

基于 RS 和 GIS 扎龙湿地景观时空演变研究^{*}

龚文峰¹, 袁力², 范文义²

(1. 黑龙江大学, 哈尔滨 150086; 2. 东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要:以 RS、GIS 技术手段, 1995 年、2000 年和 2004 年 Landsat TM 遥感数据为主要数据源, 分析研究区域景观结构、主要景观要素的时空演变、景观组分变化和转移过程, 并定性分析景观动态变化特征和驱动机制。结果表明: 研究区域呈现以沼泽地景观为基质的草地景观、耕地景观等相对为主体的交错湿地景观格局; 沼泽湿地景观、水域景观、耕地景观、草地景观等在转移过程中保持较大的保留率; 草地、沼泽地和沼泽地、草地是研究区域的主要景观类型的优势转移过程, 处于主导地位, 草地、盐碱地, 自然因素为该景观类型的转变及区域生态环境恶化的重要原因, 盐碱地、草地, 反映出土地利用动态变化驱动机制的复杂性; 对土地的利用一般应按照一定的规划原则进行, 做到土地的合理利用, 实现土地资源的永续利用和区域可持续发展。

关键词:景观动态; 景观组分; 驱动机制; 时空演变

中图分类号: P901

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)01-0107-06

Temporal-spatial Evolution of Landscape Elements in Zhalong Wetland Based on RS and GIS

GONG Wen-feng¹, YUAN Li², FAN Wen-yi²

(1. Heilongjiang University, Harbin 150086, China; 2. Northeast Forestry University, Harbin 150040, China)

Abstract: Supported by RS, GIS and using the image data in 1995, 2000 and 2004, landscape structure, major landscape elements temporal-spatial evolution, the dynamics change and the conversion processes of landscape elements were studied. The change and its driving force mechanism of landscape elements were quantitatively analyzed. The results shown that: the dominant wetland landscape pattern composed with swamp, crop land, grass land was patched with other land; swamp landscape, water area landscape, crop land landscape and grass land landscape had the higher preserving ratio; grass land, swamp and swamp, grass land were the dominant transfers procedure of the main landscape types in study region, which played a leading role, grass land, saline-alkaline land showed that the natural factors caused this land use transfers and ecological environment worsened, saline-alkaline land, grass land showed that the driving force mechanism of land use was complicated; the land use was made rational use based on certain planning project, which made land use containable and sustainable development of study region.

Key words: landscape dynamics; landscape elements; driving force mechanism; temporal-spatial evolution

景观动态变化过程实质上包括不同组分之间复杂的相互转化过程^[1], 直接后果是导致景观组分格局特征发生剧烈变化^[2-4], 不同景观组分之间的复杂转移过程受到自然环境条件、区域农业生产经营和生态保护需求的综合约束^[5-6]。转移概率矩阵是揭示特定时段不同土地利用类型之间数量变化关系的有效手段^[7-9], 可衡量某一景观组分在景观变化过程

中受到的影响程度, 但是无法对景观动态变化的驱动机制研究提供更有力的支持^[10], 而景观组分转移过程参数可揭示景观演变规律和机制^[11]。在 RS 和 GIS 支持下, 以扎龙湿地为例, 通过计算景观组分的保留率、特定组分转入贡献率、转出贡献率和特定转移过程贡献率, 探讨景观动态变化特征及驱动机制, 揭示景观格局演变趋势与自然生态过程的关系, 为

* 收稿日期: 2009-08-10

基金项目: 国家“863”项目(2006AA12Z104); 国家林业局野生动植物保护管理项目(41325702); 黑龙江教育厅项目(11531294); 黑龙江省自然科学基金(C2007-17, C200527); 黑龙江大学校青年基金(QL200640)

作者简介: 龚文峰(1976-), 男, 河南省南阳市人, 博士, 主要从事土地利用和景观生态等方面的研究。E-mail: gwf101@163.com

土地合理利用和湿地资源的保护及可持续发展等提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

扎龙湿地位于黑龙江省西部,松嫩平原乌裕尔河下游、齐齐哈尔市东南、林甸县西南和杜尔伯特蒙古族自治县西北交界地。地理坐标为:46°52' - 47°32' N, 123°47' - 124°37' E,属温带大陆性季风气候,位于半湿润向半干旱过渡的生态脆弱带,全区平均海拔 144.0 m,年平均温度 3.9℃,年平均降水量 402.7 mm。扎龙湿地以芦苇沼泽为主,另外还有草甸草原、农田防护林泡等生境类型。其中以芦苇沼泽面积最大,总盖度 80%~90%,野生丹顶鹤数量约占世界总量的 1/6。在世界鹤类保护及湿地生态系统保护事业中占有重要位置。扎龙湿地不仅为鹤类等珍稀鸟类提供了栖息地,且对调节黑龙江省西部地区干旱气候、平衡降雨、蓄水、分洪等方面也发挥重要作用^[12]。

1.2 研究方法

1.2.1 数据处理 以 1:5 万的地形图为地理参考数据,在 ERDAS IMAGINE 9.0 下,对 1995 年 7 月、2000 年 8 月和 2004 年 7 月 Landsat TM 遥感图像进行几何校正,参照 1:10 万的土地利用图和 GPS 外业调查数据,采用监督分类和目视解译相结合的方法对完成景观分类与制图,进而得到研究区域土地利用数据^[13-15],分为 7 个类型:耕地、有林地、草地、水域、盐碱地、居民工矿用地、沼泽湿地。

1.2.2 研究方法 利用 ArcGIS 的空间分析功能,通过景观组分转移概率矩阵计算不同景观组分的总体变化情况及不同时段组分的保留率、特定组分转入贡献率、转出贡献率和特定转移过程贡献率,从而通过组分转移概率来研究景观的动态变化,计算公式如下^[10]。

(1) 特定组分转入贡献率参数。指其他景观组分向某一特定景观组分转入的面积占景观总转移发生量的比例。该参数可用于比较不同组分在景观动态变化的转入过程中面积增量分配的差异。

$$T_{ii} = \frac{\sum_{j=1}^n A_{ji}}{A_i} \quad (1)$$

式中: A_{ji} ——第 j 种组分向第 i 种组分转移的面积; A_i ——景观组分发生转移的总面积; n ——景观组分的类型数量。

(2) 特定组分转出贡献率参数。指某一特定景观组分向其他景观组分转移的面积占景观总转移发

生量的比例。该参数可用于比较不同组分在景观动态变化的转出过程中面积减量分配的差异。

$$T_{\alpha} = \frac{\sum_{j=1}^n A_{ji}}{A_i} \quad (2)$$

式中: T_{α} ——组分转出贡献率,其它参数同上。

(3) 特定转移过程贡献率参数。指一个具体转移过程的转移面积占景观总转移发生量的比例。该参数可用于比较景观动态变化过程中特定景观转移过程的重要性程度差异。

$$T_{pi} = A_{ji} / A_i \quad (3)$$

式中: T_{pi} ——特定转移过程贡献率。

(4) 组分保留率为比较分析不同景观组分在研究时段内的稳定性情况,本研究还计算了各个阶段组分的保留率情况。

$$BR_i = BA_i / TA_i \quad (4)$$

式中: BR_i ——某一阶段第 i 种景观组分保留率; TA_i ——比较初始年份该组分的总面积; BA_i ——比较时段内没有发生变化的第 i 种景观的组分面积。

2 结果与分析

2.1 研究区域总体景观特征

1995 年、2000 年和 2004 年各景观类型面积所占比例的顺序均为:沼泽地>草地>耕地>盐碱地>水域>居民工矿用地>林地。沼泽地景观占据较大的优势,面积百分比均大于 50%,分别为 55.34%、56.40%和 54.77%,是研究区基质景观,控制着整个区域的物流和能量流动;草地也占据一定的优势;有林地景观和居民工矿用地景观占据较小的比例。可见,自然景观(沼泽地、草地)占据主导地位,半自然景观(盐碱地和部分水域)占据一定比例,人为景观(有林地、居民工矿用地)占据较小比例,处于支配地位,形成以沼泽景观为主体,草地、耕地等其它景观类型镶嵌分布的景观格局,这与保护区的性质、当地居住的人口数量及经济发展程度有关(见表 1)。

2.2 主要景观要素的空间按格局时空演变

由表 1 可知,沼泽地、草地、耕地、盐碱地、水域为研究区域的主要景观要素。沼泽地景观 1995 - 2004 年面积减少了 12.88 km²,所占比例减少了 0.57%,其中 1995 - 2000 年面积增加幅度为 1.8%,2000 - 2004 年面积减少幅度为 2.8%,经历了略微增加,而后较大幅度减少的变化过程,受自然因素和人为活动的双重影响,被围垦成为农田和不断沙化、盐碱化的多重威胁下,造成该景观类型处于自然退化和不断萎缩状态;斑块数目由 1995 年的 44 增加到 2000 年和 2004 年的 51 和 57,呈现递增的趋

势,斑块平均面积呈现递减的趋势,表明其破碎化程度加重,岛屿化、片段化加剧,归因于大量的人为活动(道路和水利工程的建设)改变了沼泽湿地的空间格局,破坏其完整性。1995 - 2004 年草地景观面积减少了 79.01 km²,其中 1995 - 2000 年面积减少了 96.63 km²,2000 - 2004 年面积增加了 17.62 km²,变化区域集中在保护区的核心区,滥牧、滥垦等不合理的人为活动是造成草地面积减少和质量下降的主要原因;斑块数目由 1995 年的 196 个一直递减到 2000 年和 2004 年的 121 个和 110 个,平均面积呈现递增,表明草地景观破碎化程度降低,连通性增强,由相对分散的随机分布逐步趋向集中。1995 - 2004 年,耕地景观所占面积比例增加了 0.68%,其中 1995 - 2000 年耕地景观所占面积比例减少了 0.06%,2000 - 2004 年面积所占比例增加了 0.74%,呈现先减少而后增加的变化态势,斑块数目的变化趋势与之相同,由于当地社区的经济发展和村屯城镇化进程的加快,加大了对草地、沼泽湿地进行过度开垦和放牧等干扰活动,造成草地和沼泽湿

地面积减少,耕地面积和斑块数不断增加,对土地的利用规划还不够合理;斑块平均面积呈现先增加而后减少的变化,表明该景观类型的分布格局由相对集中趋向分散,破碎度增大。1995 - 2004 年,盐碱地景观面积增加了 39.4 km²,表明区域的生态环境水平继续恶化,除了人为干扰活动外,自然环境的脆弱性和气候条件的不断恶化^[16],导致耕地和沼泽湿地大规模的盐碱化和沙化也是一个重要的原因,其中 1995 - 2000 年增加了 63.94 km²,2000 - 2004 年减少了 24.54 km²;斑块数目和斑块平均面积呈现递增的趋势,该景观类型完整性增加,景观破碎化程度有所降低。水域景观一直呈现增长态势,除了自然降雨外,主要归功于乌双流域和嫩江流域的生态补水^[17-18];斑块数目呈现先减少而后增加的变化态势,平均面积一直处于增加的趋势,归因于清淤和修建养鱼池塘等以及在湿地周围修建了大量水渠等人为活动,改变了水域的时空分布,使得大量小斑块连接在一起,形成少量大斑块,大斑块之间的连接性增强,复杂程度增大。

表 1 1995 - 2004 年景观类型数据

景观类型	1995 年			2000 年			2004 年		
	面积/ km ²	比例/ %	斑块数/ 个	面积/ km ²	比例/ %	斑块数/ 个	面积/ km ²	比例/ %	斑块数/ 个
草 地	457.69	20.34	196	361.06	16.05	121	378.68	16.83	110
水 域	105.30	4.68	189	107.23	4.77	177	126.73	5.63	203
耕 地	255.45	11.35	165	254.09	11.29	160	270.67	12.03	256
沼泽地	1245.34	55.34	44	1269.16	56.40	51	1232.46	54.77	57
盐碱地	159.52	7.09	110	223.46	9.93	129	198.92	8.84	166
有林地	1.08	0.05	7	10.77	0.48	56	17.74	0.79	117
居民工矿用地	25.78	1.15	116	24.39	1.08	110	24.95	1.11	124

2.3 景观组分转入和转出贡献率分析

通过景观组分转入贡献率和景观组分转出贡献率两个数量指标来描述景观的动态进程和总体变化特点,进而描述景观动态变化的总体特点和内在驱动机制,本文分 1995 - 2000 年和 2000 - 2004 年 2 个阶段进行研究。可知(表 2),体现研究区域景观动态变化的主要景观类型有:草地、耕地、盐碱地和沼泽湿地。1995 - 2000 年,沼泽湿地的转入贡献率最高,其次是盐碱地和草地,最后是耕地景观;草地景观的转出贡献率最大,远大于其它景观类型,其次是沼泽

湿地和耕地景观,最小的是盐碱地景观。首先,由于草地景观的转入贡献率要远小于其转出贡献率,故草地面积不断递减,反映出草地景观依旧受到人类干扰比较严重;其次,沼泽湿地的转出贡献率小于转入的贡献率,沼泽湿地面积的增加表明人们对湿地的保护力度得到了加强;再次,耕地景观的转出贡献率大于转入贡献率,耕地面积的减少可能受到退耕还林等政策的影响;最后是盐碱地景观,其转入贡献率大于转出贡献率的,说明盐碱地面积是不断增大,区域生态环境的质量不容乐观。

表 2 景观组分转入和转出贡献率

时期	贡献率类型	草地	水域	耕地	沼泽湿地	盐碱地	有林地	居民工矿用地
1995 - 2000	转入	14.12	7.48	13.37	32.72	26.74	3.03	2.54
	转出	47.67	3.45	16.34	20.14	10.63	0.17	1.50
2000 - 2004	转入	28.46	10.02	14.83	22.51	18.47	3.25	2.46
	转出	24.65	4.78	10.77	31.25	25.15	1.19	2.19

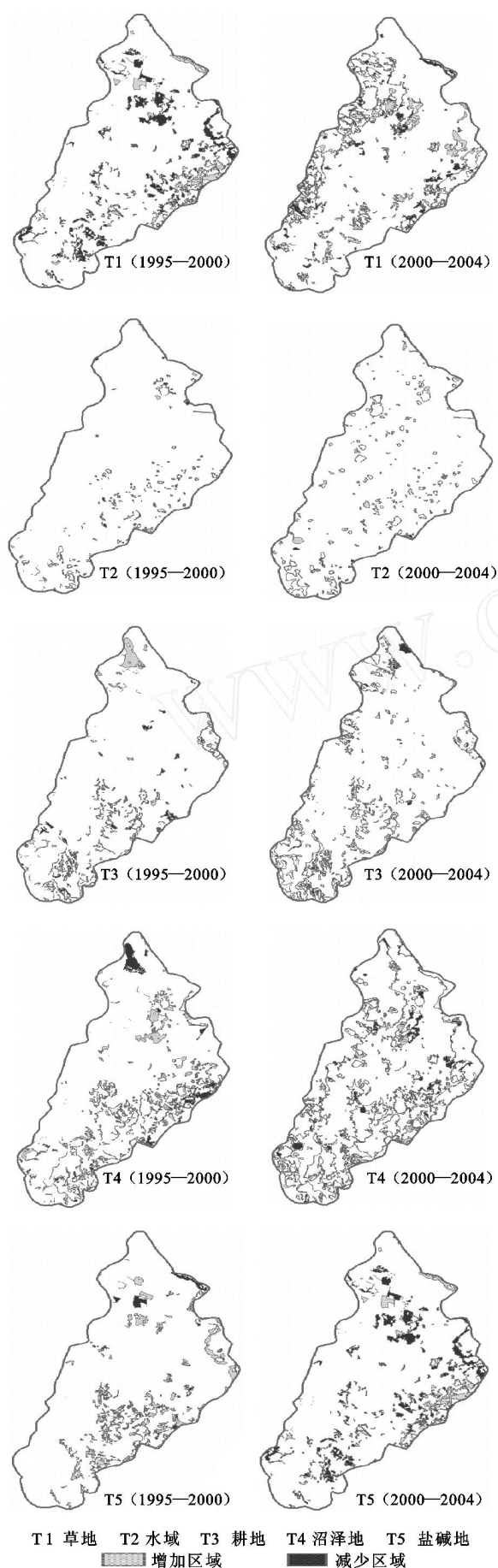


图 1 主要景观要素变化图

2000 - 2004 年,草地景观的转入贡献率最高,其次是沼泽湿地和草盐碱地,最后是耕地;沼泽湿地的转出贡献率最大,其次是沼泽湿地和草盐碱地,最后是耕地。首先,沼泽湿地景观的转出贡献率要大于转入贡献率,由于自然环境和人为活动干扰的双重影响,沼泽湿地退化成草甸和干草原,造成其面积有所减少;其次,草地景观的转入贡献率要大于转出贡献率,其面积是增加受到退耕还草等政策的影响;再次,盐碱地景观的转出贡献率也大于转入贡献率,表明区域生态环境恶化程度有所缓解,但仍需要保护,最后是耕地景观,其转入贡献率大于转出贡献率,耕地面积增大,归因于人们对退化湿地和草地不合理的开发改造并进行耕作。

此外,有林地景观、水域景观和居民工矿用地景观都保持着较大的转入贡献率和较小的转出贡献率,表明这些景观类型的面积一直处于稳定增长的状态。

2.4 景观组分保留率

景观组分的保留率是指比较时段截止年份与起始年份相比,没有发生变化的面积占起始年份总面积的比重。不同景观组分在动态转移过程中的行为特征可以通过保留率加以刻画^[8]。可知:沼泽湿地景观、水域景观、耕地景观、居民工矿用地景观和草地景观等具有较大的景观保留率(表 3)。

1995 - 2000 年,沼泽湿地景观的保留率最大,沼泽湿地景观是研究区域的基质景观,转化为其它景观类型的面积较小;其次是水域景观,是受到 1998 年洪水灾害和生态补给水的影响,水域面积较大,且转移为其它景观类型的面积比较小;最小的为有林地景观,反映了有林地被改造和开垦,土地利用类型发生了变化,转移为其它景观类型的面积比较大。2000 - 2004 年,沼泽湿地景观的保留率最大,其次是水域景观,最小是盐碱地景观,表明盐碱地的土地利用发生了一定的变化,区域生态环境恶化的状况有所缓解,但是保护和改善脆弱的区域生态环境的任务仍然非常艰巨^[16];有林地景观具有较大的保留率,反映出“退耕还林”政策的作用。

2.5 特定转移过程贡献率分析

利用景观组分的转入/转出贡献率缺乏详细刻画景观内部组分之间的转移信息,从而影响了对其内部驱动和转移机制的进一步分析。特定转移过程贡献率的分析则可以进一步印证组分转移贡献率的分析结果,且可以更加清晰地揭示景观动态变化的主要驱动机制^[9]。其中特定转移过程贡献率的结果见表 4。

表 3 不同阶段景观组分保留率								%
时期	草地	水域	耕地	沼泽湿地	盐碱地	有林地	居民工矿用地	
1995 - 2000	60.07	85.82	74.42	93.40	72.86	28.65	73.84	
2000 - 2004	71.59	83.29	82.59	90.27	54.98	61.96	68.00	

表 4 不同阶段的景观转移过程及其贡献率(1995 - 2000)			
转移类型	贡献率/ %	转移类型	贡献率/ %
草地 耕地	6.0428	耕地 草地	2.6794
草地 盐碱地	17.4613	盐碱地 草地	4.8979
草地 沼泽湿地	22.3969	沼泽湿地 草地	5.6478
耕地 盐碱地	5.3359	盐碱地 耕地	0.7370
耕地 沼泽湿地	3.9066	沼泽湿地 耕地	6.2001
盐碱地 沼泽湿地	3.4155	沼泽湿地 盐碱地	3.0796
水域 沼泽湿地	2.5377	沼泽湿地 水域	5.0140

表 5 不同阶段的转移过程及其贡献率(2000 - 2004)			
转移类型	贡献率/ %	转移类型	贡献率/ %
草地 耕地	4.0195	耕地 草地	1.9582
草地 盐碱地	7.5306	盐碱地 草地	13.6904
草地 沼泽湿地	11.0434	沼泽湿地 草地	12.1091
耕地 盐碱地	2.9732	盐碱地 耕地	4.1272
耕地 沼泽湿地	2.2476	沼泽湿地 耕地	4.6438
盐碱地 沼泽湿地	5.4647	沼泽湿地 盐碱地	6.4783
水域 沼泽湿地	3.3897	沼泽湿地 水域	7.6524

通过特定转移过程贡献率来研究土地利用类型的动态变化(表 4 - 5),其中优势景观转移过程主要表现为有:草地 耕地、耕地 草地;草地 盐碱地、盐碱地 草地;草地 沼泽湿地、沼泽湿地 草地;耕地 盐碱地、盐碱地 耕地;耕地 沼泽湿地、沼泽湿地 耕地;盐碱地 沼泽湿地、沼泽湿地 盐碱地;水域 沼泽湿地、沼泽湿地 水域,主要转移过程基本反映了研究区域内土地动态变化的主要驱动机制^[19]。其结果具体分析如下:

1. 草地 沼泽地和沼泽地 草地是研究区域主要土地利用类型的优势转移过程,处于主导地位。对于草地 沼泽湿地而言,除了自然环境和气候条件的影响外,主要归功于对湿地的加强保护和生态补水,从侧面也反映出不同时期农业政策和农业需求的驱动影响^[16],1995 - 2000 年的转移结果较大。沼泽湿地 草地,体现了沼泽湿地的退化进程,研究区域呈现出沼泽 沼泽化草甸 草甸草原方向变化^[20],特别是芦苇沼泽湿地演变为旱生或有碱蓬生长的盐生草甸,形成碱蓬盐沼或永久的碱滩,当地水文情势变化是该景观变化的主要驱动机制,2000 - 2004 年的结果较大。
2. 草地 盐碱地和盐碱地 草地两类景观类型转移在研究区域中也占据比较重要的地位,表明盐碱地的主要转移来源为耕地和草地。其中草地 盐

碱地,自然环境的脆弱性和气候条件的不断恶化成为该转变和生态环境不断恶化的重要原因,表明环境因子导致土地利用结构和生态过程中的改变;同时外加人类滥牧、滥垦等不合理活动,草地被改造为耕地或者直接退化为盐碱地,加速区域生态环境退化,1995 - 2000 年的结果大于 2000 - 2004 年的。盐碱地 草地,在人类参与区域环境改造活动强度不断加大和自然环境因素的双重影响下,呈现这一逆向的转移过程,反映出土地利用动态变化驱动机制的复杂性^[16],2000 - 2004 年的结果大于 1995 - 2000 年的,充分说明 2000 - 2004 年间土地利用的复杂程度较高。

3. 耕地 沼泽湿地和草地:主要归功于政策导向和当地居民觉悟提高,人们对湿地保护和对退耕还草工程和退耕还林等政策认识不断加深,促使了该景观组分类型的转移,1995 - 2000 年的结果较大;沼泽湿地和草地 耕地,源于人口数量的增长和对经济利益的驱使,该转移过程不仅说明了耕地主要来源,也表明人类对沼泽湿地和草地开发改造的不合理活动,如滥建、滥垦等,并在改造区域上进行耕作,造成草地和沼泽湿地面积减少,生态环境退化,人为因素在此过程中处于主导作用,1995 - 2000 年的结果要大于 2000 - 2004 年。

4. 盐碱地 耕地这一过程的转变,表明人为因子导致土地利用结构和生态过程中的改变,随着经济和社会不断的发展,人类对土地的利用和改造程度不断提高,加大了盐碱地的治理,使土地利用类型趋向合理化,从侧面反映了人类活动范围增大和强度增加以及农牧业快速扩张,对研究区域的土地类型存在着一定的潜在危险,1995 - 2000 年的结果较小。耕地 盐碱地,表明环境因子导致土地利用结构和生态过程中的改变,除了自然因素外,人类的不合理活动导致耕地大规模的盐碱化和沙化,人为因素在此过程中处于主导作用,同时也说明人类活动对研究区域的过度干扰是区域环境恶化的重要因素,1995 - 2000 年的结果较大。

5. 水域 沼泽湿地,除了自然因素外,人类对沼泽湿地的不合理开垦,改变了水资源空间分布格局,破坏了沼泽湿地的水文循环,造成水质不断的恶化和水域面积逐步减少,加速了水域不断的退化和沼泽化进程,1995 - 2000 年的结果较小;沼泽湿地 水域,则主要反映了当地自然环境变化对生态过程

的驱动作用,同时对扎龙湿地进行生态补水也是一个重要的因素,1995 - 2000 年的结果较小。

6. 盐碱地 沼泽湿地,体现出土地利用结构和生态过程中改变了环境因子,生态环境的恶化程度趋向缓解,且生态环境的质量有所改善,1995 - 2000 年的结果要小于 2000 - 2004 年;沼泽湿地 盐碱地,对于研究区域多年的气象数据表明,气温明显上升,降水减少,干燥度增大,气候已经出现由半干旱区向干旱区过渡的特征^[16],导致沼泽湿地大规模的盐碱化和沙化,自然因素是该土地利用变化的重要原因。除了自然环境因素影响外,人类的不合理干扰活动在土地利用类型中占据一定的作用,1995 - 2000 年的结果要小于 2000 - 2004 年。

3 结论与讨论

(1) 区域内各类生态景观斑块的数量、面积及空间位置都发生了不同程度的变化,但区域呈现以沼泽地景观为基质的草地、耕地和盐碱地景观等相对为主体的交错湿地景观格局,其余景观类型呈补丁状散布该区域之中,总体上景观格局没有发生变化。

(2) 通过矩阵转移法来研究特定时段不同土地利用类型之间数量时空变化。1995 - 2000 年,沼泽湿地是研究区内具有最高转入贡献率和保留率的景观组分,草地景观转出贡献率最大的景观组分;2000 - 2004 年,草地景观是研究区内具有最高转入贡献率景观组分,沼泽湿地具有最大转出贡献率的景观组分,沼泽湿地景观的保留率最大。

(3) 草地 沼泽地和沼泽地 草地是研究区域的主要景观类型的优势转移过程,处于主导地位,草地 盐碱地,自然因素成为该景观组分类型的转变和生态环境恶化的重要原因,盐碱地 草地,反映出土地利用动态变化驱动机制的复杂性。

(4) 在经济发展的同时,对土地的利用一般应按照一定的规划原则进行,加大对湿地的保护力度,做到土地的合理利用,同时还要协调好资源的可持续利用和环境的发展,实现土地资源的永续利用和区域可持续发展。

参考文献:

- [1] 曾辉,唐江,郭庆华. 珠江三角洲东部地区常平镇景观组分转移模式及动态变化研究[J]. 地理科学,1999,19(1):73-77.
- [2] Carlson T N, Arthur S T. The impact of landuse-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: a satellite perspective[J]. Global and Planetary Change,2000,25:49-65.
- [3] 曾辉,喻红,郭庆华. 深圳市龙华地区城镇用地动态模

型建设及模拟研究[J]. 生态学报,2000,20(4):545-551.

- [4] 陈利顶,傅伯杰. 黄河三角洲地区人类活动对景观结构的影响分析:以山东省东营市为例[J]. 生态学报,1996,16(4):337-344.
- [5] Wang Y Q, Zhang X S. A dynamic modelling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes[J]. Ecological Modelling,2001,140:141-162.
- [6] Oh K. Landscape Information System: A GIS approach to managing urban development [J]. Landscape and Urban Planning,2001,54:79-89.
- [7] 李哈滨,伍业钢. 景观生态学的数量研究方法[M]. 北京:中国科学技术出版社,1992.
- [8] 肖笃宁. 宏观生态学研究的特点与方法[J]. 应用生态学报,1994,5(1):95-102.
- [9] 徐岚,赵羿. 利用马尔可夫过程预测沈阳东陵区土地利用格局的变化[J]. 应用生态学报,1993,4(3):272-277.
- [10] 曾辉,高凌云,夏洁. 基于修正的转移概率方法进行城市景观动态研究:以南昌市区为例[J]. 生态学报,2003,23(11):2201-2209.
- [11] 臧淑英,张晶,于兵. 黑龙江省大庆市景观动态及其生态环境效应研究[J]. 自然科学进展,2005,15(3):321-328.
- [12] 韩敏,程磊,刘权. 扎龙湿地沼泽的提取模型研究[J]. 国土资源遥感,2004(1):43-47.
- [13] 胡志斌,何兴元,江晓波,等. 岷江上游典型时期景观格局变化及驱动力初步分析[J]. 应用生态学报,2004,15(10):1797-1803.
- [14] 刘瑞民,杨志峰,沈珍瑶,等. 基于 DEM 的长江上游土地利用分析[J]. 地理科学进展,2006,25(1):102-108.
- [15] 陆石阁,许月卿,蔡云龙. 基于遥感技术和 GIS 的小流域土地利用/覆被变化分析[J]. 地理科学进展,2005,4(1):79-86.
- [16] 王志强,张柏,张树清,等. 吉林省西部景观动态特征及其生态环境安全响应研究[J]. 水土保持学报,2005,19(6):131-137.
- [17] 邹红菲,孙岩,马建章. 扎龙湿地注水后恢复初期丹顶鹤繁殖行为观察[J]. 东北师大学报:自然科学版,2004,36(3):73-77.
- [18] 崔丽娟,鲍达明,肖红,等. 扎龙湿地生态需水分析及补水对策[J]. 东北师大学报:自然科学版,2006,38(3):128-132.
- [19] 袁力,赵雨森,龚文峰,等. 基于 RS 和 GIS 扎龙湿地土地利用景观格局演变的研究[J]. 水土保持研究,2008,15(3):49-53.
- [20] 臧淑英,倪宏伟,李艳红. 资源型城市土地利用变化与湿地生态安全响应:以黑龙江省大庆市为例[J]. 地理科学进展,2004,23(5):33-42.