

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.09.020

西藏朋曲河流域淡水生态系统服务价值评估^①

宋福强¹, 李卓卿¹, 肖俞¹,
刘蓉昆², 周盈涛¹, 孔德平¹

1. 云南省环境科学研究院/中国昆明高原湖泊国际研究中心, 昆明 650034;
2. 国际山地综合发展中心, 加德满都 999098

摘要: 西藏朋曲河流域分布着多种淡水生态系统类型, 蕴涵着巨大的生态效益与经济效益. 本文采用市场价值法、影子价格法、影子工程法和当量因子法等方法, 对朋曲河流域淡水生态系统服务价值进行评估. 经估算, 2014 年流域内淡水生态系统服务总价值为 792 937.95 万元. 其中, 调节服务价值远远高于其他服务价值, 供给服务价值最小. 因此, 本研究建议地方政府应高度重视流域内淡水生态系统的保护与恢复, 促进流域生态安全和经济社会可持续发展.

关键词: 生态系统服务价值; 淡水生态系统; 朋曲河; 西藏

中图分类号: X37

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2018)09-0142-08

朋曲河流域地处南亚国际河流科西河上游, 是我国青藏高原生态屏障和西藏珠穆朗玛峰国家级自然保护区的重要组成部分, 生态保护意义重大. 该流域大部分区域位于喜马拉雅山脉北侧高寒地区, 受山脉阻挡, 暖湿气流难以进入, 年降雨量少, 生态环境脆弱. 但区内淡水生态系统水资源较丰富, 植被生产力较高, 生物多样性丰富, 同时在支撑区域地方经济社会发展方面发挥了重要作用. 目前, 该流域淡水生态系统研究主要集中在景观格局变化^[1-2]和水灾害管理^[3-4], 而关于生态系统服务方面的系统研究几乎没有.

朋曲河流域淡水生态系统多位于河谷地带, 距离居民点、道路近, 受人类开发利用活动影响大, 再加上气候变暖, 这些淡水生态系统退化风险较高^[1]. 据相关研究, 近年来西藏不少淡水生态系统已呈现退化趋势^[2, 5-6]. 因此, 强化朋曲河流域淡水生态系统管理, 协调淡水生态系统开发利用与保护之间的矛盾关系显得十分迫切. 本研究试图通过朋曲河流域淡水生态系统服务价值评估, 为区内生态保护与经济社会可持续发展提供科学依据.

1 研究区域与研究方法

1.1 研究区概况

朋曲河流域位于中国西南边陲西藏自治区日喀则市南部, 地理坐标 85.703°E—88.951°E, 27.831°N—29.128°N, 涉及西藏自治区日喀则市萨迦县、聂拉木县、定结县、定日县和岗巴县, 南与尼泊尔相邻,

^① 收稿日期: 2017-07-26

基金项目: 国际山地综合发展中心喜马拉雅气候变化适应项目 (HICAP-KBP); 国家环境保护部全国生态状况变化 (2010-2015 年) 调查与评估项目 (STWN-01-25).

作者简介: 宋福强(1978-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事生态环境保护研究.

面积 29 400 km²(图 1). 流域大部分区域位于喜马拉雅山脉北侧, 海拔多在 4 000 m 以上, 焚风效应明显, 气温偏低, 降雨偏少, 蒸发量大, 植被多为草地和灌丛; 少部分位于喜马拉雅山脉南侧, 平均海拔 2 400 m, 受印度洋温暖气流影响, 降雨充沛, 植被多为森林. 流域内地带性土壤为亚高山草原土, 而河漫滩和洪积扇缘多为草甸土, 属沙质土. 区内淡水生态系统主要包括沼泽湿地、草甸、河流和湖泊, 面积 138 691.81 hm², 仅占流域总面积的 4.72%, 其中, 沼泽湿地及草甸面积最大, 主要分布在河流两侧及湖泊周围, 面积 118 380.36 hm²; 其次是湖泊淡水生态系统, 主要有丁木措和定结措(包括强左措和共左措)等, 面积 10 822.41 hm²; 还有河流淡水生态系统, 主要有朋曲河及支流叶如藏布江等, 面积 9 489.04 hm².

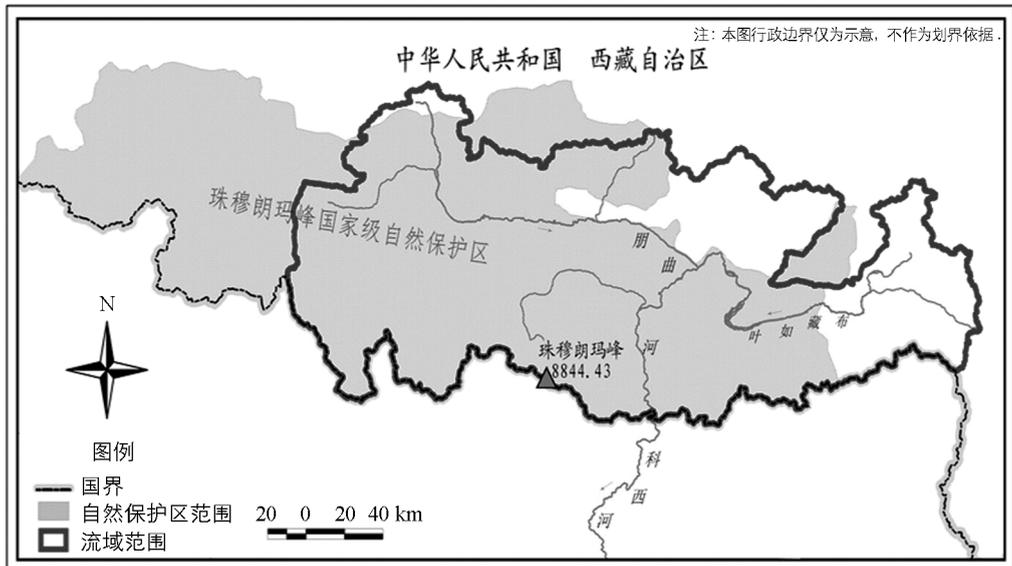


图 1 朋曲河流域位置关系示意图

1.2 研究方法

根据 TEEB^[7] 生态系统服务分类体系, 本研究重点针对朋曲河流域淡水生态系统较重要的供给服务(水资源供给、饲料生产和水力发电)、调节服务(废物处理、水文调节、土壤保持、气体调节和气候调节)、栖息地服务(生物多样性维持)和文化服务(娱乐文化)进行价值评估(表 1). 其中, 供给服务中的水资源供给、饲料供给和水力发电服务价值评估采用市场价值法^[8-10], 调节服务中的水文调节、气体调节服务价值评估分别采用影子工程法和影子价格法^[11-12], 调节服务中的气候调节、废物处理和土壤保持服务, 以及栖息地服务和文化服务的价值评估采用基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值评估方法(简称当量因子法)^[13-14]. 下面简要介绍当量因子法计算过程.

表 1 朋曲河淡水生态系统服务及价值评估方法一览表

序号	生态系统服务	沼泽湿地(草甸)	湖泊	河流	评估方法
一	供给服务				
1	水资源供给				
1.1	生活用水		✓		市场价值法
1.2	灌溉用水	✓	✓	✓	市场价值法
1.3	牲畜饮水	✓	✓	✓	市场价值法
2	饲料供给	✓			市场价值法
3	水力发电			✓	市场价值法

续表 1

序号	生态系统服务	沼泽湿地(草甸)	湖泊	河流	评估方法
二	调节服务				
4	废物处理	√	√	√	当量因子法
5	水文调控	√	√		影子工程法
6	土壤保持	√	√		当量因子法
7	气体调节	√			影子价格法
8	气候调节	√	√	√	当量因子法
三	栖息地服务				
9	生物多样性维持	√	√	√	当量因子法
四	文化服务				
10	娱乐文化	√	√	√	当量因子法

当量因子法最先由 Costanza 等^[15]提出. 后来, 谢高地等^[13-14]结合中国实际情况对生态系统服务单位面积价值当量进行了优化, 制定了中国陆地生态系统服务单位面积价值当量表(表 2), 并得到广泛应用^[16-17]. 本研究中的沼泽湿地及草甸对应表中的湿地, 河流湖泊对应表中的水体.

表 2 中国陆地生态系统单位面积服务价值当量表^[14]

生态系统类型	气候调节	废物处理	土壤保持	生物多样性维持	娱乐文化
湿地(沼泽湿地及草甸)	13.55	14.40	1.99	3.69	4.69
水体(河流湖泊)	2.06	14.85	0.41	3.43	4.44

注: 这里仅列出与本研究涉及的生态系统及服务类型.

为了尽量反映项目区生态系统服务实际价值, 这里的生态系统服务价值当量因子, 采用西藏莽措湖流域 1 hm² 农田每年自然粮食平均产量的价值 177.32 元/(hm² · a)^[18]. 当量因子再乘以生态系统服务单位面积价值当量, 可以获得朋曲河流域各生态系统服务的单位面积价值(表 3), 如公式 1 所示. 然后, 把各类生态系统面积与其各生态系统服务单位面积价值的乘积再相加, 可以计算出朋曲河流域各类生态系统服务的总价值, 如公式 2 所示.

$$P_{ij} = p_{ij} \times C \quad (1)$$

$$V = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n S_j \times P_{ij} \quad (2)$$

式中: P_{ij} 为 j 类生态系统 i 种生态系统服务单位面积价值, 单位为元/(hm² · a), 结果如表 2 所示; p_{ij} 为 j 类生态系统 i 种生态系统服务单位面积价值当量(表 1); C 为项目区农田每年自然粮食平均产量的价值, 这里取 177.32 元/(hm² · a); V 为区域生态系统服务总价值, 单位为元; S_j 为 j 类生态系统面积, 单位为 hm²; n 为生态系统服务类型; m 为生态系统类型.

表 3 朋曲河流域淡水生态系统服务单位面积价值一览表

元/(hm² · a)

生态系统类型	气候调节	废物处理	土壤保持	生物多样性维持	娱乐文化
湿地(沼泽湿地及草甸)	2 402.69	2 553.41	352.87	654.31	813.90
水体(河流湖泊)	365.28	2 633.20	72.70	608.21	787.30

2 结果与分析

2.1 水资源供给价值

朋曲河流域淡水生态系统水资源丰富,每年向周边居民提供多种生产用水和生活用水,具体包括生活用水、灌溉用水和牲畜饮水等.2014年朋曲河流域5县有城镇人口22 287人、农村人口13 8851人,人均日用水量分别按照2014年全国平均水平213L和81L估算,则朋曲河流域年生活用水量583.78万 m^3 .生活用水价格取3.0元/ m^3 ^[19]估算,则朋曲河流域年生活用水供给价值为1 751.35万元.朋曲河流域耕地面积16 475.97 hm^2 ,灌溉用水量以青稞单位面积需水量3 750 m^3/hm^2 ^[20]进行估算,年灌溉耗水量约6 178.49万 m^3 .这里农田灌溉水成本取0.25元/ m^3 ^[19],则朋曲河流域年灌溉水供给价值为1 544.62万元.2014年朋曲河流域5县共出栏牛43 992头、羊424 676只、猪711只,日需水量分别按50,5,25 L/d^[21]估算,则年牲畜饮水158.44万 m^3 .这里牲畜饮水成本取0.25元/ m^3 ^[19],则朋曲河流域年牲畜饮水供给价值为39.61万元.由上可知,淡水生态系统水资源年供给服务价值为3 335.58万元.

2.2 饲料供给价值

朋曲河淡水生态系统,尤其沼泽湿地与草甸地势较低,草本植物长势好,是良好的四季牧场和冬季牧场.为了合理利用区域草场资源,朋曲河流域农户实施轮牧制度.夏季把羊群赶到高山牧场放牧,冬季则回到宽谷沼泽湿地与草甸放牧.经调查,宽谷沼泽湿地与草甸放牧利用时间约1个月,而牛马等大牲畜则一年四季在沼泽湿地和草甸牧场放牧.朋曲河流域沼泽湿地和草甸单位面积可食干草产量按日喀则平均水平0.50 t/ hm^2 ^[22]估算,则沼泽湿地及草甸年生产可食干草58 835.04 t.牧草价格取拉萨市场价0.40元/kg^[23],则沼泽湿地及草甸年饲料供给服务价值为2 353.40万元.

2.3 水力发电价值

朋曲河干流落差3 370 m,水能蕴藏量较丰富,但境内干流水能资源尚未开发,目前已开发的主要是农村小水电.这里仅收集到定结县和定日县水力发电数据,其中,定结县正在运行的水电站3座,分别是长所水电站、卡达水电站和曲当水电站,年发电量为1 440万kw/h.定日县正在运行电站有6座,年发电量为360万kw/h.电力售价取居民用电价格0.50元/(kw·h)(实地调查),则朋曲河流域现有水电站年水力发电服务价值为900万元.

2.4 废物处理价值

朋曲河沿线集镇居民点两污设施建设严重滞后,尚未建立污水处理设施,生活污水未经处理直接排放,大部分依靠附近及下游淡水生态系统自然净化.此外,放牧时牲畜粪便直接排入沼泽湿地和草甸,通过淡水生态系统自然降解.由于缺乏朋曲河流域淡水生态系统净化能力和污染负荷数据,这里采用当量因子法估算流域淡水生态系统废物处理服务价值.由表3可知,朋曲河流域沼泽湿地单位面积废物处理价值2 553.41元/($hm^2 \cdot a$),湖泊河流单位面积废物处理价值2 633.20元/($hm^2 \cdot a$),则朋曲河流域淡水生态系统年废物处理服务价值为35 575.75万元.

2.5 水文调节价值

由于年降雨分配不均,朋曲河流域雨季多次发生洪水灾害,冲毁农田;而旱季则降水较少,气候干旱.而沼泽湿地及草甸和湖泊生态系统均具有较强的水源涵养和洪水调蓄能力,雨季能够消纳部分面山径流,降低洪涝灾害风险;旱季则可以缓慢释放雨季储蓄水资源,补充周边地下水与河水,缓解干旱.其中,沼泽湿地及草甸水源涵养按8 100 m^3/hm^2 ^[24]估算,则沼泽湿地与草甸蓄水能力为95 888.09万 m^3 ;湖泊水资源调蓄能力参考青藏高原湖泊水量调节能力评价模型^[25],则湖泊蓄水能力18 249.45万 m^3 ;由上可知,朋曲河流域以上二类淡水生态系统年水资源调蓄能力合计为114 137.54万 m^3 .以西藏地区修建水库投资约6元/ m^3 ^[23]计,朋曲河流域淡水生态系统年水文调节服务价值为684 825.26万元.

2.6 土壤保持价值

朋曲河流域土壤属沙质, 再加上年降雨集中, 风力大, 土壤风蚀水蚀现象较突出. 区内面山普遍存在深浅不一的冲蚀沟, 部分冲蚀沟深达一到两米; 还有些区域的沙尘在风力作用下形成连片沙丘, 吞没植被和农田, 影响大气质量. 而沼泽湿地及草甸植被覆盖度高, 能够一定程度缓解降低区域土壤侵蚀影响; 湖泊则能淤积泥沙. 由于缺乏土壤保持相关数据, 这里采用当量因子法估算流域淡水生态系统土壤保持服务价值. 由表 3 可知, 朋曲河流域沼泽湿地及湿地单位面积土壤保持价值 352.87 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 湖泊单位面积土壤保持价值 72.70 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 则朋曲河流域淡水生态系统年土壤保持服务价值为 4 255.93 万元.

2.7 气体调节价值

朋曲河流域地处青藏高原地区, 大气氧浓度低, 因此生态系统释放氧气对人类生存具有重要意义. 淡水生态系统植物生长良好, 初级生产力较高, 能不断吸收大气中的 CO_2 , 释放 O_2 , 维持大气中 O_2 浓度. 这里采用光合作用方程法估算氧气释放量. 沼泽湿地及草甸和产草量按 0.945 t/ hm^2 ^[23] 估算, 则朋曲河流域淡水生态系统年产草量为 111 869.44 t. 根据光合作用方程, 每产生 1g 干草会释放 1.2 g O_2 , 由此可知朋曲河流域淡水生态系统年释放 O_2 1 34 243.33 t. 以拉萨市医用氧气制造价格 900 元/ t ^[23] 估算, 则朋曲河流域淡水生态系统年释放 O_2 的价值为 12 081.90 万元. 淡水生态系统吸收 CO_2 的价值同时反映在气候调节中, 这里不再重复核算.

2.8 气候调节价值

朋曲河流域淡水生态系统植被生长过程中, 会通过光合作用不断固定 CO_2 , 部分还会形成泥炭, 长期固定, 进而缓解全球气候变化. 同时, 淡水生态系统还会通过蒸、散发改变局部湿地、温度和降水状况, 使之适宜人类居住. 由于缺乏朋曲河流域气候调节相关研究, 这里采用当量因子法估算流域淡水生态系统气候调节服务价值. 由表 3 可知, 朋曲河流域沼泽湿地及草甸单位面积气候调节价值 2 402.69 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 湖泊河流单位面积气候调节价值 365.28 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 则朋曲河流域淡水生态系统年气候调节服务价值为 29 185.02 万元.

2.9 生物多样性维持价值

朋曲河流域淡水生态系统生境优越, 适宜多种动植物生存. 据现场初步调查, 朋曲河流域淡水生态系统内分布有维管束植物 62 种、鸟类 71 种、哺乳类 5 种和鱼类 3 种, 其中包括黑颈鹤等多种珍稀保护物种. 这里采用当量因子法估算流域淡水生态系统生物多样性维持服务价值. 由表 3 可知, 朋曲河流域沼泽湿地及草甸单位面积生物多样性维持价值 654.31 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 湖泊河流单位面积生物多样性维持价值 608.21 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 则朋曲河流域淡水生态系统年生物多样性维持服务价值为 8 981.11 万元.

2.10 娱乐文化价值

朋曲河流域位于青藏高原西南部, 拥有丰富的河流、沼泽湿地、冰川、山体、草原、湖泊、沙丘等自然景观资源及神秘的藏族文化资源, 可以为人们提供美学体验与休闲等精神享受, 旅游价值较高. 但由于资金缺乏和配套设施不完善, 区内旅游建设开发严重滞后, 除定日县珠峰大本营和定结县陈塘镇旅游开发外, 其他旅游资源基本未开发. 此外, 朋曲河属于国际河流, 淡水生态系统维持较完整, 生态安全意义突出, 科学研究价值较高. 这里采用当量因子法估算流域淡水生态系统娱乐文化服务潜在价值. 由表 3 可知, 朋曲河流域沼泽湿地及草甸单位面积娱乐文化价值 831.63 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 湖泊河流单位面积娱乐文化价值 787.30 元/($\text{hm}^2 \cdot \text{a}$), 则朋曲河流域淡水生态系统年娱乐文化服务价值为 11 444.00 万元.

2.11 总价值

综合以上 10 项生态系统服务价值, 朋曲河流域淡水年生态系统服务总价值 792 937.95 万元(表 4), 其中, 调节服务价值最大, 为 765 923.86 万元, 占总价值的 96.59%, 远大于其他 3 类生态系统服务价值; 其次是文化服务和栖息地服务, 分别为 11 444.00 万元和 8 981.11 万元, 占总价值的 1.44% 和 1.13%; 供给服务价值最小, 为 6 588.98 万元, 占服务总价值的 0.83%(图 2).

表 4 朋曲河流域淡水生态系统服务价值一览表

序号	生态系统服务	价值/万元	比例/%	受益群体
一	供给服务	6 588.98	0.83	
1	水资源供给	3 335.58	0.42	
1.1	生活用水	1 751.35	0.22	当地居民
1.2	灌溉用水	1 544.62	0.19	当地居民
1.3	牲畜饮水	39.61	0.00	当地居民
2	饲料供给	2 353.40	0.30	当地居民
3	水力发电	900.00	0.11	当地居民
二	调节服务	765 923.86	96.59	
4	废物处理	35 575.75	4.49	当地居民、下游
5	水文调控	684 825.26	86.37	当地居民、下游
6	土壤保持	4 255.93	0.54	当地居民、下游
7	气体调节	12 081.90	1.52	当地居民
8	气候调节	29 185.02	3.68	当地居民、全球
三	栖息地服务	8 981.11	1.13	
9	生物多样性维持	8 981.11	1.13	全球
四	文化服务	11 444.00	1.44	
10	娱乐文化	11 444.00	1.44	当地居民、全球
合计		792 937.95	100.00	

3 讨 论

朋曲河流域近 2/3 的区域属于珠穆朗玛峰国家级自然保护区,是我国青藏高原生态屏障的重要组成部分,其淡水生态系统的调节服务及栖息地服务十分重要.经测算,不足流域面积 5%的淡水生态系统年调节和栖息地服务价值 774 904.97 万元,相当于 5 县 GDP 总和的 4 倍多.但是,流域内居民往往更重视供给服务的开发利用,忽视其他生态系统服务效益保护.比如,畜牧产业是朋曲河流域的传统产业,是当地居民的重要收入来源,牧业发展利用主要是为流域内淡水生态系统的饲料提供供给服务,该服务价值仅占生态系统服务总价值的 0.30%.为了提高收入水平,过去牧民大幅增加牲畜数量,甚至出现超载放牧,导致淡水生态系统出现退化.现场调查发现,部分沼泽湿地及草甸区域已发现有棘豆、狼毒等有毒有害物种分布,甚至局部区域出现棘豆优势群落,这可能与过度放牧有关.因此,朋曲河流域地方政府应加强淡水生态系统保护和管理,努力协调不同生态系统服务间的关系.

供给服务与其他生态系统服务之间主要是竞争关系^[26].过度放牧只会短期内带来经济收入的增长,长期必然造成大面积淡水生态系统退化,影响的不仅是饲料供给服务,还会威胁其他生态系统服务效益,产生一系列不良后果.西藏生态系统十分脆弱,尤其在气候变化背景下,超载放牧等人为活动对淡水生态系统破坏往往具有加速和倍增作用^[27].因此,朋曲河流域应加强淡水生态系统牧业管理,制止挖草皮、湿地开挖、湿地征占、湿地垦殖等一系列破坏淡水生态系统的不良行为,保护淡水生态系统健康安全.2010 年,项目区开始实施草原生态保护补助奖励机制和草畜平衡管理制度,有助于协调朋曲河流域淡水生态系统供给服务与调节服务、栖息地服务和文化服务之间的冲突.但需要注意的是,目前实施的草畜平衡模式是否

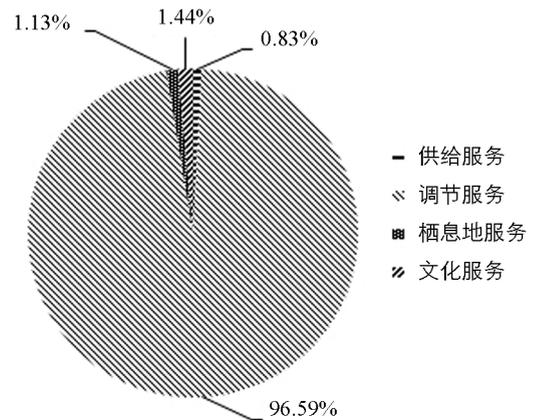


图 2 朋曲河流域淡水生态系统服务组成图

能充分保护调节服务、栖息地服务和文化服务效益还需要进一步的研究。

文化服务与供给服务以外的其他生态系统服务之间存在较大协同关系^[26]。因此,在传统牧业发展受到一定调控时,朋曲河流域可逐步有序开发淡水生态系统旅游业,充分发挥其文化服务效益,打造新的经济增长点,从而促进地方经济社会可持续发展。

此外,朋曲河流域淡水生态系统的调节服务、栖息地服务和文化服务还具有很强的外溢效应(表4)。据研究,科西河流域水旱灾害频发,已成为当地居民生活贫困的一个重要原因^[4]。保护朋曲河流域淡水生态系统,维持并提高其水文调节服务效益,将有助于降低下游科西河洪涝灾害及干旱风险。朋曲河年径流量49.2亿 m^3 ,扣除流域内水资源供给消耗的6 920.71万 m^3 及其他生态用水,绝大部分水资源无偿流入下游尼泊尔和印度境内的科西河,为下游提供大量水资源。还有,栖息地服务和文化服务的受益对象为全球,是全人类的宝贵财富。因此,朋曲河流域淡水生态系统保护工作还应积极争取国际资金,尤其来自下游地区的生态效益补偿。

4 结 论

西藏朋曲河流域淡水生态系统位于珠穆朗玛峰国家级自然保护区,生态保护意义十分重要,同时又是当地居民生产生活的重要基础和资源。本研究评估结果表明,项目区淡水生态系统具有较高的生态系统服务价值,尤其是调节服务价值。因此,当地政府应当加强流域内淡水生态系统保护,控制对调节服务影响较大的畜牧产业及湿地草甸破坏行为,适当加大开发对调节服务影响较小的文化服务。

参考文献:

- [1] 马 飞, 阚瑛珂, 李景吉, 等. 珠穆朗玛峰自然保护区沼泽湿地提取及其退化风险评价 [J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(5): 594—600, 610.
- [2] 李小甲. 近 20 年定日岗嘎镇典型高寒湿地景观格局变化分析 [D]. 成都: 成都理工大学, 2013.
- [3] 车 涛, 晋 锐, 李 新, 等. 近 20a 来西藏朋曲流域冰湖变化及潜在溃决冰湖分析 [J]. 冰川冻土, 2004, 26(4): 397—402.
- [4] 胡桂胜, 陈宁生, KHANAL N, 等. 科西河跨境流域水旱灾害与防治 [J]. 地球科学进展, 2012, 27(8): 908—915.
- [5] 罗怀斌. 青藏高原湿地面临主要问题及保护对策 [J]. 中南林业调查规划, 2014, 33(1): 32—35.
- [6] 朱万泽, 钟祥浩, 范建容. 青藏高原湿地生态系统特征及其保护对策 [J]. 山地学报, 2003, 21(S1): 7—12, 39.
- [7] 杜乐山, 李俊生, 刘高慧, 等. 生态系统与生物多样性经济学(TEEB)研究进展 [J]. 生物多样性, 2016, 24(6): 686—693.
- [8] 江 波, 欧阳志云, 苗 鸿, 等. 海河流域湿地生态系统服务功能价值评价 [J]. 生态学报, 2011, 31(8): 2236—2244.
- [9] 吴后建, 但新球, 刘世好, 等. 湖南省湿地生态系统服务价值初步评价 [J]. 湿地科学, 2016, 14(6): 781—787.
- [10] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价 [J]. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635—640.
- [11] 崔丽娟, 庞丙亮, 李伟, 等. 扎龙湿地生态系统服务价值评价 [J]. 生态学报, 2016, 36(3): 828—836.
- [12] 江 波, 张 路, 欧阳志云. 青海湖湿地生态系统服务价值评估 [J]. 应用生态学报, 2015, 26(10): 3137—3144.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] COSTANZA R, D'ARGE R, GROOT R D, et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital [J]. Nature, 1997, 387: 253—260.
- [16] 江汶静, 田永中, 唐君桃, 等. 基于 GIS 的耕地的边际化评价与转移的生态价值评估——以三峡库区涪陵段为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2017, 39(4): 101—107.
- [17] 马世五, 谢德体, 张孝成, 等. 西南山区生态敏感区生态服务价值对土地利用变化的响应——以重庆市万州区为例 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2015, 40(11): 80—87.

- [18] 肖 玉, 谢高地, 安 凯. 莽措湖流域生态系统服务功能经济价值变化研究 [J]. 应用生态学报, 2003, 14(5): 676—680.
- [19] 李忠魁, 洛桑桑旦. 西藏湿地资源价值损失评估 [J]. 湿地科学与管理, 2008, 4(3): 24—29.
- [20] 达娃卓玛. 西藏农业节水灌溉研究现状 [J]. 西藏农业科技, 2014, 36(2): 5—7.
- [21] 张德勇. 畜禽的需水量 [J]. 养殖技术顾问, 2005(9): 7.
- [22] 苏大学. 西藏草地资源的结构与质量评价 [J]. 草地学报, 1995, 3(2): 144—151.
- [23] 张天华, 陈利顶, 普布丹巴, 等. 西藏拉萨拉鲁湿地生态系统服务功能价值估算 [J]. 生态学报, 2005, 25(12): 3176—3180.
- [24] 孟宪民, 崔保山, 邓 伟, 等. 松嫩流域特大洪灾的醒示: 湿地功能的再认识 [J]. 自然资源学报, 1999, 14(1): 15—21.
- [25] 饶恩明, 肖 焱, 欧阳志云, 等. 中国湖泊水量调节能力及其动态变化 [J]. 生态学报, 2014, 34(21): 6225—6231.
- [26] 李 鹏, 姜鲁光, 封志明, 等. 生态系统服务竞争与协同研究进展 [J]. 生态学报, 2012, 32(16): 5219—5229.
- [27] 罗 磊. 青藏高原湿地退化的气候背景分析 [J]. 湿地科学, 2005, 3(3): 190—199.

A Value Assessment of Freshwater Ecosystem Services in the Pumqu River Basin, Tibet

SONG Fu-qiang¹, LI Zhuo-qing¹, XIAO Yu¹,
LIU Rong-kun², ZHOU Ying-tao¹, KONG De-ping¹

1. Yunnan Institute of Environmental Sciences/Kunming China International Research
Center for Plateau-Lake, Kunming 650034, China;

2. International Centre for Integrated Mountain Development, Kathmandu 999098, Nepal

Abstract: Freshwater ecosystems such as wetlands, lakes and rivers are widely distributed in the Pumqu River basin in southern Tibet. Through various services, these ecosystems have provided tremendous ecological and economic benefits. Against this backdrop, this paper estimates the monetary value of these freshwater ecosystem services via market valuation method, shadow price method, shadow engineering method and equivalent factor method. The total value of services provided by the freshwater ecosystems was estimated at 7 929 379 500 Chinese Yuan in 2014, of which regulation services contributed much more than the other services, while provisioning services made the smallest contribution. Therefore, the authors recommend that local the governments should pay more attention to the preservation and restoration of the freshwater ecosystems, and ensure ecological security and sustainable socioeconomic development in the basin.

Key words: ecosystem services valuation; fresh water ecosystem; the Pumqu River; Tibet