

湿地生态系统地学多元分析和功能分区研究

张峰^{1,*}, 侯鹏^{1,2}, 陈云浩², 王桥¹, 洪剑明³, 官兆宁⁴, 朱琳⁴

(1. 环境保护部卫星环境应用中心国家环境保护卫星遥感重点实验室, 北京 100875;

2. 北京师范大学资源学院, 北京 100875; 3. 首都师范大学生命科学学院, 北京 100048;

4. 首都师范大学资源环境与旅游学院, 北京 100048)

摘要:湿地功能分区可更好地促进湿地生态系统的保护和湿地资源的可持续利用。本文以北京野鸭湖湿地保护区为研究对象, 借助遥感技术从湿地生境的自然性、湿地物种的稀有性和人类活动对湿地的影响等, 通过综合利用湿地普查、野外实测及气象等数据, 重点分析生物多样性种类及分布、土壤类型及湿度、植被类型及长势、地表覆盖类型等功能指标的空间分异特征, 以景观生态学和湿地科学理论为指导, 运用GIS技术由空间叠置、相关分析和主导因子等方法, 划分了湿地管育功能区和主导功能区。

关键词:湿地; 功能分区; 遥感; GIS

DOI: 10.3724/SP.J.1047.2014.00918

1 引言

湿地生态系统主要是由过湿环境及喜湿动植物构成, 是地球上最为重要而独特的生态系统^[1], 其与森林、海洋并称为全球3大生态系统, 具有供给、调节、支持和文化等4大功能^[2]。但是, 随着人口膨胀、社会经济发展及全球环境变化等因素, 湿地的退化速度远大于其他类型生态系统^[2]。功能分区对提高湿地资源的生态健康水平和激发湿地资源的活力、抑制湿地退化具有重要作用。目前, 遥感技术作为湿地资源调查与功能研究的重要手段而被广泛应用^[3-7]。

功能分区是保护湿地生态环境和合理利用湿地自然资源的基础, 其可更好地促进湿地生态系统的保护和湿地资源的可持续利用, 为湿地监管提供直接的决策依据。功能分区研究的技术路线方法主要有两种, 即运用地带性、区域性环境驱动因子的空间差异自上而下顺序划分的演绎法和运用指示系统空间变化的指标自下而上逐级合并的归纳法^[8]。在利用“自上而下”和“自下而上”开展功能分区研究时, 通常采用的分析方法有空间叠置、主导因子、聚类分析、主成分分析等^[9]。本文以北京野鸭

湖国家湿地公园(北京市自然保护区)为研究对象, 开展了湿地的功能分区研究。

2 数据收集及研究方法

2.1 研究区概况

野鸭湖湿地处于北纬40°22'04"~40°30'31", 东经115°46'16"~115°59'48", 是国家级湿地公园和北京市重要湿地, 也是官厅水库延庆辖区及环湖淹没区形成的滩涂和库塘等所组成的次生湿地。野鸭湖湿地周边属延庆盆地地貌, 保护区总面积6873hm², 是北京地区面积最大的湿地, 具有典型性和特殊性的小型生态系统(图1)。

2.2 数据收集与研究方法、路线

研究收集了2007年5月28日Landsat TM卫星遥感数据、2007年北京湿地普查数据、1:25万DEM数据及北京气象数据等基础资料。

本文以Landsat TM遥感数据为基础数据源, 结合环境、水文、国土等专题数据和动物分布等野外调研数据, 分析提取水文、土壤、植被等特征信息; 同时, 从湿地生境的自然性、湿地类型的稀缺性、湿

收稿日期: 2013-07-10; 修回日期: 2013-09-04.

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201204201); 国家自然科学基金项目(40801138); 环保公益性行业科研专项(201209033-2)。

作者简介: 张峰(1976-), 男, 辽宁北镇人, 高级工程师, 主要从事环境遥感方面的研究。E-mail: zhang-fengs@163.com

通讯简介: 侯鹏(1978-), 男, 山东泰安人, 高级工程师, 主要从事生态环境遥感方面的研究。E-mail: houpcy@163.com

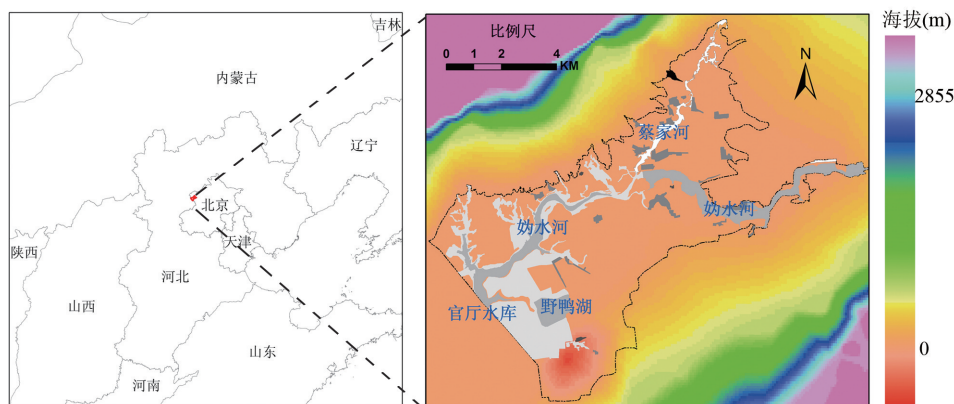


图1 野鸭湖湿地保护区地理位置及概况

Fig.1 Sketch of the Widgeon Lake wetland

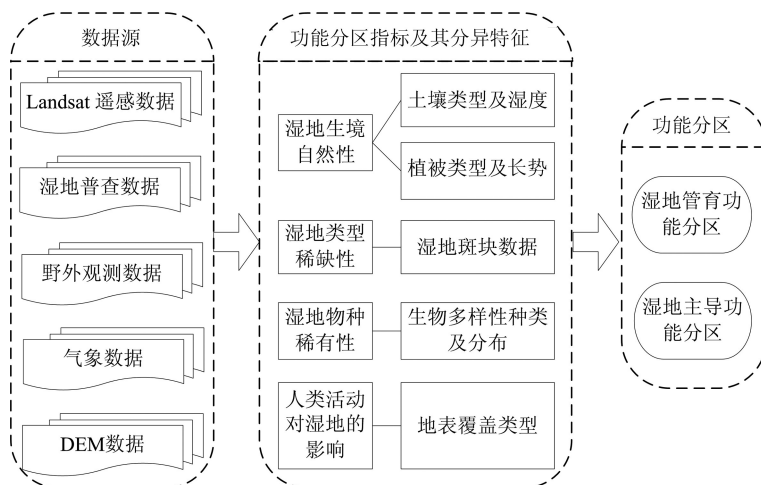


图2 湿地功能分区技术路线

Fig.2 Function division of wetland

地物种的稀有性和人类活动对湿地的影响等方面,重点分析了生物种类的分布、土壤类型及湿度、植被类型及长势、地表覆盖类型等功能指标的空间分异特征;以景观生态学和湿地科学理论为指导,运用GIS的空间分析功能,耦合“自上而下”、“自下而上”、空间叠置、相关分析和主导因子等方法,实现了湿地管育和主导功能分区,总体思路和技术路线如图2所示。

3 湿地的空间特征地学多元分析与功能分区

3.1 湿地空间特征多元分析

3.1.1 湿地斑块类型及分异特征

野鸭湖湿地保护区内,湿地总面积占保护区面

积的14.09%,湿地斑块主要包括河流、沼泽、蓄水区、水塘和灌溉地等5类湿地,分别占湿地总面积的2.82%、73.31%、20.77%、2.62%、0.47%;前2种为自然湿地,后3种为人工湿地。5种湿地斑块的空间分布如图3所示。从空间分布上来看,同类型湿地斑块分布比较集中,分离度和破碎度较低。沼泽湿地主要分布在官厅水库的北缘和妣水河流入官厅水库的入口处,主要是由官厅水库水位变化而在不同时期形成的环湖淹没区和泛洪滩涂组成;河流湿地主要由蔡家河组成,分布在保护区的北侧,呈南北走向;蓄水区湿地主要是由妣水河和野鸭湖而组成的,该类型湿地贯穿湿地核心地带,呈现东北-西南走向;水塘湿地主要沿蔡家河两岸,分布在保护区北侧;灌溉地湿地面积最小,主要分布在保护区北侧的蔡家河岸边。

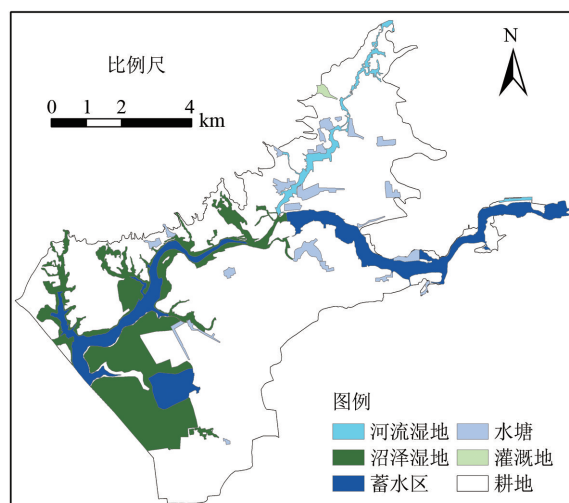


图3 野鸭湖湿地斑块类型的空间分异特征

Fig.3 Spatial distribution of wetland plot types

3.1.2 植被类型及其长势分异特征

野鸭湖湿地植被主要由地表常年过水或积水条件下生长的各种湿地植被和盐沼旱生植被组成,具有物种丰富,广布植物繁多;地理成分复杂,以温带为主的特点。据统计,野鸭湖湿地高等植物有71科213属357种,占北京市科、属、种数的42%、25%和17%^[10]。沼泽湿地斑块植被类型与其他区域差异较大,主要分布着浅水植物群落、猪毛菜群落、香蒲群落、芦苇群落和其他自然草地^[11]。

根据植被反射波谱特征,归一化植被指数(NDVI)系通过近红外波段与可见光红波段的反射率之差与反射率之和的比值进行准确估算,是地表植被生长状态及覆盖度的最佳指示因子之一^[12]。研究中,利用TM影像进行反演得到野鸭湖湿地的NDVI空间分异如图4所示,植被指数最大值为0.90,最小值为-0.55,平均值0.26,标准方差0.21。总体看来,保护区西南部植被长势好于其他区域。灌溉地、河流湿地、沼泽湿地斑块类型中,植被指数平均值较大。灌溉地湿地为人工种植植被长势最好;河流湿地内湿润度较大的河床植被长势较好。

3.1.3 土壤类型及其湿度分异特征

保护区的地带性土壤类型为褐土和潮土,中部有部分的潮土和盐潮土,土壤肥力较差,只有奶水河下游部分土质相对较好^[13]。遥感监测土壤湿度主要有土壤热惯量的方法、区域蒸散发量的方法、基于植被指数和温度的方法、土壤水分光谱特征的方法等^[14]。鉴于湿地的特点,选择了植被指数-温度的方法反演得到湿地土壤湿度指数^[15],土壤湿度

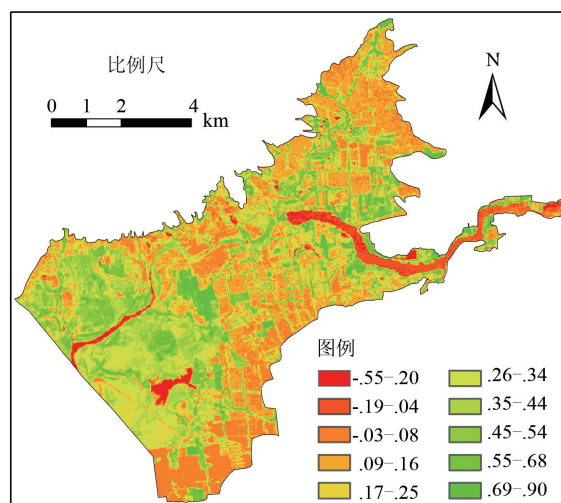


图4 野鸭湖湿地植被指数的空间分异特征

Fig.4 Spatial distribution of NDVI

空间分异特征如图5所示。总体来看,保护区西南部土壤湿度大于其他区域。除水塘和蓄水区外,土壤湿度依次为河流湿地>灌溉地>沼泽地,且均明显大于普通耕地。从空间分异特征来看,土壤湿度和水域分布、植被分布较为一致,距离水域较近的区域,土壤水分条件较好;植物生长状态好的区域,由于植物蒸腾作用较强,致使冠层表面和土壤表面温度越低,反映土壤水分供应条件越好。

3.1.4 地表覆盖类型分异特征

鉴于野鸭湖湿地地表植被覆盖度较高的特点,首先,对遥感数据进行Tasseled Cap变换(缨穗变换)的光谱增强处理,对原始多波段图像数据进行空间旋转,获得具有物理意义的亮度、绿色、湿度等分量,从而使得湿地地表覆盖分异特征得到了增

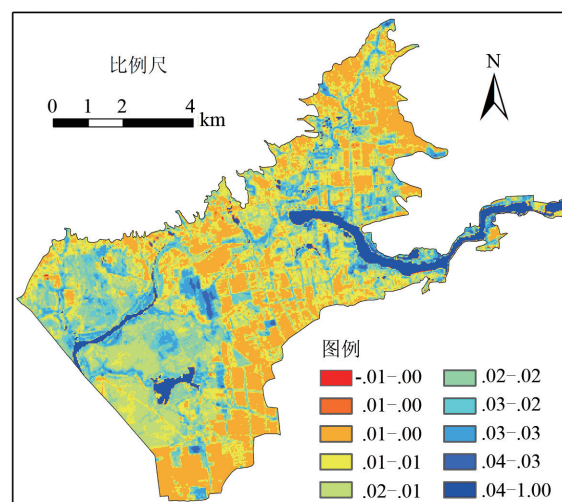


图5 野鸭湖湿地土壤湿度的空间分异特征

Fig.5 Spatial distribution of soil moisture

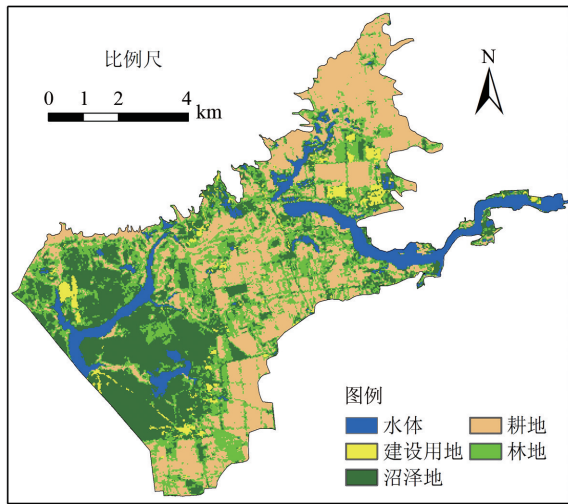


图6 野鸭湖湿地地表覆盖特征的空间分异特征

Fig.6 Spatial distribution of land cover types

强,然后,利用最小距离监督分类获得野鸭湖湿地的地表覆盖类型空间分异特征图(图6)。野鸭湖湿地主要为水体、植被、沼泽、林地和建设用地5种类型,其中沼泽地和林地覆盖面积最大,具有较好的自然性;而耕地和建设用地承载了较多的人类活动信息,自然性较差。

3.1.5 生物多样性种类及其分异特征

野鸭湖湿地有着多种植被,长势较好,为众多水生生物、鸟类(包括迁徙候鸟)、中小形动物等提供着理想的栖息环境和繁育场所,从而使得野鸭湖湿地具有物种种类多、生物多样性丰富的特点。以野鸭湖湿地为主要栖息地的动物中,列入国家Ⅰ级保护动物5种、Ⅱ级34种,全部为鸟类;列入《中国优先保护物种名录》的鸟类有37种,列入“珍稀濒危野生动植物种国际贸易公约”附录Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ的物种21种,其中,鸟类20种,列入北京市保护野生动物

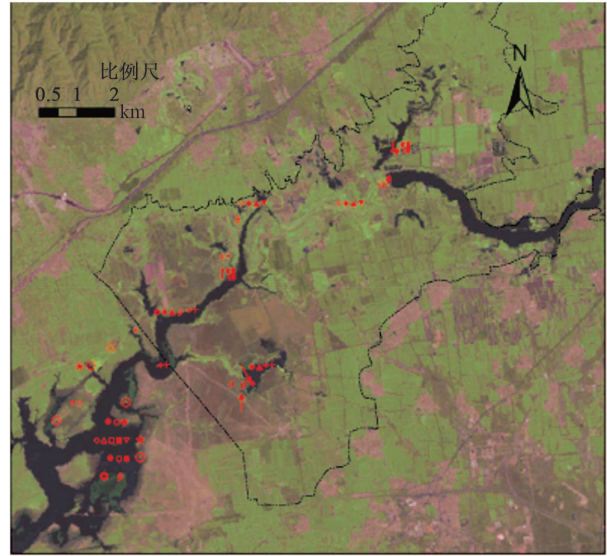


图7 野鸭湖湿地保护区及官厅水库东岸栖息鸟类空间分异特征

Fig.7 Spatial distribution of birds in and near the wetland

Ⅰ、Ⅱ级名录的动物98种,其中,兽类5种,鸟类88种,两栖爬行类5种^[10]。

据野外长期观测记录可知,野鸭湖湿地鸟类主要停留在妫水河和蔡家河等河流水体及其周期性淹没而形成的河流滩地和官厅水库的入库口、野鸭湖水域的浅水区及其周期性淹没而形成的库塘滩涂湿地。由于水深环境、植被类型的不同,不同位置分布着不同的湿地鸟类,具体分布如图7所示。据观测统计,多数鸟的停留时间在春、秋、冬及其繁育季节,少量鸟的停留时间在夏季(表1)。因此,从

表1 野鸭湖湿地保护区及官厅水库东岸鸟类野外实测统计表

Tab.1 Some statistic data of birds in and near the wetland

名称	地点	数量(只)	停留时间	名称	地点	数量(只)	停留时间
黑鹳	☆	5-12	春、夏、秋	黑翅长脚鹬	⊕	70-80	繁殖
大鸨	★	3-11	春、秋、初冬	金眶鸻	○	60-70	繁殖
灰鹤	⊙	100-600	秋末、冬	凤头麦鸡	●	50-500	春、秋、繁殖
大天鹅	◎	10-200	春、秋、冬	骨顶鸡	σ	10-20	繁殖
豆雁	▽	200-3000	秋、冬	小鸕鹚	ρ	50-100	繁殖
赤麻鸭	◇	50-500	春、秋、冬	红嘴鸥	θ	20-100	春、秋
绿头鸭	◆	50-2000	春、秋	苍鹭	『	5-20	春、夏、秋
斑嘴鸭	▲	20-500	春、秋	池鹭	『	10-30	繁殖
绿翅鸭	▼	20-300	春、秋	小白鹭	『	5-20	繁殖
普通秋沙鸭	△	50-2000	春、秋	夜鹭	』	100-150	繁殖
鹊鸭	□	20-200	春、秋	大苇莺	*	50-200	繁殖
红头潜鸭	■	10-100	春、秋	黄斑苇莺	+	30-50	繁殖

野鸭湖湿地鸟类时间和地点分布特征来看,野鸭湖湿地保护区表现出了典型的鸟类迁徙生态走廊和明显的河流廊道特点。

3.2 湿地功能多模式分区

野鸭湖湿地自然保护区是具有代表性的自然生态系统、是珍稀濒危野生动植物物种的天然集中分布区、是自然遗迹等保护对象的陆地与水域过渡的重要区域。因此,为了实现湿地生态系统的保护,在实现湿地补偿区和保育区分区基础上,按照3分区模式(核心区、缓冲区、试验区)对野鸭湖湿地进行了管育功能分区;为了实现湿地资源价值的科学合理利用,对野鸭湖湿地不同区域范围进行了主导功能分区。

3.2.1 管育功能分区

湿地周边的区域环境直接影响着湿地系统的形成及变化过程,为湿地系统直接提供物质养分。水文过程被认为是决定着实地类型形成及维持,以及湿地过程的唯一最重要的因素^[16],研究通过分析野鸭湖湿地周边地区的物质流通和地形地貌特点,以地形和水文集水特征为主导标志,进行野鸭湖湿地的补偿区和保育区分区,如图8(a)所示。补偿区主要为妫水河和蔡家河等野鸭湖湿地内的河流集水区,为湿地提供重要的水文补给和物质养分;而保育区才是真正意义上的湿地,主要是由于补偿区水流与官厅水库相互作用而形成的湿地区域,为湿地动物和植物的理想栖息地。

在野鸭湖湿地保育区,通过自然环境分异特征分析可以看出蔡家河、妫水河等表现出显著的生态

廊道功能并为湿地鸟类提供着重要栖息地和生物迁徙走廊,另一方面在官厅水库及妫水河交界处,分布着官厅水库淹没滩涂组成的次生沼泽湿地且是北京唯一的沼泽湿地分布区。因此,在核心区设置中,以野鸭湖保护区内物种稀有性和湿地斑块在北京湿地资源中的稀缺性为主导因子,通过野外实际调研并分析主导因子与其他功能指标因子之间的相关性,参照前人相关成果^[17-20],设定核心区的第一组成部分范围为鸟类分布集中的水体及其周边200m区域;由于考虑到野鸭湖沼泽湿地的稀有性,以及以沼泽为主要栖息环境的非鸟类生物的需要,沼泽湿地及其周边150m范围作为核心区的第二组成部分。根据景观生态廊道的要求,缓冲区设定则以核心区边界向外做200m的缓冲半径而得到。除核心区、缓冲区以外的其他区域均设定为试验区。最后,借助GIS和空间叠置方法获得野鸭湖湿地功能分区图,如图8(b)所示。

3.2.2 主导功能分区

保护区是科学研究、教育、生产和旅游等活动有机地结合充分发挥生态、社会和经济效益的特殊区域。因此,为了实现保护区的科学保护与合理开发目的,进行了保护区主导功能分区。由于保护区下垫面覆盖类型记录着自然和人类活动的痕迹,因此主导功能分区以不同地表覆盖特征为主导因子,分析其与各种人类活动的相关性,结合植被、土壤、生物多样性分异特征,以及管育功能分区结果,按照各自在保护区生态系统中发挥的不同作用进行了主导功能分区(图9)。主要分为水鸟保护区、植被保护区、水环境功能区、物质供给区、休闲娱乐区

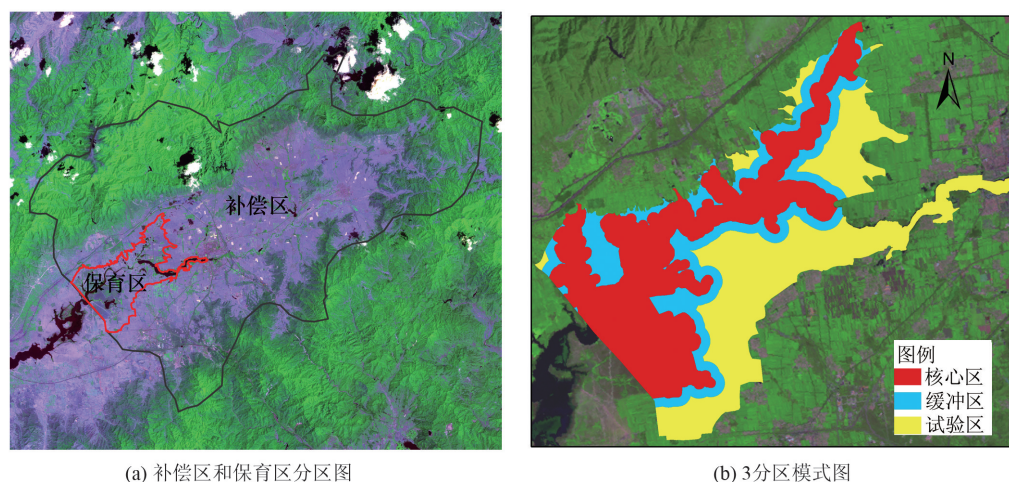


图8 野鸭湖湿地管育功能分区

Fig.8 Function division of the wetland

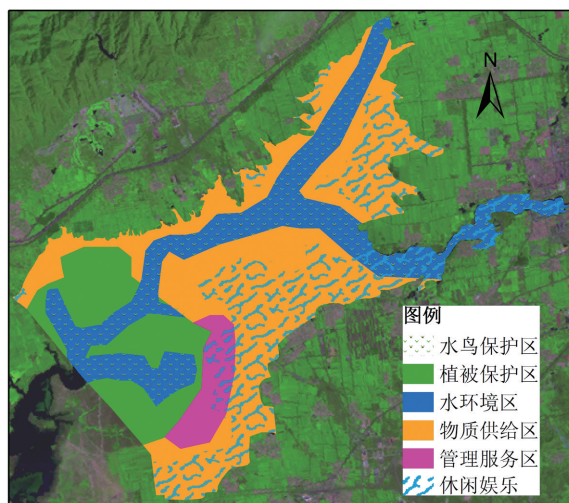


图9 野鸭湖湿地主导功能分区

Fig.9 Leading function area of the wetland

和管理功能区。水鸟保护区主要是保护水鸟栖息地环境从而为水鸟停留和繁殖提供更好的生态环境;植被保护区主要是保护湿地植物,从而保护植物物种的多样性;水环境功能区主要是保护水环境质量和原始的水文条件,从而保障湿地生态系统基本生态需水的供给和调节局地气候,体现湿地的调节价值;物质供给区主要是人类从事耕地和水塘等农业生产性活动,产生直接的社会经济效益,体现湿地的供给价值;休闲娱乐区主要为人类旅游、休憩活动的场所,体现湿地的文化价值;管理服务功能区主要是保护区日常管理维护的集中办公区和服务于旅游休憩的商业性经营活动区域。

4 结论

综合利用遥感、湿地普查、野外实测及气象等数据,以景观生态学和湿地科学理论为指导,运用遥感和地理信息技术开展了湿地功能分区研究,可以看出:(1)借助遥感技术,可以从生物多样性种类及分布、土壤类型及湿地、植被类型及长势、地表覆盖类型、湿地斑块类型等功能指标较好地分析湿地生境的自然性、湿地类型的稀缺性、湿地物种的稀有性和人类活动对湿地的影响的空间分异特征;(2)在GIS软件环境下,综合“自上而下”、“自下而上”、空间叠置、相关分析和主导因子等常规分析方法,能够较好地实现湿地管育功能分区和主导功能分区,为湿地生态保育管理提供重要支撑。

参考文献:

- [1] Mitsch W J, Gosselink J G. Wetlands (3rd Edition)[M]. New York: John Wiley & Sons, 2000.
- [2] Millennium Ecosystem Assessment Board. Ecosystem services and human well-being: Wetlands and water synthesis [M]. Washington: World Resources Institute, 2005.
- [3] Hou P, Jiang W, Cao G, *et al.* Effect of urban thermal characteristics on wetlands based on remote sensing and GIS [C]. Proceedings of 2009 Urban Remote Sensing Joint Event, 2009:1-6.
- [4] Stacy L O, Marvin E B. Satellite remote sensing of wetlands[J]. Wetlands Ecology and Management, 2002(10): 381-402.
- [5] Corey B, Rick L L, Clifford M, *et al.* Change detection of wetland ecosystems using Landsat imagery and change vector analysis[J]. Wetlands, 2007(27):610-619.
- [6] 国家环境保护总局.生态环境状况评价技术规范(试行)[M].北京:中国环境出版社,2006.
- [7] 郑度.中国生态地理区域系统研究[M].北京:商务印书馆, 2008.
- [8] 唐涛,蔡庆华.水生态功能分区研究中的基本问题[J].生态学报,2010,30(22):6255-6263.
- [9] 国家环境保护总局.生态功能区划暂行规程[M].北京:国家环保总局印制,2003.
- [10] 北京野鸭湖湿地自然保护区科考组.北京野鸭湖湿地自然保护区科学考察报告[R].北京:北京野鸭湖自然保护区管理处,2005.
- [11] 陈卫,胡东.北京湿地生物多样性研究[M].北京:科学出版社,2007.
- [12] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.
- [13] 刘玉金.北京野鸭湖湿地[M].北京:中国林业出版社, 2007.
- [14] 陈晓玲,赵红梅,田礼乔.环境遥感模型与应用[M].武汉:武汉大学出版社,2008.
- [15] 梁芸,张峰,韩涛.利用EOS/MODIS植被供水指数监测庆阳地区的土壤湿度[J].干旱气象, 2007,25(1):44-47.
- [16] 陆健健,何文珊,童春富,等.湿地生态学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [17] Forman R T T, Godron M. Landscape ecology[M]. New York: Wiley, 1986.
- [18] 朱强,俞孔坚,李迪华.景观规划中的生态廊道宽度[J].生态学报,2005,25(9):2406-2412.
- [19] Stauffer D F, Best L B. Habitat selection by birds of riparian communities: Evaluating effects of habitat alterations [J]. Journal of Wildlife Management, 1980,44(1):1-15.
- [20] Rohling J. Corridors of Green[J]. Wildlife of North Carolina, 1998(5):22-27.

Geographical Multianalysis and Function Division of Wetland

ZHANG Feng¹, HOU Peng^{1,2*}, CHEN Yunhao², WANG Qiao¹, HONG Jianming³, GONG Zhaoning⁴ and ZHU Lin⁴

(1. State Environmental Protection Key Laboratory of Satellite Remote Sensing, Satellite Environment Center, Ministry of Environmental Protection of People's Republic of China, Beijing 100875, China;

2. College of Resources, BNU, Beijing 100875, China; 3. College of Life Science, CNU, Beijing 100048, China;

4. College of Resources Environment and Tourism, CNU, Beijing 100048, China)

Abstract: Wetlands are considered as one of the most productive ecosystems on earth, and more vulnerable and sensitive compared to other ecosystems. With the development of the society, wetlands are suffering serious degradation and loss due to intense anthropogenic disturbance, such as wetland pollution, land use, etc. As one of the effective management measurements, regionalization of wetland function is helpful to have resources in a sustainable development pattern. This paper takes Widgeon Lake, in Beijing, as study region, combining with multi-source remote sensing data, wetland investigation, and the field and meteorological observation data, to analyzes natural features of wetland surrounding, rare feature of wetland type, rare feature of wetland species and the impact of human activities on the wetland. On the other hand, the species and species distribution, soil type and soil moisture, vegetation type and vegetation growing feature, soil erosion and land cover are analyzed, in order to implement regionalization of wetland. Consequently, based on the principles of landscape ecology and wetland science, the function division is conducted, and the leading function area is determined based on GIS technique and overlay analyses, correlation analyses, and leading index methods. As to the management district, according to the hydrological situation and the DEM, the supplement region and protection region are marked out firstly. Then the center, buffer and experiment regions are ascertained in the protection region. As to the leading function area, the protection region is divided into bird protection, vegetation protection, water environment, material supplement, recreation and service regions.

Key words: wetland; function division; remote sensing; GIS

*Corresponding author: HOU Peng, E-mail: houpcy@163.com