

文章编号: 1008 - 2786 - ( 2013 ) 1 - 8 - 10

# 生态建设背景下三江源自然保护区 生态系统服务价值变化

赖 敏<sup>1,2</sup> 吴绍洪<sup>1\*</sup> 戴尔阜<sup>1</sup> 尹云鹤<sup>1</sup> 潘 韬<sup>1</sup> 赵东升<sup>1</sup>

( 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 )

**摘 要:** 青海三江源是我国淡水资源的重要补给地,也是全国生态保护和建设工程的重点实施区域,对其开展生态恢复过程的生态系统服务价值变化研究,有利于揭示生态保护和建设工程的实施效果。在构建三江源生态系统服务价值评估指标体系的基础上,选择生态工程前后两个时间段( 2000 年和 2008 年),采用物质质量和价值量相结合的方法对三江源自然保护区生态系统服务价值进行了评估和对比分析,结果表明: 2000—2008 年保护区生态系统服务总价值呈现明显的增长趋势,8 a 间一共增加  $1.68 \times 10^{10}$  元。保护区草地生态系统的整体质量状况大幅度提升,生态系统服务价值增加 48.69%,是由生态建设和气候因子变化共同作用的结果;森林生态系统服务价值增加 12.71%,主要跟森林区域水热条件的改善有关;水体与湿地生态系统服务价值在 8 a 间减少 56.08%,关键是由区域气温升高和降水量减少所致,而非人为因素的影响;2000—2008 年间,保护区人口数量增加了 26.08%,较高的人口增长压力促使大量的草地被开垦为农田,导致农田面积增加 392.52%,从而引起农田生态系统服务价值大幅波动。

**关键词:** 生态系统服务; 价值评估; 三江源自然保护区

中图分类号: X144 ,X821

文献标志码: A

生态系统服务是指通过生态系统的结构、过程和功能直接或间接得到的生命支持产品和服务<sup>[1]</sup>。全球变化背景下,受自然因素和人类活动的双重干扰,不同区域生态系统的结构和功能普遍呈现出不同程度退化的趋势,导致生态系统服务的数量和质量不断降低,进而影响了人类福祉。根据千年生态系统评估报告,在过去的 50 a 里,全球范围内已有 63% 的生态系统服务出现了严重衰减,而且各类生态系统服务在未来 50 a 内仍会急剧下降<sup>[2]</sup>。因此,采取适宜措施实现退化生态系统的保护和恢复,已经成为现阶段人类实现可持续发展所面临的一项紧迫任务。作为衡量区域生态环境状况的重要手段之一,生态系统服务价值动态评估研究不仅为生态保护和恢复措施的实施效果评价提供了有力依据,而

且对后续生态管理决策的制定具有较强的指导意义。

当前,围绕“生态系统服务价值变化”这一论题,国内外学者研究的焦点集中于生态系统服务价值对土地利用类型变化的响应<sup>[3]</sup>,研究方法大致是利用生物量因子或经济因子对已有研究区的单位面积生态系统服务价值进行修订,然后结合一定时期内区域土地利用类型转换的规模与空间分布,计算由此导致的生态系统服务价值及其结构的时空变化<sup>[4-13]</sup>。该方法虽然简单直观,易于量化,相关数据容易获得,但整个评估过程考虑的因素比较单一,评估结果难以全面反映土地覆被退化、改良以及气候变化等众多因素对生态系统服务价值变化造成的影响。三江源区作为我国三大河流( 长江、黄河和

收稿日期( Received date ): 2012 - 08 - 04; 改回日期( Accepted ): 2012 - 11 - 01。

基金项目( Foundation item ): 国家科技支撑计划项目( 三江源基于生态系统服务功能价值的生态补偿核定关键技术,编号: 2009BAC61B05 )。

[Supported by the Chinese government through the National Key Technologies R & D Program of China ( Key technologies for eco-compensation in the Three - River Headwaters Region based on valuation of ecosystem services , code: 2009BAC61B05 ) . ]

作者简介( Biography ): 赖敏( 1982 - ),女,江西赣州人,博士研究生,主要从事自然环境变化与格局综合研究。[Lai Min( 1982 - ),female,doctoral student,mainly engaged in the natural environment change and comprehensive research. ] E - mail: laimin.09b@igsnr.ac.cn

\* 通讯作者( Corresponding Author ): E - mail: wush@igsnr.ac.cn

澜沧江)的发源地,既是生态安全的重要屏障,同时也是自然生态系统最敏感和最脆弱的地区之一。自2000年以来,国家在此先后批准成立了三江源国家级自然保护区,并且大规模实施了退牧还草、退耕还林(草)等一系列生态保护与建设项目;保护区各土地利用类型间的相互转换强度较低,但区内植被在很大程度上得到了维护、修复和更新<sup>[14]</sup>。如果仅从土地利用类型变化的角度对该区生态系统服务价值变化进行估量,势必会造成较大的结果偏差。本文综合考虑生态系统类型、植被覆盖状况以及气候因子的时空差异,运用RS、GIS技术和经济学方法,对生态工程实施前后(2000年和2008年)保护区生态系统服务价值动态进行定量研究,以为准确反映研究区退化生态系统的恢复过程和客观评价三江源生态保护和建设工程提供科学基础。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

三江源区地处青藏高原腹地、青海省南部,位于 $89^{\circ}24' \sim 102^{\circ}23' \text{E}$ 和 $31^{\circ}39' \sim 36^{\circ}16' \text{N}$ 之间,行政区域涉及果洛、玉树、海南、黄南4个藏族自治州的16个县和格尔木市的唐古拉乡,土地总面积约为 $36.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。三江源区地貌类型复杂多样,地势由东南至西北逐渐抬升,同时受来自南部孟加拉湾暖湿气流的影响,造成自东南向西北温度和降水量均逐

渐降低,具有典型的高原大陆性气候特征<sup>[15]</sup>。受地貌、气候等自然因素的影响,该区自然成土过程缓慢,土层薄、质地粗、肥力低下,尚处于年轻发育阶段。植被类型以森林和草地为主。

2003年,国家正式批准了三江源国家级自然保护区(以下简称“保护区”),总面积达 $15.23 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图1),并从2005年开始启动实施《青海三江源自然保护区生态保护和建设总体规划》,总投资超过75亿元,用于生态保护与建设、农牧民生产生活基础设施建设和科技支撑等建设项目,其中生态保护与建设投资49.25亿元,主要涉及退牧还草、已垦草原还草、退耕还林、生态恶化土地治理、森林草原防火、草地鼠害治理、水土保持和保护管理设施与能力建设等8项内容。

### 1.2 数据来源

1. 土地利用/覆被数据:2000、2008年2期土地利用/覆被数据来源于中国资源与环境数据中心,分辨率为1 km。结合土地利用和区域生态环境等相关资料,将研究区划分为农田、森林、草地、水体与湿地、荒漠和其他生态系统6种类型<sup>[16]</sup>,其中农田生态系统包括水田和旱地,森林生态系统包括密林地(有林地)、灌丛、疏林地和其他林地,草地生态系统包括高覆盖度草地、中覆盖度草地和低覆盖度草地,水体与湿地生态系统包括沼泽地、河渠、湖泊、水库、冰川与永久积雪及滩地,其他生态系统包括居民点(城镇、农村居民点和工矿用地)、裸土地和裸岩石砾

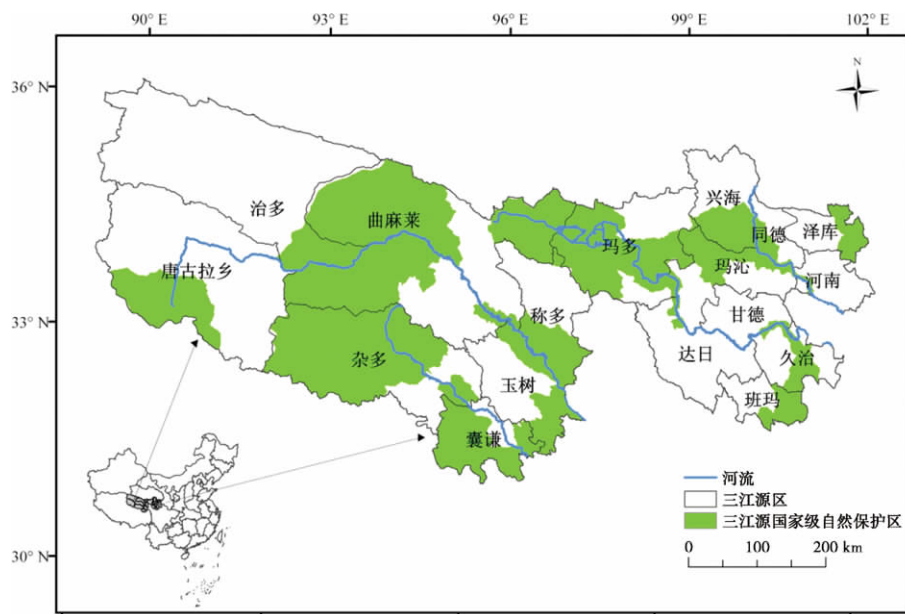


图1 研究区的地理位置

Fig.1 Location of the study area

地 荒漠生态系统包括沙地、戈壁、盐碱地和高寒荒漠。

2. 遥感数据: NPP 数据来源于美国蒙大拿大学森林学院( The Numerical Terradynamic Simulation Group) 工作组提供的 MOD17A3 产品( 基于 BIOME - BGC 模型计算) ,分辨率为 1 km; NDVI 数据来源于“国际科学数据服务平台”提供的 MODIS 月植被指数 L3 产品 ,分辨率为 1 km。

3. DEM 数据: DEM 数据及其衍生的坡度数据来源于中国资源与环境数据中心 ,分辨率为 1 km。

4. 气象数据: 三江源区 16 个气象台站的降水量和气温数据来源于国家气象局。

5. 土壤数据: 全国 1: 100 万土壤类型分布图来源于中国资源与环境数据中心。

6. 其他数据: 主要包括《中国物价年鉴》、《青海统计年鉴》、《黄河水资源公报》、《长江水资源公报》、《青海省水资源公报》等。

1. 3 生态系统服务价值评估方法

生态系统服务分类以及价值评估指标的选取是生态系统服务价值评估的重要环节。当前 ,国内外学者对生态系统服务分类进行了诸多探讨 ,其中以 Costanza<sup>[1]</sup>、De Groot<sup>[17]</sup> 以及 MA<sup>[2]</sup> 的研究成果最具有代表性。由于 MA 提出的分类体系有助于反映生态系统服务与人类福祉的关系 ,本文依此将三江源区生态系统服务归纳为供给服务、调节服务、文化服务和支持服务四类。供给服务是指人类从生态系统获得的各种产品; 调节服务是指人类从生态系统过程的调节作用获得的收益; 文化服务是指通过丰富精神生活、发展认知、大脑思考、消遣娱乐以及美学

欣赏等方式 ,而使人类从生态系统获得的非物质收益; 支持服务是指生态系统生产和支持其他服务的基础服务。考虑到土壤形成、初级生产等支持服务发挥作用的时间周期长 ,在空间上也往往是全球或区域性的 ,其价值全部体现在其他三种服务类型上 ,对其估价会造成价值的重复计算 ,故不对支持服务进行估价。

结合 MA 的分类体系 ,并从研究区的生态系统类型、生态系统服务的重要程度、价值评估的目的、数据的可获得性以及经济价值的量化方法等角度进行分析 ,最终选取了产品供给、水分调节、空气质量调节、气候调节、土壤保持以及游憩休闲 6 项评估指标。采用物质质量和价值量相结合的方法对其逐一进行估算 ,具体方法如下。

1. 3. 1 产品供给

生态系统的产品供给价值可以通过市场交换来实现 ,本文以农林牧渔行业的增加值( 增加值 = 总产值 - 中间消耗) 来表示这部分价值。

1. 3. 2 水分调节

根据水量平衡原理 ,水分调节的物质质量为降水量与蒸散发量及其他消耗的差。本文利用 InVEST 模型和 SCS 模型分别计算区域产水量和地表径流量 ,水分调节的物质质量即产水量与地表径流之差。水分调节的价值量通过影子工程法来确定( 表 1) 。

1. 3. 3 空气质量调节

生态系统对空气质量的调节作用主要体现在吸收空气有害物质和吸附粉尘等方面。考虑到研究区及周边地区的实际环境状况 ,本文估算了森林和草地生态系统吸收 SO<sub>2</sub> 的价值( 表 2) 。

表 1 水分调节价值评价方法

Table 1 The valuation methods of water regulation service

评价类型	评价对象	方法	公式	参数说明
物质质量评价	产水量	InVEST 模型	$Y_{xj} = \left( 1 - \frac{AET_{xj}}{P_x} \right) \cdot P_x$	$Y_{xj}$ 为栅格单元 $x$ 土地覆被类型 $j$ 的年产水量( $x, j = 1, 2, 3 \cdots$ ); $AET_{xj}$ 为栅格单元 $x$ 土地覆被类型 $j$ 的实际年蒸散发量; $P_x$ 为年均降水量。 $\frac{AET_{xj}}{P_x}$ 是实际蒸散与降水的比值 ,可由 Zhang 等 <sup>[18]</sup> 提出的实际蒸散的近似算法获得
	地表径流量	SCS 模型	$Q = (P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S)$ $P \geq 0.2S, Q = 0, P < 0.2S$	$Q$ 为累积径流深度; $P$ 为降水量; $S$ 为最大可能滞留量 ,可以根据经验方程 $S = 254 \left( \frac{100}{CN} - 1 \right)$ 获得 <sup>[19]</sup>
价值量评价	水分调节单位价值	影子工程法		以水利工程水库建设成本作为水分调节的影子价格; 2005 年单位水库库容造价为 6.11 元/ m <sup>3</sup> <sup>[20]</sup> ,而 2008 年固定资产投资价格指数增长了 14.9% ,因此 2008 年的单位库容造价为 7.02 元/ m <sup>3</sup> ,按折现率 10%、水库使用年限 20 a 折算成年金现值为 0.82 元/( m <sup>3</sup> · a)

表 2 空气质量调节价值评价方法

Table 2 The valuation methods of air quality regulation service

评价类型	评价对象	公式/方法	参数说明
物质量评价	森林吸收 SO <sub>2</sub> 量	$W_f = A_f \times Q_f$	$W_f$ 为森林吸收 SO <sub>2</sub> 量; $A_f$ 为森林面积; $Q_f$ 为森林吸收 SO <sub>2</sub> 的能力, 研究区森林主要由云杉、柏木和桦木等树种组成, 这里取这三者吸收 SO <sub>2</sub> 能力的平均值 205.95 kg/hm <sup>2</sup> <sup>[21]</sup>
	草地吸收 SO <sub>2</sub> 量	$W_g = 58.3355NPP^{[22-24]}$	$W_g$ 为草地吸收 SO <sub>2</sub> 量; NPP 为草地净初级生产力
价值量评价	空气质量调节单位价值	恢复费用法	按当前 SO <sub>2</sub> 排污费征收标准(0.6 元/kg) 来确定

- 1.3.4 气候调节

气候调节服务价值指生态系统调节空气温度、湿度以及吸收温室气体带给人类的利益。本文根据已有方法和资料, 估算了保护区森林和草地生态系统在固碳(吸收 CO<sub>2</sub>) 方面的经济价值(表 3)。
- 1.3.5 土壤保持

运用土壤流失方程(USLE) 计算生态系统单位面积土壤保持量; 从恢复生态学角度出发, 分别评价
- 保护区保持土壤养分、减少废弃土地和减少泥沙淤积等方面的经济价值(表 4)。

1.3.6 游憩休闲

采用旅行费用法(TCM) 对游憩价值进行评估。该方法把游憩价值划分为实际支付的旅行费用(包括交通费、与旅游有关的直接花费等)、旅行时间费用和消费者剩余三部分。由于三江源国外旅游人数占旅游总人数的比例很小, 因而仅计算国内游客的游

表 3 气候调节价值评价方法

Table 3 The valuation methods of climate regulation service

评价类型	评价对象	公式/方法	参数说明
物质量评价	森林、草地 NEP	$NEP = NPP - R_h$	$NEP$ 为净生态系统生产力; $NPP$ 为生态系统净初级生产力; $R_h$ 为植被异养呼吸量, 分别引用他人文献对青藏高原草地和森林土壤碳排放的模拟结果得到 <sup>[25-26]</sup>
价值量评价	气候调节单位价值	碳税法	按 2008 年碳税价格(1.02 元/kgC) 来确定

表 4 土壤保持价值评价方法

Table 4 The valuation methods of soil conservation service

评价类型	评价对象	方法	公式	参数说明
物质量评价	土壤保持量	USLE 模型	$A_c = R \times K \times Ls \times (1 - C \times P)$	$A_c$ 为单位面积土壤保持量; $R$ 为降雨侵蚀力因子; $K$ 为土壤可蚀性因子; $Ls$ 为坡长坡度因子, 又称地形因子; $C$ 为地表植被覆盖因子; $P$ 为土壤保持措施因子
	保持土壤养分单位价值	市场价值法	$V_{s1} = \sum R_i \times (1/n_i) \times P_i$	$V_{s1}$ 为保持土壤养分的单位价值; $R_i$ 为单位重量土壤中养分的平均含量, 研究区土壤中养分含量为: 碱解氮 216.78 mg/kg、速效磷 5.64 mg/kg、速效钾 209 mg/kg <sup>[27]</sup> ; $n_i$ 为土壤中速效氮、速效磷和速效钾分别在磷酸二铵和氯化钾中的含量; $P_i$ 为化肥(磷酸二铵、氯化钾) 价格 <sup>[28]</sup>
价值量评价	减少废弃土地单位价值	机会成本法	$V_{s2} = \sum P_i / (10^4 \times \rho \times h)$	$V_{s2}$ 为减少废弃土地的单位价值; $\rho$ 为土壤容重(1.05 t/m <sup>3</sup> ) <sup>[27]</sup> ; $h$ 为土壤厚度(0.45 m) <sup>[27]</sup> ; $P_i$ 为第 $i$ 种生态系统单位面积的机会成本, 2008 年研究区种植业、林业和牧业的机会成本分别为 6 695 元/hm <sup>2</sup> 、44 元/hm <sup>2</sup> 和 164 元/hm <sup>2</sup> (水体与湿地和荒漠生态系统的机会成本用牧业的机会成本替代) <sup>[29]</sup>
	减少泥沙淤积单位价值	影子价格法	$V_{s3} = 0.24 \times C/\rho$	$V_{s3}$ 为减少泥沙淤积的单位价值; $C$ 为单位库容造价 0.82 元/(m <sup>3</sup> · a); $\rho$ 为土壤容重(1.05 t/m <sup>3</sup> )

憩价值。

2 结果与分析

2.1 生态系统类型转换与面积变化

基于土地利用/覆被数据,将研究区生态系统划分为农田、森林、草地、水体与湿地、荒漠和其他生态系统6种类型。由图2可知,2000—2008年保护区生态系统类型发生转换的面积共有38 120 km<sup>2</sup>,占保护区总面积的26.05%。各生态系统类型间的转换强度存在差异(表5),其中以草地与荒漠、其他生态系统之间的相互转换最为激烈。8 a间,草地向荒漠和其他生态系统转出11 098 km<sup>2</sup>,同时荒漠和其他生态系统向草地转入9 045 km<sup>2</sup>;其次,草地和水体与湿地之间的转换也较强烈,但后者对前者的转入量远高于前者对后者的转出量,导致水体与湿地面积大幅度下降;草地与森林之间的相互转换量基本持平,其余各生态系统类型之间的转换程度比较微弱。

研究期内,保护区农田面积变化最大(增加420 km<sup>2</sup>),而其他类型生态系统的面积没有发生太大改变,其中,其他生态系统、荒漠和森林的面积分别增加1 308 km<sup>2</sup>、866 km<sup>2</sup>和247 km<sup>2</sup>,草地和水体与湿地分别减少841 km<sup>2</sup>和2 000 km<sup>2</sup>(图2)。保护区生态系统类型以草地为主,生态工程实施前(2000年),高、中、低覆盖度草地面积分别占保护区总面积的3.35%、25.33%和43.10%;生态工程实施后

(2008年),高、中、低覆盖度草地面积分别占保护区总面积的4.14%、28.21%和38.86%,8 a间高、中覆盖度草地面积一共增加了5 368 km<sup>2</sup>。

表5 2000—2008年研究区生态系统类型面积转移矩阵  
Table 5 Ecosystem type transform in the study area during 2000—2008

转移面积/km <sup>2</sup>	农田	森林	草地	水体与湿地	其他	荒漠
农田	34	12	58	0	3	0
森林	45	3 156	3 084	6	161	60
草地	368	3 402	87 711	2 447	5 263	5 835
水体与湿地	52	6	4 287	5 388	158	866
其他	7	110	4 565	100	3 240	665
荒漠	21	73	4 480	816	1 170	8 680

2.2 生态系统服务价值变化

2.2.1 产品供给

根据《青海统计年鉴》<sup>[29]</sup>可以统计得到2000年和2008年三江源区(除唐古拉乡外)的产品供给价值。按面积折算后,得到2000年和2008年保护区的产品供给价值(经价格指数调整)分别为5.10×10<sup>8</sup>元和1.47×10<sup>9</sup>元(表6)。8 a间,农田、森林和草地的产品供给价值分别增加了3.09×10<sup>8</sup>元、3.45×10<sup>6</sup>元和6.50×10<sup>8</sup>元,其余各生态系统类型的产品供给价值未发生变化;草地和森林的单位面积价值分别增加了6 271元/km<sup>2</sup>和498元/km<sup>2</sup>,而农田的单位面积价值减少了4.31×10<sup>5</sup>元/km<sup>2</sup>。

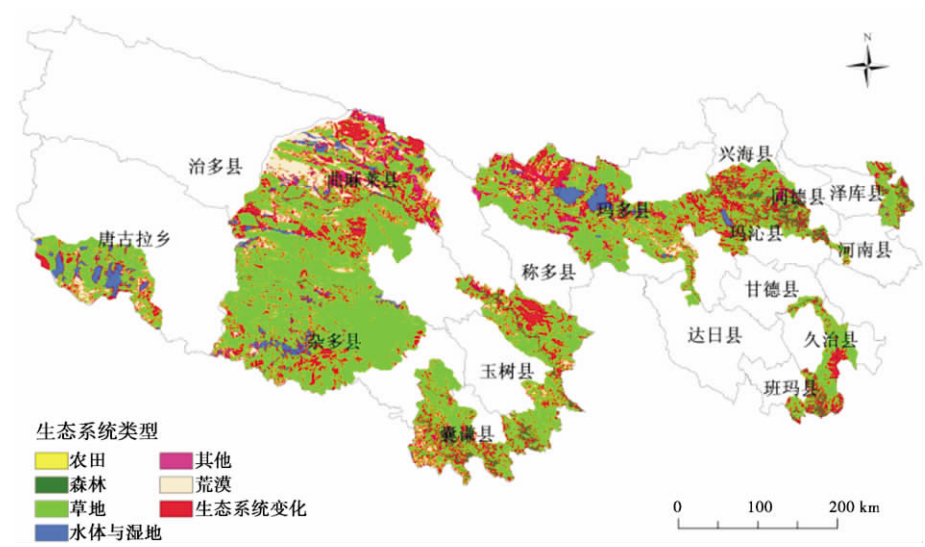


图2 2000—2008年研究区生态系统类型变化区域

Fig. 2 Spatial change of ecosystem type in the study area during 2000—2008

表 6 2000—2008 年研究区产品供给价值变化  
Table 6 Change in product supply value in the study area  
from during 2000—2008  $/(10^8 \text{ 元})$

年份	农田	森林	草地	水体与湿地	其他	荒漠
2000	1.37	0.02	3.71	0	0	0
2008	4.46	0.06	10.22	0	0	0

2.2.2 水分调节

由表 7 可知 2000—2008 年农田、森林、草地和其他生态系统的水分调节价值分别增长了  $1.42 \times 10^8$  元、 $2.48 \times 10^8$  元、 $1.75 \times 10^{10}$  元和  $2.61 \times 10^8$  元,而水体与湿地和荒漠生态系统的水分调节价值分别减少了  $1.99 \times 10^9$  元和  $8.84 \times 10^8$  元。8 a 间,草地的单位面积价值增长最快 ( $1.70 \times 10^5$  元/ $\text{km}^2$ ),其次为森林 ( $2.05 \times 10^4$  元/ $\text{km}^2$ ) 和其他生态系统 ( $7\,621$  元/ $\text{km}^2$ ),其余各生态系统类型(包括农田、水体与湿地和荒漠)的单位面积价值均有所减少。

2.2.3 空气质量调节

2000 年和 2008 年保护区森林吸收  $\text{SO}_2$  量分别为  $1.34 \times 10^8 \text{ kg}$  和  $1.39 \times 10^8 \text{ kg}$ ;  $\text{SO}_2$  的治理费用按现行征收标准  $0.6$  元/ $\text{kg}$  来计算,得到 2000 年和 2008 年保护区森林的空气质量调节价值分别为  $8.05 \times 10^7$  元和  $8.35 \times 10^7$  元;8 a 间该类价值增加了  $3.05 \times 10^6$  元。

根据表 2 的评价方法,在已知草地 NPP 的情况下,推算出 2000 年和 2008 年保护区草地的空气质量调节价值分别为  $2.98 \times 10^8$  元和  $2.64 \times 10^8$  元;8 a 间该类价值减少  $3.39 \times 10^7$  元,单位面积价值减少  $303$  元/ $\text{km}^2$ 。

2.2.4 气候调节

基于表 3 分别估算了 2000 年和 2008 年保护区森林和草地的固碳量,结果发现,保护区森林固碳量由 2000 年的  $0.56 \text{ Tg C}$  增加到 2008 年的  $0.61 \text{ Tg C}$ ,草地固碳量由 2000 年的  $6.72 \text{ Tg C}$  减少到 2008 年的  $5.73 \text{ Tg C}$ 。

生态系统的固碳价格按碳税法 ( $1.02$  元/ $\text{kgC}$ ) 来确定,得到 2000 年和 2008 年森林的气候调节价值分别为  $5.75 \times 10^8$  元和  $6.18 \times 10^8$  元,8 a 间该类价值一共增加  $4.38 \times 10^7$  元,单位面积价值增加  $3\,250$  元/ $\text{km}^2$ ;2000 年和 2008 年草地的气候调节价值分别  $6.86 \times 10^9$  元和  $5.84 \times 10^9$  元,8 a 间该类价值一共减少  $1.02 \times 10^8$  元,单位面积价值减少  $9\,238$  元/ $\text{km}^2$ 。

2.2.5 土壤保持

如表 8 所示,2000—2008 年保护区生态系统的土壤保持价值一共增加  $9.17 \times 10^8$  元,其中,农田、森林和草地的土壤保持价值分别增加  $2.93 \times 10^7$  元、 $2.81 \times 10^8$  元和  $8.17 \times 10^8$  元,水体与湿地和荒漠的土壤保持价值分别减少  $1.72 \times 10^8$  元和  $3.78 \times 10^7$  元。8 a 间,森林的单位面积价值增长最快 ( $3.48 \times 10^4$  元/ $\text{km}^2$ ),其次为草地 ( $8.51 \times 10^3$  元/ $\text{km}^2$ ),其余各生态系统类型(包括农田、水体与湿地和荒漠)的单位面积价值呈减少趋势。

2.2.6 游憩休闲

按照旅行费用法 (TCM),游憩价值由实际支付的旅行费用、旅行时间费用和消费者剩余 3 部分组成。通过整理青海省旅游局提供的资料可得,2008 年三江源区实际支付的旅行费用为  $1.53 \times 10^9$  元。旅游时间价值采用机会工资成本替代,一般为实际

表 7 2000—2008 年区域生态系统水分调节价值变化  
Table 7 Change in water regulation value in the study areaduring 2000—2008

生态系统类型	面积/ $\text{km}^2$		水分调节量/ $(10^8 \text{ m}^3)$		水分调节价值/ $(10^8 \text{ 元})$	
	2000 年	2008 年	2000 年	2008 年	2000 年	2008 年
农田	107	527	0.55	2.28	0.46	1.88
森林	6\,512	6\,759	35.14	38.16	28.98	31.46
草地	105\,026	104\,185	252.31	464.93	208.05	383.37
水体与湿地	10\,757	8\,757	40.06	15.96	33.03	13.16
其他	8\,687	9\,995	14.85	18.01	12.25	14.85
荒漠	15\,240	16\,106	34.39	23.67	28.35	19.52
共计	146\,329	146\,329	377.31	563.01	311.12	464.24

表 8 2000—2008 年区域生态系统土壤保持价值变化  
Table 8 Change in soil conservation value in the study area during 2000—2008

生态系统类型	面积/km <sup>2</sup>		土壤保持量/(10 <sup>8</sup> t)		土壤保持价值/(10 <sup>8</sup> 元)	
	2000 年	2008 年	2000 年	2008 年	2000 年	2008 年
农田	107	527	0.03	0.06	0.34	0.63
森林	6 512	6 759	1.35	1.66	12.09	14.91
草地	105 026	104 185	9.68	10.59	86.93	95.10
水体与湿地	10 757	8 757	0.47	0.28	4.25	2.53
荒漠	15 240	16 106	0.23	0.19	2.09	1.71
共计	137 642	136 334	11.77	12.79	105.70	114.87

工资的 40%<sup>[30]</sup>; 游客的工资标准按 2007 年客源地职工年平均工资<sup>[31]</sup>进行统计, 职工月平均工作时间为 167.4 h/月, 那么在已知青海省外和省内游客平均停留时间(2008 年分别为 151 h 和 53 h)的情况下, 得到 2008 年三江源区的旅行时间价值为  $7.19 \times 10^8$  元。运用 SPSS13.0 软件计算了三江源总旅行费用对旅游率的各回归统计值, 发现 S 曲线模型拟合性较好,  $R^2 = 0.719$ ; 由回归方程进一步求得各主要客源地旅游人次与旅行费用之间的函数关系式及游憩需求曲线, 消费者剩余即需求曲线与游客所支付的价格(即旅行费用)之间的面积; 2008 年三江源区消费者剩余为  $1.84 \times 10^9$  元。

基于现有可获得资料, 假设 2000—2008 年青海省游客主要客源地、人均旅行费用以及人均旅行时间价值保持不变。根据 2000 年和 2008 年青海省国内游客人次比例(35.22%)和 2008 年三江源区游憩价值, 推算出 2000 年三江源区主要客源地实际支付的旅游费用为  $5.39 \times 10^8$  元, 旅行时间价值为  $2.53 \times 10^8$  元, 消费者剩余为  $1.76 \times 10^9$  元。按面积折算后, 得到 2000 年和 2008 年保护区的游憩价值分别为  $1.08 \times 10^9$  元和  $1.73 \times 10^9$  元; 各生态系统类型的游憩价值如表 9 所示。

表 9 2000—2008 年研究区游憩休闲价值变化  
Table 9 Change in eco-tourism value in the study area from during 2000—2008

年份	/(10 <sup>8</sup> 元)					
	农田	森林	草地	水体与湿地	其他	荒漠
2000	0.01	0.48	7.73	0.79	0.64	1.12
2008	0.06	0.80	12.29	1.03	1.18	1.90

3 讨论

1. 本文综合考虑各种因素, 对生态恢复过程中

三江源自然保护区生态系统服务价值动态变化进行了定量分析。结果发现 2000—2008 年保护区生态系统服务总价值呈现明显的增长趋势, 8 a 间一共增加  $1.68 \times 10^{10}$  元。草地是保护区生态系统服务价值的最大贡献者, 2000 年和 2008 年草地生态系统服务价值分别占保护区生态系统服务总价值的 74.00% 和 82.75%。研究期内, 区域草地面积基本保持不变(−841 km<sup>2</sup>), 但由其提供的生态系统服务价值却增加了  $1.84 \times 10^{10}$  元, 因此可以推断, 生态系统类型变化或土地利用类型变化不是引起研究区生态系统服务价值大幅度上升的主要原因。

2. 2000 年以来, 随着退牧还草、沙漠化防治、鼠害防治以及水土保持等各项工程的不断推进, 大量的荒漠、沙地和裸地转换为草地, 高、中覆盖度草地面积增加了 5 368 km<sup>2</sup>, 源区草地植被退化、沙化的态势已逐步得到遏制; 同时, 在气温升高、降水增加等有利因素的共同影响下<sup>[32]</sup>, 草地的单位面积价值增幅高达 49.89%, 表明 2000—2008 年间, 保护区草地生态系统的整体质量状况有了很大程度的提升。研究期间, 国家还采取了退耕还林、封山育林等措施对保护区森林进行积极治理和保护, 然而, 经统计分析可知, 各项措施的总规模不足保护区森林总面积的 0.005%; 保护区森林面积虽然稳中有升(增加 247 km<sup>2</sup>), 但森林生态系统类型的转换过程绝大部分发生在草地和森林之间, 由此可见, 当前生态建设对于森林生态系统服务价值变化的驱动作用并不显著。生态恢复过程中, 保护区森林生态系统服务价值增加与森林区域水热条件的改善(年均降水量增加 24.47 mm, 日均温增加 0.44℃) 关系更为密切。研究期内, 水体与湿地的生态系统服务价值迅速减少(− $2.14 \times 10^9$  元), 减幅达 56.08%, 同样是由气候因子变化所致。水体与湿地只有很少一部分



转换成农田或其他生态系统,说明人为因素对该生态系统服务价值变化的影响较小,而区域年降水量减少( $-3.16\text{ mm}$ )、气温升高( $0.79^{\circ}\text{C}$ ),一方面使水体与湿地大面积退缩,另一方面则造成水体与湿地的生态服务功能减弱和单位面积价值减少,因此,后者是水体与湿地生态系统服务价值骤然下降的主导原因。此外,人口增长也可间接引发区域生态系统服务价值变化。2000年和2008年保护区人口数量分别为24.19万和30.50万,8 a间区内人口增加了26.08%;较高的人口增长压力促使大量的草地被开垦为农田,导致农田面积增加392.52%,进而引起保护区农田生态系统服务价值迅速上升。从评估结果来看,尽管农田总的单位面积价值较大,但森林、草地等的单位面积生态价值(包括水分调节、空气质量调节和土壤保持价值)要远高于农田,因此,从生态保护的需求出发,今后应加强围栏封育、封山育林等防护措施,合理开发利用土地资源,重点维护好保护区森林、草地和水体与湿地的生态环境。

3. 生态系统服务价值变化是土地利用类型、植被覆盖状况以及气候等众多因素共同作用的结果。本文对生态系统服务价值的动态评估及驱动力分析只是一个初步研究,如何区分和量化生态系统服务价值变化对不同因素的响应程度,以为后续生态恢复和评价提供科学依据,是今后研究尚待解决的重要问题。受基础资料和方法所限,本文关于生态服务价值的估算比较粗略,例如,生态系统服务价值评估过程只选取了产品供给、水分调节等6项指标,而忽略了对调节干扰、非使用价值等其他方面的估算,空气质量调节价值和气候调节价值只评估了森林和草地两个生态系统类型,产品供给价值和游憩休闲价值的统计数据不包括唐古拉乡且采用面积折算的办法得到等,评估结果可能存在一定偏差,但这并不影响对区域生态系统服务价值变化趋势的判断,也不会对气候要素、人类活动及政策等的驱动作用分析造成严重偏离。

## 4 结论

1. 2000—2008年三江源自然保护区生态系统类型发生转换的面积共有 $38\,120\text{ km}^2$ ,主要发生在草地与荒漠、其他生态系统之间;各生态系统类型的面积没有太大改变。8 a间,保护区生态系统服务总价值呈现明显的增长趋势,一共增加 $1.68 \times 10^{10}$ 元;

其中,农田、森林、草地和其他生态系统服务价值分别增加 $4.86 \times 10^8$ 元、 $6.12 \times 10^8$ 元、 $1.84 \times 10^{10}$ 元和 $3.15 \times 10^8$ 元,水体与湿地和荒漠的生态系统服务价值分别减少 $2.14 \times 10^9$ 元和 $8.44 \times 10^8$ 元。

2. 生态系统服务价值变化的驱动因子是多方面的综合因素。通过对主要生态系统类型的价值贡献及其面积变化等情况进行分析可知,生态系统类型变化不是引起研究区生态系统服务价值大幅度上升的主要原因。不同生态系统类型的生态服务价值变化对各驱动因素的响应存在差异;保护区草地生态系统服务价值增加是受生态建设和气候因子变化的双重影响,森林、水体与湿地生态系统服务价值变化受气候因子变化影响较深,而农田生态系统服务价值变化主要跟农田面积的扩大有关。

## 参考文献(Reference)

- [1] 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: 253–260
- [2] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystem and human well-being: policy response [M]. Washington D C: Island Press, 2005
- [3] Li Shuangcheng, Liu Jinlong, Zhang Caiyu, et al. The research trends of ecosystem services and the paradigm in geography [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2011, 66(12): 1618–1630 [李双成, 刘金龙, 张才玉等. 生态系统服务研究动态及地理学研究范式[J]. *地理学报*, 2011, 66(12): 1618–1630]
- [4] Xie Gaoqi, Lu Chunxia, Leng Yunfa, et al. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau [J]. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(2): 189–196 [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]
- [5] Brenner J, Jiménez J A, Sardá R, et al. An assessment of the non-market value of the ecosystem services provided by the Catalan coastal zone, Spain [J]. *Ocean & Coastal Management*, 53(1): 27–38
- [6] Iovanna R, Griffiths C. Clean water: ecological benefits and benefits transfer: a work in progress at the U. S. EPA [J]. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 473–482
- [7] Troy A, Wilson M A. Mapping ecosystem services: practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer [J]. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 435–449
- [8] Hoehn J P. Methods to address selection effects in the meta regression and transfer of ecosystem values [J]. *Ecological Economics*, 2006, 60(2): 389–398
- [9] Liu S A, Costanza R, Troy A. Valuing New Jersey's ecosystem services and natural capital: a spatially explicit benefit transfer approach [J]. *Environmental Management*, 2010, 45(6): 1271–1285
- [10] Lai Yuanchang, Li Xianwei, Feng Shuai, et al. Impact of grain for green project on ecosystem service values in the hilly region in Sichuan Basin: a case study of Hongya County [J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 26(5): 755–768 [赖元长, 李贤伟, 冯帅,



- 等. 退耕还林工程对四川盆周低山丘陵区生态系统服务价值的影响——以洪雅县为例[J]. 自然资源学报, 2011, 26(5): 755–768]
- [11] Li Wenkai, Li Tianhong, Qian Zhenghan. Impact of land use change on ecosystem service values in Shenzhen [J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(3): 440–446 [李文楷, 李天宏, 钱征寒. 深圳市土地利用变化对生态服务功能的影响[J]. 自然资源学报, 2008, 23(3): 440–446]
- [12] Duan Jin, Kang Muiy, Jiang Yuan. Dynamic valuation on ecosystem services of Dongjiang River Basin [J]. Journal of Natural Resources, 2012, 27(1): 90–103 [段锦, 康慕谊, 江源. 东江流域生态系统服务价值变化研究[J]. 自然资源学报, 2012, 27(1): 90–103]
- [13] Long Xin, Zhen Lin, Cheng Shengkui, et al. Impact of the 1998 flood on ecosystem services in the Poyang Lake Region, China [J]. Resources Science, 2012, 34(2): 220–228 [龙鑫, 甄霖, 成升魁, 等. '98 洪水对鄱阳湖区生态系统服务的影响研究[J]. 资源科学, 2012, 34(2): 220–228]
- [14] Shao Quanqin, Zhao Zhiping, Liu Jiyuan, et al. The characteristics of land cover and macroscopical ecology changes in the source region of three rivers on Qinghai–Tibet Plateau during last 30 years [J]. Geographical Research, 2010, 29(8): 1439–1451 [邵全琴, 赵志平, 刘纪远, 等. 近 30 年来三江源地区土地覆被与宏观生态变化特征[J]. 地理研究, 2010, 29(8): 1439–1451]
- [15] Fan Jiangwen, Shao Quanqin, Liu Jiyuan, et al. Dynamic changes of grassland yield in Three River Headwater Region from 1988 to 2005 [J]. Acta Agrestia Sinica, 2010, 18(1): 1–10 [樊江文, 邵全琴, 刘纪远, 等. 1988–2005 年三江源草地产草量变化动态分析[J]. 草地学报, 2010, 18(1): 1–10]
- [16] Xu Xinliang, Liu Jiyuan, Shao Quanqin. The dynamic changes of ecosystem spatial pattern and structure in the Three–River Headwaters Region in Qinghai Province during recent 30 years [J]. Geographical Research, 2008, 27(4): 829–838 [徐新良, 刘纪远, 邵全琴. 30 年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化[J]. 地理研究, 2008, 27(4): 829–838]
- [17] De Groot R S, Wilson M A, Bouman R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem services goods and services [J]. Ecological Economics, 2002, 41: 393–408
- [18] Zhang L, Dawes W R & Walker G R. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale [J]. Water Resources Research, 2001, 37: 701–708
- [19] Zheng Chang, Ni Jiupai, Wei Chaofu. Study of local runoff in hilly regions of Sichuan Basin based on DEM and SCS model [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2008, 22(5): 73–77 [郑畅, 倪九派, 魏朝富. 基于 DEM 和 SCS 模型的四川盆地丘陵区局地径流研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(5): 73–77]
- [20] State Forestry Administration. Assessment of forest ecological services in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2008 [国家林业局. 森林生态系统服务功能评估规范[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008]
- [21] Zhang Yongli, Yang Fengwei, Lu Shaowei. Estimation on the economic values of the forest ecosystem service function in Qinghai Province [J]. Journal of Northeast Forestry University, 2007, 35(11): 74–76 [张永利, 杨峰伟, 鲁绍伟. 青海省森林生态系统服务功能价值评估[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(11): 74–76]
- [22] Zhang Lipeng, Tan Zhihao, Xie Wen, et al. Estimation of grassland ecosystem services value of China using remote sensing data [J]. Journal of Natural Resources, 2007, 22(2): 161–170 [姜立鹏, 覃志豪, 谢雯, 等. 中国草地生态系统服务功能价值遥感估算研究[J]. 自然资源学报, 2007, 22(2): 161–170]
- [23] Zhao Liang, Gu Song, Du Mingyuan, et al. The seasonal variations of radiation budget and of community biomass in the Haibei alpine meadows [J]. Acta Agrestia Sinica, 2004, 12(1): 65–69 [赵亮, 古松, 杜明远, 等. 海北高寒草甸辐射能量的收支及植物生物量季节变化[J]. 草地学报, 2004, 12(1): 65–69]
- [24] Luo Zhenqiang, Guo Lianyun, Xie Weidong. Major influencing factors for grass crop of high and cold meadow in Three River Source [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2011, 25(6): 122–126 [罗振堂, 郭连云, 谢卫东. 三江源区高寒草地牧草产量主要影响因子分析[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(6): 122–126]
- [25] Pei Zhiyong, Zhou Caiping, Ouyang Hua, et al. A Carbon budget of alpine steppe area in the Tibetan Plateau [J]. Geographical Research, 2010, 29(1): 102–110 [裴志永, 周才平, 欧阳华, 等. 青藏高原高寒草原区域碳估测[J]. 地理研究, 2010, 29(1): 102–110]
- [26] Wang Lin. Carbon dynamics in the alpine ecosystem on the eastern Tibetan Plateau [D]. Beijing: Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, 2005 [王琳. 青藏高原东部贡嘎山山地生态系统碳过程研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005]
- [27] Office of Agricultural Zoning of Qinghai Province. Qinghai soils [M]. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1997 [青海省农业资源区划办公室. 青海土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1997]
- [28] National Development and Reform Commission. China price statistics yearbook [M]. Beijing: State Statistical Bureau, PRC, 2009 [国家发展和改革委员会. 中国物价年鉴[M]. 北京: 中国物价年鉴社, 2009]
- [29] Statistics Bureau of Qinghai. Statistical yearbook of Qinghai [M]. Beijing: State Statistical Bureau, PRC, 2009 [青海省统计局. 青海统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2009]
- [30] Xue Dayuan, Bao Haosheng, Li Wenhua. A valuation study on the indirect values of forest ecosystem in Changbaishan Mountain biosphere reserve of China [J]. China Environmental Science, 1999, 19(3): 247–252 [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[J]. 中国环境科学, 1999, 19(3): 247–252]
- [31] State Statistical Bureau. China statistics yearbook [M]. Beijing: State Statistical Bureau, PRC, 2008 [国家统计局. 中国统计年鉴[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2008]
- [32] Yi Xiangsheng, Yin YinYu, Li Guosheng, et al. Temperature variation in recent 50 years in the Three–River Headwaters Region of Qinghai Province [J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(11): 1451–1465 [易湘生, 尹衍雨, 李国胜, 等. 青海三江源地区近 50 年来的气温变化[J]. 地理学报, 2011, 66(11): 1451–1465]

## Dynamic Valuation on Ecosystem Services to Ecological Construction in the Three – River Headwaters Nature Reserve ,China

LAI Min<sup>1 2</sup> ,WU Shaohong<sup>1</sup> ,DAI Erfu<sup>1</sup> ,YIN Yunhe<sup>1</sup> ,PAN Tao<sup>1</sup> ,ZHAO Dongsheng<sup>1</sup>

( 1. *Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research ,Chinese Academy of Sciences ,Beijing 100101 ,China;*

*2. University of Chinese Academy of Science ,Beijing 100049 ,China)*

**Abstract :** Climate change and irrational human activities could lead to the occurrence of ecological degradation , which consequently cause declination of ecosystem services; however ,restoration actions could be generally effective in increasing the provision of ecosystem services. In the context of this study ,we attempted to perform an analysis of the changes in ecosystem service values in response to ecological construction in the Three – River Headwaters Nature Reserve ( TRHNR ) of China. We used remote sensing and geographic information system ( GIS) technology , as well as ecological economics methods to evaluate the ecosystem services contributed by the TRHNR in the year 2000 and 2008. The results showed that the ecosystem service value ( *ESV* ) in the TRHNR increased 16.80 billion yuan( RMB) during the study period. Among the six ecosystem categories ,the overall quality of grassland had improved significantly with the double effect of ecological construction and climate variation ,and the *ESV* of grassland had increased 48.69% . There was a slight increase of 12.71% in *ESV* of forest which was mainly related to the improvement of hydrothermal conditions in the forest area. The *ESV* generated by wetland decreased 56.08% due to the regional temperature rise and precipitation reduction. From 2000 to 2008 ,the population of the study area increased 26.08% ,which induced anintense transformation between farmland and grassland ,further caused a high growth rate in *ESV* of farmland. The results indicated the impacts of different drivers on the *ESV* of each ecosystem , and revealed that the Project of Ecological Protection and Construction in the study area played a crucial role in ecosystem service production.

**Key words:** ecological construction; ecosystem services; valuation; the Three – River Headwaters Nature Reserve