

Based on TM Images of the Dynamic Evolution of Spatial Pattern of the Lake Wetland Landscapes Researched in Yinchuan Plain*

Xiaoyan Bu¹, Tuoye Qi², Wenbao Mi³

¹Ningxia Polytechnic, Yinchuan

²School of Resource and Environmental Sciences, Ningxia University, Yinchuan

³Key Laboratory of Restoration and Rehabilitation of Degraded Ecosystem in North-Western China, Ministry of Education, School of Resource and Environmental Sciences, Ningxia University, Yinchuan
Email: lantian_2007@163.com

Received: Nov. 14th, 2012; revised: Nov. 24th, 2012; accepted: Dec. 1st, 2012

Abstract: The regional ecological security is the basis of sustainable development, and the lake wetland in Yinchuan Plain (Ningxia, China) is of great importance for maintaining regional ecological security in the Yellow River Economic Zone in Ningxia and Western China. This study uses 3S technologies, i.e., remote sensing, geographic information system and global positioning system, to outline the dynamic evolution of lake wetlands in the Yinchuan Plain based on remote sensing images obtained from 1987 to 2012. The results are as follows: 1) The characteristic values, such as the landscape patch number, the total areas, average and maximum areas of the lake wetlands in Yinchuan Plain, i.e., are in a gradual increasing trend since recent 25 years; 2) The internal hierarchical structure of the lake wetlands in Yinchuan Plain is improved in some aspects, but the overall hierarchical structure is still fragile and unstable, for example, some characteristic indexes, such as the FD , FN and D , were obviously better in 2012 than that in 1997, but there were still some gaps compared with that in 1987; 3) The driving forces resulting in the dynamic evolution of the lake wetland landscapes in Yinchuan Plain include both the natural and artificial factors, such as the climate change, hydrological process, agricultural and industrial development activities, i.e., in which the artificial factors are dominant. According to the conclusions, some measures and suggestions are put forward, which can be referred in the ecological construction and the maintenance of ecological security in Yinchuan Plain.

Keywords: Lake Wetland; Landscape Pattern; Evolution; 3S Technology; Yinchuan Plain

基于 TM 影像的银川平原湖泊湿地景观空间格局动态演化研究*

卜晓燕¹, 齐拓野², 米文宝³

¹宁夏职业技术学院, 银川

²宁夏大学资源环境学院, 银川

³宁夏大学资源环境学院, 西北退化生态系统恢复与重建省部共建教育部重点实验室, 银川
Email: lantian_2007@163.com

收稿日期: 2012 年 11 月 14 日; 修回日期: 2012 年 11 月 24 日; 录用日期: 2012 年 12 月 1 日

摘要: 区域生态安全是区域可持续发展的基础, 银川平原湖泊湿地对于宁夏沿黄经济区、中国西部生态安全的维护具有十分重要的意义。本研究应用 3S 技术以及景观空间格局指数方法, 利用 1987、1997、2004 和 2012 年四个年份的遥感影像, 对 1987~2012 年 25 年间银川平原湖泊湿地进行了动态演化研究。分析得出: 1) 近 25 年来, 银川平原湖泊湿地景观斑块数量 N 、总面积 A 总、斑块最大面积 A_{max} 、斑块最小面积 A_{min} 、斑块平均面积 \bar{A} 、平均周长 \bar{L} 等特征整体呈增加的趋势; 2) 银川平原湖泊湿地景观内部结构中, 虽然部分指标特征有所改

*基金项目: 宁夏自然科学基金项目(基金号: NZ12217), 宁夏高校科学研究基金重点资助项目。

善,但整体仍呈脆弱化、不稳定化的变化趋势,如 2012 年 FD 、 D 、 FN 、 D 等指数特征虽都明显好于 1997 年,但是与 1987 年状态相比仍有差距;3) 银川平原湖泊湿地景观动态演化的驱动力因子有气候和水文的自然因子以及工业发展和农业开发活动等人为因子,其中人为因子为主要的驱动力因子。根据结论进一步提出对策及建议,以期对银川平原生态建设和生态安全维护提供参考。

关键词: 湖泊湿地; 景观空间格局; 演化; 3S 技术; 银川平原

1. 引言

湖泊湿地在经济发展和生态建设中日趋重要,是干旱区人类生存、经济社会发展不可缺失的基础。世界各国湿地科学工作者意识到了湿地研究的重要性,因此国内外学者对湖泊湿地在概念、形成、发育、生态过程、生物多样性保护、生态恢复与重建、功能评价、生态系统健康与评价、生态安全响应、景观格局变化等方面广泛地开展了研究工作^[1-7]。湖泊作为地表水的重要载体,参与自然系统的水分循环,这在干旱地区显得格外突出和重要,如胡汝骥,王亚俊等人分析了干旱区湖泊的分布特征、水分循环及研究意义^[8]。干旱区湖泊湿地的研究已经成为各科学者热切关注的重点与前沿领域。

银川平原地处我国西北干旱半干旱地区,湖泊湿地是极其珍贵的自然资源和生态景观,是黄河中上游重要的保水、蓄水和调水基地,是整个人工绿洲生态系统的有机组成部分,也是全球范围内荒漠半荒漠地区极为少见的具有生物多样性和环境保护等多功能的重要湿地。保护银川平原湖泊湿地对宁夏沿黄经济区以及中国西部地区的生态安全和生态建设具有重大的战略意义。但学术界对其已有的研究较少,且多是历史地理角度的定性分析^[9,10]。因此,在宁夏沿黄经济区加快发展建设的新时期,同时面临水资源长远发展供需矛盾和生态环境保护与资源开发利用矛盾突出的形势下,结合 3S 技术与景观生态学方法,定量研究其景观空间格局动态演化规律及特征为区域的长远发展和区域生态环境建设保护提供科学参考。

2. 研究区概况

银川平原位于宁夏回族自治区北部,是宁夏境内湖泊分布最多,最集中的区域,历史上有“七十二连湖”之说。史前时期黄河《史记》记载,“地固泽咸

卤,不生五谷”,明确指出银川平原存在着大量湖沼和季节性积水洼地。第四纪更新世时期,湖沼面积共达 1600 万 km^2 ^[11]。

新中国成立初,银川平原仍有较大面积的湿地。但水利事业突飞猛进,灌溉系统的逐渐完善,电排电灌措施广泛应用,湿地面积迅速减少,在 20 世纪 50 年代初期,湖泊湿地面积大约为 $5.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。在 20 世纪 50 年代以来,银川平原湖泊经多次大规模农田开垦及围湖养殖,加之建成了比较完整的排水沟系,许多浅水湖泊与积水洼地被疏干,加上气候干旱等原因,部分湖泊逐渐退化,湿地面积、数量急剧减少,植被减少。1958 年湖泊面积下降到约 $2.40 \times 10^4 \text{ hm}^2$,到 1988 年降至 $1.60 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ^[12]。2002 年以来,为保护湿地和湿地生物多样性,宁夏回族自治区政府决定对宁夏平原湿地生态进行抢救性恢复建设。先后实施了退田(塘)还湖蓄水、退耕还湖、疏浚清淤等工程,改造和保护了宝湖、西湖、鸣翠湖、阅海湖和星海湖等数十个城市湖泊,恢复了 7000 hm^2 湖泊水面。据统计^[7],近年来,银川市恢复湿地近 2000 hm^2 ,吴忠市恢复湿地近 1333.33 hm^2 ,石嘴山市恢复湿地近 2666.67 hm^2 。2008 年 5 月,宁夏平原与成都平原、苏北平原等一道被中国国家地理杂志评选为“十大新天府”。

银川平原湖泊湿地对调节水量、局部小气候及绿洲结构、功能和发展趋向,保障绿洲的稳定发展和良性循环具有重要的影响和互动效应。与其它地区湖群相比,其演变特点与生态效应均具有自己的独特性质,如干旱蒸发量大造成水质咸化和土壤盐渍化、地面沉降与黄河水沙淤积相互抵消效应、依托黄河及其灌溉排水体系而形成和消长,成为全国湖泊湿地中独具特色的典型湖泊湿地景观群^[13]。

3. 景观要素信息获取及研究方法

本研究数据采用研究区 1987 年 6 月、1997 年 6 月、2004 年 8 月和 2012 年 7 月四个同是丰水期时段

的 Landsat-TM 真彩色(1、2、3 波段)遥感影像图(分辨率都为 $28\text{ m} \times 28\text{ m}$)，(银川平原湖泊湿地的水源主要来自于黄河，选择这四期影像大致均在丰水期可以保证其可比性)。参考有关研究成果^[5,6,14-17]，使用遥感数字图像处理软件 ENVI4.2 对其进行预处理，包括几何纠正、镶嵌、融合及增强处理，对宁夏政区图进行剪切，得到银川平原的 TM 真彩色影像(如图 1~4 所示)；结合银川平原地形图以及其它水文、湿地专题图等资料以及 GPS 野外调查数据，采用 Mapinfo 进行人机交互解译；将判读选取的目标斑块导入 Arcview3.2GIS 软件中数字化，同时建立空间数据库；应用 Arcview3.2 软件的 SpatialAnalyst(空间分析)模块以及数据库的 Statistics(统计)功能进行空间分析、统计及专题化、可视化，并结合电子表格 Excel 的数学计算功能进行分析；导出银川平原湖泊湿地资源分布图(如图 5~8 所示)；以及各不同时期的湖泊湿地相关数据(如表 1~3 所示)。

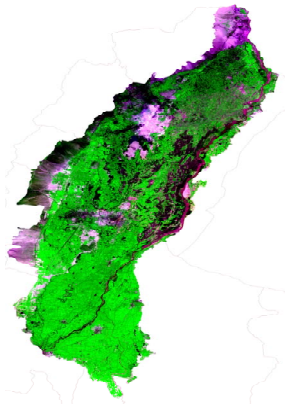


Figure 1. In 1987 June map processing satellite images
图 1. 1987 年 6 月处理卫星影像图

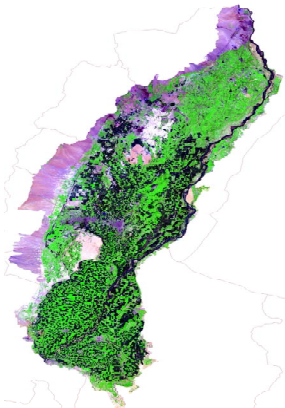


Figure 2. In 1997 June map processing satellite images
图 2. 1997 年 6 月处理卫星影像图

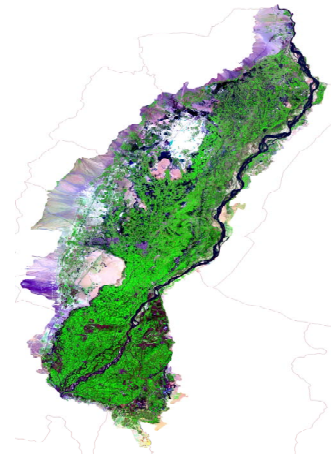


Figure 3. In 2004 August map processing satellite images
图 3. 2004 年 8 月处理卫星影像图



Figure 4. In 2012 July map processing satellite images
图 4. 2012 年 7 月处理卫星影像图

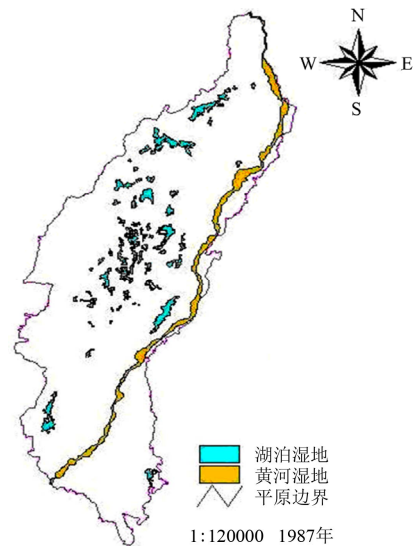


Figure 5. In 1987 lake wetland distribution map in Yinchuan plain
图 5. 1987 年银川平原湖泊湿地分布图

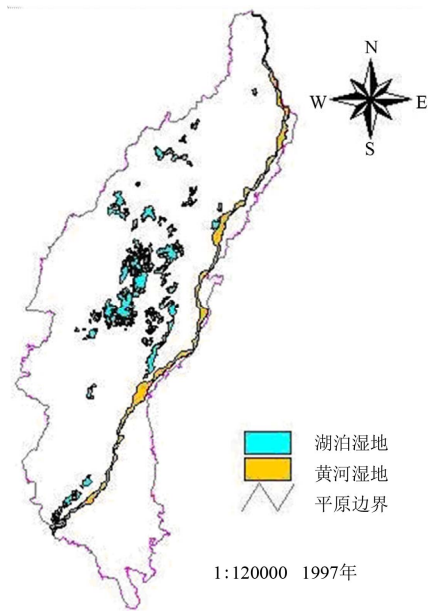


Figure 6. In 1997 lake wetland distribution map in Yinchuan plain
图 6. 1997 年银川平原湖泊湿地分布图

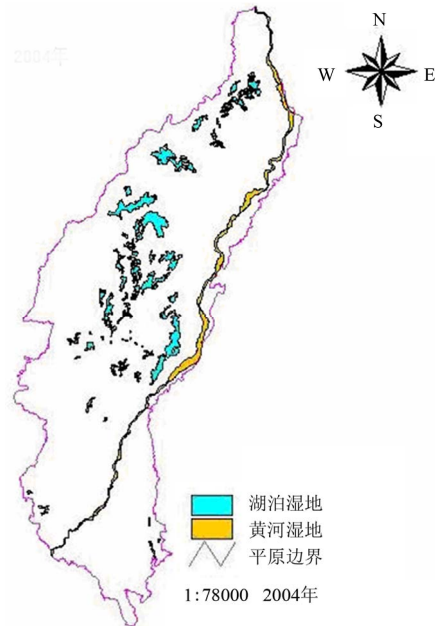


Figure 7. In 2004 lake wetland distribution map in Yinchuan plain
图 7. 2004 年银川平原湖泊湿地分布图

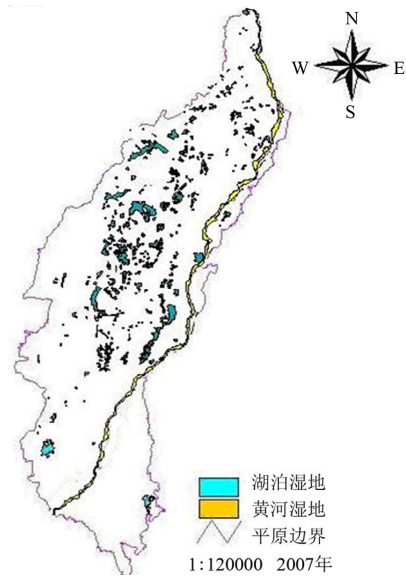


Figure 8. In 2012 lake wetland distribution map in Yinchuan plain
图 8. 2012 年银川平原湖泊湿地分布图

Table 1. The index of the landscape module feature of the lake wetland in Yinchuan plain

表 1. 银川平原湖泊湿地景观单元特征指数

年份	斑块数 $N(\text{个})$	斑块总面积 $A_{\Sigma}(\text{hm}^2)$	斑块最大面积 $A_{\max}(\text{hm}^2)$	斑块最小面积 $A_{\min}(\text{hm}^2)$	斑块平均面积 $\bar{A}(\text{hm}^2)$	斑块平均周长 $\bar{L}(\text{m})$
1987 年	370	22407.99	2664.57	0.21	60.56	3671.74
1997 年	243	14938.93	1176.75	0.84	61.48	3842.21
2004 年	209	20828.94	2800.18	2.13	99.66	4368.86
2012 年	432	26663.60	3169.00	0.02	62.72	3548.42

Table 2. The statistics of the classification plaque percentage of the lake wetland in Yinchuan plain

表 2. 银川平原湖泊湿地斑块面积按等级划分的斑块数百分比统计

年份	1 hm ² 以下 (%)	1 hm ² ~10 hm ² (%)	10 hm ² ~100 hm ² (%)	100 hm ² 以上 (%)
1987 年	0.54	17.30	69.19	12.97
1997 年	0.41	27.98	60.49	11.12
2004 年	0.96	21.53	61.24	16.27
2012 年	2.08	31.71	52.78	13.43

Table 3. The index of the landscape heterogeneity of the lake wetland in Yinchuan plain

表 3. 银川平原湖泊湿地景观格局异质指数

年份	平均形状指数 \overline{MSI}	多样性指数 H	优势度指数 $D(\%)$	分维数指数 FD	景观均匀度指数 (E)	斑块破碎化指数 FN	FS
1987 年	1.33	0.93	0.51	1.098	0.6695	0.0100	0.2500
1997 年	1.38	1.13	0.33	0.822	0.8159	0.0104	0.2800
2004 年	1.24	1.16	0.45	0.996	0.8359	0.0086	0.2732
2012 年	1.20	1.05	0.34	1.042	0.7586	0.0072	0.2611

4. 湖泊湿地景观演化特征

4.1. 景观空间结构的度量指标

景观生态学是研究景观优化利用的原理和途径的交叉学科,注重研究景观空间结构与生态过程的相互作用,强调空间异质性,景观格局研究是其基础核心研究领域之一^[15]。湖泊湿地景观格局取决于湖泊湿地资源的地理分布和组分,与湖泊湿地生态系统抗干扰能力、恢复能力、稳定性、生物多样性有着密切的关系^[16],是各种生态在不同尺度上综合作用的结果。

景观生态学本身有一套较成熟的景观结构测定、描述和统计的指标体系,这些指标在景观生态学中都有明确的定义,被用来指征景观空间结构与生态过程之间的定量关系。景观格局指数在总体上包括两个方面,即景观单元特征指数和景观异质性指数。景观单元特征指数描述景观生态系统中景观斑块面积、周长和斑块数等特征,景观异质性指数描述景观划分类型或等级之间的构成等整个景观结构型特征,包括多样性指数、分维度指数、均匀度指数等指数。景观格局指数有斑块数(N)、斑块总面积($A_{\text{总}}$)、斑块最大面积(A_{max})、斑块最小面积(A_{min})、斑块平均面积(A)、斑块平均周长(L)、及景观斑块平均形状指标(MSI)、多样性指数(H)、优势度指数(D)、分维数指数(FN)、破碎化指数(FS)等^[17]。本研究根据“3S”处理的数据信息并运用相应的景观格局指数计算方法,得出银川平原湖泊湿地景观空间格局指数动态变化特征,如表 1~3 所示。

4.2. 景观单元特征变化分析

从表 1 可以看出,研究区湖泊湿地景观的斑块数呈现增加的趋势。1987~2012 年间斑块数量增加了 62 个,增加幅度为 16.76%。但是这种上升对应的并不是绝对新斑块的增加,而是原先内部已有斑块破碎造成的。斑块总面积 1987~1997 年十年间湖泊湿地面积急剧减少,退化明显,减幅达 33.33%。1997~2004 年,斑块面积增加了 5890.01 hm^2 ,增幅达 28.28%;2012 年湖泊湿地面积增加到 26663.60 hm^2 ,比 2004 年增加了 5834.66 hm^2 ,增幅达 28.01%。斑块的平均面积呈递增规律,由 1987 年的近 60.56 hm^2 降至 2012 年的 62.72 hm^2 。就内部来看,最大斑块面积增加幅度明显;斑块的平均周长先增加后减少。研究区湖泊湿地景观

单元特征指数的变化情况反映了银川平原湖泊湿地就景观斑块自身面积、周长等特征来看,湖泊湿地资源衰减趋势有所扭转。

从表 2 的斑块等级变化可以看出,研究区内面积分别为 1 hm^2 ~10 hm^2 和 10 hm^2 ~100 hm^2 两个等级的湿地斑块占了绝大多数比重,而小于 1 hm^2 和大于 100 hm^2 两个等级的湿地斑块比重较小,大致符合正态分布。

总体来说,1987~2012 年间,银川平原湖泊湿地的面积呈增加趋势;湖泊湿地资源经历了一个由衰减到恢复的过程,目前湿地资源衰减趋势有所扭转,恢复效果明显,湖泊湿地生态系统趋向良好方向发展。

4.3. 景观异质性变化分析

从表 3 可以看出,研究区平均形状指数 \overline{MSI} 1997 年数值最高,2012 年数值最低,根据 \overline{MSI} 的指示意义可以得出 1997 年银川平原湖泊湿地景观边界最复杂,2012 年的边界最规则化。斑块的分维数有小幅减小, FD 值在 1987 年最高,1997 年最低,根据其指示意义显示,1987 年有效面积最大,也越稳定;1997 年有效面积最小,稳定性越差;2012 年稳定性和有效面积有所恢复,但是仍不及 1987 年。多样性指数在近 25 年内有所增大,1987 年到 2012 年多样性指数增加了 13.31%。在四个不同时期,多样性指数呈现波动变化,整体上呈较微弱的递增趋势,反映了景观各类型或等级所占面积比例差异减小,景观结构趋于复杂。斑块优势度指数整体上呈现下降的趋势,其变化与多样性的变化呈现负相关。斑块破碎化指数 FN 显示 1997 年破碎化程度最大,2012 年的破碎程度有所减轻。

综上分析,随着人类干扰活动的逐渐增强,银川平原湖泊湿地破碎化程度增大,许多湖泊湿地景观被分割为斑块面积较小的湖泊湿地景观,造成景观类型多样性和破碎度指数增加,优势度指数下降。在四个不同时期,湖泊湿地景观的多样性指数呈现增大,反映了景观各类型所占的面积比例差异减小,景观结构趋于复杂。

5. 湿地演化的驱动力分析

湖泊湿地景观变化的驱动因子一般可分为两类:自然驱动因子和人为驱动因子,自然驱动因子常在较

大的时空尺度上作用于景观,它可以引起较大范围的景观变化,主要包括:气候、水文、地质、土壤、植被等,一般表现在较大的时空尺度上。人为驱动因子包括:法规、政策、制度、技术发展水平、文化、观念意识等,推动景观过程和景观格局的变化;化肥工业、科技进步、人口增加、工业发展等影响着湖泊湿地景观的结构的变化。人为因子对景观结构和功能的影响越来越大,越来越关键。

近二十年来银川平原湖泊湿地动态变化是自然因素和人为因素共同作用的结果,两者在不同的时空尺度上相互作用,不仅造成了湖泊湿地景观格局的现状,同时也在一定的范围内引起湖泊湿地景观格局和功能的变化。气候转暖趋干为湖泊湿地退化提供可能性;人类强烈破坏性生产活动,如围湖造田等,使湖泊湿地生态系统物质和能量的输入与输出、生态系统景观结构发生了极大变化,已超出它本身的调节能力,其实质是湖泊湿地生态系统的紊乱和功能的减弱,这使自然因素变化形成的一种可能性变为现实。因而人为因素是湖泊湿地演化的触发因素,起主导作用。因此,研究区湖泊湿地演化的主要因素可归结为“少、多、差”三方面。“少”主要指黄河上游水量逐年减少,水源面临不足,从 2000 年后,宁夏取用黄河水量逐步减少,地下水位也出现了较为快速的下降;“多”指许多湖泊湿地被改造成农田,创地增多;“差”指大量未经处理的工业废水、生活污水、及农田退水排入黄河,造成黄河水质下降,从而也影响到植被和鸟类资源的不稳定。除此之外,节水政策和科学技术也不同程度地影响着湖泊湿地的动态演化。

6. 结论与讨论

6.1. 结论

1) 从景观斑块的动态变化看,银川平原湖泊湿地景观斑块数量 N 、总面积 $A_{总}$ 、斑块最大面积 A_{max} 、斑块最小面积 A_{min} 、斑块平均面积 \bar{A} 、平均周长 \bar{L} 等特征整体呈增加的趋势;但平均斑块面积增加幅度很小,整体上景观呈现破碎化的趋势。

2) 在景观内部结构中,虽然部分指标特征有所改善,但整体仍呈脆弱化、不稳定化的变化趋势,如 2012 年 FD 、 D 、 FN 、 D 等指数特征虽都明显好于 1997 年,但是与 1987 年状态相比仍有差距。

3) 银川平原湖泊湿地景观动态演化的驱动力因子有气候和水文的自然因子以及工业发展和农业开发活动等人为因子,其中人为因子为主要的驱动力因子。

4) 研究结果表明银川平原湖泊湿地资源经历了一个由衰减到恢复的过程,目前衰减趋势有所扭转,恢复效果明显,湖泊湿地生态系统趋向良好的发展方向。

6.2. 讨论

文中量化分析了银川平原湖泊湿地景观空间格局动态演化特征,由于数据来源于 1987、1997、2004、2012 年四个年份的遥感数据,相关的数据资料不具有连续性,所以对其湖泊湿地空间格局动态演化特征分析还不够全面深入透彻。但是由于 3S 技术强大的时空定位、分析功能以及景观空间格局指数准确的时空格局特征计算功能,研究结果仍具有一定的科学性,对银川平原区域生态建设以及生态安全维护等方面具有参考意义。

今后,银川平原要建立完善的湿地检测体系,加强面积处于中等等级湖泊湿地的调查与监测,对其采取积极保护与恢复措施,使数量、面积、优势度指数等达到稳定状态;以最小干预为原则,减少诸如形状边界人工化、规则化以及隐性不稳定现象的存在;建立湿地生态系统补偿机制,以确保银川平原湖泊湿地资源科学合理开发利用,实现湖泊湿地资源的社会、经济和生态效益的协调统一。

参考文献 (References)

- [1] A. Crowe. Quebec 2000: Millennium wetland event program with abstracts. Quebec: Elizabeth MacKay, 2000: 1-256.
- [2] R. H. Kadlec, R. L. Knight. Treatment wetlands. Chelsea: Lewis Publishers, 1996: 1-124.
- [3] 朱建国, 李应中. 中国湿地研究现状综述[J]. 中国农业资源与区划, 2009, 2: 21-24.
- [4] 湿地国际——中国项目办. 湿地经济评价[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999: 20-22.
- [5] 渠晓毅, 刘晓鹏, 邵宁平. 银川市湖泊湿地景观空间格局动态演化分析[J]. 干旱区研究, 2008, 12(3): 27-32.
- [6] 孙鹏. 近 50 年图们江流域湿地景观动态变化及驱动机制研究[D]. 延安大学, 2011.
- [7] 王丹丹, 王志强, 陈铭, 张树清. 松嫩平原西部沼泽湿地景观格局动态变化研究[J]. 干旱研究, 2006, 29(1): 94-97.
- [8] 胡汝骥, 姜逢清, 王亚俊等. 论中国干旱区湖泊研究的重要意义[J]. 干旱区研究, 2007, 3(2): 137-140.
- [9] 全小虎, 宋春玲. 宁夏湿地生态旅游可持续开发[J]. 湿地科

基于 TM 影像的银川平原湖泊湿地景观空间格局动态演化研究

- 学与管理, 2007, 9(3): 23-27.
- [10] 汪一鸣. 宁夏人地关系演化研究[M]. 银川: 宁夏人民出版社, 2005, 10: 76-89.
- [11] 汪一鸣. 银川平原湖沼的历史变迁与今后利用方向[J]. 干旱区资源与环境, 1992, 3(1): 47-56.
- [12] 马建林, 何彤慧. 银川平原湿地的初步研究[J]. 宁夏大学学报自然科学版, 2002, 23(4): 377-380.
- [13] 李建新. 景观生态学实践与评述[M]. 北京: 中国环境出版社, 2009.
- [14] 黄俊芳, 王让会, 师庆东. 基于 RS 与 GIS 的三工河流域生态景观格局分析[J]. 干旱区研究, 2004, 1(6): 33-37.
- [15] 邓帆, 王学雷, 厉恩华等. 1993~2010 年洞庭湖湿地动态变化[J]. 湖泊科学, 2012, 24(4): 571-576.
- [16] 刘红玉, 张世奎. 三江平原湿地景观结构的时空变化[J]. 地理学报, 2004, 59(3): 391-400.
- [17] 汪爱华, 张树清, 何艳芬. RS 和 GIS 支持下的三江平原沼泽湿地动态变化研究[J]. 地理科学, 2002, 10(5): 636-640.