值取 2.31,其它草地类型则根据锡林河流域温性草原植被地上、地下部分生产力实测结果^[44]建立相关关系得到的比例系数进行估算。计算结果见下表(表 7)。

表 7 各草地类型净初级生产力计算表

Table 7 The amount of NPP of all grassland ecosystems in China

草地类型 Type	单位面积干草产量 Hay yield(kg/(hm ² ·a))	地上部分净生产力 Upper NPP(10 ⁴ t/a)	地下部分净生产力 Underground NPP(10 ⁴ t/a)	净初级生产力 Total NPP(10 ⁴ t/a)
温性草甸草原类 TMS	1293	1879.85	4623.71	6503.56
温性草原类 TS	831	3490.85	8574.69	12065.54
温性荒漠草原类 TDS	482	912.02	2250.11	3162.13
温性草原化荒漠类 TSD	404	431.21	1070.92	1502.13
温性荒漠类 TD	318	1432.93	3527.64	4960.57
高寒草甸草原类 AMS	427	293.17	677.22	970.39
高寒草原类 AS	301	1252.86	2894.11	4146.97
高寒荒漠草原类 ADS	187	178.88	413.21	592.09
高寒荒漠类 AD	128	96.36	222.59	318.95
暖性草丛类 WT	1991	1324.65	3262.08	4586.73
暖性灌草丛类 WST	1554	1805.11	4440.41	6245.52
热性草丛类 TT	2824	4020.59	9873.87	13894.46
热性灌草丛类 TST	2088	3664.71	9001.08	12665.79
干热稀树灌草丛类 ATST	2283	197.05	496.64	693.69
低地草甸类 LLM	2066	5203.28	12774.42	17977.7
山地草甸类 MM	1643	2746.92	6750.20	9497.12
高寒草甸类 AM	1342	8551.29	19753.48	28304.77
沼泽类 M	2170	623.61	1542.78	2166.39
未划分的零星草地 Fragmentary Grassland (FG)	2793	10108.82	24805.26	34914.08
合计 Total	—	48214.16	116954.42	165168.58

* 各草地类型面积、单位干草产量来源于文献[1,2] The area and hay yield come from document[1,2]

2.5.2 评价结果 不同草地生态系统的植物体的磷、粗蛋白质含量数据来源于《中国草地资源》^[2]。根据粗蛋白质中氮元素比例(1/6.25),可折算成各草地类型的氮含量。在此基础上,根据净初级生产力和养分含量可计算出各草地类型的 P、N 参与循环总量,并以我国平均化肥价格为 2549 元/t^[15]估算其价值。物质质量、价值量评价结果见下表(表 8)。

2.6 维持生物多样性

草地生态系统自然保护区是保护以草地为生境的生物多样性的主要区域。本研究,通过估算草地自然保护区的机会成本、经费投入和全民支付意愿,作为草地生态系统维持生物多样性功能的生态经济价值。

2.6.1 机会成本 根据国家环境保护总局的统计资料^[45],截止 2001 年底,全国已建立各种类型、不同级别的自然保护区 1551 个,总面积达到 $12989 \times 10^4 \text{hm}^2$,约占国土面积的 12.9%。已建自然保护区中,草地生态系统自然保护区仅 33 个,面积为 $350.56 \times 10^4 \text{hm}^2$,加上生境是草地的野生生物类保护区,则草地生态系统个数达到 44 个,面积达到 $1046.19 \times 10^4 \text{hm}^2$,占全国保护区面积的 8.05%。评价中,单位面积机会成本取现有草地单位面积平均产值 2247.14 元/hm²(2000 年)^[1,11]。则草地生态系统为保

护生物多样性所丧失的机会成本为 235.09×10^8 元/a。

表 8 各草地类型净生产量的 P、N 总含量及其物质量、价值量评价结果

Table 8 The total amount of nutrient cycling of all grassland ecosystems and their values

草地类型 Type	P (10^4 t/a)	P ₂ O ₅ (10^4 t/a)	N (10^4 t/a)	折合化肥总量 Converted(10^4 t/a)	价值 Value (10^8 Yuan/a)
温性草甸草原类 TMS	9.76	22.34	95.00	117.35	29.91
温性草原类 TS	34.99	80.14	210.23	290.37	74.01
温性荒漠草原类 TDS	7.91	18.11	60.31	78.41	19.99
温性草原化荒漠类 TSD	3.61	8.26	31.44	39.69	10.12
温性荒漠类 TD	7.44	17.04	88.73	105.78	26.96
高寒草甸草原类 AMS	2.81	6.45	18.48	24.92	6.35
高寒草原类 AS	7.46	17.10	84.60	101.69	25.92
高寒荒漠草原类 ADS	0.89	2.03	14.55	16.59	4.23
高寒荒漠类 AD	0.54	1.24	7.99	9.23	2.35
暖性草丛类 WT	5.96	13.66	44.84	58.50	14.91
暖性灌草丛类 WST	11.87	27.18	81.84	109.02	27.79
热性草丛类 TT	16.67	38.19	132.28	170.46	43.45
热性灌草丛类 TST	15.20	34.81	67.89	102.70	26.18
干热稀树灌草丛类 ATST	0.21	0.48	5.64	6.11	1.56
低地草甸类 LLM	23.37	53.53	306.05	359.58	91.66
山地草甸类 MM	14.25	32.63	161.07	193.70	49.37
高寒草甸类 AM	62.27	142.62	578.78	721.40	183.88
沼泽类 M	4.33	9.92	38.65	48.57	12.38
未划分的零星草地 FG	59.35	135.94	576.50	712.44	181.60
合计 Total	288.89	661.67	2604.87	3266.51	832.62

2.6.2 政府经费投入 近年来,各级政府对自然保护区每年总的经费投入约 2×10^8 元^[46]。按草地自然保护区占全国自然保护区面积的比例进行估算,得到草地自然保护区的政府经费投入为 0.16×10^8 元/a。

2.6.3 公众支付意愿 根据《中国生物多样性国情研究报告》中给出的调查结果^[15],全民每人每年捐赠支付金额为 10 元。据此估算得到的中国生物多样性保护支付意愿为 126.58×10^8 元。《中国濒危动物红皮书》^[47]记载的中国一级保护物种中主要生境为草地生态系统的保护物种比例(9.1%),按此比例估算得到草地生态系统维持生物多样性的支付意愿为 11.79×10^8 元/a。

综合以上评价结果结果,得到草地生态系统维持生物多样性功能的总价值为 246.77×10^8 元/a。

3 结果与讨论

根据以上评价结果,得出构成我国草地生态系统间接价值的 6 类服务功能的总价值为 8803.01×10^8 元/a(表 9)。中国草地提供给社会的直接价值约为 1952.98×10^8 元/a^①,因此,草地生态系统服务功能的间接价值远远大于其直接价值。上述研究结果表明,草地生态系统除为社会提供直接产品价值外,还具有巨大的间接使用价值,而且这种价值对人类的贡献与提供产品本身同样重要。

表 9 草地生态系统服务功能价值评价结果(10^8 元/a)

Table 9 The results of grassland ecosystem services valuation in China (10^8 YuanRMB/a)

功能 Services	侵蚀控制 Erosion control	截留降水 Rainfall regulation	土壤 C 累积 Soil C accumulation	废弃物降解 Waste degradation	营养物质循环 Nutrient cycling	维持生物多样性 Biodiversity maintain	合计 Total
评价结果 Results	228.21	692.0	6575.06	228.35	832.62	246.77	8803.01

草地生态系统对于维持我国自然生态系统格局、功能和过程具有特殊的生态意义。草地资源生态服务功能的经济价值尤其是间接价值的合理评价,可以为解决日益显著的区域生态问题、促进区域生态环境保护和经济发展提供决策依据。目前,关于草地生态系统服务功能及其价值评价的研究相对较少,原因在于其功能指标难以找到适宜的定量评价方法。本次研究重点对草地

① 欧阳志云,赵同谦,郑华.生态系统服务功能及其价值评估.北京:中国科学院生态环境研究中心,2003

生态系统服务功能的评价方法做了积极的探索,提出了基于 GIS 的全国尺度草地生态系统侵蚀控制、截留降水、营养物质循环等功能评价的实现方法,提出了草地生态系统废弃物降解、维持生物多样性功能的评价方法,并得出了相应的间接价值评价结果。应该说明的是,本文所做的工作还只是一个初步的探索,一些服务功能指标地选择以及物质量评价方法还有待完善,建立完善的草地生态系统服务功能评价体系尚有待进一步的研究。此外,今后的草地生态系统服务功能及其价值评价工作应注重加强草地生态系统服务功能机制研究,尤其是应重点探索人类活动对草地生态系统服务功能的影响机制,比较分析不同干扰方式与干扰程度影响下,生态系统结构与生态过程的变化,以及相应生态系统服务功能响应特征与变化趋势,为草地可持续管理提供基础依据。

References:

- [1] Chen B M, *The Integrated Productivity and Population Carrying Capacity of the Agriculture Resources in China*. Beijing: China Meteorological Press, 2001.
- [2] The Department of Animal Husbandry and Veterinary and the General Station of Animal Husbandry and Veterinary of the Ministry of Agriculture, P. R. China. *Rangeland Resources of China*. Beijing: Chinese Science and Technology Press, 1996.
- [3] Li W H. *Ecological Agriculture: Theories and Practices of Sustainable Agriculture in China*. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [4] Sala O E, Paruelo J M. Ecosystem services in grasslands. In: Daily G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington D C: Island Press, 1997. 237~254.
- [5] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, **387**: 253~260.
- [6] Chen Z X, Zhang X S. The value of ecosystem benefits in China. *Chinese Science Bulletin*, 2000, **45**(1): 17~22.
- [7] Xie G D, Zhang L Y, Lu C X, *et al.* Study on valuation of rangeland ecosystem services of China. *Journal of Nature Resources*, 2001, **16**(1): 47~53.
- [8] The conceptual Framework Working Group of The Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-being*. Washington D C: Island Press, 2003.
- [9] Ouyang Z Y, Xiao H, *et al.* The spatial distribution characteristics and eco-economic value of ecosystem service in Hainan Island. In: Zhao Jing-zhu *et al.*, *Research on Sustainable Development of SENCE*. Beijing: Chinese Environment Science Press, 1999. 270~284.
- [10] The Ministry of River Resources of the PRC. *Standards for classification and gradation of soil erosion*. Beijing: China WaterPower Press, 1997.
- [11] National Bureau of Statistics of China. *Chinese Statistics Yearbook-2000*, Beijing: Chinese Statistics Press, 2001.
- [12] Xue D Y, Bao H S, Li W H. A valuation study on the indirect values of forest ecosystem in Changbaishan Mountain Biosphere Reserve of China. *China Environmental Science*, 1999, **19**(3): 247~252.
- [13] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological economic values. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, **19**(5): 607~613.
- [14] Li J C, *Ecological value theory*. Chongqing: Chongqing University Press, 1999.
- [15] Editorial Committee of State Report on Biodiversity of China Committee. *State Report on Biodiversity of China*. Beijing: China Environmental Science Press, 1997.
- [16] Peng W Y, Zhang K L, Jiang Z S, *et al.* Runoff and sediment changes characteristics after returning cropland to grass on the loess plateau. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, **22**(4): 397~402.
- [17] Wang Z L, Shao M A, Chang Q R. Effects of rainfall factors on soil erosion in loess plateau. *Acta Univ. Agric. Boreali-occidentalis*, 1998, **26**(4): 101~105.
- [18] Wang W Z, Jiao J Y. Quantitative evaluation on factors influencing soil erosion in China. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1996, **16**(5): 1~20.
- [19] Peng S Q, Yang X G, Ke X X. Rainfall characteristic in the east region of the Yellow river of Gansu province. *Advances in Water Science*, 1996, **7**(1): 73~78.
- [20] Wang S L, Li F X. Analysis of rainfall characteristics and the relations with drought or excessive rain. *China Rural Water and Hydropower*, 1996, **16**: 8~12.
- [21] Huang Q R, He X Y, Zhou M Q, *et al.* Preliminary observation on climatic effect of ecosystems of fruit trees and crops in red soil of hilly region. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 1998, **10**(2): 76~83.
- [22] Huang L J, Hu M G, Zhang S X, *et al.* A study on rainfall in south China from the view of soil erosion. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1993, **7**(1): 53~60.

- [23] Duan S S, Lin Q Q. Effect of the soil and water conservation of fruit tree and grass intercropping patterns on gentle slopeland in Guangdong. *Grassland of China*, 2000, **5**:35~40.
- [24] Ruan F S. A preliminary study on the characteristics of soil and water losses on various sloping land in granite area. *Geographical Research*, 1995, **14**(2):64~72.
- [25] Liu Y L, Lu J, Wang R C. Soil structure, nutrient accumulation and water retention character in eroded hilly red soil after virecence. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2000, **14**(4):79~82.
- [26] Chen X W. Water balance of watershed ecosystem in river upper reaches of Nenjiang. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2001, **12**(6):903~907.
- [27] Zhang Q M, Zhang W T. Study on the soil erosion control of a few kinds of excellent pasturage in western Shanxi. *Soil and Water Conservation Science and Technology in Shanxi*, 1998, **4**:13~15.
- [28] Zhao H Y, Zhu J W, WANG Wei-hua. Study on the runoff in forestbelt and grassland. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1994, **8**(2):56~61.
- [29] Hou X L, Cao Q Y. Summarization of step series control in Xinzhou Prefecture. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1990, **10**(4):53~60.
- [30] Zhongwei G, Xiangming X, et al, Ecosystem functions, services and their values——a case study in Xingshan County of China, *Ecol-Econ*, 2001, **38**: 141~154.
- [31] Zhang J X, Qian J E. Studies on the water and soil conservation functions of grass cover in Taihang Mountains. *Journal of Hebei Forestry College*, 1996, **11**(2): 120~124.
- [32] Pearce D M and Moran D. *The economic value of biodiversity*, IUCN, Cambridge, 1994.
- [33] Fankhauser S, Pearce D W. The social costs of greenhouse gas emissions. In: Organisation for Economic Cooperation and Development - International Energy Agency, *The Economics of Climate Change*, Paris, 1994.
- [34] Jin F, Yang H, Cai Z C. Calculation of density and reserve of organic carbon in soils. *Acta Pedologica Sinica*, 2001, **38**(4):522~528.
- [35] Fang J Y, Liu G H, Xu S L. Carbon pools of China terrestrial ecosystem. In: Wang G C. *Concentration, release and processes of greenhouse gases*. Beijing: China Environmental Science Press, 1996. 109~128.
- [36] Liu G S. *Analysis of Soil physical and chemistry characteristics and section description*. Beijing: China Standards Press, 1996.
- [37] Jiang L H. Strengthening management of livestock excrement in pasture land to improve the productivity of grassland. *Inner Mongolia Grass Industry*, 1997, (2,3): 49~50.
- [38] Chen G J. Major causes of soil erosion in the upper Yangtze river valley and the control countermeasures. *Rural Eco-environment*, 2000, **16**(3):5~8.
- [39] Chen Z Z, Wang S P. *China Typical Steppe Ecosystem*. Beijing: Science Press, 2000.
- [40] Burke I C, Yonker C M, Parton W J, et al. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U. S. grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 1989, **53**: 800~805.
- [41] Burke I C, Lauenroth W K, Coffin D P, et al. Soil organic matter recovery in semiarid grasslands; implications for the conservation reserve program. *Ecological Application*, 1995, **5**: 793~801.
- [42] Aguiar M R, Paruelo J M, Sala O E, et al. Ecosystem responses to changes in plant functional type composition; an example from the Patagonian steppe. *Journal of Vegetation Science*, 1996, **7**(3): 381~390.
- [43] Zhou X M. *China Kobresia Meadow*. Beijing: Science Press, 2001.
- [44] Li B, Yong S P, Li Z H. The vegetation of the Xilin River Basin and its utilization. In: Inner Mongolia Grassland Ecosystem Research Station eds. *Research on Grassland Ecosystem*(No. 3). Beijing: Science Press, 1988. 84~183.
- [45] Nature Reserves Department, State Environmental Protection Administration of China. *Catalog of China Nature Reserves*. Beijing: Chinese Environment Science Press, 2002.
- [46] Han N Y. Study on The Policy Towards Sustainable Management of Nature Reserves in China. Beijing: Scientific and Technical Documents Publishing House, 2000.
- [47] Wang S. *China Red Data Book of Endangered Animals*. Beijing: Science Press, 1998.

参考文献:

- [1] 陈百明主编,中国农业资源综合生产能力与人口承载能力. 北京:气象出版社, 2001.
- [2] 中华人民共和国农业部畜牧兽医司,全国畜牧兽医总站主编. 中国草地资源. 北京:中国科学技术出版社, 1996.
- [3] 李文华. 生态农业——中国可持续农业的理论与实践. 北京:化学工业出版社, 2003.

- [6] 陈仲新,张新时. 中国生态系统效益的价值. 科学通报,2000,45(1):17~22.
- [7] 谢高地,张钰铨,鲁春霞,等. 中国自然草地生态系统服务价值. 自然资源学报,2001,16(1):47~53.
- [9] 欧阳志云,肖寒,等. 海南岛生态系统服务功能及空间特征研究. 赵景柱等主编. 社会-经济-自然复合生态系统可持续发展研究. 北京:中国环境科学出版社,1999. 270~284.
- [10] 中华人民共和国水利部. 土壤侵蚀分类分级标准. 北京:中国水利水电出版社,1997.
- [11] 国家统计局. 中国统计年鉴2000,北京:中国统计出版社,2001.
- [12] 薛达元,包浩生,李文华. 长白山自然保护区森林生态系统间接经济价值评估. 中国环境科学,1999,19(3):247~252.
- [13] 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. 生态学报,1999,19(5):607~613.
- [14] 李金昌. 生态价值论. 重庆:重庆大学出版社,1999.
- [15] 中国生物多样性国情研究报告编写组. 中国生物多样性国情研究报告. 北京:中国环境科学出版社,1997.
- [16] 彭文英,张科利,江忠善,等. 黄土高原坡耕地退耕还草的水沙变化特征. 地理科学,2002,22(4):397~402.
- [17] 王占礼,邵明安,常庆瑞. 黄土高原降雨因素对土壤侵蚀的影响. 西北农业大学学报,1998,26(4):101~105.
- [18] 王万忠,焦菊英. 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究. 水土保持通报,1996,16(5):1~20.
- [19] 彭素琴,杨兴国,柯晓新,等. 甘肃河东地区降雨特征分析研究. 水科学进展,1996,7(1):73~78.
- [20] 王少丽,李福祥. 降雨特征分析及其与旱涝关系的探讨. 中国农村水利水电,1996,16:8~12.
- [21] 黄欠如,贺湘逸,周慕卿,等. 红壤丘陵果农复合系统的小气候效应初步观察. 江西农业学报,1998,10(2):76~83.
- [22] 黄录基,胡鸣高,张绍贤,等. 从土壤侵蚀角度讨论华南降水特征. 水土保持学报,1993,7(1):53~60.
- [23] 段舜山,林秋奇. 广东缓丘坡地牧草果树间作模式的水土保持效应. 中国草地,2000,5:35~40.
- [24] 阮伏水. 花岗岩不同土地利用类型坡地水土流失特征. 地理研究,1995,14(2):64~72.
- [25] 柳云龙,吕军,王人潮. 低丘侵蚀红壤垦种绿化后土壤结构、养分积聚和持水性能. 水土保持学报,2000,14(4):79~82.
- [26] 陈祥伟. 嫩江上游流域生态系统水量平衡的研究. 应用生态学报,2001,12(6):903~907.
- [27] 张启民,张文婷. 晋西黄土丘陵沟壑区几种优良牧草水土保持效益的研究. 陕西水土保持科技,1998,4:13~15.
- [28] 赵焕胤,朱劲伟,王维华. 林带和牧草地径流的研究. 水土保持学报,1994,8(2):56~61.
- [29] 侯喜禄,曹清玉. 黄土丘陵区幼林和草地水保及经济效益研究. 水土保持通报,1990,10(4):53~60.
- [31] 张金香,钱金娥. 太行山草被水土保持功能的研究. 河北林学院学报,1996,11(2):20~24.
- [34] 金峰,杨浩,蔡祖聪. 土壤有机碳密度及储量的统计研究. 土壤学报,2001,38(4):522~528.
- [35] 方精云,刘国华,徐嵩龄. 中国陆地生态系统的碳库. 见:王庚辰主编. 温室气体浓度和排放及相关过程. 北京:中国环境科学出版社,1996.109~128.
- [36] 刘光崧. 土壤理化分析与剖面描述. 北京:中国标准出版社,1996.
- [37] 蒋丽红. 加强牧区家畜粪便管理,提高草地生产力. 内蒙古草业,1997,(2,3):49~50.
- [38] 陈国阶. 长江上游水土流失主要成因与防治对策. 农村生态环境,2000,16(3):5~8.
- [39] 陈佐忠,汪诗平. 中国典型草原生态系统. 北京:科学出版社,2000.
- [43] 周兴民. 中国嵩草草甸. 北京:科学出版社,2001.
- [44] 李博,雍世鹏,李忠厚. 锡林河流域植被及其利用. 见:中国科学院内蒙古草原生态定位站编. 草原生态系统研究(第3集). 北京:科学出版社,1988. 84~183.
- [45] 国家环境保护局自然保护司. 全国自然保护区名录. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [46] 韩念勇编. 中国自然保护区可持续管理政策研究. 北京:科学技术文献出版社,2000.
- [47] 汪松主编. 中国濒危动物红皮书. 北京:科学出版社,1998.