

## 中国若尔盖高原湿地生态系统服务价值评价

胡运禄, 张明善\* (西南民族大学西南民族研究院, 四川成都 610041)

**摘要** 利用卫星遥感数据, 结合社会经济调查, 参考 Costanza 等的生态系统服务价值评价方法, 构建若尔盖高原湿地生态系统服务价值评价模型, 定量分析若尔盖高原湿地生态系统服务价值。结果表明: 若尔盖高原湿地生态系统服务价值为 485.93 亿元, 单位面积价值为 32 695.86 元/hm<sup>2</sup>, 是其直接开发经济价值的 24 倍。其中, 物质生产价值、休闲娱乐价值的具体表现为消费性直接使用价值的合计为 31.41 亿元, 占生态系统服务价值的 6.46%; 调蓄洪水价值、大气调节价值、水分调节价值的具体表现为非消费性直接使用价值的合计为 265.61 亿元, 占生态系统服务价值的 54.66%。由于样本区域的扩大和计算方法的优化, 其上述计算结果更具科学性和合理性。从定量分析的角度, 通过数据计算而获得的结果可以看出, 保护若尔盖高原湿地的生态价值远远高于直接开发的经济价值高。因此, 必须从整个生态系统的角度出发, 科学合理地保护和利用好若尔盖高原湿地资源。

**关键词** 若尔盖高原湿地; 生态系统; 服务价值; 评价

中图分类号 X 826

文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2021)12-0070-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.12.019



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Evaluation on the Service Value of Wetland Ecosystem in Zoige Plateau, China

HU Yun-lu, ZHANG Ming-shan (Southwest Institute for Nationalities, Southwest University for Nationalities, Chengdu, Sichuan 610041)

**Abstract** Using satellite remote sensing data, combined with socio-economic surveys, and referring to the ecosystem service value evaluation methods of Costanza, etc., the Zoige Plateau wetland ecosystem service value evaluation model was constructed, and the service value of wetland ecosystem in Zoige Plateau was quantitatively analyzed. The results showed that the total service value of wetland ecosystem in Zoige Plateau was 48.593 billion yuan, the unit area value was 32 695.86 yuan/hm<sup>2</sup>, 24 times of its direct development economic value. Among them, material production value, leisure and entertainment value, which were especially embodied in the total consumption direct use value of 3.141 billion yuan, accounting for 6.46% of the service value of ecosystem, including flood regulation and storage value, atmospheric regulation value and water regulation value, which were especially embodied in the total value of non consumption direct use was 26.561 billion yuan, accounting for 54.66% of the value of ecosystem services. Due to the expansion of sample area and the optimization of calculation method, the above calculation results are more scientific and reasonable. From the perspective of quantitative analysis, the results obtained through data calculation could be seen that the ecological value of protecting the wetland in Zoige Plateau was far higher than the economic value of direct development. Therefore, it is necessary to protect and make good use of the wetland resources of Zoige Plateau scientifically and reasonably from the perspective of the whole ecosystem.

**Key words** Zoige Plateau wetland; Ecosystem; Service value; Evaluation

地球上的整个生态系统及生物圈是所在生命的唯一支持系统, 也是人类赖以生存和发展的物质基础, 其生态系统服务不仅为人类的生产生活提供必需的生态产品, 而且为生命系统提供必需的自然条件和效用<sup>[1]</sup>。对生态系统服务功能及其价值评价的研究始于 20 世纪 30 年代中期, 国外学者以及政府部门、社会组织先后对生态系统、生态系统服务功能的概念内涵、影响因素、类型划分、评估方法、个案例等方面进行了较为早期的专题研究, 并试图将其纳入国民经济核算体系<sup>[2-11]</sup>。特别是 Costanza 等<sup>[5]</sup>将生态系统服务功能归纳为 17 种类型, 按 10 种生物群系以货币形式对生态系统服务价值进行评估, 为我国学者早期深入研究生态系统、生态价值奠定了基础。

国内关于生态系统、生态系统服务功能评价的研究相对起步较晚。20 世纪 80 年代以来, 我国学者特别是生态学界的研究人员在借鉴国外理论与方法的基础上, 先后对我国陆地、森林、海洋、草地、湿地等不同生态系统类型的生态系统服务功能价值进行研究, 并取得了一系列的研究成果<sup>[12-21]</sup>。

湿地是人类最重要的生态环境资本之一, 也是自然界具有较高生产力和富有生物多样性的生态系统, 具有显著的经济效益、生态效益、社会效益。据我国权威机构测算评估, 2005 年我国自然生态系统年总价值为 7.8 万亿元, 占土地面积的 3.77%, 湿地生态系统年总价值高达 2.7 万亿元, 占生态系统年总价值的 34%, 为当年我国 GNP 的 28%。面对湿地如此巨大的生态价值, 对湿地的研究也越来越受到我国专家学者的广泛关注, 特别是不同区域、不同类型的湿地生态系统服务功能价值的评估等作为最受关注的研究内容。

素有“中国西部高原之肾”“川西北高原的绿洲”“云端天堂”之称的若尔盖高原湿地, 从 21 世纪初, 我国已有学者对其生态系统服务功能价值进行研究。但由于研究视角、研究方法、区域选定、评价指标、数据可得性等原因, 所得的研究结果会有较大的差异<sup>[22-25]</sup>。该研究为尽量得到较为科学合理的研究成果, 以 Costanza 等<sup>[5]</sup>的研究成果为依据确定若尔盖高原湿地的主要研究功能, 在扩大研究区域和优化计算方法的基础上, 构建若尔盖高原湿地生态系统服务功能价值评估模型, 对该地区湿地生态系统服务功能、结构、过程等进行较为详细评价, 为各级政府提供决策支持, 由此推动若尔盖高原湿地保护与可持续发展。

## 1 资料与方法

**1.1 研究区概况** 若尔盖高原湿地是世界面积最大的高寒

**基金项目** 国家社会科学基金重点项目(15AGL022); 四川省社会科学基金重大项目(SC20YJ028); 西南民族大学研究生创新型科研项目(CX2016BS09)。

**作者简介** 胡运禄(1987—), 男, 湖北孝感人, 博士研究生, 研究方向: 少数民族地区经济发展和公共政策。\* 通信作者, 教授, 博士, 博士生导师, 从事中国少数民族经济研究。

**收稿日期** 2020-10-31

泥炭沼泽湿地,地处青藏高原东北边缘,位于黄河、长江上游,为两大母亲河提供了充足的水源。仅从若尔盖高原湿地注入黄河的水量看,在枯水期占黄河上游流量的 40%,丰水期占 26%。由此可见,保护若尔盖高原湿地对确保黄河流域的生态安全具有重要的战略地位。

若尔盖高原湿地区位坐标为 101°36'~103°25'E、32°21'~34°08'N。行政区域涉及青海省东南部的久治县,四川省西北部的若尔盖县、红原县、阿坝县以及甘肃省西南部的玛曲县、碌曲县。

该研究的样本区域选择:青海省久治县年保玉则国家地质公园、四川若尔盖湿地国家级自然保护区、四川阿坝县曼则塘湿地保护区、四川红原县日干乔湿地自然保护区、甘肃玛曲县黄河首曲国家级自然保护区、甘肃碌曲县尕海—则岔自然保护区 6 个自然保护区(地质公园)内的湿地区域,该区域包含沼泽、草甸、河流、湖泊、沙化地及其中间过渡型等生态系统类型,由于湿地与非湿地区域相间分布,该研究将整个研究区域总称为若尔盖高原湿地区,总覆盖面积 1 486 212 hm<sup>2</sup>。

表 1 若尔盖高原湿地生态系统服务价值评价方法和评价指标

Table 1 Evaluation methods and evaluation indicators of the ecosystem service value of Zoige Plateau wetland

价值分类 Value classification	生态功能 Ecological function	评价方法 Evaluation method	评价指标 Evaluation index	相关文献 Related literature
供给服务 Supply services	物质生产功能价值	价格替代法	Costanza 等研究成果、我国一些学者研究成果	[9, 15]
调节服务 Regulation service	大气调节功能价值	价格替代法	我国造林成果、工业制氧标准和碳汇率	[25-27]
	水分调节功能价值	市场价值法	我国供水、蓄水的费用标准	[22, 25]
	调蓄洪水功能价值	影子工程法	我国水库建设费用标准	[22, 25, 28]
支持服务 Support service	生物栖息地功能价值	价格替代法	Costanza 等研究成果、我国单位面积湿地生态系统价值	[5, 15, 29]
	废物处理功能价值	价格替代法	我国一些学者研究成果	[15, 22, 30]
文化服务 Cultural service	休闲娱乐功能价值	价格替代法	6 县统计年鉴、自然保护区(公园)试点方案和社会经济调查	[29]
	文化科研功能价值	价格替代法	Costanza 等研究成果、我国单位面积科考价值	[5, 31]

### 1.3 评价模型的构建

**1.3.1 物质生产功能价值。**若尔盖高原湿地主要有畜牧业生产和药材生产,其中畜牧业生产以饲养藏羊、牦牛、马等为主,副产品有毛和奶;药材生产主要有山萸蓉、红花绿绒蒿、羽叶点地梅等野生名贵药材为主,还有青稞、小麦、豆类、洋芋等种植农作物。由于缺乏对藏羊、牦牛、马的生产数据以及药材生产还没有形成大规模,因此计算方法采用价格替代法,公式如下:

$$MP = P_1 \times S + P_2 \times S \quad (1)$$

式中,MP 为每年物质生产总价值(元/a); $P_1$  为每年单位产品的价值量[元/(hm<sup>2</sup>·a)],取 256 美元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[5]</sup> 和 266 元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[15]</sup> 的平均值; $P_2$  为每年单位原材料价值量[元/(hm<sup>2</sup>·a)],取 106 美元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[5]</sup> 和 62 元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[15]</sup> 的平均值; $S$  为湿地面积(hm<sup>2</sup>),取 1 486 212 hm<sup>2</sup>。

**1.3.2 大气调节功能价值。**若尔盖高原湿地沼泽中泥炭的积累较厚,平均约 2 m,主要由蒿草和苔草等植物残体组成,分解良好,有机质含量一般为 55%~57%,pH 为 7.0~7.2。植物生长所需养分较为丰富,牲畜喜食牧草很多,为主要放牧场之一。其中,湿地下生物量通过根冠比(root top ratio, R/

**1.2 评估方法及拓展** Costanza 等<sup>[5]</sup>研究成果在逐项估计各种生态系统的各项生态系统服务价值时,某些数据存在较大偏差,特别是对湿地生态系统服务价值评估偏高,为此该研究也受到了国内外不少学者质疑。该研究针对上述不足,在计算若尔盖高原湿地物质生产功能价值、生物栖息地价值、文化科研价值时参考 Costanza 等部分研究成果,也借鉴了我国学者的部分研究成果,一是 Costanza 等研究成果对我国学者具有权威性的生态价值测算思想,但在对我国某一具体区域的实践中可以结合当地实际情况;二是 Costanza 等研究成果对湿地生态系统服务价值评估偏高,在具体计算中可以参考我国权威学者已有研究成果;三是目前关于湿地生态系统价值功能评估尚无统一的度量方法,可以从国内外学者研究对象所携带的信息量“加权”计算,这种计算方法我国已有部分学者在某一具体区域应用。由此可见,该研究结合若尔盖高原湿地的具体情况,优化并设计了生态系统服务功能评价方法和评价指标(表 1),确保对若尔盖高原湿地生态系统服务价值进行较为全面评价。

T) 获得,常年积水沼泽、季节性积水沼泽、草甸的根冠比分别为 10.5、12.1、10.9,得到研究区的总生物量<sup>[32]</sup>。

植物光合作用方程式为  $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow$  多糖,通过此式可知,植物每生产 162 g 干物质可吸收 264 g CO<sub>2</sub><sup>[31]</sup>,同时可以释放 192 g O<sub>2</sub><sup>[33]</sup>,即植物体每积累 1 g 物质,可以吸收 1.63 g CO<sub>2</sub>,同时释放 1.19 g O<sub>2</sub>。由此,可利用以下价值公式计算大气调节功能价值:

$$TF_{CO_2} = 1.63 \times F_{CO_2} \times Q \quad (2)$$

$$TF_{O_2} = 1.19 \times F_{O_2} \times Q \quad (3)$$

$$AA = TF_{CO_2} + TF_{O_2} \quad (4)$$

式中,TF<sub>CO<sub>2</sub></sub>、TF<sub>O<sub>2</sub></sub>、AA 分别代表每年固定 CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 和大气调节功能的总价值(元/a)。F<sub>CO<sub>2</sub></sub> 代表固定单位二氧化碳的成本(元/kg),取碳税率 150 美元/t 和中国造林成本 250 元/t 的平均值<sup>[26]</sup>;F<sub>O<sub>2</sub></sub> 代表释放单位氧气的成本(元/t),取 400 元/t<sup>[27]</sup>;Q 代表若尔盖高原湿地所拥有的生物量,取  $672.1 \times 10^4$  t<sup>[34]</sup>。

**1.3.3 水分调节功能价值。**若尔盖高原湿地水源涵养能力非常强,沼泽湿地平均每 1 m<sup>3</sup> 含水量为 0.8 m<sup>3</sup>,其中湖泊常年平均水深 1.2 m,河流平均水深 2 m,沼泽体平均水深 3 m

以上。由此可见,若尔盖高原湿地水分调节功能价值高,其计算公式如下<sup>[22]</sup>:

$$WR=C \times V \quad (5)$$

式中,WR代表水分调节价值(元/a);C代表供水资源平均价格(元/m<sup>3</sup>),湿地水质保持在Ⅲ类,主要为农业、工业和居民生活提供水,根据黄河地表水资源取水的比例,农业用水量、工业用水量和居民生活用水量分别为82.2%、11.6%、6.2%,农业用水、工业用水、居民用水的价格分别为1.00、3.75、2.70元/t<sup>[25]</sup>;V代表湿地平均蓄水量(m<sup>3</sup>/a),取37.4×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a<sup>[22]</sup>。

**1.3.4 调蓄洪水功能价值。**若尔盖高原湿地有宽谷闭锁沼泽、湖滨洼地沼泽、伏流宽谷沼泽和阶地沼泽4种沼泽类型,沼泽泥炭最深处达38 m,平均深度达10 m以上,由此可见,若尔盖高原湿地是重要的蓄水器。因此计算方法采用影子工程法,公式如下<sup>[25]</sup>:

$$FR=C \times F \quad (6)$$

式中,FR代表调蓄洪水的价值(元/a);C代表建造单位库容的造价(元/m<sup>3</sup>),取1.39元/m<sup>3</sup><sup>[22]</sup>、7.02元/m<sup>3</sup><sup>[25]</sup>、0.67元/m<sup>3</sup><sup>[28]</sup>的平均值;F代表湿地可调蓄水量(m<sup>3</sup>/a),取37.4×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>/a<sup>[22]</sup>。

**1.3.5 生物栖息地功能价值。**若尔盖高原湿地内动物资源非常丰富,兽类38种、鸟类137种、两栖类3种、爬行类3种、鱼类15种,其中黑颈鹤、棕头鸥、雪鸽、长嘴百灵、褐背拟地鸦、白腰雪雀等鸟类系具青藏高原的典型成分;白眼潜鸭、白尾海雕、秃鹫、斑尾榛鸡等列入CITES(2003年)名录低危或接近受危物种;玉带海雕、黑颈鹤列入CITES(2003年)名录易危物种,它是全球生物多样性最关键的地区之一。因此计算方法采用价格替代法,公式如下:

$$HV=E \times S \quad (7)$$

式中,HV代表生物栖息地价值(元/a);E代表单位面积生物栖息地价值[元/(hm<sup>2</sup>·a)],取304美元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[5]</sup>与我国单位面积湿地维持生物多样性5 063元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[29]</sup>、2 212元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[15]</sup>的平均值;S代表湿地面积(hm<sup>2</sup>),取1 486 212 hm<sup>2</sup>。

**1.3.6 废物处理功能价值。**若尔盖高原湿地水质净化、废物处理、降解污染等问题是关系到整个黄河流域的水源补给问题,是关系到黄河流域的经济社会发展和人民生活用水问题。因此计算方法采用价格替代法,公式如下<sup>[35]</sup>:

$$WT=P \times S \quad (8)$$

式中,WT代表废物处理的价值(元/a);P代表单位面积废物处理价值[元/(hm<sup>2</sup>·a)],取16 087元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[15]</sup>、2 464元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[30]</sup>、44元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[22]</sup>的平均值;S代表湿地面积(hm<sup>2</sup>),取1 486 212 hm<sup>2</sup>。

**1.3.7 休闲娱乐功能价值。**若尔盖高原湿地内有花湖、九曲黄河第一湾日落、玛曲天下黄河第一弯、年保仙女湖等旅游景区,其休闲娱乐功能的潜力巨大。按照2017年若尔盖县、红原县、阿坝县、玛曲县、碌曲县、久治县(简称“6县”)统计年鉴全年总旅游收入和6个自然保护区(公园)的湿地面积

占6县土地总面积的比重来计算,若尔盖高原湿地休闲娱乐功能价值的计算公式如下:

$$LE=TI_n \times (S_i/A_j) \quad (9)$$

式中,LE代表休闲娱乐价值(元/a);TI<sub>n</sub>代表6县实现旅游总收入(元/a),取41×10<sup>8</sup>元/a;S<sub>i</sub>代表6个自然保护区(公园)面积总和(hm<sup>2</sup>),取1 486 212 hm<sup>2</sup>;A<sub>j</sub>代表6县土地面积总和(hm<sup>2</sup>),取5 374 079 hm<sup>2</sup>。

**1.3.8 文化科研功能价值。**若尔盖高原湿地内已经建立起国家级、省级和县级等多个湿地自然保护区(湿地公园),中国科学院、四川大学、西南民族大学、四川省草原科学研究院、西南林业大学等科研院所在保护区内建立基地,实时监测气候变化和湿地状态,为保护工作提供人才、技术支撑,助力湿地保护及青藏高原东部高海拔区的可持续发展。因此计算方法采用价格替代法,公式如下<sup>[35]</sup>:

$$CR=H \times S \quad (10)$$

式中,CR代表文化科研价值(元/a);H代表单位面积文化科研价值[元/(hm<sup>2</sup>·a)],取861美元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[5]</sup>与382元/(hm<sup>2</sup>·a)<sup>[31]</sup>的平均值;S代表湿地面积(hm<sup>2</sup>),取1 486 212 hm<sup>2</sup>。

## 2 结果与分析

将2017年若尔盖高原湿地的上述八大功能的生态功能服务价值予以求和计算,如表2所示。基于表2的计算结果,可以获得如下结论:

表2 2017年若尔盖高原湿地不同生态服务功能价值量及单位面积价值对比

Table 2 Comparison of value of different ecological service functions and per unit area value of Zoige Plateau wetland in 2017

生态系统服务功能 Ecosystem service function	功能价值 Functional value 亿元	所占百分比 Percentage %	单位面积价值 Per unit area value 元/hm <sup>2</sup>
物质生产价值 Material production value	19.93	4.10	1 340.99
大气调节价值 Atmospheric regulation value	99.14	20.40	6 670.65
水分调节价值 Water regulation value	53.27	10.96	3 584.28
调蓄洪水价值 Flood value	113.20	23.30	7 616.68
生物栖息地价值 Biological habitat value	52.32	10.77	3 520.36
废物处理价值 Waste treatment value	92.12	18.96	6 198.31
休闲娱乐价值 Leisure value	11.48	2.36	772.43
文化科研价值 Cultural research value	44.47	9.15	2 992.16
合计 Total	485.93	100	32 695.86

(1)若尔盖高原湿地生态系统服务价值为其直接开发经济价值的24倍。根据表2计算结果,可获得2017年若尔盖高原湿地生态系统服务价值为485.93亿元,单位面积价值为32 695.86元/hm<sup>2</sup>。张晓雪等<sup>[22]</sup>选取四川省若尔盖县、红原县境内的湿地作为研究区域,得出生态系统服务价值为169.88亿元,单位面积价值为11 377元/hm<sup>2</sup>;庞丙亮等<sup>[25]</sup>选取若尔盖国家级湿地自然保护区作为研究区域,得出生态系统服务价值为176.90亿元,单位面积价值为103 652元/hm<sup>2</sup>;该研究结果中生态系统服务价值均为他们的2.8倍,主要是该研

究选取的样本区域较二者范围广泛、评价指标和评价方法更具合理性、评价的主要功能价值的多样化更接近实际。

2017年,青海省久治县和四川若尔盖县、阿坝县、红原县以及甘肃玛曲县、碌曲县6县GDP总和为71.65亿元,按照湿地面积分别所占比例可以得出6县湿地面积直接开发经济价值合计为20.12亿元,湿地生态系统服务价值是其直接开发经济价值的24倍。由此可以看出,在经济活动中生态价值往往被人们忽略,导致人们为追求可见的经济利益而盲目发展当地的畜牧业和旅游业,忽视了由过度载畜、人为破坏对生态环境的影响。

(2)调节服务为若尔盖高原湿地生态系统的核心功能。根据表2计算结果,2017年若尔盖高原湿地生态系统服务价值中按贡献大小排序依次为调蓄洪水价值>大气调节价值>废物处理价值>水分调节价值>生物栖息地价值>文化科研价值>物质生产价值>休闲娱乐价值。其中,调蓄洪水价值、大气调节价值、水分调节价值的调节服务价值达到265.61亿元,占生态系统服务价值的54.66%;废物处理价值、生物栖息地价值的支持服务价值达到144.44亿元,占生态系统服务价值的29.73%。这说明调节服务为湿地生态系统的核心功能,而支持服务对于维持湿地生态系统稳定性起着不可或缺的作用。

若剔除涵养水源、废物处理、生物多样性维护等中间服务<sup>[34]</sup>,得出2017年若尔盖高原湿地最终服务价值为341.49亿元,中间服务价值为144.44亿元,中间服务价值显著小于最终服务价值,由此可见若尔盖高原湿地生态系统服务的总价值为341.49亿元,单位面积价值为22 977.21元/hm<sup>2</sup>。

(3)非消费性直接使用价值占若尔盖高原湿地生态系统服务价值的较大部分。根据表2计算结果,物质生产价值、休闲娱乐价值的具体表现为消费性直接使用价值的合计为31.41亿元,占生态系统服务价值的6.46%;调蓄洪水价值、大气调节价值、水分调节价值的具体表现为非消费性直接使用价值的合计为265.61亿元,占生态系统服务价值的54.66%。主要是人们通常对湿地生态系统价值的认识大多停留在其市场价值,忽略湿地生态系统服务的非使用价值,从而引发生态系统服务功能的下降、生态系统服务价值的减少。因此,对若尔盖高原湿地生态系统服务功能价值进行有效评估将有利于更深入地理解在若尔盖高原湿地增加退牧还湿、湿地生态效益补偿和湿地保护奖励等试点工作,更清楚地认识到保护与恢复若尔盖高原湿地,构建长江、黄河上游重要的生态安全屏障的极端重要性。

### 3 结论

(1)2017年若尔盖高原湿地生态系统服务价值为485.93亿元,单位面积价值为32 695.86元/hm<sup>2</sup>,是其直接开发经济价值的24倍,若尔盖高原地区经济发展与良好的生态环境密不可分,而良好的生态环境归功于对湿地生态系统的保护和修复。

(2)从4类服务功能价值占比看,调节服务价值达到265.61亿元,占生态系统服务价值的54.66%,调节服务为湿

地生态系统的核心功能,不仅为动植物的生存和繁衍创造了生态环境条件,也关系到黄河流域经济社会可持续发展的重大问题。

(3)湿地生态系统服务价值具体表现为非消费性直接使用价值是其消费性直接使用价值的8.46倍,非消费性直接使用价值往往难以通过市场交易体现,需要通过一定的机制设计,使得生态系统服务价值在市场上得到显现和认可。

### 参考文献

- [1] 辛琨,肖笃宁.生态系统服务功能研究简述[J].中国人口·资源与环境,2000,10(S1):20-22.
- [2] HOLDREN J P, EHRLICH P R. Human population and the global environment[J]. American scientist, 1974, 62(3): 282-292.
- [3] WESTMAN W E. How much are nature's services worth[J]. Science, 1977, 197(4307): 960-964.
- [4] DAILY G C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems [M]. Washington DC: Island Press, 1997.
- [5] COSTANZA R, D'ARCE R, DE GROOT R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [6] BOLUND P, HUNHAMMAR S. Ecosystem services in urban areas [J]. Ecological economics, 1999, 29(2): 293-301.
- [7] WOODWARD R T, WUI Y S. The economic value of wetland services: A meta-analysis [J]. Ecological economics, 2001, 37(2): 257-270.
- [8] HEIN L, VAN KOPPEN K, DE GROOT R, et al. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services [J]. Ecological economics, 2006, 57(2): 209-228.
- [9] COSTANZA R, PÉREZ-MAQUEO O, MARTINEZ M L, et al. The value of coastal wetlands for hurricane protection [J]. Ambio, 2008, 37(4): 241-248.
- [10] CAMACHO-VALDEZ V, RUIZ-LUNA A, GHERMANDI A, et al. Valuation of ecosystem services provided by coastal wetlands in northwest Mexico [J]. Ocean & coastal management, 2013, 78: 1-11.
- [11] CHAIKUMBUNG M, DOUCOULIAGOS H, SCARBOROUGH H. The economic value of wetlands in developing countries: A meta-regression analysis [J]. Ecological economics, 2016, 124: 164-174.
- [12] 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[J].生态学报,1999,19(5):607-613.
- [13] 蒋延玲,周广胜.中国主要森林生态系统公益的评估[J].植物生态学报,1999,23(5):426-432.
- [14] 陈仲新,张新时.中国生态系统效益的价值[J].科学通报,2000,45(1):17-22,113.
- [15] 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.
- [16] 潘耀忠,史培军,朱文泉,等.中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量[J].中国科学(D辑:地球科学),2004,34(4):375-384.
- [17] 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.
- [18] 何浩,潘耀忠,朱文泉,等.中国陆地生态系统服务价值测量[J].应用生态学报,2005,16(6):1122-1127.
- [19] 余新晓,鲁绍伟,靳芳,等.中国森林生态系统服务功能价值评估[J].生态学报,2005,25(8):2096-2102.
- [20] 朱文泉,张锦水,潘耀忠,等.中国陆地生态系统生态资产测量及其动态变化分析[J].应用生态学报,2007,18(3):586-594.
- [21] 冯继广,丁陆彬,王景升,等.基于案例的中国森林生态系统服务功能评价[J].应用生态学报,2016,27(5):1375-1382.
- [22] 张晓云,吕宪国,沈松平,等.若尔盖高原湿地地区主要生态系统服务价值评价[J].湿地科学,2008,6(4):466-472.
- [23] ZHANG X Y, LU X G. Multiple criteria evaluation of ecosystem services for the Ruergai Plateau Marshes in southwest China [J]. Ecological economics, 2010, 69(7): 1463-1470.
- [24] 曾炼,张文秀,刘刚,等.若尔盖县主要生态系统服务价值评价研究:以若尔盖退化草地改良示范工程项目区为例[J].草业与畜牧,2013(6):48-51.
- [25] 庞丙亮,崔丽娟,马牧源,等.若尔盖高寒湿地生态系统服务价值评价[J].湿地科学,2014,12(3):273-278.
- [26] 鄯邦有.鄯阳湖湿地生态系统服务功能价值评估[J].资源科学,2004,26(3):61-68.

外,以浮游植物为食的浮游动物也会随之减少。随着时间的推移,浮游生物生物量会慢慢恢复。②底栖动物。密度较大的悬浮物会大量沉积水底,覆盖河床,同时也会掩埋部分生活砾石间地栖动物,可能会使底栖动物的死亡或迁移。③水生维管束植物。在施工期人类的活动对水生维管束植物的影响较小,在运营期间随着时间的推移也会逐渐恢复,种类和组成基本保持不变。④鱼类。大桥不存在阻隔,洄游性鱼类无法洄游是因为干流及支流的建设的水电站造成的阻隔,与大桥建设关联度不大。通过实际的考察调研,评价区域内并未发现产卵场,大桥的建设也不会改变评价区的生境<sup>[20-22]</sup>。

评价区域内涉水工程占用河道面积有限,其他无任何涉水产品生产经营活动。在施工期和运营期会对保护区造成直接影响,但影响是有限的,整个评价区保护区域为 600 hm<sup>2</sup>,而建设项目直接涉水工程占用河道面积约 128 m<sup>2</sup>,占比不到十万分之三,直接造成的水生生物损害的占比也很小。

评价区域内涉水工程占用河道面积小,对水体和水生生物影响有限,而且大多能在短期恢复,但依旧需做生态补偿,补偿方式为增殖放流,放流时间为 6 年(施工期 2 年,运营期 4 年),放流鱼类为评价区重点保护对象元江鲤,数量 100 000 尾/a,规格为 5~7 cm<sup>[23]</sup>。对保护区水域生态环境进行为期 6 年的监测,去掌握这种影响的程度和机理,预测水生态环境可能出现的变化趋势并制定防治对策,督促业主严格执行各项保护措施。在大桥建设的施工期和运营期应开展环保和管理措施、环境监测、科学研究以及监测、监管等一系列措施<sup>[24-25]</sup>。

#### 参考文献

- [1] 任向宇,刘俊生,孙政.某水电站坝址左岸拱间槽边坡岩体稳定性分析研究[J].资源环境与工程,2008,22(S1):5-7.
- [2] 金军,杨坤光.金沙江白鹤滩水电站坝址区断层变形特点及成因分析[J].地质科技情报,2007,26(5):17-22.
- [3] MOORE A A, PALMER M A. Invertebrate biodiversity in agricultural and urban headwater streams: Implications for conservation and management [J]. Ecological applications, 2005, 15(4): 1169-1177.
- [4] BRITTINGHAM M C, MALONEY K O, FARAG A M, et al. Ecological risks of shale oil and gas development to wildlife, aquatic resources and their habitats [J]. Environmental science & technology, 2014, 48(19): 11034-11047.
- [5] 李刚,解福燕,李成鹏.元江县 60 年降水变化特征及成因分析[J].云南科技管理,2014,27(4):27-29.
- [6] 武祥伟,梁云安,李映民,等.南捧河轩莱水电站坝址段水生生物资源调查与评价[J].云南农业大学学报,2014,29(6):806-814.
- [7] 张觉民,何志辉.内陆水域渔业自然资源调查手册[M].北京:农业出版社,1991.
- [8] 胡鸿钧,李尧英,魏印心,等.中国淡水藻类[M].上海:上海科学技术出版社,1980.
- [9] 周凤霞,陈剑虹.淡水微型生物与底栖动物图谱[M].2 版.北京:化学工业出版社,2011.
- [10] 中国科学院武汉植物研究所.中国水生维管束植物图谱[M].武汉:湖北人民出版社,1983.
- [11] 褚新洛,陈银瑞.云南鱼类志:上册[M].北京:科学出版社,1989.
- [12] 褚新洛,陈银瑞.云南鱼类志:下册[M].北京:科学出版社,1990.
- [13] 李思忠.中国淡水鱼类的分布区划[M].北京:科学出版社,1981.
- [14] 冉隆田,张正清.重庆乌江彭水水电站坝址区岩溶发育特点及工程意义[J].资源环境与工程,2008,22(S1):33-38.
- [15] 张婷,马行厚,王桂苹,等.鄱阳湖国家级自然保护区浮游生物群落结构及空间分布[J].水生生物学报,2014,38(1):158-165.
- [16] 蔡玉鹏.大型水利工程对长江中下游关键生态功能区影响研究[D].南京:河海大学,2007.
- [17] PERERA H A C C, 李钟杰, DE SILVE S S, 等.三峡水库不同区域对鱼类群落结构和鱼类组成动态的影响[J].水生生物学报,2014,38(3):438-445.
- [18] 张俊友.广润河流域水生生物资源调查与水生态环境评价[D].武汉:华中农业大学,2005.
- [19] 陈文江,谭炳卿,吕友保.巢湖生态调水对鱼类资源的影响分析[J].合肥工业大学学报(自然科学版),2012,35(12):1681-1685.
- [20] 刘梦石.呼玛河大桥工程对呼玛河自然保护区的影响及保护[D].哈尔滨:东北林业大学,2015.
- [21] 周小愿.水利水电工程对水生生物多样性的影响与保护措施[J].中国农村水利水电,2009(11):144-146.
- [22] 高勇,常剑波.过鱼设施对鱼类资源保护的意义[C]//中国海洋湖沼学会鱼类学分会、中国动物学会鱼类学分会 2004 年学术研讨会摘要汇编.北京:中国动物学会,2004.
- [23] 曹园园,曠向宁,卫萍萍.我国流域生态补偿标准主要算法探讨[C]//2014 年全国河湖污染治理与生态修复论坛.[出版地不详]:[出版者不详],2014.
- [24] 蔡焱,贺玉龙,杨立中,等.浅谈高速铁路桥梁钻孔灌注桩施工对水环境的影响及防治措施[J].河南科技,2010(16):17-18.
- [25] 宋文玲,钱谊,苏晓星.大丰风电场建设对盐城自然保护区的生态影响分析[J].环境监测管理与技术,2011,23(4):32-36.

(上接第 73 页)

- [27] 周葆华,操璟璟,朱超平,等.安庆沿江湖泊湿地生态系统服务功能价值评估[J].地理研究,2011,30(12):2296-2304.
- [28] 崔丽娟.鄱阳湖湿地生态系统服务功能价值评估研究[J].生态学杂志,2004,23(4):47-51.
- [29] 陈鹏.厦门湿地生态系统服务功能价值评估[J].湿地科学,2006,4(2):101-107.
- [30] 王娟,马文俊,陈文业.黄河首曲-玛曲高寒湿地生态系统服务功能价值估算[J].草业科学,2010,27(1):25-30.
- [31] 庄大昌.洞庭湖湿地生态系统服务功能价值评估[J].经济地理,2004,24(3):391-394,432.
- [32] SARUKHAN J, WHYTE A, HASSAN R, et al. Millenium ecosystem assessment: Ecosystems and human well-being [M]. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [33] 吴平,付强.扎龙湿地生态系统服务功能价值评估[J].农业现代化研究,2008,29(3):335-337.
- [34] 熊凯,孔凡斌.湖泊湿地生态补偿标准研究:以鄱阳湖湿地为例[M].北京:经济管理出版社,2017.
- [35] 庞丙亮.湿地生态系统服务价值评价的去重复性计算研究[D].北京:中国林业科学研究院,2014.