

三江平原湿地保护区内外的生态功能差异

白雪^{1,2}, 马克明^{1,*}, 杨柳³, 张洁瑜¹, 张小雷²

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3. 中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院, 北京 100083)

摘要: 湿地保护区是一类特殊的陆地保护区, 其保护效果不仅取决于内部的管理强度, 还受到其周边地区水文状况的强烈影响, 因此保护区内外生态功能的差异程度是评价其保护效果的一个综合性指标。根据三江平原建三江管局 2004 年 Landsat-TM 影像解译的土地利用图以及 2002 年 1:50000 数字高程 (DEM) 数据, 利用基于 Arcview3.2 软件的 SWAT 水文模型获得各湿地保护区的汇水区作为其水文敏感区。在此基础上, 利用专家咨询和有关湿地生态系统服务功能价值的研究结果, 计算出各湿地保护区及其水文敏感区的湿地生态功能指数。结果表明, 国家级保护区的湿地生态功能普遍优于地方级保护区, 而其水文敏感区的湿地生态功能则并不一定优于地方级保护区的水文敏感区。通过对各保护区及其水文敏感区的湿地生态功能指数相对值进行聚类分析和相关分析可知, 位于浓江-别拉洪河流域且毗邻的几个保护区的湿地生态功能相对状况较为接近, 地方级保护区与其水文敏感区的湿地生态功能指数之间存在高度正相关。这充分说明湿地保护区的管理强度很大程度上决定了其保护效果。

关键词: 湿地生态功能; 自然保护区; 水文敏感区; 管理强度; 保护效果

文章编号: 1000-0933(2008)02-0620-07 中图分类号: Q14, Q16, Q178, X171.1 文献标识码: A

Ecological function differences inside and outside the wetland nature reserves in Sanjiang Plain

BAI Xue^{1,2}, MA Ke-Ming^{1,*}, YANG Liu³, ZHANG Jie-Yu¹, ZHANG Xiao-Lei²

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Centre for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Xinjiang Wulumuqi 830011, China

3 School of Resource and Safety Engineering, China University of Mining and Technology (Beijing), Beijing 100083, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 0620 ~ 0626.

Abstract: Wetland nature reserve is a special type of terrestrial reserves. Its conservation effectiveness is determined by both the management intensity inside and the hydrological status outside the reserve. Therefore, the ecological function differences inside and outside reserves is an integrated indicator for assessing conservation effectiveness. Based on the land use map created from Landsat-TM satellite image of the year 2004 and 1:50000 Digital Elevation Model (DEM) data of the year 2002 in Jiansanjiang, Helongjiang province, the catchments that the wetland reserves belong to were determined as their hydrological sensitive zones by SWAT (Soil and Water Assessment Tool) hydrological model. The ecological function indices of wetland reserves and their corresponding hydrological sensitive zones were calculated through expert consultation and a value assessment function of wetland ecosystem services. The results showed that the ecological functions of national

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40671182); 国家自然科学基金委创新研究群体科学基金资助项目 (40621061)

收稿日期: 2007-07-20; **修订日期:** 2007-11-12

作者简介: 白雪 (1982 ~), 男, 辽宁辽阳人, 博士生, 主要从事区域环境经济与管理研究. E-mail: bai.x@163.com

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mkm@rcees.ac.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Natural Science Foundation of China (No. 40671182); The Innovation Research Group supported by the National Sciences Foundation (No. 40621061)

Received date: 2007-07-20; **Accepted date:** 2007-11-12

Biography: BAI Xue, Ph. D. candidate, mainly engaged in regional environment economics and management. E-mail: bai.x@163.com

wetland reserves were better than those of local government's reserves in general. However, the wetland ecological functions of hydrological sensitive zones of the former were not always better than those of the latter. Meanwhile, Clustering Analysis showed that the wetland ecological functions of adjacent reserves' were similar in Nongjiang-Bielahonghe watershed. But Correlation Analysis found a remarkable positive correlation between the wetland ecological function indices of local government's reserves and their corresponding hydrological sensitive zones. In conclusion, although conservation effectiveness of wetland reserve is determined by both management intensity inside and the hydrological status outside, the former plays a key role and should be reinforced in practice.

Key Words: wetland ecological function; nature reserve; hydrological sensitive zones; management intensity; conservation effectiveness

湿地是全球重要的生态系统之一,在维持区域和全球生态平衡及提供野生动植物生境方面具有重要意义^[1]。然而,随着社会经济的飞速发展和人口的迅猛增加,湿地现已成为遭受破坏最严重的生态系统之一,湿地功能严重受损,生态效益日益降低^[2]。我国在湿地保护和管理方面取得了一定的成绩,但因大多数的湿地自然保护区建立时间较晚,且类型多样,管理投入差别显著,因此管理和保护的效果存在较大差异。

湿地保护区是一类特殊的陆地保护区,其保护效果不仅取决于内部的管理强度,还受到其周边地区水文状况的强烈影响。由于湿地自然保护区地理位置(拥有水域)和保护对象(迁徙鸟类)的特殊性,与其他类型的自然保护区(如森林)相比,更不利于对其进行封闭式管理^[3]。因此,实现湿地自然保护区的有效管理和可持续发展,需在科学合理评价保护区及其周边水文敏感区湿地生态功能状况的基础上,提出针对性的管理对策^[4~7]。目前的研究大多侧重单个自然保护区的湿地功能评价^[8,9],较少考虑同一类型或同一区域内、不同级别的自然保护区之间的比较;而针对保护区周边水文敏感区的湿地生态功能评价,及其对保护区内湿地的作用和影响,更是未见报道。

三江平原是我国最大的淡水湿地分布区之一,同时也是人类活动影响下,天然湿地面积减少最快的区域之一^[10,11]。1998年,黑龙江省全面停止了开垦湿地的行为,并决定抢救性地划建湿地自然保护区,使三江平原地区湿地资源减少的趋势得到了一定程度的扭转。截止2003年底,全省已建立各级湿地自然保护区68个,其中三江平原地区24个,面积约155.8万 hm^2 ,占全省湿地总面积的35.9%^[12]。但以上数据只能反映黑龙江省近年来加大了湿地自然保护区的建设力度,却并不表示每个保护区的湿地都得到了较好的保护和恢复。特别是那些面积较小、级别较低、周边地区开垦严重的保护区,更是不容乐观。因此,对三江平原不同级别的自然保护区及其水文敏感区进行湿地生态功能的现状评价,进而探讨湿地保护区与其周边环境的相互联系和相互作用,将有助于更好地了解各个保护区的管理效果和保护需求,对其在流域乃至区域尺度上进行湿地的保护和管理,具有重要意义。

1 研究区域

研究区位于三江平原腹地的黑龙江农垦总局建三江管局辖区。该区位于富锦、同江、抚远、饶河两市两县交界处,东经 $132^{\circ}31'26'' \sim 134^{\circ}22'26''$,北纬 $46^{\circ}49'42'' \sim 48^{\circ}13'58''$ 之间,系黑龙江、松花江、乌苏里江汇流的河间地带,总面积 $1.23 \times 10^4 \text{km}^2$ 。年均气温 $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$,年降雨量 $500 \sim 600 \text{mm}$ 。区域平均海拔60m,地势平坦。研究区内共有湿地类型的自然保护区7处,其中国家级2处,地方级(市县级)5处。

2 研究方法

2.1 土地利用分类

本研究以建三江地区2004年6月4日的TM影像为信息源,辅助信息有1:50000地形图以及建三江地区2002年1:100000水利图。利用ERDAS 8.5和Arcinfo 9.0制图软件进行影像的校正、解译及土地利用类型图制作。研究区内主要的湿地类型为沼泽、沼泽化草甸和湿草甸。沼泽化草甸主要是以水塘为中心的碟状湿地,因其有地表积水,易与湿草甸区分,且因其形状和孤立性,又易与沼泽区分(表3)。

2.2 水文敏感区的确定

湿地保护区周边影响范围的确定,是为进一步探讨湿地保护区与其周边地区相互联系和影响的前提条件。多数学者在确定湿地保护区周边影响范围时,通常以其所处的行政边界或假定的缓冲区域定义为保护区的周边影响范围^[13],但由于湿地保护区往往是湿地生态系统的核心部分,因此确定其周边影响范围应以湿地生态系统的边界为准。水文因子是决定三江平原湿地保护区周边影响范围的关键因子,据此,本研究以湿地生态系统的汇水区边界作为保护区周边地区的范围,定义其为保护区的水文敏感区。结合研究区 2002 年 1:50000 数字高程(DEM)数据,利用基于 Arcview3.2 软件的 SWAT 水文模型^[14] 获得建三江地区 7 处湿地自然保护区各自的汇水区,并以此作为其水文敏感区的范围(图 1)。

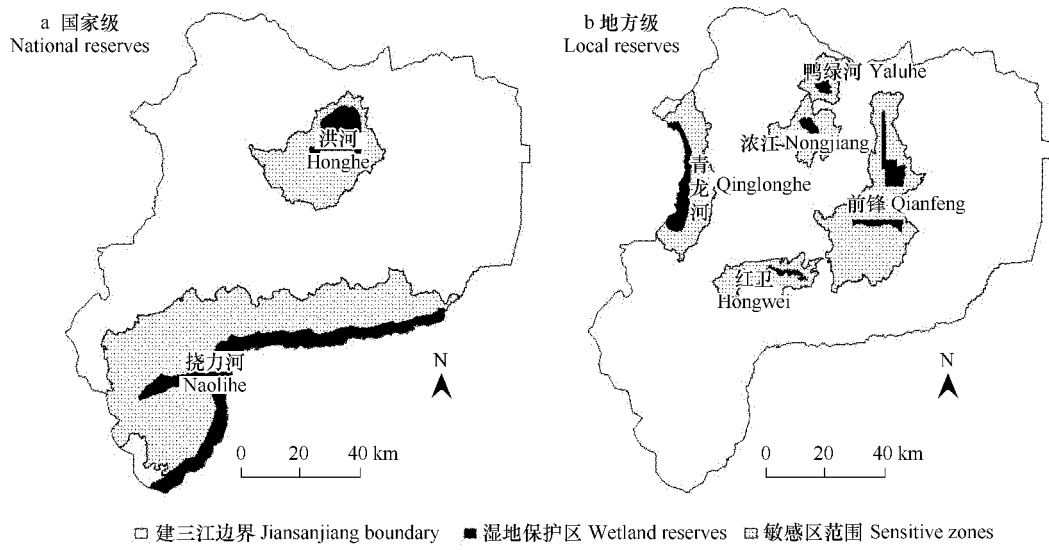


图 1 建三江湿地自然保护区及其水文敏感区位置图

Fig. 1 The location of wetland nature reserves and their hydrological sensitivity zones

2.3 评价指标构建

湿地生态系统在长期演化过程中,与社会经济发展形成了紧密联系,是社会-经济-自然复合生态系统的焦点之一。其生物物理环境的完整性或整体性,如气候调节、洪水调蓄及净化水质等,是湿地生态系统健康的外在表现^[15,16],不同类型的湿地提供的生态系统服务功能不同。根据研究目的及相关专家咨询,构建湿地生态功能评价指标及其贡献(表 1)。

表 1 各类型湿地对各评价指标的贡献
Table 1 Contribution of wetland types to assessment indicators

项目 Item		沼泽 Swamp	沼泽化草甸 Swamp meadow	湿草甸 Wet meadow
气体调节 Gas regulation	固碳 Carbon fixation	+	+	+
	温室气体释放 Greenhouse gas emission	+	+	+
气候调节 Climate regulation	减少地表辐射 Surface radiation reduction	+	+	+
	蒸腾蒸发 Evapotranspiration	+	+	+
水分涵养 Water conservation	地表水 Surface water	+	+	
	土壤水 Soil water	+	+	+
土壤形成与保护 Soil formation and conservation	保护河岸 Riparian conservation	+		
	保持土壤 Soil conservation	+	+	+
水质净化 Water quality purification		+	+	+
生物多样性 Biodiversity	动物 Animal	+	+	+
	植物 Plant	+	+	+

无,无贡献; + 正向贡献; ++ 显著正向贡献 Blank, no contribution; +, positive contribution; ++, distinct positive contribution

另据陈仲新和张新时关于湿地生态系统单位面积服务功能价值的研究成果^[17~19],可以计算出不同生态服务功能的贡献,并结合表1,得到各类型湿地生态服务功能指标权重(表2)。

表2 各类湿地评价指标权重

Table 2 Assessment indicators weights of wetland types

项目 Item	湿地服务功能价值(yuan/(a·hm ²)) Wetland service function value	沼泽 Swamp	沼泽化草甸 Swamp meadow	湿草甸 Wet meadow
气体调节 Gas regulation	1592.7	0.011	0.011	0.007
气候调节 Climate regulation	15130.9	0.099	0.099	0.074
水分涵养 Water conservation	13715.2	0.099	0.099	0.049
土壤形成与保护 Soil formation and conservation	1513.1	0.014	0.007	0.007
水质净化 Water quality purification	16086.6	0.097	0.097	0.097
生物多样性 Biodiversity	2212.2	0.013	0.013	0.013
合计 Total	50250.7	0.367	0.360	0.273

2.4 数据分析

为了定量表征湿地生态服务功能现状,构建评价公式如下:

$$y = \sum_{i=1}^n \lambda_i X_i \quad (1)$$

式中, y 表示某评价区内的湿地生态功能指数, λ_i 表示第*i*种湿地类型的生态功能指标权重, X_i 表示第*i*种湿地类型占其所在评价区的面积百分比。

由式(1)计算出研究区内各保护区及其水文敏感区的湿地生态功能指数(表4),以此衡量其湿地生态功能现状。

最后,利用 SPSS13.0 软件进行相关分析与聚类分析,得到各保护区与其水文敏感区湿地生态功能的差异(图2)。

表3 各评价区不同类型湿地面积统计

Table 3 Area statistics of wetland types in assessment regions

保护区 Reserves	面积 Area(hm ²)		各类型湿地面积比例 Area percent of wetland types (%)					
			沼泽 Swamp		沼泽化草甸 Swamp meadow		湿草甸 Wet meadow	
	保护区 Inside	敏感区 Outside	保护区 Inside	敏感区 Outside	保护区 Inside	敏感区 Outside	保护区 Inside	敏感区 Outside
挠力河国家级保护区 Naolihe national reserve	62795	222342	63.501	0.128	8.04	0.661	13.883	5.591
洪河国家级保护区 Honghe national reserve	21835	55621	8.312	1.939	40.497	7.524	43.804	27.778
鸭绿河县级保护区 Yaluhe county reserve	1383	13148	0.177	1.088	18.632	6.728	74.723	44.629
前锋县级保护区 Qianfeng county reserve	8730	84209	9.036	1.703	35.473	7.248	28.675	21.669
浓江县级保护区 Nongjiang county reserve	2627	22068	0	0.576	7.908	4.146	54.262	35.106
红卫县级保护区 Hongwei county reserve	1467	25237	0	0.01	6.506	0.663	35.781	6.443
青龙河县级保护区 Qinglonghe county reserve	9772	37773	0.059	0.042	1.2	0.635	12.595	1.92

3 结果分析

3.1 各评价区的湿地景观格局特征

从各保护区内部的湿地组成来看,挠力河国家级保护区内的沼泽面积比例最高(63.5%),浓江、红卫两

个县级保护区内没有此类湿地,这与它们所处的地理位置有关(区内无河流经过);洪河和前锋两个保护区内的沼泽化草甸面积比例较高(40.5%和35.5%),鸭绿河保护区内的湿草甸面积比例最高(74.7%),而青龙河保护区内这两类湿地面积均最少。

从各保护区水文敏感区的湿地组成来看,各敏感区的沼泽面积比例均不足2%,沼泽化草甸面积比例均不足8%,而地处浓江-别拉洪河流域的几个保护区(鸭绿河、浓江、洪河、前锋)湿草甸面积比例较高。

3.2 各类湿地生态功能评价结果

表3表明,沼泽和沼泽化草甸两类湿地单位面积的生态服务功能相差不大,而湿草甸较这两类湿地而言,在生态服务功能上存在一定的差距,这与实际情况较为相符,湿草甸由沼泽和沼泽化草甸退化而来,在功能上也就有所降低。结合表1和表3,可得各保护区内外分类型的生态功能计算结果(表4)。

表4 各保护区内外各类型湿地生态功能指数
Table 4 Ecological function indices of wetland types in assessment regions

保护区 Reserves		湿地生态功能指数 Wetland ecological function indices		
		沼泽 Swamp	沼泽化草甸 Swamp meadow	湿草甸 Wet meadow
挠力河国家级保护区	内 Inside	0.233	0.029	0.038
Naolihe national reserve	外 Outside	0	0.002	0.015
洪河国家级保护区	内 Inside	0.031	0.146	0.12
Honghe national reserve	外 Outside	0.007	0.027	0.076
鸭绿河县级保护区	内 Inside	0.001	0.067	0.204
Yaluhe county reserve	外 Outside	0.004	0.024	0.122
前锋县级保护区	内 Inside	0.033	0.128	0.078
Qianfeng county reserve	外 Outside	0.006	0.026	0.059
浓江县级保护区	内 Inside	0	0.028	0.148
Nongjiang county reserve	外 Outside	0.002	0.015	0.096
红卫县级保护区	内 Inside	0	0.023	0.098
Hongwei county reserve	外 Outside	0	0.002	0.018
青龙河县级保护区	内 Inside	0	0.004	0.034
Qinglonghe county reserve	外 Outside	0	0.002	0.005

表4结果表明,从各保护区内部来看,挠力河保护区的沼泽生态功能指数最高(0.233),洪河和前锋两个保护区的沼泽化草甸生态功能状况较好,而鸭绿河和浓江保护区的湿草甸状况相对较好;从各保护区外部来看,其沼泽和沼泽化草甸的生态功能状况普遍较差,而对于湿草甸来说,也是鸭绿河和浓江的状况较好,说明这两个保护区内外的湿草甸群落均保存较好。

3.3 各保护区内外湿地功能保护现状

根据表4,将各类型湿地的生态功能指数相加并计算各保护区内外比值(表5)。

表5 各保护区内外湿地生态功能指数
Table 5 Wetland ecological function indices of assessment regions

保护区 Reserves	湿地生态功能指数 Wetland ecological function indices		
	保护区 Inside	水文敏感区 Outside	比值 Ratio
挠力河国家级保护区 Naolihe national reserve	0.300	0.017	17.647
洪河国家级保护区 Honghe national reserve	0.296	0.110	2.691
鸭绿河县级保护区 Yaluhe county reserve	0.272	0.150	1.813
前锋县级保护区 Qianfeng county reserve	0.239	0.092	2.598
浓江县级保护区 Nongjiang county reserve	0.177	0.113	1.566
红卫县级保护区 Hongwei county reserve	0.121	0.020	6.05
青龙河县级保护区 Qinglonghe county reserve	0.038	0.007	5.429

表5表明,挠力河和洪河两个国家级保护区的湿地生态功能相对较好(0.300和0.296),普遍优于地方级保护区;而在地方级保护区中,鸭绿河保护区的湿地生态功能现状较好(0.272),青龙河保护区的状况较差(0.038)。从各水文敏感区来看,鸭绿河保护区水文敏感区的湿地状况相对较好,其次是浓江、洪河、前锋、红卫和挠力河,青龙河相对较差。由此可知,国家级保护区水文敏感区的湿地状况并不一定优于地方级。

对各保护区及其水文敏感区的湿地生态功能指数的相对值进行聚类分析可知(图2),洪河、前锋、鸭绿河和浓江四个保护区内外生态功能相对状况较为接近,这与其所处的地理位置均位于浓江-别拉洪河流域且相邻存在一定关系,挠力河国家级保护区的内外湿地状况差异最大(17.647),红卫、青龙河两个保护区地处远离主要河流,周边地区开发严重,内外状况普遍较差。

根据保护区级别进行分析,国家级保护区中,挠力河保护区的湿地生态功能略优于洪河保护区,而其水文敏感区的湿地生态功能大大低于洪河保护区的水文敏感区,这表明国家级保护区受其水文敏感区内湿地的影响较小,保护区内湿地生态功能与其水文敏感区的湿地状况并无直接的相关关系。对地方级保护区及其水文敏感区的湿地生态功能指数进行相关分析可知,地方级保护区与其水文敏感区湿地生态功能指数之间的相关系数为0.905($p < 0.05$),存在高度的相关性。也就是说,对于地方级湿地保护区,其水文敏感区内的湿地生态功能指数越大,其保护区内的湿地状况就越好,反之则越差。因此,地方级保护区湿地保护的效果,更易受其水文敏感区的影响。

4 讨论

本研究表明,在三江平原地区,不同管理级别的湿地保护区及其水文敏感区的湿地生态功能存在明显差异。保护区的级别越高,其管理强度和投入越大,保护效果越好。此外,国家级保护区之间的湿地生态功能差异较小,而地方级保护区之间差异显著。

国家级保护区水文敏感区与其内部的湿地生态功能并无正向相关性,而地方级保护区水文敏感区与其内部湿地生态功能存在显著正相关。这说明湿地保护区的管理强度不同,其外部水文敏感区对保护区湿地的生态功能影响不同。国家级保护区受其水文敏感区影响较小,保护效果较好,而地方级保护区因其受关注程度和管理投入均较少,其保护的效果更易其水文敏感区的干扰而表现出较大的差异性。这一规律符合客观事实。但需要说明的是,在进行地方级保护区水文敏感区与其内部湿地生态功能的相关分析时,前锋县级保护区表现出一定的偏离现象。前锋保护区实际上是由两个相互分离的保护区域组成,保护区的不连续性很可能是前锋保护区与其水文敏感区湿地功能间的关系与其他县级保护区表现规律不太一致的原因。

对于同一区域内不同管理强度的湿地保护区,根据不同类型的湿地生态功能及组成计算湿地生态功能指数,作为评价其保护效果的依据,能够定量揭示各保护区及其水文敏感区的湿地生态功能差异及相互关系。

References:

- [1] Yin K Q, Ni J R. Review of wetland studies. *Acta Ecologica Sinica*, 1998, 18(5): 539—546.
- [2] Cui L J, Zhang M X. Review on the study wetland assessment. *World Forestry Research*, 2002, 15(6): 46—53.
- [3] Li Y H, Zhang H P. Evaluation on China wetland reserve management pattern. *Journal of Central South Forestry University*, 2002, 22(2): 53—57.
- [4] Brinson M M. Developing an approach for assessing the functions of wetlands. In: Mitsch ed. *Global wetlands: Old world and new*. Elsevier, 1994: 615—624.
- [5] Maltby E. Building a new approach to the investigation and assessment of wetland ecosystem functioning. In Mitsch ed. *Global wetlands: Old world and new*. Elsevier, 1994: 637—658.
- [6] Yuan J, Lu X G. Progress in research of functional assessment of wetlands. *Wetland Science*, 2004, 2(2): 153—160.

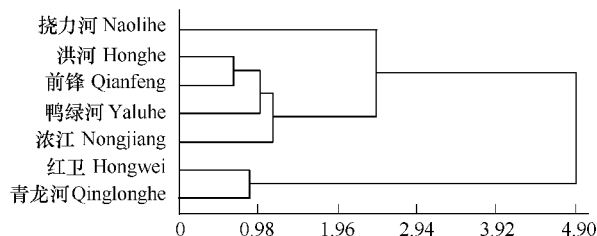


图2 各保护区及其水文敏感区湿地生态功能聚类图

Fig. 2 Wetland ecological function clustering of reserves and their hydrological sensitive zones

- [7] Wu H T, Lu X G. A review on the study of wetland assessment in China. *World Forestry Research*, 2005, 18(4): 49—53.
- [8] Zhai J L, He Y, Deng W. Wetland Functions of the Xianghai natural reserve. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2002, 22(3): 5—9.
- [9] Yuan J, Lu X G. Development and application of a dual-grade fuzzy pattern recognition model on functional assessment of wetlands. *Scientia Silvae Sinicae*, 2005, 41(4): 1—6.
- [10] Liu H Y, Lu X G, Zhang S K. Landscape biodiversity of wetlands and their changes in 50 years in watersheds of the Sanjiang Plain. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1472—1480.
- [11] Li Y, Zhang Y Z, Zhang S W. The landscape pattern and ecologic effect of the marsh changes in the Sanjiang plain. *Scientia Geographica Sinica*, 2002, 22(6): 677—682.
- [12] Yang M Y. Study on the construction of managerial ability of Sanjiang plain wetland nature reserve. *Territory & Natural Resources Study*, 2005, 2: 59—60.
- [13] Zhu B G, Dong S B, Zhu L P, *et al.* Conservation of functional wetland area and compensation for the ecological function of wetland in Honghe national nature reserve in China. *Wetland Science & Management*, 2006, 2(3): 25—28.
- [14] Arnold J G, Williams J R, Srinivasan R, King K W, Griggs R H. SWAT-Soil and Water Assessment Tool-User Manual. Agricultural Research Service, Grassland, Soil and Water Research Lab, US Department of Agricultural, 1994.
- [15] Cui B S, Yang Z F. Establishing an indicator system for ecosystem health evaluation on wetlands I. A theoretical framework. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(7): 1005—1011.
- [16] Ma K M, Kong H M, Guan W B, *et al.* Ecosystem health assessment: methods and directions. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2106—2116.
- [17] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253—260.
- [18] Chen Z X, Zhang X S. The value of ecosystem benefits in China. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(1): 17—22.
- [19] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic values. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 607—613.

参考文献:

- [1] 殷康前, 倪晋仁. 湿地研究综述. *生态学报*, 1998, 18(5): 539~546.
- [2] 崔丽娟, 张明祥. 湿地评价研究概述. *世界林业研究*, 2002, 15(6): 46~53.
- [3] 李戎挥, 张合平. 中国湿地保护区管理模式及评价. *中南林学院学报*, 2002, 22(2): 53~57.
- [6] 袁军, 吕宪国. 湿地功能评价研究进展. *湿地科学*, 2004, 2(2): 153~160.
- [7] 武海涛, 吕宪国. 中国湿地评价研究进展与展望. *世界林业研究*, 2005, 18(4): 49~53.
- [8] 翟金良, 何岩, 邓伟. 向海国家级自然保护区湿地功能研究. *水土保持通报*, 2002, 22(3): 5~9.
- [9] 袁军, 吕宪国. 湿地功能评价二级模糊模式识别模型的建立及应用. *林业科学*, 2005, 41(4): 1~6.
- [10] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎. 三江平原流域湿地景观多样性及其 50 年变化研究. *生态学报*, 2004, 24(7): 1472~1480.
- [11] 李颖, 张养贞, 张树文. 三江平原沼泽湿地景观格局变化及其生态效应. *地理科学*, 2002, 22(6): 677~682.
- [12] 杨梅岩. 三江平原湿地自然保护区管理能力建设研究. *国土与自然资源研究*, 2005, 2: 59~60.
- [13] 朱宝光, 董树斌, 朱丽萍, 等. 洪河国家级自然保护区湿地功能区保育与湿地补偿研究. *湿地科学与管理*, 2006, 2(3): 25~28.
- [15] 崔保山, 杨志峰. 湿地生态系统健康评价指标体系 I. 理论. *生态学报*, 2002, 22(7): 1005~1011.
- [16] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 等. 生态系统健康评价: 方法与方向. *生态学报*, 2001, 21(12): 2106~2116.
- [18] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值. *科学通报*, 2000, 45(1): 17~22.
- [19] 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. *生态学报*, 1999, 19(5): 607~613.