

扎龙湿地生态系统服务功能及恢复的研究

周林飞^{1,2}, 许士国¹, 孙勇³

(1. 大连理工大学土木水利学院 水环境教研室, 大连 116024;

2. 沈阳农业大学水利学院, 沈阳 110161; 3. 尼尔基水利水电公司, 内蒙古 莫旗 162850)

摘要: 扎龙湿地具有巨大的经济价值, 其生态系统服务功能主要包括: 调蓄洪水、净化水体、保护生物多样性、旅游服务、调节局地气候、补充地下水等。近50多年来, 在人类活动和区域气候的相互作用下, 扎龙湿地生态特征发生负面变化。具体表现如下: 水资源严重不足; 水环境恶劣、水体净化功能降低; 生物多样性减少及生产能力的不可持续性; 调蓄洪水能力降低等。为了阻止湿地的进一步退化, 针对湿地的退化原因, 提出了恢复湿地的具体措施。

关键词: 生态系统服务功能; 生态特征; 负面变化; 恢复对策

中图分类号: X171. 1; X176

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2005)04-0167-05

Study on Ecosystem Services and Restoration of Zhalong Wetland

ZHOU Lin-fei^{1,2}, XU Shi-guo¹, SUN Yong³

(1. Dalian University of Technology, Dalian 116024, China;

2. Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

3. Nierji Water and Power Corporation, Mo County, Inner Mongolia 162850, China)

Abstract: Zhalong wetland has enormous economic value, and its main ecosystem services are as follows. Regulating and storing flood, purifying water body, protecting bio-diversity, tourist service, regulating the climate, and supplementing the groundwater, etc. In more than past 50 years, under the interaction of human activity and regional climate, ecological characteristics of Zhalong wetland produced the negative changes: water resource is seriously insufficient, water environment becomes abominable, and purifying function of water declines, bio-diversity is reduced, the production capacity is not sustainable, and regulating and storing the flood function is declined. In order to prevent the further degradation of the wetland, on the basis of the wetland degradation reasons, the concrete measures of wetland restoration are put forward.

Key words: ecosystem services; ecological characteristics; negative changes; restoration measures

生态系统服务功能是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件和效用。它不仅包括各类生态系统为人类所提供的食物、医药及其它工农业生产原料, 更重要的是支撑与维持了地球的生命支持系统, 如维持大气化学的平衡与稳定、维持生命物质的生物地化循环与水文循环、维持生物物种与遗传多样性等^[1]。使用生态系统服务功能一词, 意在把环境保护与经济、人类生活质量联系起来, 即与人类自身利益相结合, 这样才更有助于人类在发展经济的同时, 将环境成本加以考虑。

湿地是水陆相互作用形成的特殊自然综合体, 与森林、农田一起被列为全球三大生态系统。湿地因具有巨大的净化功能与水文和元素循环功能, 被誉为“地球之肾”; 因具有巨

大的食物网、支持多样性的生物而被看作“生物超市”; 湿地还具有提供矿产资源、抵御自然灾害的功能以及休闲娱乐、科研等社会功能^[3]。湿地对人类有着深刻而广泛的影响, 但由于人类的破坏性使用, 有些湿地生态系统已失去了基本服务功能^[2], 严重影响了区域生态、经济和社会的可持续发展。因而保证生态系统服务功能的可持续性显得尤为重要。本文拟探讨湿地生态系统的服务功能、退化原因、恢复的有关理论及方法。

1 区域概况

扎龙自然保护区位于黑龙江省齐齐哈尔市东南。地理坐标: 46°52' ~ 47°32' N, 123°47' ~ 124°37' E。嫩江支流乌裕尔

* 收稿日期: 2004-10-29

基金项目: 国家自然科学基金

作者简介: 周林飞(1971-), 女, 博士研究生, 沈阳农业大学讲师, 主要从事湿地及水资源方面的研究。

河、双阳河流至下游,失去明显河道,河水漫溢形成大面积永久性和季节性淡水沼泽地,并以无数小型浅水湖泊、广阔的芦苇沼泽和草甸为主要特征。北高南低,中间低洼,东西地势高,整个湿地自北向南呈三角形。本区属寒温带大陆性季风气候,平均气温 $2\sim 4^{\circ}\text{C}$,多年平均降雨量 426 mm , $7\sim 9$ 月占全年降雨量的 70% ,蒸发强烈。

扎龙自然保护区包括齐齐哈尔市铁峰、昂昂溪两区、富裕县、泰来县和大庆市的林甸县、杜尔伯特蒙古族自治县的交界区域,总面积 2100 km^2 。是我国最大的以鹤类等大型水禽为主体的珍稀鸟类和湿地生态类型的国家级自然保护区,1992年被列入国际重要湿地名录。根据生态环境和功能,将其划分为三个区(如图1)。核心区,面积 700 km^2 ,典型的湿地生境,80%以上为芦苇沼泽,是鹤类等珍稀水禽重要的栖息地;缓冲区,面积 670 km^2 ,分布着成片或断续的芦苇沼泽、苔草沼泽及湖泊,也是鹤类等珍稀水禽的活动领域;实验区,面积 730 km^2 ,生境与缓冲区相同,现有开放生态旅游。

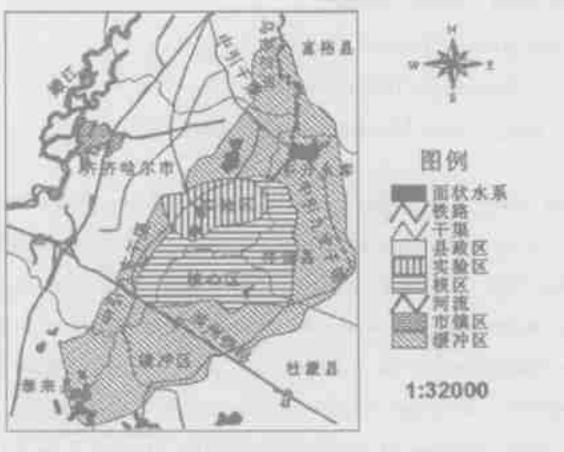


图1 扎龙自然保护区功能区划图

2 扎龙湿地生态系统服务功能

2.1 调蓄洪水的功能

由于湿地的下垫面与河道的下垫面条件明显不同,湿地蓄洪过程本身就是一个滞洪工程。湿地土壤具有特殊的水文物理性质,湿地土壤的草根层和泥炭层孔隙度达 $72\%\sim 93\%$,饱和持水量达 $830\%\sim 1030\%$,每公顷沼泽地可储水量 8100 m^3 ,是一个巨大的生物蓄水库^[4]。对嫩江流域的查干湖湿地,在1998年洪水中的蓄洪作用的实例分析(表1),可以看出洪水经过湿地后,削峰作用特别明显,这说明湿地能够储存过量的洪水。

2.2 净化水体的功能

扎龙湿地为淡水沼泽湿地,有助于降低水流速度。水中有毒物或营养物附着在沉积物颗粒表面,流至湿地水流减缓,随沉积物沉淀下来。这些物质通过生物植物的吸收、转化、累积,成为其组成的一部分,最后通过收获湿地产品的形式被排除生态系统。在扎龙是通过收割优势种植物芦苇来实现。同时水中生物繁多——底栖动物,浮游生物和鱼类,都具有富集氮、磷等功能。表2^[10]表明,丰水期扎龙湿地对无机物、有机物和金属都有较高的去除率。

表1 1998年型实测洪水在查干湖湿地蓄洪作用分析

洮儿河流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)			霍林河流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)		
削峰前	削峰后	削峰	削峰前	削峰后	削峰
2320	1341	979	411	0	411

表2 夏季扎龙湿地净化水体效果 mg/L

项 目	TN	TP	COD _r	BOD ₅	硝酸盐氮	氨氮	TM _n	TF _e
乌裕尔河	0.838	0.388	4.9	2.500	0.930	0.930	1.071	1.85
扎龙湿地	0.424	0.512	1.9	0.600	0.160	0.160	0.028	0.290
净化率	49.4	60.8	61.2	76.0	82.8	82.8	97.4	84.3

2.3 保护生物多样性的功能

扎龙自然保护区是我国北方同纬度地区中保留最完整、最原始、最开阔的湿地生态系统,是天然的物种库和基因库。湿地特殊生境的重要性特别体现在它是许多濒危野生动物的独特生境。

本区有高等植物525种以上,隶属于69个科256个属。植被划分为四个植被型:草甸草原、草甸、沼泽和水生植被^[21]。芦苇是本区的优势种,芦苇和羊草具有很高的经济价值。本区鸟类约260多种,隶属17目48科。本区记录鸟类中有国家级保护鸟类41种,其中国家一级保护鸟类8种,国家二级保护鸟类33种,黑龙江省重点保护鸟类17种。大面积的浅水泡沼和沼泽湿地,吸引了多种水禽,并以此作为理想的栖息繁殖地,如丹顶鹤、白枕鹤、大白鹭、草鹭等。鹤类等珍稀水禽是扎龙保护区的重点保护对象,世界上15种鹤,本区有6种。其他珍禽还有白鹳、黑鹳、天鹅等。广阔的水域为鱼类等提供了生境多样性。据调查资料,本区有鱼类46种;浮游动物有原生动物、轮虫、枝角类、桡足类;底栖动物有软体动物、环节动物和节肢动物。据1981年和1982年两次调查结果^[21],区内共有两栖动物2目4科6种,林蛙、无斑雨蛙、中华蟾蜍等;爬行动物3目4科6属,计6种,蛇、鳖等。

2.4 其他服务功能

湿地还有调节局地气候、补充地下水、旅游、固定 CO_2 、控制侵蚀、处理废物等功能。

2.5 巨大的经济价值

崔丽娟^[5]对扎龙湿地总经济价进行了估算,如表3。

3 扎龙湿地生态特征的负面变化及原因

生态特征是指湿地生物、化学及物理组分之间的结构及相互关系;而生态特征变化是指湿地生态过程及功能的消弱或失衡^[6]。影响扎龙湿地生态环境的因素很多,但概括起来可归纳为两个:区域气候影响;人类活动影响。两者相互作用最终导致生态系统服务功能降低。其中人类活动是主导因素。

3.1 水资源短缺

1998年嫩江流域大洪水过后,乌裕尔河流域连续两年严重干旱。下游河流干枯,主河道断流,进入湿地水量不足 0.5 亿 m^3 ,湿地严重缺水,导致湿地内水位持续下降,湿地水面急剧减少。据实际调查,湿地现有明水及沼泽面积仅为 130 km^2 左右^[9]。

表3 扎龙湿地总经济价值

价值类型	价值量/(10 ⁸ 元·a ⁻¹)	价值类型	价值量/(10 ⁸ 元·a ⁻¹)	价值类型	价值量/(10 ⁸ 元·a ⁻¹)
实物价值	0.136105	涵养水源价值	4.02	备选半备选价值	5.53
旅游价值	0.197391	控制侵蚀价值	1.1457	遗产价值	13.62
科研文化价值	15.3558	废物处理价值	72.8051	存在价值	30.19
合计(直接使用价值)	15.689296	生物栖息地价值	5.2987	合计(目前非使用价值)	49.34
固定CO ₂ 价值	8.1689	合计(间接使用价值)	91.4384	总经济价值	156.467696

3.1.1 区域气候的影响

1951 以来, 齐齐哈尔气温呈波动式上升。特别是从80年代后期以来, 这种变暖的趋势更为明显。80年代平均比1951~1980年平均上升了1.2, 90年代平均上升了1.9^[7]。气温的上升导致湿地区域蒸散量加大, 水相平衡值提高。图2所示的扎龙湿地的降水已经不能满足蒸发的需要, 春季5、6月份湿地多年平均蒸发量达到最大231.75 mm, 而平均降雨量只有49.45 mm左右, 差值为182.3 mm, 如此巨大的补水差额, 只有相当充沛的水量补给, 才能满足生态用水的基本要求。因此, 气温继续上升会进一步拉大蒸发和降水之间的差值, 降水对湿地水系统的补给能力降低, 水系统的脆弱性增加^[8]。

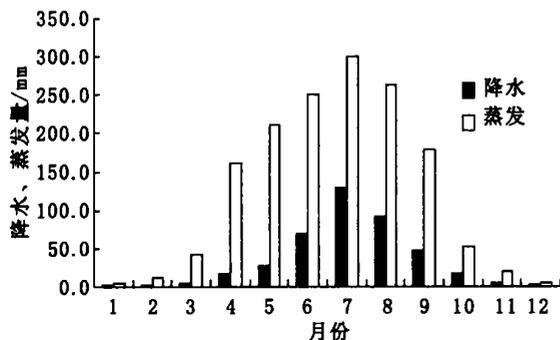


图2 扎龙湿地多年月平均降水、蒸发量

齐齐哈尔降水的阶段性明显^[7]。以24年周期为主, 1955年以前为一个少水期; 1955~1967年为一个多水期, 其间有5个多水年, 1个少水年; 1968~1981年为少水期, 有9个少水年, 没有多水年; 1982~1993年为多水期, 有7个多水年, 1个少水年; 1994年以后进入了一个新的少水周期。

3.1.2 水文情势的改变

扎龙湿地形成和发育的自然机制, 是乌裕尔河和双阳河长期漫溢形成的, 这种漫溢温和而缓慢地滋润着沼泽, 使湿地水分饱和。乌裕尔河在龙安桥站以下河道及不明显, 主要水流分为东西两支, 主流为西支, 岔流九道沟为东支。主流入东汗潭后自由漫溢成为西部湿地水源, 岔流经黄家泡子向湿地东部供水。两股水流自由漫溢, 在湿地中部大吹堡、赵凯以下连成一片, 呈三角形分布, 形成洪泛沼泽地, 最宽处达40 km。然而, 自50年代以来修建的水利工程和公路, 人为地改变了湿地的自然水文情势, 破坏了湿地形成和发育的自然机制。

中部引嫩干渠和东升水库全部拦截了乌裕尔河的来水量, 双阳水库拦截了双阳河的来水量。本来自由漫溢的河水改为人为控制, 如果水库不放水, 湿地将失去水源的补给。中引八支干渠和中引九支干渠(如图1), 分别起始于东升水库西部的中引主干渠和东升水库的东闸门, 呈南北走向, 在过滨州铁路后交汇对湿地中部形成一个合围圈。九支干阻断了双阳河的来水。下游有连环湖隔堤, 洪水下泄嫩江的通道上也修建了控制性工程。此外, 湿地内部还有许多长短不一的引、排水渠及乌裕尔河堤防等工程。穿过保护区的主要公路三条: 老301国道、齐杜公里、新301国道。在保护区南部庆西公路从连环湖的湖泊中穿过。在村屯之间、以及与主要干道之间还有等级不一的公路。滨州铁路穿过湿地核心区贯通东西。

一定水文规律下的周期性的洪泛作用是塑造扎龙湿地一种主要自然动力, 是一种强制性的震荡式补水。可是, 这些工程造成湿地基底的改变, 起到阻水、隔水、束水、雍水的作用, 影响水流的自然交换, 很多地区不能参与洪泛补水。

从乌裕尔河全流域来看, 上游植被破坏严重, 年入流量减少; 而且在依安站以上修建了60多座水库塘坝, 减少了乌裕尔河的来水量。

3.2 水环境恶劣、水体净化功能降低

湿地长期直接和间接地接纳工农业、生活污水。克东、克山、依安三县废水排入乌裕尔河, 富裕、林甸直接排入保护区内。随着经济的发展, 污水的排放量呈日益增长的趋势(表4)^[11]。扎龙湿地水质已达到地面水环境质量标准Ⅲ类水质, 主要污染物为COD、BOD₅、TN及TP; COD的质量分数为14.26%~65.02%, BOD₅的质量分数为2.57%~47.83%, TP的质量分数为1.41%~36.15%。大部分湖泊富营养化严重, 地表水体属于重营养化范围^[12]。

表4 污水排放量及预测

时间 年	人口数量 /10 ⁴ 人	工业废水 /10 ⁴ t	生活废水 /10 ⁴ t	排放废水总量 /10 ⁴ t
1994	34.0	910.0	744.6	1654.6
2000	36.9	1722.1	942.8	2664.9
2002	37.6	2045.9	968.3	3014.2
2010	40.8	3357.2	1191.4	4548.6

沼泽湿地的对氮磷等污染物的过滤作用已明显下降。原因有三: 污染物排放严重超标已超出水体自净范围; 水资源短缺, 水体流动缓慢; 植被破坏严重, 尤其是优势种芦苇的退

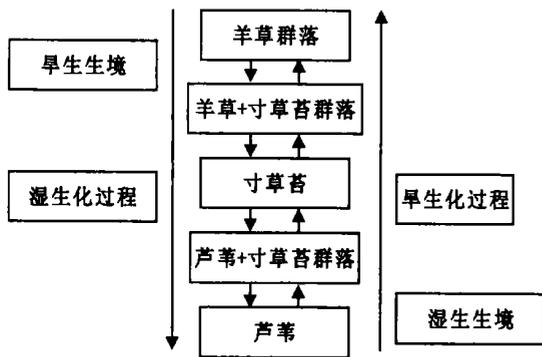
化。

3.3 生物多样性降低及生产能力的不可持续性

3.3.1 植被的退化

目前湿地植被出现逆向演替。草原总的发展趋势是由优良草场向退化草场发展,沙化、碱化严重,40%的草原已经无草可打。从1963~1997年,草高度由80 cm降至30 cm,盖度由90%降至69%,产量由6 000 kg/hm²下降到1 800 kg/hm²,种类由30种/m²降到15种/m²。

目前湿地由湿生生境向旱生生境演替(如图3),这导致沼泽植被芦苇的退化:芦苇直径由粗变细,高度由高变矮,密度由密变疏。总面积不断减少,60~70年代,1 600 km²,目前约1 000 km²,而且有很大一部分芦苇由于矮小没有收割价值,产量严重降低。



(Lc 羊草 *Leymus chinensis*; Cd 寸草苔

Carex duriuscula; Pa 芦苇 *Phragmites australis*)

图3 扎龙湿地植被的演替过程

3.3.2 动物资源减少

鱼类的品质和数量都有明显下降的趋势。据估算鱼类的蕴藏量减少了90%。从品质上来看,低龄化、小型化、提前产卵、雌雄比例悬殊。60~70年代捕获量中大型鱼类占80%,小型成鱼基本没人打。而目前鱼获量中小型成鱼占99%以上,大型成鱼极少见或基本绝迹。估计在不久的将来湿地将无鱼可捕。鸟类资源迅速减少,80年代初期,每年约有近10万只鸟类在此栖息繁殖,到了90年代,竟不足1万只,下降了90%。各种水禽(除丹顶鹤以外)的数量也明显减少,蓑羽鹤在本区已经绝迹。丹顶鹤1981年173只,1984年189只,1990年243只,1996年346只^[13],这是因为保护局的全力保护。其它象兽类、爬行类、底栖动物、浮游动物和昆虫等数量明显减少或绝迹。

3.3.3 原因分析

水资源的严重短缺,水质的严重污染;水利工程、公路的修建,使湿地的生境破碎化、片段化、岛屿化加剧,破坏了湿地江、河、湖、沼一体的水生生态系统;人类对各种资源的过度攫取,使其生产力失去了可持续性;人类各种活动不断地深入湿地,使其失去了原始的宁静;人类的各种无知活动,如烧荒火,加速了湿地的退化。湿地内的各种生物以食物链的形式相互关联,如鱼类资源濒临枯竭,使鱼类为食的鸟类觅食困难,1998年在馒头岗70多巢苍鹭集体弃巢,300多只雏鸟饿死巢头。天人灾祸,正使扎龙湿地这个古老物种的基因

库走向不可逆的退化。

3.4 调蓄洪水功能降低

1998年洪水过后,2000年就明显缺水,调蓄洪水能力明显降低。原因有二:沼泽植被严重退化,其涵养吸纳水源、调节存蓄径流的独特功能降低了。由于水利工程和公路的修建,破坏了湿地的自然水文情势,使很多地区不能参与洪泛。如1998年乌双洪水几乎全部集中在大型工程包围中,圈内水位超出圈外60多cm。

4 扎龙湿地生态系统服务功能恢复对策

湿地恢复,是指通过生态技术或生态工程对退化或消失的湿地进行修复或重建,再现干扰前的结构和功能,以及相关的物理、化学和生物学特性,使其发挥应有的作用。包括提高地下水位来养护沼泽,改善水禽栖息地;增加湖泊的深度和广度以扩大湖容,增加鱼的产量,增强调蓄功能;迁移湖泊、河流中的富营养沉积物以及有毒物质以净化水质;恢复泛滥平原的结构和功能以利于蓄纳洪水等^[15]。湿地的恢复一般要15~20年^[16]。

4.1 基于生态环境需水量的补水措施

李兴春等^[17]等对扎龙湿地的生态环境需水量进行了计算,总量 $5.09 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,其中核心区为 $2.00 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。自然来水有丰、平、枯年之分,直接影响扎龙湿地水量的获得,但是,为了维护扎龙湿地的基本功能,最低供水量应以保证湿地核心区生态环境需水量要求,即湿地生态环境最小需水量每年不应低于 $2.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。为缓解湿地的燃眉之急,从2001年已连续4年对其补水8.18亿m³,使扎龙湿地初步恢复生机。扎龙的大面积水源补给,还对毗邻大庆地区因开采石油而产生的地下水漏斗进行侧向补给。

4.2 恢复自然水文情势,充分利用洪水资源恢复湿地

根据湿地的自然形成机制,应该尽力恢复其江、河、湖、沼泽一体化的水文格局。拆除湿地内河、湖的堤防,取消一些严重阻水的水利工程恢复自然状态,对其他水利工程要进行改建,对公路应增加过水桥涵。

湿地在控制洪水、调节水流方面的功能十分显著。它能够调节季节分配和年度分配不均匀的降雨,避免或减小洪水灾害,补充稳定的水源供给^[14]。所以,必须改变防洪筑堤束水的传统观念,把湿地作为洪泛空间,这样可以减少对束水工程投资的需要,也可以减少洪水造成的损失。同时洪水对湿地的恢复具有非常重要、不可替代的作用。洪水脉冲理论认为洪水冲积湿地的生物和物理功能依赖于江河进入湿地的水的动态。被洪水冲过的湿地上植物种子的传播和萌发,幼苗定居,营养物质的循环,分解过程及沉积过程均受到影响。在湿地恢复时,一方面应考虑洪水的影响,另一方面可利用洪水的作用,加速恢复退化湿地或维持湿地的动态^[16]。

4.3 控制各种污染源

严格控制点污染源——工业废水、生活废水和医疗废水,必须在处理达标后排放,不符合排放标准的严禁排放各水域。面源污染主要来自于化肥、农药对径流的污染。应该改进施肥方法、调整其使用比例,减少其损失。增大喷洒农药与

降雨和排灌的时间间隔,减少农药造成的径流污染。

利用生态系统的自净能力消除富营养化问题。在各大湖泊中,种植凤眼莲、浮萍、荷花,养殖草食性浮游动物水蚤,放养蚌、螺等底栖动物,养殖草食性鱼类(白鲢和花鲢),即能降解COD、BOD,去除总氮、总磷,增加水体透明度,还能增加经济收入^[21]。

4.4 发挥湿地的自我修复能力

湿地退化和受损的主要原因是人类活动的干扰,其内在实质是系统结构的紊乱和功能的减弱与破坏,而外在表现则是生物多样性的下降或丧失以及自然景观的衰退。湿地恢复和重建最重要的理论基础是生态演替^[18]。在生态演替基础上,消除人为干扰,充分发挥大自然力量,依靠生态自我修复能力,加之适当管理,湿地是可以被恢复的。

对破坏严重的草原、沼泽、水面等,进行封禁治理(禁垦、禁牧、禁割、禁捕等),阻止人为扰动,将其至于自然演替的环境中,让其沿着动植物内在规律去发展,在发展的过程中,不断改善自己的生存条件,与此同时也不断群聚更多高级的个体^[21]。在适当的时候,生态系统的各项功能就会得到恢复。

湿地的核心区有10个自然村屯,50年代末人口500多人,目前3800多人。严重地破坏了资源,陷入了越破坏越贫穷,越贫穷越破坏的恶性循环。所以出于当地人的生活考虑,也应该把这部分人口全部迁出,退耕还湿,减少人为干扰。

4.5 生态系统服务功能的可持续利用

生态系统持久地维持或支持其内在组份、组织结构和功

能动态健康及其进化发展的潜在和显在的能动性的总和称为生态系统可持续性^[19]。因此,确定湿地生态系统可持续性指标应在分析其组成、结构、功能的基础上,以生态、社会、经济三效益协调为原则,既要考虑到人类目前及未来的需求,又要照顾资源环境的承载力^[20]。

经过半个多世纪来对扎龙湿地的掠夺式开发,已使其各种服务功能呈现出不可持续性。人类并不是自然的主宰,而是要依赖生态系统的各种服务功能来维持自身的生存。因此,必须充分尊重自然,调整人和自然的关系,在当地大力发展生态农业、合理开发各种资源,最后实现保护生态环境与发展当地经济的和谐发展。

5 结 论

水是恢复与维持湿地生态系统服务功能的关键,如果不能维持生态环境最小需水量,沼泽就会干涸,湿地的各种服务功能将最终消失。因此,面对扎龙湿地的严重缺水,补水成为挽救扎龙湿地的当务之急,每年至少应向湿地补水 $2.00 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。长久之计是:尽最大可能恢复湿地的天然水文格局,利用湿地的自我恢复能力,再建一个自我维持的健康生态系统。人类活动的干扰是湿地生态系统服务功能退化的主要因素,在利用其服务功能的同时,应注意功能的可持续利用,使生态系统处于健康稳定状态,最终目的是能够永续地为人类提供各种服务功能。

参考文献:

- [1] 郑华, 欧阳志云, 赵同谦. 人类活动对生态系统服务功能的影响[J]. 自然资源学报, 2003, 8(1): 118- 126.
- [2] 孙刚, 盛连喜, 周道玮. 生态系统服务及其保护策略[J]. 应用生态学报, 1999, 10(3): 365- 368.
- [3] 鄱帮有. 鄱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.
- [4] 梦宪民, 崔宝山, 等. 松嫩流域特大洪灾的警示: 湿地功能的再认识[J]. 自然资源学报, 1999, 14(1): 14- 20.
- [5] 崔丽娟. 扎龙湿地价值货币化分析[J]. 自然资源学报, 2002, 17(2): 451- 455.
- [6] 崔保山, 刘兴土. 三江平原湿地生态特征变化及其可持续性管理对策[J]. 地域研究与开发, 1999, 18(3): 45- 48.
- [7] 孙石. 气候变化对扎龙湿地生态环境的影响[J]. 黑龙江气象, 2001, (1): 32- 34.
- [8] 郭跃东, 何岩, 等. 扎龙滨河湿地水系统脆弱性特征及影响因素分析[J]. 湿地科学, 2004, 2(1): 47- 53.
- [9] 廉茂庆, 夏有军, 杨秋玲. 扎龙自然保护区湿地调水工程实施[J]. 东北水利水电, 2001, 19(9): 46- 48.
- [10] 郭跃东, 何岩, 邓伟, 等. 扎龙湿地生态水文格局特征及水环境功能分析[J]. 水土保持研究, 2004, 11(1): 119- 122.
- [11] 李旭东, 何小娟, 李绪谦, 等. 扎龙湿地水污染及其治理[J]. 水文地质工程地质, 2002, (6): 42- 44.
- [12] 郭跃东, 邓伟, 潘继花, 等. 扎龙河滨湿地水体营养化污染特征及水环境恢复对策[J]. 生态环境, 2003, 12(4): 393- 297.
- [13] 封世良. 扎龙自然保护区丹顶鹤的航空调查报告[J]. 高师理科学刊, 2000, 20(2): 59- 60.
- [14] 许士国, 党连文, 牟志录. 嫩江1998年特大洪水环境影响分析[J]. 大连理工大学学报, 2003, 43(1): 114- 118.
- [15] 崔保山, 刘兴土. 湿地恢复研究综述[J]. 地球科学进展, 1999, 14(4): 358- 364.
- [16] 彭少麟, 任海, 张倩媚. 退化湿地生态系统恢复的一些理论问题[J]. 应用生态学报, 2003, 14(11): 2026- 2030.
- [17] 李兴春, 林年丰, 汤洁, 等. 扎龙湿地生态环境需水量研究[J]. 吉林大学学报(理学版), 2004, 42(1): 143- 146.
- [18] 李丽, 石月珍. 我国湿地现状及恢复研究[J]. 水利科技与经济, 2004, 10(1): 34- 36.
- [19] 胡聃. 生态系统可持续性的一个测度框架[J]. 应用生态学报, 1997, 8(2): 213- 217.
- [20] 崔保山. 湿地生态系统生态特征变化及其可持续性问题[J]. 生态学杂志, 1999, 18(2): 43- 49.
- [21] 吴长申. 扎龙国家级自然保护区自然资源研究与管理[M]. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1999. 136- 146.
- [22] 王福庆, 闫平, 王靖峰, 等. 扎龙自然保护区水污染及防治对策[J]. 东北水利水电, 1998, (8): 1- 5.
- [23] 杨京平, 卢剑波. 生态恢复工程技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002. 132- 150.