

DOI: 10.5846/stxb201405161006

崔丽娟, 庞丙亮, 李伟, 马牧源, 孙宝娣, 张亚琼. 扎龙湿地生态系统服务价值评价. 生态学报, 2016, 36(3): - .

Cui L J, Pang B L, Li W, Ma M Y, Sun B D, Zhang Y Q. Evaluation of ecosystem services in the Zhalong wetland. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(3): - .

扎龙湿地生态系统服务价值评价

崔丽娟*, 庞丙亮, 李伟, 马牧源, 孙宝娣, 张亚琼

中国林业科学研究院湿地研究所, 北京 100091

摘要:从避免重复计算的角度出发,将湿地生态系统服务分为最终服务和中间服务两部分,以最终服务的价值作为湿地生态系统服务的总价值。以扎龙湿地为例,其最终服务包括物质生产、土壤保持、水质净化、气候调节、固碳、调蓄洪水、大气调节、休闲旅游、科研教育和授粉服务,中间服务包括净初级生产力、营养循环、涵养水源、地下水补给和生物多样性维持服务,采用市场价值法、替代成本法和旅行费用法等生态经济学方法对扎龙湿地的生态系统服务进行了评价。结果表明,2011 年扎龙湿地生态系统服务总价值为 679.4 亿元,中间服务价值为 471.5 亿元,各项最终服务的价值大小为气候调节>调蓄洪水>大气调节>固碳>休闲旅游>授粉服务>物质生产>水质净化>科研教育>土壤保持。扎龙湿地不仅是重要的蓄洪区和泥碳储存地,在区域气候调节方面也起着巨大的作用。针对扎龙湿地的管理,应该保护和恢复湿地面积,同时注意适当的增加旅游。

关键词:扎龙湿地; 最终服务; 重复计算

Evaluation of ecosystem services in the Zhalong wetland

CUI Lijuan*, PANG Bingliang, LI Wei, MA Muyuan, SUN Baodi, ZHANG Yaqiong

Institute of Wetland Research, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: Ecosystem service evaluations play an important role in the management and conservation of wetlands. However, current evaluation methods may count some services twice, and may not reflect the actual value of an ecosystem. In order to avoid the repeat accounting, this study divides wetland ecosystem services into ultimate services and intermediate services, and then uses ultimate services as the gross value of ecosystem services provided by the wetland. Here, we present a case study on the Zhalong wetland. The ultimate services accounted for include substance production, soil conservation, water purification, climate regulation, carbon fixation, flood regulation, gas regulation, recreation, science and education, and pollination. Intermediate services include net primary production (NPP), nutrient cycling, water conservation, groundwater recharge, and biodiversity maintenance. The methods employed in evaluating ecosystem services include the market value method, the replacement cost method, and the travel cost method. The results indicate the gross value of ecosystem services provided by Zhalong wetland is 67.94 billion Yuan RMB, and the value of the intermediate services is 47.15 billion Yuan RMB. The ranking of ultimate services in the decreasing order is as follows: climate regulation (420.00×10^8 Yuan RMB), flood regulation (226.00×10^8 Yuan RMB), gas regulation (17.35×10^8 Yuan RMB), carbon fixation (8.6×10^8 Yuan RMB), recreation (3.86×10^8 Yuan RMB), pollination (1.74×10^8 Yuan RMB), substance production (1.43×10^8 Yuan RMB), water purification (0.3×10^8 Yuan RMB), science and education (0.08×10^8 Yuan RMB), and soil conservation (0.03×10^8 Yuan RMB). The findings suggest Zhalong wetland is not only essential for regulating floods and storing carbon dioxide, but also plays an important role in regulating climate change. We suggest wetland management should aim to conserve wetland areas and increase tourism development in a balanced manner.

基金项目:林业公益性行业科研专项项目(201204201)

收稿日期:2014-05-16; 网络出版日期:2015- -

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wetlands108@126.com

Key Words: Zhalong wetland; final services; double counting

湿地生态系统服务是指人类从湿地中获得的效益^[1]。Costanza 等^[2]人对全球生态系统服务的价值评价很大的促进了湿地生态系统服务价值评价的研究进展,千年生态系统评估(MA)提出的湿地生态系统服务分类体系则为湿地生态系统服务价值评价提供了范式和标准^[3]。MA 将生态系统服务分为四大类:(1)供给服务(2)调节服务(3)支持服务(4)文化服务,其中,供给服务大多是调节服务和支持服务的最终服务,同时也是人类直接能够直接享受到的收益,调节服务和支持服务则是通过供给服务间接为人类提供收益,三者都计算会导致重复计算^[4]。比如授粉服务属于调节服务,它可以输出最终产品农作物,既计算授粉服务又计算农作物生产会导致重复计算。

目前的湿地生态系统服务价值评价多基于 MA 的分类体系^[5],但是这一分类体系混淆了过程和结果,容易导致重复计算^[6]。针对重复计算问题,Fisher^[7]将生态系统服务分为中间服务(Intermediate services)、最终服务(Final services)和效益(Benefits)三部分,最终服务是指类似于 MA 分类体系中的供给服务和文化服务,能够为人类效益产生直接贡献对人类福祉有直接影响的服务,中间服务则是类似于 MA 的支持服务,通过服务的组合方式形成最终服务,以复杂的方式间接的影响人类福祉,效益是指一些明显影响人类福祉或改变人类福祉的事物。在评估时,以最终服务的价值作为生态系统服务的总价值,确定最终服务的唯一标准是对人类效益产生直接贡献;Johnston 和 Russell^[8]从“受益人”角度提出 4 个原则确定最终服务:(1)受益人愿意支付的服务;(2)生态系统自然的产出;(3)当系统内其他输入和条件维持不变时,受益人仍愿意为最终服务的提高支付费用;(4)在计算总价值时,只加和被受益者直接接受的服务效益。Mäler^[9]建议将 MA 的供给服务和文化服务合并为最终服务,将支持服务和调节服务纳入中间服务;Balmford^[10]基于上述学者的观点提出了自己的理论,将生态系统服务分为核心的生态过程、产生效益的生态系统过程和生态系统效益。一些研究也注意到评价方法、评估尺度等也会导致生态系统服务重复计算的产生^[7]。但是目前多是理论性的研究,缺少湿地生态系统方面的实际案例研究。

本文以扎龙湿地自然保护区为研究对象,针对目前扎龙湿地景观类型发生明显变化,沼泽面积减少,生态环境遭到严重破坏^[11],筛选扎龙湿地的中间服务和最终服务,准确的量化扎龙湿地的生态系统服务价值,为扎龙湿地的管理提供理论基础和探讨扎龙湿地的中间服务和最终服务的价值对比,为湿地生态系统服务价值评价提供一定的借鉴。

1 研究区概况

扎龙湿地位于东北松嫩平原乌裕尔河和双阳河下游,地理位置介于 123°47′—124°37′ E,46°52′—47°32′ N 之间,地跨齐齐哈尔市的泰来县、富裕县、铁峰区、昂昂溪区和大庆市的林甸县、杜尔伯特县共 6 个县区,总面积 $22.5 \times 10^4 \text{ hm}^2$,地势基本上呈东北—西南走向,中间低洼。本区属温带大陆性季风气候,年平均气温 2—4℃,多年平均降雨量 426 mm,多集中在 7—9 月份,占总

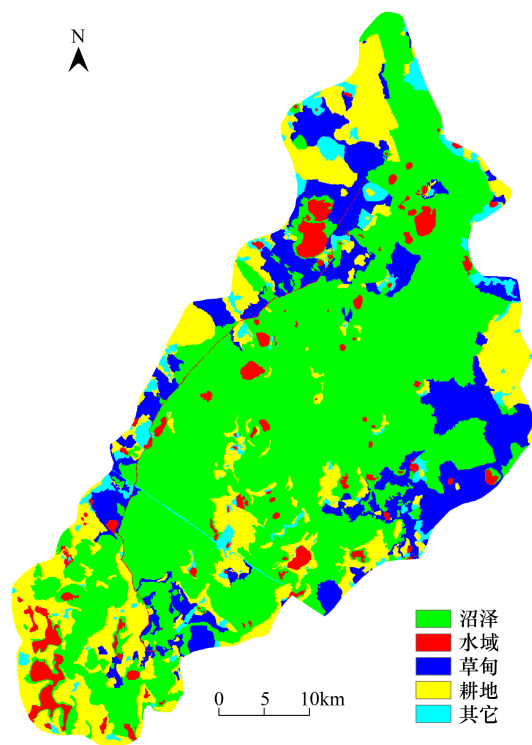


图 1 扎龙自然保护区景观类型图
Fig. 1 Landscape of Zhalong nature reserve

降雨量的 70% 以上。本区景观类型多样,主要包括沼泽、草甸、水域、耕地、盐碱地和居民用地(图 1),地表植被以沼泽、沼泽草甸、盐化草甸植被为主,典型的沼泽植被为芦苇(*Phragmites australis*)和乌拉苔草(*Carex menyriana*),土壤类型包括盐化沼泽土、石灰性草甸土、盐化草甸土、黑钙土和风沙土等,泥碳深度可达 2 m^[12]。

2 研究方法

2.1 数据与处理

调查问卷包括休闲旅游和生物多样性维持服务两部分。采用网络调查法和现场发放两种方式,野外问卷发放于 2013 年 6 月进行,共发放问卷 302 份,当地居民 152 份,游客 150 份;网络发放调查问卷同期进行,共收回问卷 122 份,休闲旅游调查问卷共回收有效问卷 208 份,生物多样性维持调查问卷共回收有效问卷 414 份。于 2013 年 10 月初设置 18 个样地进行土壤和植物生物量的取样,沼泽 12 个样地,草甸 6 个样地,每个样地设置 3 个 1 m×1 m 的样方采集植物生物量,每个样地打 1 个土柱用于测定土壤容重和 N、P、K 等指标。在扎龙湿地的上游、中游和下游共布设 11 个采样点,水样采集后带回实验室测定 N、P 离子含量。

2010 年 8 月 Landsat TM5 影像和数字高程模型(DEM)来源于国际科学数据服务平台。归一化植被指数(NDVI)数据为 2011 年 16 d 合成的 MODIS 植被指数产品 MOD13Q1(分辨率为 250 m)数据集。气象数据来自黑龙江气象数据服务中心。全国 1:100 万土壤类型分布图来源于西部数据中心。本文其他的数据来源于已发表的文章。

解译 2010 年 8 月的 Landsat TM5 影像,得到扎龙湿地自然保护区的总价值为 224867.5 hm²,沼泽面积为 129142.4 hm²,水域为 9926.7 hm²,草甸为 33153.1 hm²,耕地面积为 43091.9 hm²,居民地等其他类型为 9553.4 hm²。

2.2 评价指标体系

根据生态学和生态系统服务的原理,经过实地考察,确定了扎龙湿地生态系统服务指标体系(表 1)。最终服务包括物质生产、土壤保持、水质净化、气候调节、固碳、调蓄洪水、大气调节、休闲旅游、科研教育和授粉服务;中间服务包括净初级生产力、营养循环、涵养水源、地下水补给和生物多样性维持服务。

2.3 最终服务价值评价

2.3.1 物质生产价值

扎龙湿地的物质生产主要包括芦苇、羊草和鱼类,湿地的物质生产价值可以通过市场价值法来计算:

$$V_s = \sum A_i \times Y_i \times P_i \quad (1)$$

表 1 扎龙湿地生态系统服务评价指标体系

Table 1 System of evaluation indicators of Zhalong wetland ecosystem services

评价项目 Items	服务指标 Service indicators	评估参数 Valuation parameter	评估方法 Valuation methods	
最终服务 Final services	物质生产	芦苇	市场价值法	
		羊草		
		鱼类		
	供水	供水量	市场价值法	
		调蓄洪水	土壤调洪量	替代成本法
			地表滞水量	
	湖泊调蓄水量			
	水质净化	N 去除量	替代成本法	
		P 去除量		
		化肥去除量		
	气候调节	增湿	影子价格法	
		降温		
固碳	植被固碳	可避免成本法		
	土壤碳储存			
大气调节	氧气释放	市场价值法		
	CH4 排放	可避免成本法		
土壤保持	减少土地废弃	机会成本法		
	保肥	影子价格法		
休闲娱乐	旅行费用	旅行费用法		
	旅行时间			
	消费者剩余			
科研教育	论文投入	影子价格法		
	授粉	农作物产量	生产函数法	
中间服务	净初级生产力	NPP	影子价格法	
Intermediate services	补充地下水	地下水补给量	影子价格法	
	涵养水源	涵养水源量	替代成本法	
	营养循环	土壤 N、P、K 含量	影子价格法	
	生物多样性维持	生物多样性维持	支付意愿法	

式中, V_i 为物质产品生产价值(元), A 为第 i 类物质的可收获面积, Y 为第 i 类物质的单产, P 为第 i 类物质的价格。芦苇、羊草和鱼类的可收获面积按 50% 的开发强度来计算, 2011 年研究区芦苇产量和价格分别为 5000 kg/hm² 和 0.4 元/kg, 羊草的产量和价格分别为 1000 kg/hm² 和 0.6 元/kg, 鱼类的产量和价格分别为 82 kg/hm² 和 8 元/kg。

2.3.2 调蓄洪水

研究表明, 沼泽土壤具有巨大的调蓄水能力, 可调蓄洪水 8100 m³/hm²^[13], 则扎龙湿地的土壤调蓄洪水能力为 10.5×10⁸ m³。东部平原湿地洪水期最大淹没深度取 1 m^[14], 则扎龙湿地地表滞水 16.2×10⁸ m³。湖泊调蓄洪水能力以我国东部主要湖泊调蓄洪水的能力来进行换算, 我国东部平原地区湖泊的调蓄洪水能力为 55×10³ m³/hm²^[14], 计算得到扎龙湿地湖泊的调蓄洪水能力为 5.5×10⁸ m³。扎龙湿地的调蓄洪水价值可以采用替代工程法来计算, 水库造价成本取 7.02 元/t^[15]。

2.3.3 气候调节

扎龙湿地保护区沼泽和水域多年蒸发平均深度为 802.5 mm, 陆地多年平均蒸发深度为 379.4 mm^[16], 沼泽和水域相对于陆地的蒸发量为 5.9×10⁸ m³。扎龙湿地调节温度和增加湿度的时间为 4 月到 9 月, 这一期间的蒸发量约占全年总蒸发量的 82.3%^[16], 计算得到扎龙湿地的蒸发量为 4.9×10⁸ m³。该区地广人稀, 蒸发产生的效益不能全部为当地人所利用, 本文假设蒸发量利用率为 50%。

1 调节温度 随着温度升高, 水的汽化热会越来越小, 因此本研究保守取值, 取水在 100 °C

1 标准大气压下的汽化热 2260 kJ/kg, 则扎龙自然保护区蒸发吸收的总热量 5.5×10¹⁴ kJ。蒸发降低气温按照空调的制冷消耗进行计算, 空调的能效比取 3.0^[17], 2011 年齐齐哈尔市的平均电价为 0.51 元/(kW·h)。

② 增加湿度 扎龙湿地多年蒸发量为 2.5×10⁸ m³, 提高了空气湿度。湿地水面蒸发增加空气湿度的价值采用加湿器使用消耗进行计算, 以市场上较常见家用加湿器功率 32 W 来计算, 将 1 m³ 水转化为蒸汽耗电量约为 125 kW·h^[17]。

2.3.4 固碳

扎龙湿地的固碳价值包括植物固碳价值和土壤碳储存价值两部分。

(1) 物质质量评价: 2011 年扎龙湿地植物固碳量通过 CASA 模型得:

$$NPP(x, t) = WPST(x, t) \times \varepsilon(x, t) \quad (2)$$

式中, $NPP(x, t)$ 为 t 月份像元 x 处的 NPP; $APAR(x, t)$ 表示像元 x 在 t 月份吸收的光合有效辐射; $\varepsilon(x, t)$ 表示像元在 t 月份的实际光利用率, 该模型基于 GIS 平台操作。

土壤碳储量估算公式如下:

$$M = \sum A_i \times C_i \quad (3)$$

式中, M 为扎龙湿地土壤碳储量(t); A 为研究区不同景观类型的面积(km²), C 为各景观类型的土壤碳密度(t/km²), i 为景观类型的数量。扎龙湿地沼泽和草甸的土壤碳密度分别为 46759 t/km² 和 15602 t/km²^[12]。

(2) 价值量评价: 植物固碳价值和土壤碳储存总价值通过可避免成本法来计算^[18], C 的价格取 43 美元/t, 转化为 2011 年的价格为 277.7 元/t (2011 年 1 美元约等于 6.46 元人民币)。每年的土壤碳储存价值采用年金现值法得到:

$$V_a = V_t \times \{i \times (1 + i)^t / [(1 + i)^t - 1]\} \quad (4)$$

式中, V_a 为土壤碳储存价值的年金现值(元), 即每年的价值; V_t 为土壤碳储存总价值; i 为社会贴现率(%); t 为年限(a)。这里折现率取 3.5%, 年限为 100 a^[19]。

2.3.5 大气调节

扎龙湿地的大气调节价值包括植物光合作用释放的氧气和土壤呼吸释放的 CH₄。

氧气释放: 根据植物光合作用方程式, 植物每生产 1 g 干物质释放 1.19 g O₂, 湿地的氧气释放价值可以通过市场价值法来计算。扎龙湿地的干物质量通过 NPP 换算得到, 1 g 干物质转化为 1 gC NPP 时乘以 0.475 的

系数^[20],氧气价格取 1000 元/t。

CH₄排放:扎龙湿地沼泽景观类型是 CH₄的主要排放源,CH₄排放的价值可以通过避免成本损失法来计算。扎龙沼泽湿地的平均排放量为 314.9 kg/hm²^[21],1 kg 的 CH₄产生的温室效应等同于 24.5 kg 的 CO₂产生的温室效应^[22]。

2.3.6 土壤保持服务

湿地生态系统的土壤保持服务包括减少土地废弃价值、保持土壤养分价值和减少泥沙淤积价值,其中减少土地废弃价值与减少泥沙淤积价值存在着重复计算^[23],因此,本研究只计算该区减少土地废弃价值和保持土壤养分价值。

(1)物质质量评价:运用通用水土流失方程(USLE)估算若尔盖自然保护区的土壤保持量,公式如下:

$$A_r = R \times K \times Ls(1 - C \times P) \quad (5)$$

式中, A_r 为单位面积土壤保持量(t/hm²·a); R 为降雨侵蚀力因子 MJ.mm/(hm².h.a), K 为土壤可蚀性因子 t.hm².hr/(hm².MJ.mm); C 为植被经营与管理因子(无量纲单位), P 为作物经营管理因子(无量纲单位), Ls 为地形坡长坡度乘积因子(无量纲单位)。

(2)价值量评价:运用市场价值法和机会成本法分别对保持土壤养分、减少废弃土地价值进行评价,以计算扎龙湿地的土壤保持价值。

保持土壤养分价值:

$$V_1 = \sum A_c \times N_i \times P_i \quad (6)$$

式中, V_1 为保持土壤养分的单位价值(元/a); A_c 为不同景观类型的土壤保持量(t/a); N_i 为不同景观类型中土壤氮、磷、钾的纯含量; P_i 为化肥(尿素、磷酸氢二铵和氯化钾)价格(元/t)。扎龙湿地沼泽的土壤 N、P、K 含量分别为 0.9 g/kg、0.3 g/kg 和 2.2 g/kg,草甸土壤的 N、P、K 含量分别为 1.05 g/kg、0.27 g/kg 和 1.81 g/kg。化肥的价格采用《2012 年中国统计年鉴》中尿素、磷酸氢二铵和氯化钾的进口价格,分别为 4568 元/吨、4203 元/吨和 2716 元/t,平均为 3829 元/t。

减少废弃土地价值:

$$V_2 = A_c \times B/(1000 \times d \times \rho) \quad (7)$$

式中, V_2 为减少废弃土地的经济效益(元/a); A_c 为土壤保持量(t/a); B 为农业年均收益(元/hm²); ρ 为土壤容重(t/m³), d 为土壤厚度(m)。扎龙湿地沼泽土壤容重为 0.77 g/cm³,草甸的土壤容重为 0.82 g/cm³,土壤厚度取 0.5 m,根据《2012 年中国统计年鉴》,2011 年黑龙江农业年均收益为 14741.2 元/hm²。

2.3.7 休闲娱乐

采用旅行费用区间法(TCM)来计算扎龙湿地的休闲娱乐价值,包括旅行费用支出,旅行时间价值和消费者剩余三部分。

$$C = W + V_t = W + 0.33 \times D \times Y/30 \quad (8)$$

$$SC_i = \int_{C_i}^{\infty} Q(C) dC \quad (9)$$

式中, C 为游客的旅行实际总费用, W 为旅行费用支出,包括门票、住宿、车费、组团费用和购物等, V_t 为旅行时间价值, D 为游客旅游的时间, Y 为游客的月工资, SC_i 为消费者剩余, $Q(C)$ 为游客的旅游意愿需求曲线。根据扎龙保护区的统计资料,2011 年来扎龙旅游的游客为 15 万人。

2.3.8 科研教育

扎龙湿地的科研教育包括相关的基础科学研究、教学实习、文化宣传等价值,根据实际调查,本研究只计算扎龙湿地的科研费用价值,通过每年发表论文的总投入来计算。通过在中国知网上以“扎龙湿地”为搜索词搜索,2011 年共发表的文章 60 篇,在 science direct 上以“zhalong wetland”为搜索词搜索,2011 共 7 篇文章。王其翔^[24]在计算海洋的每篇论文的投入时以 2005 年的海洋的科研经费总投入和当年发表的学术论文来计

算,平均每篇文章的投入为 35.76 万元,由于我国的科研项目的完成期一般为 3 年,所以本文每篇论文的投入取其 1/3,为 11.92 万元。

2.3.9 水质净化价值

进入扎龙湿地的污水主要包括 2 部分,一是上游各城镇的工业废水和城镇废水,二是扎龙湿地内农业废水。湿地的水质净化价值可以通过影子价格法来计算:

$$V_c = aN \times (C_{Nin} \times Q_{in} - C_{Nout} \times Q_{out}) + aP \times (C_{Pin} \times Q_{in} - C_{Pout} \times Q_{out}) + ab \times Q \quad (10)$$

式中, V_c 代表水质净化价值; C_{Nin} 、 C_{Pin} 分别是进入湿地的 N、P 浓度; C_{Nout} 、 C_{Pout} 分别是流出湿地的 N、P 浓度; Q_{in} 、 Q_{out} 分别是进入湿地和流出湿地水量; aN 、 aP 、 ab 分别是 N、P、化肥的净化成本系数; Q 为区内化肥用量。乌裕尔河进入湿地多年平均来水量为 $298 \times 10^6 \text{ m}^3$,双阳河多年平均来水量为 $134 \times 10^6 \text{ m}^3$,两条河流的泄水量总共为 $133.1 \times 10^6 \text{ m}^3$ ^[16]。乌裕尔河扎龙湿地上游的 N、P 浓度分别为 0.154 mg/L 和 0.079 mg/L,双阳河扎龙湿地上游的 N、P 浓度分别为 0.155 mg/L 和 0.136 mg/L,湿地下游的 N、P 浓度分别为 0.134 mg/L 和 0.029 mg/L。区内每年化肥施用量为 10200 t/年,人工施肥的氮磷吸收率仅为 30%,剩下的 70%通过淋溶进入湿地^[25]。氮、磷的处理成本分别取氮 1.5 元/kg、磷 2.5 元/kg^[26],化肥的净化成本取净化氮和磷的总成本 4 元/kg。

2.3.10 授粉

扎龙湿地的授粉服务主要体现在两个方面:一是维持湿地内动植物的生存或繁殖,其价值体现在生物多样性维持服务中;二是对湿地周边农地的农作物生产提供授粉服务,从而为人类效益产生直接贡献,这一价值可以通过生产函数法来计算:

$$V_p = CL \times MJ \times P_n \times \beta \quad (11)$$

式中, V_p 为授粉服务价值(元), MJ 为扎龙自然保护区内耕地的面积, CL 为农作物的产量, P_n 为农作物的价格, β 为昆虫授粉对农作物产量的贡献。扎龙湿地农作物的产量和价格采用 2012 年黑龙江省粮食的平均产量和价格,分别为 4843 kg/hm^2 和 2.8 元/kg,数据来源于《2012 年黑龙江省统计年鉴》,昆虫类授粉对农作物产量的贡献取 30%^[27]。

2.4 中间服务

2.4.1 净初级生产力

植物净初级生产力(NPP)是反应有机物质生产功能的重要指标,表示生态系统某一时所固定的碳。NPP 的价值可用影子价格法计算,生态系统所固定的碳可以转化为相等能量的标煤重量,因此可由标煤价格间接估算净初级生产力的价值^[28]。

$$V_n = NPP \times P_c \times 1.2 \quad (12)$$

式中, V_n 为净初级生产力价值(元/a), NPP 为净初级生产力, P_c 为标煤价格。碳的热值为 0.036 MJ/g,标煤的热值为 0.02927 MJ/g,则 1 g 碳相当于 1.2 g 的标煤。根据秦皇岛煤炭网,2011 年我国 5000 K 原煤的价格约为 750 元/t,则标准煤的价格为 1050 元/t。

2.4.2 补充地下水

扎龙湿地地下水补给量包括降水入渗补给量、河水入渗补给量、渠系渗漏补给量、灌溉水回渗补给量和地下侧向径流补给量。湿地的补充地下水服务可以通过影子价格法来计算:

$$V_d = ad \times A \times P_d \quad (13)$$

式中, V_d 为补充地下水价值(元), ad 为地下水补给模数, A 为扎龙湿地的面积, P_d 为地下水水价。扎龙湿地每年的地下水补给模数为 $4.94 \times 10^4 \text{ m}^3 / (\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[29],地下水的水价取 2011 齐齐哈尔市居民用水水价 2.20 元/ m^3 。

2.4.3 涵养水源

扎龙湿地的涵养水源量可通过该区的地表径流量得到,其涵养水源价值可通过替代成本法计算:

$$V_w = \sum A_i \times D_i \times P_w$$

(14)

式中, V_w 为涵养水源价值, D 为蓄水深度, A 为湿地面积, i 为景观类型(沼泽和水域), P_w 为水库造价成本。扎龙湿地沼泽和河流湖泊的多年平均蓄水深度分别为 0.35 m 和 1.1 m^[30]。

2.4.4 生物多样性维持

扎龙湿地生物多样性丰富,本文采用支付意愿法(CVM)来计算扎龙湿地的生物多样性维持服务价值:

$$T_{WTP} = MWTP \times R_{WTP} \times NR$$

(15)

式中, T_{WTP} 为扎龙湿地生物多样性维持服务的总价值(元), $MWTP$ 为人均支付意愿值, R_{WTP} 为正支付比率, NR 为实际愿意支付人口总数,本文采用中国城镇就业人口总数。人均支付意愿值通过累计频度中位数获得^[5],根据《2012 年中国统计年鉴》,2011 年中国城镇就业人口总数为 3.59 亿。

2.4.5 营养循环

营养循环的计算方法主要有生物库养分持留法和土壤库养分持留法^[31],生物库养分持留法指的是参与生物库循环的养分为净初级生产力的营养元素量,通常用净初级生产力和其中的 N、P、K 含量的比例来计算,采用这一方法会导致与净初级生产力的价值重复计算。因此本文根据土壤

库养分持留法计算若尔盖湿地的营养循环量,营养循环价值采用影子价值法计算:

$$V_w = \sum A_i \times d \times \rho \times N_i \times P_i$$

(16)

式中, A_i 为沼泽和草甸的面积, d 为土壤深度, ρ 为土壤容重, N_i 为土壤中 N、P、K 的含量, P_i 为化肥价格,所有数据同上。

3 结果

2011 年扎龙湿地生态系统最终服务价值为 679.39 亿元(表 2),此值即为扎龙湿地生态系统服务的总价值。气候调节价值为 420.0 亿元,占总价值的 61.8%,其后依次是调蓄洪水价值(226.0 亿元,33.3%)、大气调节价值(17.35 亿元,2.6%)、固碳价值(8.6 亿元,1.3%)、休闲娱乐价值(3.86 亿元,0.6%)、授粉服务价值(1.74 亿元,0.3%)、物质生产(1.43 亿元,0.2%)、水质净化价值(0.3 亿元,0.04%)、科研教育价值(0.08 亿元,0.01%),最小的为土壤保持服务价值,仅为 300 万元。

表 2 扎龙湿地生态系统服务价值
Table 2 Ecosystem services values of Zhalong wetland

最终服务 Final services			中间服务 Intermediate services		
服务 Services	价值(亿元) Value	比例% Proportion	服务 Services	价值(亿元) Value	比例% Proportion
物质生产 Substance production	1.43	0.21	净初级生产力 NPP	9.05	1.92
调蓄洪水 Flood protection	226.0	33.3	补充地下水 Groundwater recharge	1.9	0.40
气候调节 Climate regulation	420.00	61.8	涵养水源 Water conversation	39.3	8.33
固碳 Carbon fixation	8.6	1.27	生物多样性维持 Biodiversity maintenance	340.82	72.3
大气调节 Gas regulation	17.35	2.55	营养循环 Nutrient cycling	80.4	17.1
土壤保持 Soil conversation	0.03	0.0	总计 Total value	471.47	
休闲娱乐 Recreation	3.86	0.57			
科研教育 Science and education	0.08	0.01			
水质净化 Water purification	0.30	0.04			
授粉服务 Pollination	1.74	0.26			
总计 Total value	679.39				

2011 年扎龙湿地的中间服务价值为 471.47 亿元,此值即为通过分类避免重复计算的价值。其中生物多样性维持服务价值为 340.82 亿元,占中间服务价值的 72.3%;营养循环价值为 80.4 亿元,占中间服务价值的

17.1%;涵养水源价值为 39.3 亿元,占中间服务价值的 8.3%;净初级生产力价值为 9.05 亿元,占中间服务价值的 1.9%;补充地下水价值为 1.9 亿元,占中间服务价值的 0.4%。

扎龙湿地的中间服务价值通过最终服务来体现(图 2),不同的中间服务通过不同的最终服务来为人类效益做出贡献。净初级生产力价值主要通过物质生产、大气调节、固碳等服务来体现,涵养水源的价值主要通过调蓄洪水、气候调节、休闲娱乐等服务来体现,补充地下水价值主要通过调蓄洪水、科研教育等服务来体现,营养循环价值主要通过水质净化、固碳、科研教育等服务来体现,生物多样性维持价值主要通过物质生产、授粉、休闲娱乐等服务来体现。2011 年扎龙湿地的中间服务价值小于最终服务价值,说明中间服务的价值可能有极大一部分为人类效益做出贡献。

4 讨论与结论

本文采用市场价值法、替代成本法、支付意愿法等环境经济学方法对扎龙湿地生态系统服务价值进行了评价。本文假设扎龙自然保护区的旅游价值和生物多样性维持服务价值来源于扎龙湿地,因此以其为研究对象对旅游价值和生物多样性维持服务进行评价,这可能有一定的偏差,但是影响不大。同时在评价生物多样性维持服务时,本文采用的是支付意愿法,该法忽略了湿地内栖息的不同动植物的价值,评估结果存在一定的误差。在对授粉服务进行评价时,采用扎龙湿地内的耕地面积作为授粉服务的影响面积,实际上,昆虫授粉的距离是有范围的,不能确定保护区内所有的耕地的昆虫授粉服务都来自于扎龙湿地,这存在着一定的粗糙性。

2011 年扎龙湿地的生态系统服务价值为 679.4 亿元。在所评价的 10 项最终服务中,气候调节、调蓄洪水、大气调节和固碳占到了总价值的 98.9%,这说明扎龙湿地作为嫩江下游的重要的蓄洪区和泥碳储存地,在气候调节、固碳和调蓄洪水等生态效益方面价值巨大,远大于物质生产和休闲旅游等带来的直接经济效益。近年来,扎龙湿地内开建了一系列大型工程,对湿地的完整性造成了极大的破坏,这影响了湿地的生态效益。因此,在未来的政策制定实施和管理过程中,应当加大湿地的保护和恢复力度,杜绝对湿地的不合理利用。

崔丽娟^[32]对扎龙湿地的动物产品价值、旅游价值、固碳价值、涵养水源价值、栖息地价值、废弃物处理价值和非使用价值进行了评估,得出扎龙湿地的 1999 年的服务价值为 156.4 亿元,低于本文的结果,这主要由于调蓄洪水和气候调节两个服务导致的。扎龙湿地在防洪和气候调节方面对当地居民的生活生产具有极大的作用,而这两者的价值为 646.0 亿元。同时可以看到崔丽娟对扎龙湿地的使用价值和非使用价值进行了评价,而栖息地价值既属于使用价值,又属于非使用价值^[33],既评价栖息地服务又评价非使用价值会导致重复计算。可见,本文的评估体系全面的评估了扎龙湿地的服务价值,避免了重复计算。

本文计算了扎龙湿地的最终服务价值和中间服务价值,而中间服务价值则是重复计算价值。结果表明,最终服务价值为中间服务价值的 1.4 倍。中间服务也属于生态系统服务,也具有价值,但是在评价总价值时不能将中间服务与最终服务合并计算,因为前者的价值已经在后者里面体现^[5,34],只有当最终服务无法评估时,才可以在总价值评价中计算中间服务^[35]。在具体的评价过程中,本文通过评价参数和评价方法的选择等来避免部分服务之间存在的重复计算。但是一些服务之间由于评价方法或数据等原因导致重复计算无法消除,比如休闲旅游价值和物质生产服务之间的重复,去扎龙旅游的游客有一部分人消费了当地的鱼类,这一价

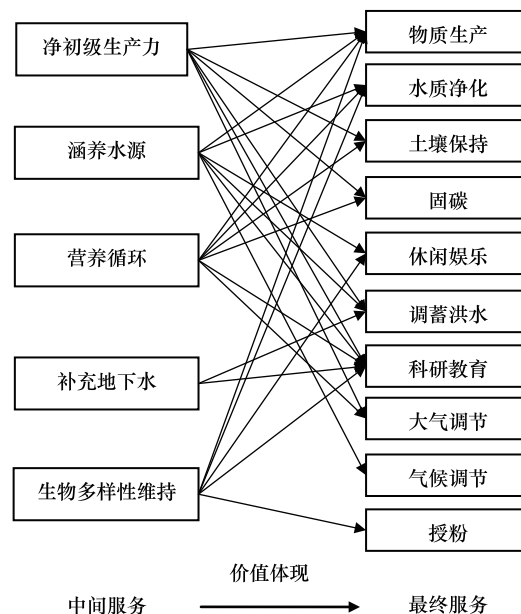


图 2 扎龙湿地中间服务和最终服务的对应关系

Fig. 2 Relationships between final services and intermediate services of Zhalong wetland

值也包含在物质生产价值中。因此,针对湿地生态系统服务的重复性计算研究还需要从评价方法、评价参数、评价指标体系和湿地生态系统服务的内部联系等方面加强研究,以准确的量化服务价值。

参考文献 (References):

- [1] Bledzki L A. Ecosystems and human well-being: Wetlands and water. Synthesis. Available online; <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.358.aspx.pdf>.
- [2] Costanza R, d'Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [3] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being. Washington, DC: Island Press, 2005.
- [4] Camacho-Valdez V, Ruiz-Luna A, Ghermandi A, Nunes P A L D. Valuation of Ecosystem Services provided by coastal wetlands in northwest Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 2013, 78: 1-11.
- [5] 李丽锋, 惠淑荣, 宋红丽, 苏芳莉. 盘锦双台河口湿地生态系统服务功能价值评价. *中国环境科学*, 2013, 33(8): 1454-1458.
- [6] McDonough S, Gallardo W, Berg H, Trai N V, Yen N Q. Wetland ecosystem service values and shrimp aquaculture relationships in Can Gio, Vietnam. *Ecological Indicators*, 2014, 46: 201-213.
- [7] Fisher B, Kerry Turner R. Ecosystem services: Classification for valuation. *Biological Conservation*, 2008, 141(5): 1167-1169.
- [8] Johnston RJ, Russell M. An operational structure for clarity in ecosystem service values. *Ecological Economics*, 2011, 70(12): 2243-2249
- [9] Mäler K G, Aniyar S, Jansson Å. Accounting for ecosystem services as a way to understand the requirements for sustainable development. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(28): 9501-9506.
- [10] Balmford A, Fisher B, Green R E, Naidoo R, Strassburg B, Turner R K, Rodrigues A S. Bringing ecosystem services into the real world: An operational framework for assessing the economic consequences of losing wild nature. *Environmental and Resource Economics*, 2011, 48(2): 161-175.
- [11] 沃晓棠, 孙彦坤. 扎龙湿地土地利用与土地覆盖变化分析. *东北农业大学学报*, 2010, 41(1): 56-60.
- [12] 赵传冬, 刘国栋, 杨柯, 聂海峰, 彭敏, 李括, 刘飞, 李延生. 黑龙江省扎龙湿地及其周边地区土壤碳储量估算与 1986 年以来的变化趋势研究. *地学前缘*, 2011, 18(6): 27-33.
- [13] 张天华, 陈利顶, 普布丹巴, 黄琼中, 徐建英. 西藏拉萨拉鲁湿地生态系统服务功能价值估算. *生态学报*, 2005, 25(12): 3176-3180
- [14] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 苗鸿, 魏彦昌. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价. *自然资源学报*, 2003, 18(4): 443-452.
- [15] 赖敏, 吴绍洪, 戴尔阜, 尹云鹤, 赵东升. 三江源区生态系统服务间接使用价值评估. *自然资源学报*, 2013, 28(1): 38-50.
- [16] 刘大庆, 许士国. 扎龙湿地水量平衡分析. *自然资源学报*, 2006, 21(3): 341-348.
- [17] 江波, 欧阳志云, 苗鸿, 郑华, 白杨, 庄长伟, 方瑜. 海河流域湿地生态系统服务功能价值评价. *生态学报*, 2011, 31(8): 2236-2244.
- [18] IPCC. Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability // Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, van der Linden P J, Hanson C E, eds. Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [19] Canada's Wealth of Natural Capital: Rouge National Park [EB/OL]. (2012-09). http://www.davidsuzuki.org/publications/downloads/2012/report_Rouge_Natural_Capital_web.Pdf.
- [20] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算. *植物生态学报*, 2007, 31(3): 413-424.
- [21] 黄璞祎. 扎龙湿地 CO₂ 和 CH₄ 通量研究[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2010.
- [22] Jenkins W A, Murray B C, Kramer R A, Faulkner S P. Valuing ecosystem services from wetlands restoration in the mississippi alluvial valley. *Ecological Economics*, 2010, 69(5): 1051-1061.
- [23] 李东海. 基于遥感和 GIS 的东莞市生态系统服务价值评估研究[D]. 广州: 中山大学, 2008.
- [24] 王其翔. 黄海海洋生态系统服务评估[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
- [25] 王伟, 陆健健. 三垱湿地生态系统服务功能及其价值. *生态学报*, 2005, 25(3): 404-407.
- [26] 张修峰, 刘正文, 谢贻发, 陈光荣. 城市湖泊退化过程中水生态系统服务功能价值演变评估——以肇庆仙女湖为例. *生态学报*, 2007, 27(6): 2349-2354.
- [27] Klein A M, Vaissière B E, Cane J H, Steffan-Dewenter I, Cunningham S A, Kremen C, Tscharntke T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2007, 274(1608): 303-313.
- [28] 韩德梁. 丹江口库区生态系统服务价值化研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [29] 秦紫东. 扎龙湿地地下水资源评价. *黑龙江水利科技*, 2007, 35(4): 85-87.

-
- [30] 吴平, 付强. 扎龙湿地生态系统服务功能价值评估. 农业现代化研究, 2008, 29(3): 335-337.
- [31] 李文华. 生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [32] 崔丽娟. 扎龙湿地价值货币化评价. 自然资源学报, 2002, 7(4): 451-456.
- [33] Gustavson K, Kennedy E. Approaching wetland valuation in Canada. Wetlands, 2010, 30(6): 1065-1076.
- [34] Fisher B, Turner R K, Morling P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. Ecological Economics, 2009, 68(3): 643-653.
- [35] Costanza R, Kubiszewski I, Ervin D, Bluffstone R, Boyd J, Brown D, Chang H, Dujon V, Granek E, Polasky S, Vivek Shandas, Yeakley A. Valuing ecological systems and services. F1000 Biology Reports, 2011, 3: 14.