

DOI: 10.5846/stxb201812302851

甘爽, 肖玉, 徐洁, 王洋洋, 余付勤, 谢高地. 呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设的费用效益综合评价. 生态学报, 2019, 39(16): - .

Gan S, Xiao Y, Xu J, Wang Y Y, Yu F Q, Xie G D. Comprehensive cost-benefit evaluation of the Hulunbuir grassland meadow ecological function area. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(16): - .

呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设的费用效益综合评价

甘爽^{1,2}, 肖玉^{1,2,*}, 徐洁³, 王洋洋^{1,2}, 余付勤^{1,2}, 谢高地^{1,2}

1 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101

2 中国科学院大学, 北京 100049

3 北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083

摘要:生态工程费用效益评价是对生态工程实施有效性及合理性的评估。本研究基于费用效益理论,分析了呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设费用投入情况,在区分气候与生态建设对生态效益贡献率的基础上,采用遥感和统计数据从生态、经济和社会三个方面评价了该功能区的综合效益,计算功能区建设工程的效益-费用比,综合评估了呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设的经济性。结果表明:(1)2010—2014年该功能区重点生态功能区相关领域建设总投入为84.31亿元,其中重点生态功能区建设投入为1.18亿元,占总投入的1.40%;(2)利用残差趋势分析法计算出生态建设对研究区产生生态效益的贡献率为37.25%,2011—2015年该功能区重点生态功能区建设产生的生态效益为12458.13万元;(3)2011—2015年该功能区重点生态功能区建设产生的经济效益和社会效益分别为4877.74万元和2804.85万元;(4)呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设工程效益-费用比为1.71,效益高于费用,证明该工程具有一定的经济性。本研究将为国家重点生态功能区工程的不断完善以及加快推进实现国家重点生态功能区的功能定位提供一定的科学支撑。

关键词:生态效益;经济效益;社会效益;效益-费用比;呼伦贝尔草原草甸生态功能区

Comprehensive cost-benefit evaluation of the Hulunbuir grassland meadow ecological function area

GAN Shuang^{1,2}, XIAO Yu^{1,2,*}, XU Jie^{1,2}, WANG Yangyang^{1,2}, YU Fuqin^{1,2}, XIE Gaodi^{1,2}

1 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

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

3 School of Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: The cost-benefit evaluation of ecological engineering is an assessment of the effectiveness and rationality of ecological engineering implementation. Based on the cost-benefit theory, this study analyzed the investment cost of the Hulunbuir grassland meadow ecological function area (HGMEFA). In addition, based on the remote sensing and statistical data, we evaluated the comprehensive benefits of the HGMEFA from ecological, economic, and social perspectives and calculated the benefit-cost ratio of the project to comprehensively evaluate the economic efficiency of HGMEFA construction. The results showed that: (1) From 2010 to 2014, the total investment in the relevant fields of HGMEFA construction was 84.31 hundred million yuan, while the construction cost of the HGMEFA was 1.18 hundred million yuan, accounting for 1.40% of the total investment; (2) The contribution rate of ecological construction was 37.25%, and the ecological benefit of

基金项目:国家重点研发计划课题(2016YFC0503706和2016YFC0503403);中国科学院科技服务网络计划项目资助(KFJ-ST-S-RKT-005);中国科学院A类战略性先导科技专项资助(XDA20020402)

收稿日期:2018-12-30; 修订日期:2019-06-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaoy@igsrr.ac.cn

HGMEFA construction from 2011 to 2015 was 1.25 hundred million yuan; (3) The economic and social benefits of HGMEFA construction from 2011 to 2015 were 0.49 hundred million yuan and 0.28 hundred million yuan, respectively; (4) The engineering construction benefit-cost ratio of the HGMEFA was 1.71, with benefits higher than the investments, thereby proving that the project was economical. This study will provide scientific support for continuous improvement of the national key ecological function area project and acceleration of the functional orientation of the national key ecological function area.

Key Words: ecological benefits; economic benefits; social benefits; benefit-cost ratio; Hulunbuir grassland meadow ecological function area

随着我国经济社会的不断发展,在经济快速增长的同时,生态环境遭到了严重的破坏,我国的可持续发展受到了极大的阻碍。为了改善我国的生态环境质量,形成环境友好型的产业结构,实现人与自然的和谐发展,我国于 2010 年正式发布了《全国主体功能区规划》,在空间上划分出重点生态功能区作为生态环境保护的重点对象。从 2008 年开始,国家通过转移支付向重点生态功能区累计投入了 4431 亿元,用于进行重点生态功能区生态建设与民生改善。工程实施以来,重点生态功能区生态环境质量确实有所改善^[1-2],也有大量民生工程建设并投入使用。合理评估重点生态功能区政策实施效益,将为持续推进该项政策提供重要的科学支撑。

生态工程效益的综合评价往往以效益研究为基础,主要包括生态效益、经济效益和社会效益三个方面。国外生态工程评价研究的典型代表是以美国“保护性储备计划”(Conservation Reserve Program, CRP)工程展开的^[3-7]。经济社会效益评价的研究主要通过将工程产生的经济和社会效益进行价值化,以货币的形式来衡量生态工程效益的多少。Young 等利用成本和收益比较的方法估计 CRP 项目的社会效益为 34—100 亿美元^[3]。Feather 等利用随机效应模型对 CRP 项目进行评价,通过定量化分析,评判政策实施的合理性并计算出该项目产生的旅游收益大约为 3958 万美元^[4]。Johnson 等利用费用效益分析的方法对 CRP 项目进行评价,指出十年周期内每支付 1311 美元,就能产生 1710—6401 美元的效益,证明了该工程的合理性^[5]。生态效益的评价则主要对生态工程实施区域内生态系统的变化状况进行评价。Dunn 等通过对 CRP 工程的生态效益进行评价,指出 CRP 工程能够改变景观破碎化、维护区域生态多样性、创造野生动物栖息地以及改变区域碳通量^[6]。Karlen 等通过对比 CRP 工程实施区域与未实施区域的土壤质量指标值,对工程的生态效益进行评价^[7]。除了对 CRP 工程效益的评价之外,国际上还有很多学者对爱尔兰“农村环境保护计划”(Rural Environment Protection Scheme, REPS)^[8]、“生态系统支付项目”(Payments for Ecosystem Services, PES)^[9]等生态工程进行效益评价。总体来看,国外针对生态恢复项目的研究开始较早,尤其是针对 CRP 项目的研究,主要集中在 20 世纪 90 年代到 2000 年前后。这些研究在对生态工程经济效益和社会效益的评价上有着成熟的评价体系和研究方法,为国内生态恢复项目的评估提供了很好的借鉴,但是国外对生态工程生态效益的评价只局限于对生态系统结构与质量的评价,缺少对生态系统服务价值的评价。

我国对于生态工程评价的研究主要包括生态效益评价和综合效益评价两个方面。生态效益评价主要是对生态系统结构、质量变化与生态系统服务能力及服务价值进行评价。赖亚飞等利用市场价值法、影子工程法和机会成本法等方法核算出吴旗县退耕还林 6 年来生态效益的总价值为 24.8×10^8 元^[10]。黄麟等从生态系统结构、质量以及核心服务三个方面对各类国家重点生态功能区进行评价,证明了国家重点生态功能区的生态环境状况整体有所改善^[11]。何兴元等利用遥感数据,从湿地结构、生态系统质量以及生态系统服务能力等方面对三江平原湿地保护工程的实施成效进行评价^[12]。刘国彬等通过对土地利用类型变化、土壤侵蚀动态变化和输沙量动态变化进行分析与评估,全面评价黄土高原地区生态工程的生态成效^[13]。综合效益评价主要是从生态、经济和社会三个方面构建综合效益评价指标体系,确定各指标权重,进而通过对各指标进行评分实现对生态工程综合效益的评价。宋富强等从生态、社会经济 2 个层次中选取 28 个指标因子,建立退耕还林

综合效益评价指标体系,对黄土高原地区退耕还林工程进行评价^[14]。马海云等通过构建小尺度退耕还林还草工程综合效益评价指标体系,定量评估了榆中县韦营乡退耕还林还草工程的综合效益^[15]。目前我国对生态工程综合效益的评价研究中,经济和社会效益只是根据指标权重对各经济社会指标进行评分来确定的,该方法无法体现出经济和社会指标的动态变化。当前我国缺少利用费用效益分析方法评价经济和社会指标的研究。

呼伦贝尔草原草甸生态功能区是我国防风固沙型重点生态功能区,是我国重要的生态屏障,该区重点生态功能区的建设对我国北方生态安全起到至关重要的作用。本文将以呼伦贝尔草原草甸生态功能区为例,通过走访当地政府各部门收集相关数据资料对该功能区工程的实施情况及其费用投入情况进行整理分析,基于遥感和统计数据评价功能区建设产生的生态效益、经济效益和社会效益,综合功能区建设效益和费用来评价重点生态功能区建设对区域生态环境与社会经济发展的贡献,进而对重点生态功能区建设的经济性进行评价。

1 研究方法

1.1 研究区介绍

呼伦贝尔草原草甸生态功能区位于内蒙古高原东北部(图1)。该区包括内蒙古自治区的新巴尔虎左旗和新巴尔虎右旗。地形西高东低,属温带大陆性季风气候,年平均气温在 $-2.5\sim 0^{\circ}\text{C}$,年降水量250—380mm。地表土层主要为沙质栗钙土,土地覆被类型以草地为主,新巴尔虎左旗中部有大面积沙地分布(图1)。土地总面积4.64万 km^2 ,草原总面积4.06万 km^2 ,占土地总面积的87.5%。2015年总人口7.7万人,牧业人口3.4万人。

2010年,呼伦贝尔草原草甸生态功能区被设立为第一批国家重点生态功能区。该功能区主要存在草场退化、沙化严重、经济发展相对落后以及基础设施薄弱等问题。针对这些问题,该重点生态功能区结合其他生态建设工程,在生态上实施了天然草原退牧还草工程、草原生态补奖政策、沙地治理工程、森林生态效益补偿工程等一系列生态工程;经济上,推动畜牧业转型升级,发展绿色经济,加快发展第三产业;社会上,不断扩大民生投入,促进人民生活水平的改善。

1.2 数据来源

2010年和2015年全国土地利用/覆被数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),空间分辨率为 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 。2010年和2015年归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index,简称NDVI)数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>),空间分辨率为 $1\text{km}\times 1\text{km}$ 。2010年和2015年20—20时累计降水量、日平均气温、日最高气温、日最低气温、平均风速、日照时数和平均相对湿度等气象数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn>)。社会经济数据以及呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设相关投入数据来源于2010—2015年《呼伦贝尔市统计年鉴》、《新巴尔虎左旗统计年鉴》、《新巴尔虎右旗统计年鉴》以及新巴尔虎左旗和新巴尔虎右旗政府网(<http://www.xzq.gov.cn/>和<http://www.xbehyq.gov.cn/main/index.jsp>)。2018年8月6日—8月10日开展了研究区实地调研,走访呼伦贝尔市发展与改革委员会、新巴尔虎左旗发展和改革局以及新巴尔虎右旗发展和改革局,收集了研究区的重点生态功能区建设转移支付资金以及生态建设、农林牧渔业、旅游业、医疗卫生与教育等行业投入数据。

1.3 研究方法

重点生态功能区建设工程由退牧还草、沙地治理和草原生态补奖等多个生态项目以及经济和社会民生工程构成。这些工程开始实施和截止的具体月份各不相同且难以确定,同时各项工程产生效益的时间也不尽相同,因此很难计算工程实施当年的效益。故本研究暂不考虑重点生态功能区建设政策实施当年的效益,而核算其第二年以后某段时间内产生的效益。本研究在计算2010—2014年呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设投入费用与2011—2015年产生的生态、经济和社会效益基础上,通过计算效益-费用比来衡量其实施的经济性

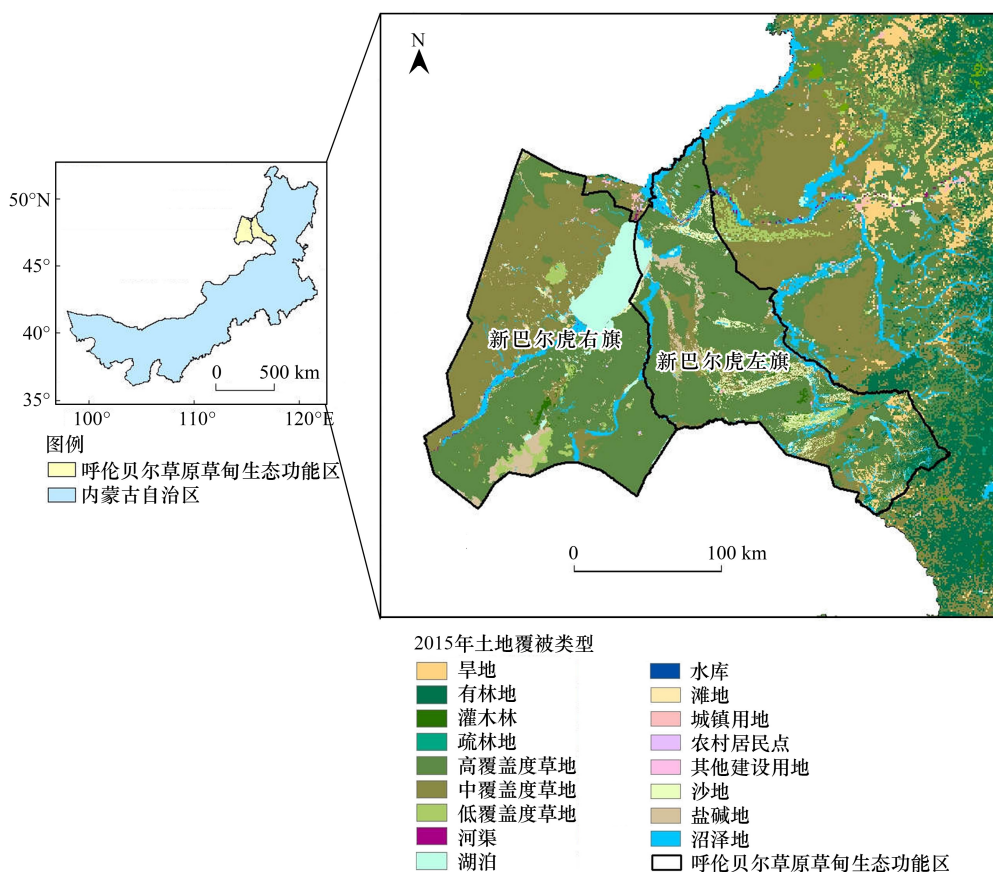


图1 呼伦贝尔草原草甸生态功能区区位及土地覆被类型图

Fig.1 Location and land cover type map of Hulunbuir grassland meadow ecological function area

及合理性。

1.3.1 2010—2014 年重点生态功能区建设费用

费用即为某个时间段内重点生态功能区转移支付经费：

$$C_{et} = \sum_{i=1}^x C_{eti} \quad (1)$$

式中, C_{et} 为重点生态功能区转移支付经费; C_{eti} 为第 i 年重点生态功能区转移支付费用; i 为转移支付年份, 取值为 2010、2011、2012、2013、2014。

1.3.2 2011—2015 年重点生态功能区建设效益

(1) 重点生态功能区建设对生态、经济和社会效益产生的贡献率

重点生态功能区建设是一项特殊的生态工程, 国家通过重点生态功能区转移支付对重点生态功能区生态建设、农林牧渔业、旅游业、医疗卫生与教育等相关领域行业进行资助, 鼓励和督促重点生态功能区增加植被覆盖度、增加发展环境友好型产业、加快民生改善, 从而在生态、经济和社会方面对功能区产生影响。但重点生态功能区转移支付金额仅占重点生态功能区生态建设、农林牧渔业、旅游业、医疗卫生与教育等行业全部投入的很小一部分。同时, 重点生态功能区在转移支付金额支出时并未专款专用, 而是与其他投入混合在一起支出。因此, 本研究通过将重点生态功能区建设转移支付费用占该区生态建设、农林牧渔业、旅游业、医疗卫生与教育等相关领域行业总投入的比例, 作为重点生态功能区建设在研究区相关领域建设中产生生态、经济与社会效益的贡献率:

$$\beta = \frac{C_{et}}{C} \times 100\% \quad (2)$$

式中, β 为重点生态功能区建设的贡献率(%) ; C_{el} 为重点生态功能区转移支付费用(万元/a) ; C 为重点生态功能区相关领域总投入(万元/a)。

(2) 生态效益计算方法

呼伦贝尔草原草甸生态功能区内河湖纵横, 拥有呼伦湖和贝尔湖, 且有额尔古纳河、乌尔逊河等多条河流流经此区域, 水资源相对丰富, 具有较高的水源涵养能力^[16]。此外, 该区域拥有丰富的植被类型, 固碳释氧、土壤保持以及生物多样性维持功能较为突出^[16-18], 再加上该区域为防风固沙型重点生态功能区, 防风固沙功能显著。因此, 本研究将水源涵养、固碳释氧、土壤保持、防风固沙和生物多样性维持作为呼伦贝尔草原草甸生态功能区生态效益的评价指标。本文通过计算上述生态系统服务的价值变化, 衡量研究区重点生态功能区建设产生的生态效益。利用 2015 年相对于 2010 年的生态效益增量作为研究区 2010 年以来重点生态功能区建设政策实施在 2015 年产生的生态效益。由于数据的限制, 本研究假设生态效益的年均增长率相同, 即 2010—2014 年每年研究区重点生态功能区的建设投入在次年增加的生态效益均相同。因此, 本研究以 2015 年相对于 2010 年生态效益增量的年平均值作为研究区重点生态功能区建设生态效益的年平均增量:

$$\bar{V}_{el} = \frac{V_{el15} - V_{el10}}{2015 - 2010} \quad (3)$$

式中, $\bar{V}_{el}$ 为重点生态功能区建设生态效益的年平均增量; V_{el10} 和 V_{el15} 为 2010 和 2015 年重点生态功能区建设产生的生态效益(万元/a)。

同时, 重点生态功能区的建设投入并不是仅在次年产生生态效益, 而是在投入资金后的每一年都会产生生态效益。因此, 要想计算 2011—2015 年的生态效益, 需要将历年重点生态功能区建设投入对 2011—2015 年每年所产生的生态效益进行相加。

$$V_{eltotal} = \bar{V}_{el} \cdot \sum_{i=2011}^{2015} (i - 2010) \quad (4)$$

其中, $V_{eltotal}$ 为 2011—2015 年研究区重点生态功能区建设产生的生态效益(万元)。

重点生态功能区建设的生态效益包括水源涵养、固碳、释氧、土壤保持、防风固沙以及生物多样性维持等方面的价值, 需要在研究区所有生态系统产生的生态效益中剔除气候变化因素的影响, 并考虑重点生态功能区建设投入占研究区相关领域投入的比例。

$$V_{eli} = (V_{uci} + V_{cfi} + V_{oi} + V_{sci} + V_{sfi} + V_{bci}) \times \alpha_h \times \beta \quad (5)$$

式中, V_{eli} 为研究区重点生态功能区建设在第 i 年产生的生态效益(万元/a) ; V_{uci} 、 V_{cfi} 、 V_{oi} 、 V_{sci} 、 V_{sfi} 和 V_{bci} 分别是研究区生态系统在第 i 年提供的水源涵养、固碳、释氧、土壤保持、防风固沙以及生物多样性维持价值(万元/a) ; i 取值为 2011、2012、2013、2014 和 2015 ; α_h 为人类活动因素对生态效益变化的贡献率 ; β 为重点生态功能区建设在研究区相关领域建设中产生生态效益的贡献率。

本研究采用水量平衡方程来计算水源涵养量, 主要与降水量、蒸散发、地表径流量和植被覆盖类型等因素密切相关^[19]。利用替代工程法计算水源涵养价值^[20], 水库单位库容的工程造价取值 6.9 元/ m^3 ^[21]。

固碳释氧量根据光合作用方程式: $CO_2 + H_2O \rightarrow CHO + O_2$ 来计算, 并利用碳税法计算固碳的经济价值^[22], 瑞典碳税成本取值为 1200 元/t^[23]。运用影子工程法, 通过医用制氧成本计算植被释氧所产生的经济价值^[22], 医用氧气价格取值为 1000 元/t^[23]。

土壤保持量利用修正通用土壤流失方程^[24]来进行评估。生态系统保持土壤的价值体现在保护土壤肥力、减少土地废弃和减轻泥沙淤积三个方面。保护土壤肥力的经济价值通过土壤养分含量与化肥市场价格计算。据测定^[25], 全国范围内土壤的平均氮含量、磷含量、钾含量分别为 0.37%、0.108%、2.239%, 氮、磷、钾折算为尿素、过磷酸钙和氯化钾的折算系数分别为 2.164、4.065、1.923^[26]。本研究中尿素、过磷酸钙和氯化钾的价格采用 2015 年全国平均零售价格, 分别为 1500、560、2300 元/t^[27]。减少土地废弃的经济价值通过土壤容重、厚度与土地机会成本计算, 土壤容重取值为 1.185 t/ m^3 ^[28], 土壤厚度按 0.5 m 计算, 机会成本或年均效益取

3406.5 元/hm²^[29]。减少泥沙淤积的经济价值通过土壤容重与单位库容造价来计算,单位库容造价取 2006 年价格(6.9 元/m³^[21])。

防风固沙量通过 RWEQ 模型计算^[30]。防风固沙的价值包括保持土壤肥力和减少土地废弃两方面,计算方法参照土壤保持。

利用谢高地等^[29]的当量因子法计算重点生态功能区的生物多样性维持价值,2010 年和 2015 年单位标准当量因子的生态系统服务价值量分别为 2746.5 元/hm²/a 和 3406.5 元/hm²/a^[31]。

利用残差趋势分析法计算人类活动因素对生态效益变化的贡献率 α_h ^[32]。通过气候变化对 NDVI 变化的贡献率来表征气候变化因素对各类生态效益变化的贡献率,计算公式如下:

$$\text{NDVI}_{\text{pre}} = a \times P + b \times T + c \quad (6)$$

$$\text{NDVI}_{\text{res}} = \text{NDVI}_{\text{obs}} - \text{NDVI}_{\text{pre}} \quad (7)$$

式中,NDVI_{pre} 为 NDVI 的模拟值,即气候变化影响下的 NDVI 值;NDVI_{res} 为生态工程影响下的 NDVI 值;NDVI_{obs} 为实际 NDVI 值; P 为降水量, T 为温度, a, b, c 回归系数,其中 c 为常数。

$$\alpha_c = \frac{S(\text{NDVI}_{\text{pre}})}{S(\text{NDVI}_{\text{obs}})} \times 100\% \quad (8)$$

$$\alpha_h = \frac{S(\text{NDVI}_{\text{res}})}{S(\text{NDVI}_{\text{obs}})} \times 100\% \quad (9)$$

式中, α_c 为气候变化因素对生态系统生态效益变化的贡献率; α_h 为人类活动因素对生态效益变化的贡献率; $S(\text{NDVI}_{\text{pre}})$ 、 $S(\text{NDVI}_{\text{res}})$ 、 $S(\text{NDVI}_{\text{obs}})$ 分别为 NDVI_{pre}、NDVI_{res}、NDVI_{obs} 序列与年份进行线性回归所得的斜率,分别表示单纯在气候变化影响、生态工程影响、实际情况下 NDVI 的变化趋势。

(3) 经济效益计算方法

经济效益主要体现在呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设带来的第一产业产值(包括农林牧渔业产值)和第三产业中的旅游业产值。第 i 年经济效益计算公式如下:

$$V_{\text{eni}} = \beta \times (OP_{\text{agri}} - OP_{\text{agr2010}} + OP_{\text{tour}} - OP_{\text{tour2010}}) \quad (10)$$

式中, V_{eni} 为第 i 年经济效益价值(万元/a); OP_{agri} 和 OP_{agr2010} 分别为第 i 年和 2010 年农林牧渔业产值(万元/a); OP_{tour} 和 OP_{tour2010} 分别为第 i 年和 2010 年旅游业产值(万元/a); i 取值为 2011、2012、2013、2014 和 2015。

2011—2015 年经济效益的计算公式如下:

$$V_{\text{entotal}} = \sum_{i=2011}^{2015} V_{\text{eni}} \quad (11)$$

式中, V_{entotal} 为 2011—2015 年研究区重点生态功能区建设产生的经济效益(万元), V_{eni} 为第 i 年的经济效益(万元/a)。

(4) 社会效益计算方法

呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设的社会效益主要体现在教育和医疗卫生改善所带来的效益上,计算公式如下:

$$V_{\text{sci}} = \beta \times (\sigma_{\text{edu}} + \sigma_{\text{med}}) \times (\text{GDP}_i - \text{GDP}_{2010}) \quad (12)$$

式中, V_{sci} 为第 i 年重点生态功能区建设产生的社会效益(万元/a); σ_{edu} 为教育对地区经济增长的贡献率,其中内蒙古中等教育对地区经济的贡献率为 0.0197,初等教育对地区经济的贡献率为 0.0130^[33]; σ_{med} 为医疗卫生对地区经济增长的贡献率,其中西部地区医疗卫生对经济增长的贡献率为 0.1253^[34]; GDP_i 和 GDP_{2010} 分别为第 i 年和 2010 年国内生产总值; i 取值为 2011、2012、2013、2014 和 2015。

2011—2015 年社会效益的计算公式如下:

$$V_{\text{sctotal}} = \sum_{i=2011}^{2015} V_{\text{sci}} \quad (13)$$

式中, V_{sctotal} 为 2011—2015 年研究区重点生态功能区建设产生的社会效益(万元), V_{sci} 为第 i 年的社会效益(万

元/a)。

(5)2011—2015 年综合效益计算方法

呼伦贝尔草原草甸生态功能区综合效益就是重点生态功能区建设所产生的生态效益($V_{eltotal}$)、经济效益($V_{entotal} V_{en}$)和社会效益($V_{setotal} V_{sc}$)之和,计算公式如下:

$$V_t = V_{eltotal} + V_{entotal} + V_{setotal} \tag{14}$$

1.3.3 工程效益-费用比计算方法

重点生态功能区建设工程的效益-费用比计算方法如下:

$$\text{效益} - \text{费用比} = \frac{V_t}{C_{et}} \tag{15}$$

式中, V_t 和 C_{et} 分别表示呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设的综合效益和重点生态功能区转移支付费用,效益-费用比 ≥ 1 时重点生态功能区转移支付才具有经济性。

2 结果与分析

2.1 呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设费用分析

呼伦贝尔草原草甸生态功能区自 2010 年设立以来至 2014 年,相关领域建设累计投入资金 84.31 亿元,其中重点生态功能区建设累计投入费用 1.18 亿元,占相关领域总投入的 1.40%,即重点生态功能区建设在研究区相关领域建设中产生生态、经济与社会效益的贡献率为 1.40%。重点生态功能区建设投入主要包括教育、医疗、节能环保和农林水四个领域。其中,教育领域的投入主要用于改善教育基础设施、提高教育水平;医疗领域的投入主要用于改善医疗卫生基础设施以及提高公共医疗服务水平;节能环保、农林水投入主要用于改善生态环境,包括退牧还草项目、沙地治理项目等;农林水投入还用于推进畜牧业转型升级和发展旅游业。

2010—2014 年各领域在重点生态功能区建设上累计投入资金分别为 3956 亿元、2053 亿元、1020 亿元和 4781 亿元。在重点功能区建设投入初始时期,教育投入比例最大,2010—2014 年 4 个领域的建设投入资金整体上呈增加趋势,2011 年开始农林水投入逐渐高于教育投入,成为四个领域累计投入最高的领域,且增速最大(图 2)。由此可以说明在呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设投入过程中逐渐形成了以生态建设为重点,生态、经济和社会统筹发展的建设路线,以推动研究区的可持续发展(表 1)。

表 1 呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设投入/(万元/a)

Table 1 The construction investment of Hulunbuir grassland meadow ecological function area

投入 Investment	2010	2011	2012	2013	2014	合计 Total
重点生态功能区相关领域建设投入 Total investment in related fields in key ecological function area	145922	169461	188990	155468	183214	843055
重点生态功能区建设总投入 The total construction investment of key ecological function area	490	740	3071	3385	4123	11809
重点生态功能区建设教育投入 The education investment of key ecological function area	186	256	1119	1098	1297	3956
重点生态功能区建设医疗投入 The medical investment of key ecological function area	87	123	506	569	768	2053
重点生态功能区建设节能环保投入 The Energy saving and environmental protection investment of key ecological function area	42	65	254	319	340	1020
重点生态功能区建设农林水投入 The Agriculture, forestry and water investment of key ecological function area	175	296	1192	1399	1718	4781

2.2 呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设效益分析

2.2.1 生态效益

基于 2000—2015 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区的 NDVI 值、降水和温度数据,利用残差趋势分析法计

算出气候变化因素对生态效益变化的贡献率为 62.75%, 人类活动因素对生态效益变化的贡献率为 37.25%。

2011—2015 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设的生态效益逐年增加, 年均增加 830.54 万元。2011—2015 年研究区重点生态功能区建设所产生的生态效益为 12458.13 万元, 其中固碳释氧效益为 289.83 万元, 水源涵养效益为 1253.42 万元, 土壤保持效益为 3.45 万元, 防风固沙效益为 3660.30 万元, 生物多样性维持效益为 7251.13 万元。生物多样性维持效益占比最高, 说明重点生态功能区建设对生物多样性维持功能发挥着极其重要的作用。除生物多样性维持之外, 防风固沙所产生的价值量最大, 占生态效益的 29.38% (表 2)。由于呼伦贝尔草原草甸生态功能区是防风固沙型重点生态功能区, 防风固沙是其最主要的生态服务功能, 并且经过实地调研, 研究区在重点生态功能区建设过程中工程实施的重点为沙地治理和退牧还草。因此, 防风固沙效益占比高说明该区重点生态功能区建设起到了一定的成效。

从空间上来看, 新巴尔虎左旗的生态效益明显高于新巴尔虎右旗, 新巴尔虎左旗生态效益为 60—240 元/hm², 新巴尔虎右旗主要集中在 36—60 元/hm²。导致这种差异的主要原因是土地覆被类型的差异, 右旗以中、高覆盖度草地为主, 而左旗以林地和高覆盖度草地为主, 植被覆盖度高于右旗, 因此产生的生态效益要高于右旗。从研究区整体来看, 生态效益自东南向西北递减。东南部生态效益最高, 在 60—240 元/hm²之间, 该地区以林地为主, 植被覆盖度较高, 因此产生的生态效益也相对较高。新巴尔虎右旗西南部以及新巴尔虎左旗中部有少部分地区生态效益为负, 主要是受土地覆被类型影响, 负值区域主要是盐碱地和建筑用地 (图 1、图 3)。

表 2 2011—2015 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设生态效益

Table 2 The ecological benefits of the construction of Hulunbuir grassland meadow ecological function area from 2011 to 2015

指标 Index	价值量/(万元) Value (ten thousand Yuan)	占总效益比例/% Proportion
生态效益 Ecological benefits	12458.13	100
固碳释氧 Carbon fixation and oxygen release	289.83	2.33
水源涵养 Water conservation	1253.42	10.06
土壤保持 Soil retention	3.45	0.028
防风固沙 Wind and sand fixation	3660.30	29.38
生物多样性维持 Biodiversity maintenance	7251.13	58.20

2.2.2 经济效益

2011—2015 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设的经济效益整体随着重点生态功能区建设的逐步推进而不断增加。其中, 农林牧渔业效益和旅游业效益均呈持续增加趋势 (图 4)。2011—2015 年该功能区重点生态功能区建设累计产生的经济效益为 4877.74 万元。其中, 农林牧渔业效益为 3068.17 万元, 占经济效益的 62.90%; 旅游效益为 1809.57 万元, 占经济效益的 37.10%。

2.2.3 社会效益

2011—2015 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设的社会效益呈持续增长趋势 (图 5)。2011—2015 年该功能区重点生态功能区建设累计产生的社会效益为 2804.85 万元。其中, 医疗卫生所产生的效益为 2039.02

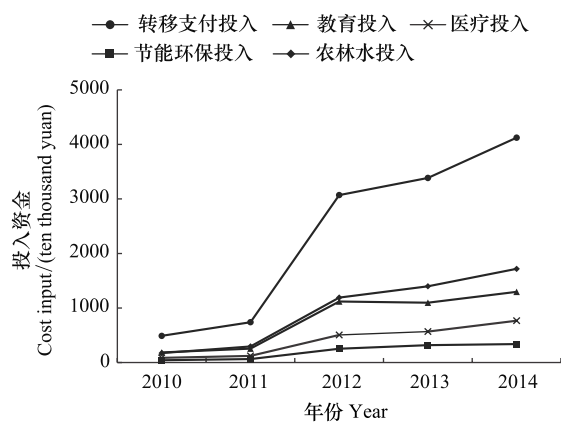


图 2 2010—2014 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设投入变化情况

Fig. 2 Change of the construction investment of Hulunbuir grassland meadow ecological function area from 2010 to 2014

万元,占社会效益的 72.70%;教育所产生的效益为 765.83 万元,占总社会效益的 27.30%。

2.3 呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设效益-费用比

2010—2014 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区重点生态功能区建设累计投入费用 1.18 亿元,2011—2015 年重点生态功能区建设累计产生的综合效益为 2.01 亿元。综合研究区重点生态功能区建设的总费用和综合效益,得出呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设的效益-费用比为 1.71,大于 1。因此,可以得出自 2010 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区被设立为国家重点生态功能区到 2015 年,工程所产生的效益大于工程所支出的费用,说明该工程对改善研究区的生态环境质量、推动经济发展以及改善社会民生起着一定的促进作用,具有一定的经济性与合理性。

3 结论与讨论

3.1 结论

本文通过对重点生态功能区建设投入的费用和工程产生的效益进行分析,计算其效益-费用比,综合评价呼伦贝尔草原草甸生态功能区工程对区域生态环境与社会经济发展的贡献。主要结论如下:

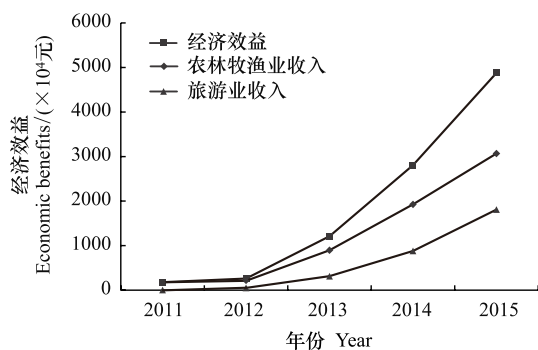


图 4 2011—2015 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区经济效益变化图

Fig.4 Changes in economic benefits of Hulunbuir grassland meadow ecological function area from 2011 to 2015

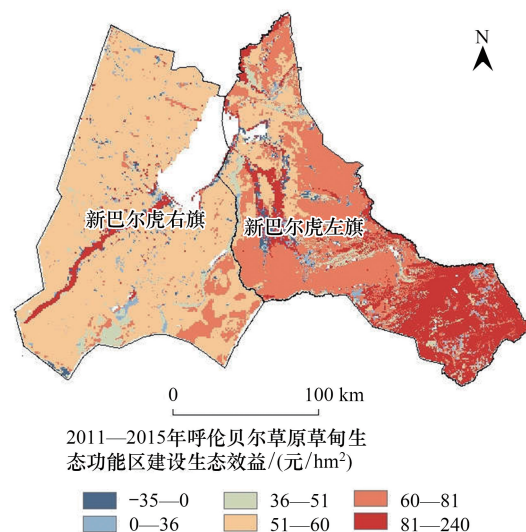


图 3 2011—2015 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设生态效益

Fig.3 The ecological Benefits of the construction of Hulunbuir grassland meadow Ecological Function Area from 2011 to 2015

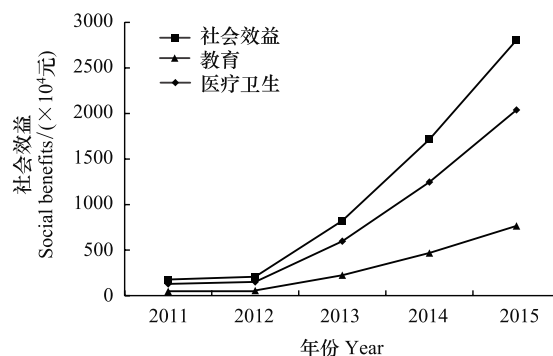


图 5 2011—2015 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区社会效益关系图

Fig.5 Changes in social benefits of Hulunbuir grassland meadow ecological function area from 2011 to 2015

(1) 2010—2014 年呼伦贝尔草原草甸生态功能区相关领域建设累计投入 83.31 亿元,其中重点生态功能区建设累计投入 1.18 亿元,重点生态功能区建设在研究区相关领域建设中产生生态、经济与社会效益的贡献率为 1.40%。

(2) 生态工程对生态效益变化的贡献率为 37.25%。2011—2015 年重点生态功能区建设产生的生态效益为 12458.13 万元;空间上,生态效益自东南向西北递减,新巴尔虎左旗高于新巴尔虎右旗。

(3) 2011—2015 年重点生态功能区建设所产生的经济效益逐年增加,5 年共产生经济效益 4877.74 万元。

(4) 2011—2015 年重点生态功能区建设所产生的社会效益逐年增加,5 年共产生社会效益 2804.85 万元。

(5) 呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设的工程效益-费用比为 1.71,工程所产生的效益高于投入的费用,

证明工程对研究区的生态、经济和社会发展带来一定的积极影响,具有经济性。

3.2 讨论

重点生态功能区建设的费用效益综合评价研究会对我生态工程评价研究起到积极推动作用,评价结果可为我国重点生态功能区工程的优化与持续实施提供科学支撑,为重点生态功能区生态保护与限制开发的管理决策提供重要依据。由于重点生态功能区建设工程涉及生态、经济与社会等领域,在实施过程中与功能区其他生态建设与民生改善工程建设难以区分,同时其产生的生态效益受人类活动和气候变化因素两方面影响。因此,厘定重点生态功能区建设的效益是当前面临的难点之一。目前,对该工程的评价研究也只是局限在对重点生态功能区生态系统结构与质量变化以及生态系统服务功能的评价。本研究以呼伦贝尔草原草甸生态功能区为例,从生态、经济和社会三个方面对其重点生态功能区工程建设的费用效益进行评价,利用残差趋势分析法计算了气候变化因素与人类活动因素对生态效益变化的贡献率,进而剔除气候变化因素对生态效益的影响,得到仅受人类活动影响的生态效益,利用农林牧渔业和旅游业产值与教育、医疗对地区经济增长的贡献率量化了经济与社会效益,进而通过确定重点生态功能区建设在研究区相关领域建设中产生效益的贡献率计算重点生态功能区建设的综合效益。

本研究在对呼伦贝尔草原草甸生态功能区建设进行评价的过程中也存在不足之处。在计算气候变化因素和人类活动因素贡献率的过程中,本研究利用气候变化因素对 NDVI 变化的贡献率来表征其对各类生态效益的贡献率,忽略了各类生态效益产生的机理,可能对结果造成一定的误差,今后有待加强此方面的研究。此外,在社会效益的计算上,由于大多数社会指标很难利用价值量来衡量,本研究仅将教育和医疗卫生作为社会效益指标,在今后的研究中需要进一步探讨该问题。

参考文献 (References):

- [1] 冯倩,周忠发,侯玉婷,陈全,王历,谭玮颐. 水源涵养型国家重点生态功能区生态功能评价——以贵州省三都水族自治县为例. 环境工程, 2017, 35(12): 154-158.
- [2] 侯鹏,翟俊,曹巍,杨旻,蔡明勇,李静. 国家重点生态功能区生态状况变化与保护成效评估——以海南岛中部山区国家重点生态功能区为例. 地理学报, 2018, 73(3): 429-441.
- [3] Young C E, Osborn C T. Costs and benefits of the conservation reserve program. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1990, 45(3): 370-373.
- [4] Feather P, Hellerstein D. Calibrating benefit function transfer to assess the conservation reserve program. *American Journal of Agricultural Economics*, 1997, 79(1): 151-162.
- [5] Johnson K A, Dalzell B J, Donahue M, Gourevitch J, Johnson D L, Karlovits G S, Keeler B, Smith J T. Conservation Reserve Program (CRP) lands provide ecosystem service benefits that exceed land rental payment costs. *Ecosystem Services*, 2016, 18: 175-185.
- [6] Dunn C P, Stearns S, F, Guntenspergen G R, Sharpe D M. Ecological benefits of the conservation reserve program. *Conservation Biology*, 1993, 7(1): 132-139.
- [7] Karlen D L, Rosek M J, Gardner J C, Allan D L, Alms M J, Bezdicsek D F, Flock M, Huggins D R, Miller B S, Staben M L. Conservation reserve program effects on soil quality indicators. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1999, 54(1): 439-444.
- [8] Feehan J, Gillmor D A, Culleton N. Effects of an agri-environment scheme on farmland biodiversity in Ireland. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2005, 107(2/3): 275-286.
- [9] Kronenberg J, Hubacek K. From poverty trap to ecosystem service curse. *Sustainability Science*, 2016, 11(6): 903-907.
- [10] 赖亚飞,朱清科,张宇清,秦伟,李文华. 吴旗县退耕还林生态效益价值评估. 水土保持学报, 2006, 20(3): 83-87.
- [11] 黄麟,曹巍,吴丹,巩国丽,赵国松. 2000—2010 年我国重点生态功能区生态系统变化状况. 应用生态学报, 2015, 26(9): 2758-2766.
- [12] 何兴元,贾明明,王宗明,任春颖,郑海峰,郭跃东,张新厚,辛晓平. 基于遥感的三江平原湿地保护工程成效初步评估. 中国科学院院刊, 2017, 32(1): 3-10.
- [13] 刘国彬,上官周平,姚文艺,杨勤科,赵敏娟,党小虎,郭明航,王国梁,王兵. 黄土高原生态工程的生态成效. 中国科学院院刊, 2017, 32(1): 11-19.
- [14] 宋富强,杨改河,冯永忠. 黄土高原不同生态类型区退耕还林(草)综合效益评价指标体系构建研究. 干旱地区农业研究, 2007, 25(3): 169-174.
- [15] 马海芸,雍雅明,刘宗盛. 干旱半干旱区退耕还林还草工程效益综合评价——以榆中县为例. 草业科学, 2012, 29(9): 1359-1367.

- [16] 石益丹, 李玉浸, 杨殿林, 刘红梅, 胡跃高. 呼伦贝尔草地生态系统服务功能价值评估. 农业环境科学学报, 2007, (06): 2099-2103.
- [17] 史小红, 赵胜男, 孙标, 吴用. 呼伦贝尔市湿地生态系统固碳量与碳汇潜力评估. 中国农村水利水电, 2015, (10): 26-30+34.
- [18] 文都日乐. 呼伦贝尔主要草地类型植被特征、土壤特性与微生物多样性研究[D]. 内蒙古农业大学, 2011.
- [19] 孙立达, 朱金兆. 水土保持林体系综合效益研究与评价. 北京: 科学出版社, 1995: 362-377.
- [20] 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.
- [21] 郭伟. 北京地区生态系统服务价值遥感估算与景观格局优化预测[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [22] 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.
- [23] 国家林业局. LY/T 1721—2008 森林生态系统服务功能评估规范. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [24] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. RUSLE: revised universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation. 1991, 46(1): 30-33.
- [25] 侯元兆, 王琦. 中国森林资源核算研究. 世界林业研究, 1995, 8(3): 51-56.
- [26] 韩永伟, 高吉喜, 王宝良, 刘成程, 汪军, 拓学森. 黄土高原生态功能区土壤保持功能及其价值. 农业工程学报, 2012, 28(17): 78-86.
- [27] 国家统计局. 中国价格统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2016.
- [28] 余新晓. 水土保持生态服务功能评价方法//中国水土流失与生态安全综合科学考察总结及水土保持发展战略研讨会论文集. 北京: 中国水土保持委员会, 中国水土流失与生态安全综合科学考察领导小组, 2008: 5.
- [29] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 肖玉, 鲁春霞. 中国生态系统服务的价值. 资源科学, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [30] Fryrear D W, Saleh A, Bilbro J D. A single event wind erosion model. Transactions of the ASAE, 1998, 41(5): 1369-1374.
- [31] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 陈文辉, 李士美. 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. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254.
- [32] 谢宝妮. 黄土高原近 30 年植被覆盖变化及其对气候变化的响应[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2016.
- [33] 王家庭. 教育对我国区域经济增长的贡献——基于 31 省区面板数据的实证研究. 复旦教育论坛, 2013, 11(3): 30-36, 42-42.
- [34] 范柏乃, 张电电. 医疗卫生财政支出对经济增长贡献的时空差异——基于 1997-2012 年 30 个省级地区面板数据分析. 华东经济管理, 2014, 28(5): 56-59.