

额尔齐斯河流域 1990—2010 年湿地遥感监测分析

杨 涵^{1,2},王延慧¹,吴金鸿¹

(1.新疆师范大学地理科学与旅游学院,新疆 乌鲁木齐 830054;2.新疆大学资源与环境学院,新疆 乌鲁木齐 830054)

摘要 :应用遥感和地理信息系统等技术手段,基于额尔齐斯河流域 1990 年、2000 年、2010 年的 Landsat TM 影像和 2005 年、2008 年的 CBERS-02 影像,结合多层环境要素数据库、野外定点调查数据等,通过人机交互式解译构建了上述 5 年额尔齐斯河流域湿地空间数据库。分析了湿地空间数据,总结出额尔齐斯河流域 1990—2010 年的湿地变化特征。结果表明:天然湿地面积呈波动变化,总体上 2010 年天然湿地面积大于 1990 年的面积,增加面积主要来源于湖泊和沼泽及沼泽化草地,而河谷林及滩地的面积呈逐年减小的趋势;人工湿地面积增加较显著,主要因为水浇地面积大幅增加,而水库、坑塘面积呈波动变化,总体上也呈增加趋势。

关键词 湿地;时空变化;遥感监测;额尔齐斯河流域

中图分类号:TV211.1⁺1 文献标志码:A 文章编号:1006-7647(2012)01-0022-05

Remote sensing monitoring and analysis of wetland in Irtysh River Basin during the period from 1990 to 2010//YANG Han^{1,2}, WANG Yan-hui¹, WU Jin-hong¹(1. Department of Geography and Tourism Science Institute, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China; 2. College of Resources and Environment, Xinjiang University, Urumqi 830054, China)

Abstract : By means of the techniques of remote sensing and geographic information system, a spatial database for the wetland in Irtysh River Basin for the years of 1990, 2000, 2005, 2008 and 2010 is developed through the man-machine interactive interpretation approach based on its Landsat TM images of 1990, 2000 and 2010, CBERS-02 images of 2005 and 2008, database of environmental factors and field investigation data. The spatial database is analyzed. The variation characteristics of the wetland in Irtysh River Basin during the period from 1990 to 2010 are summarized. The results show that the area of the natural wetland has a fluctuating variation. Generally, the area of the natural wetland in 2010 is larger than that in 1990. The incremental area mainly comes from lakes, swamps and swamped grasslands, but the area of the valley forests and beaches has a gradual decreasing trend. The area of the artificial wetland has an obvious increase owing to the dramatic increase of the irrigated area, while the area of reservoirs and ponds has a fluctuating change and also has an increasing tendency.

Key words : wetland; temporal and spatial variation; remote sensing monitoring; Irtysh River Basin

湿地是地球上水生与陆地生态系统的过渡区,与森林、海洋一起并称为全球三大生态系统^[1]。湿地是最有价值 and 生产力最高的生态系统,是人类生产、生活资料的重要源泉,还具有生物多样性富集的特点,是众多植物、动物的繁衍栖息地,堪称基因库^[2]。然而,由于自然原因及人类对湿地资源的不合理利用和管理,造成湿地生态结构的变化和某些生态功能的改变或丧失,导致湿地面积减少、水质恶化、植被退化、土壤沙化等^[3]。湿地研究已成为当前地理科学、环境科学与生态科学等多种学科交叉的一个热门领域。西北干旱半干旱区湿地是我国重要的湿地类型之一,与其他湿地分布区域相比,该区内湿地的景观生态研究较少,系统研究近乎空白,急需

加强这方面的工作^[4]。

额尔齐斯河流域是新疆湿地的集中分布区之一,具有多种湿地类型,加之该区域地处额尔齐斯河上游,额尔齐斯河的水土资源开发以及环境保护建设一直是国内和邻国关注的重要区域。本文以遥感影像为信息源,从现状、动态变化等方面对 1990—2010 年中国境内的额尔齐斯河流域湿地利用情况进行定量和定性分析,揭示其时空动态变化特征。

1 研究区概况

额尔齐斯河源于阿尔泰山脉,是我国唯一的北冰洋水系河流,水资源丰富^[5-6],有乌伦古河、额尔齐斯河两大水系。额尔齐斯河支流发源于阿尔泰山中

段南坡,平行注入额尔齐斯河,是十分典型的梳状水系^[7-8]。该流域所在地属温带干旱区,热量较少,气候温凉,平原降水少,山区降水丰富,多大风,无霜期短,土地资源和水资源相对比较丰富,但水资源分布不平衡,东部少西部多,南部少北部多。地貌上可分为山区和平原两大部分,山区森林、草场繁茂,植被垂直分带完整,分异明显;平原河谷、冲积扇扇缘以及低地等生态条件稍好。该流域有喀纳斯湖湿地、阿尔泰山东南部湿地(三道海子)、乌伦古湖和吉力湖湿地等中国重要湿地。

额尔齐斯河流域的自然条件较为优越,长期的林牧矛盾及大规模水土开发工程使额尔齐斯河河谷受到了强烈的人为干扰,湖面积缩小,水位降低,湖周围地下水位下降,植被稀疏,河谷天然林系统受到严重破坏,局部地段沙漠化、盐碱化日益加剧,河道周围愈加严重的水土侵蚀使农田系统、草地系统等受到影响^[5,9]。本研究区域包括中国境内的额尔齐斯河流域和乌伦古河流域(以下简称额尔齐斯河流域)。

2 数据来源与数据处理

2.1 数据源收集

a. 遥感数据。收集 1990 年、2000 年、2010 年美国陆地卫星 Landsat TM 遥感影像,2005 年、2008 年 CBERS-02 遥感影像,并选择各年度 6 月中旬至 9 月下旬无云遥感影像。

b. 其他数据资料。包括 2010 年 9—10 月研究区沼泽化草甸、河谷林等典型湿地类型野外定点调查数据;土壤、气候、水文、社会、经济等相关辅助资料;2006 年土壤样品分析数据;研究区行政区域、地形、土壤、水系、地下水等图件。

2.2 遥感数据处理

参考有关资料,结合流域实际情况,确定解译标志和额尔齐斯河流域湿地分类系统。根据解译标志和分类系统对上述遥感影像进行目视解译并数字化

处理,随后建立拓扑关系,完成 1990 年、2000 年、2005 年、2008 年、2010 年的湿地矢量信息提取。用野外定点调查数据校正解译结果,获得各期湿地图形数据和属性数据。

2.3 流域湿地分类系统的建立及专题信息提取

湿地分类系统是确定湿地分类与分布的重要基础,由于世界各地湿地类型复杂多样,不同研究者对湿地界定范围、分类目的和出发点不同,要制定一个完整而科学的定量分类指标和分类系统比较困难,至今国际上的湿地分类系统仍不统一^[10]。

本研究在收集、分析额尔齐斯河流域现有资料的基础上,结合国内湿地调查所采用的湿地分类方法^[11-13],针对研究区特殊的自然地理环境,考虑现有卫星影像监测的可操作性,将研究区域分为湿地和非湿地(其他地类),如表 1 所示(括号中数字为分类代码)。湿地包括人工湿地和天然湿地,天然湿地又可分为河谷林、河渠、湖泊、滩地、沼泽及沼泽化草地等,人工湿地又可分为水库、坑塘和水浇地。

采用人机交互式目视解译方法,在 GIS9.2 专业软件 ARC/info 的支持下,通过矢量叠加,把已有新疆土壤类型、道路、湖泊、植被的分布图水系等数据覆盖到卫片上进行解译,提取额尔齐斯河流域湿地空间信息,并进行空间数据的编辑与拓扑关系的建立,形成额尔齐斯河流域 1990 年、2000 年、2005 年、2008 年、2010 年湿地空间数据库,得出湿地分布示意图(图 1)。同时运用 GPS 野外抽样点观测数据来验证所解译湿地类型信息的准确性,使其精度达到 90% 以上(野外定点调查共 94 处)。

2.4 湿地数量变化分析

采用湿地面积变化幅度和湿地动态度来定量描述湿地面积的变化及变化速度。湿地面积变化幅度从绝对量上反映湿地面积的增减结果,可表示为

$$\Delta A = A_{ib} - A_{ia} \quad (1)$$

式中 ΔA 为单位时间内湿地净面积增减幅度; A_{ia} 为

表 1 额尔齐斯河流域分类系统

额尔齐斯河流域	湿地	天然湿地	河谷林(11):平原河谷内郁闭度大于 30% 的天然林地,上部为乔木,下部为沼泽化草甸或灌丛
			河渠(12):天然形成或人工开挖的河流及主干渠常年水位以下的土地
			湖泊(13):天然形成的积水区常年水位以下的土地
			永久性冰川、积雪(14):被冰川或积雪覆盖的土地
			滩地(15):河湖水域平水期水位与洪水期水位之间的土地
			沼泽及沼泽化草地(16):地势平坦低洼、排水不畅、长期潮湿、季节性积水或常年积水、表层生长湿生植物的土地
	人工湿地		水库、坑塘(21):人工修建的蓄水区常年水位以下的土地
			水浇地(22):以浇灌形式种植农作物的土地
	其他地类		林地(31):生长于山区的非湿地林地,包括阿勒泰山上的针叶林、山地与平原过渡带的灌木林以及平原地区人工林地,即除河谷林之外的所有林地
			草地(32):覆盖度大于 5% 的天然草地
			建设用地(33):城乡居民点以外的工矿、交通等用地
			戈壁、沙地、裸岩及其他土地(34):地表被沙、砾石、土质、岩石或砾石覆盖,植被覆盖度小于 5% 的土地

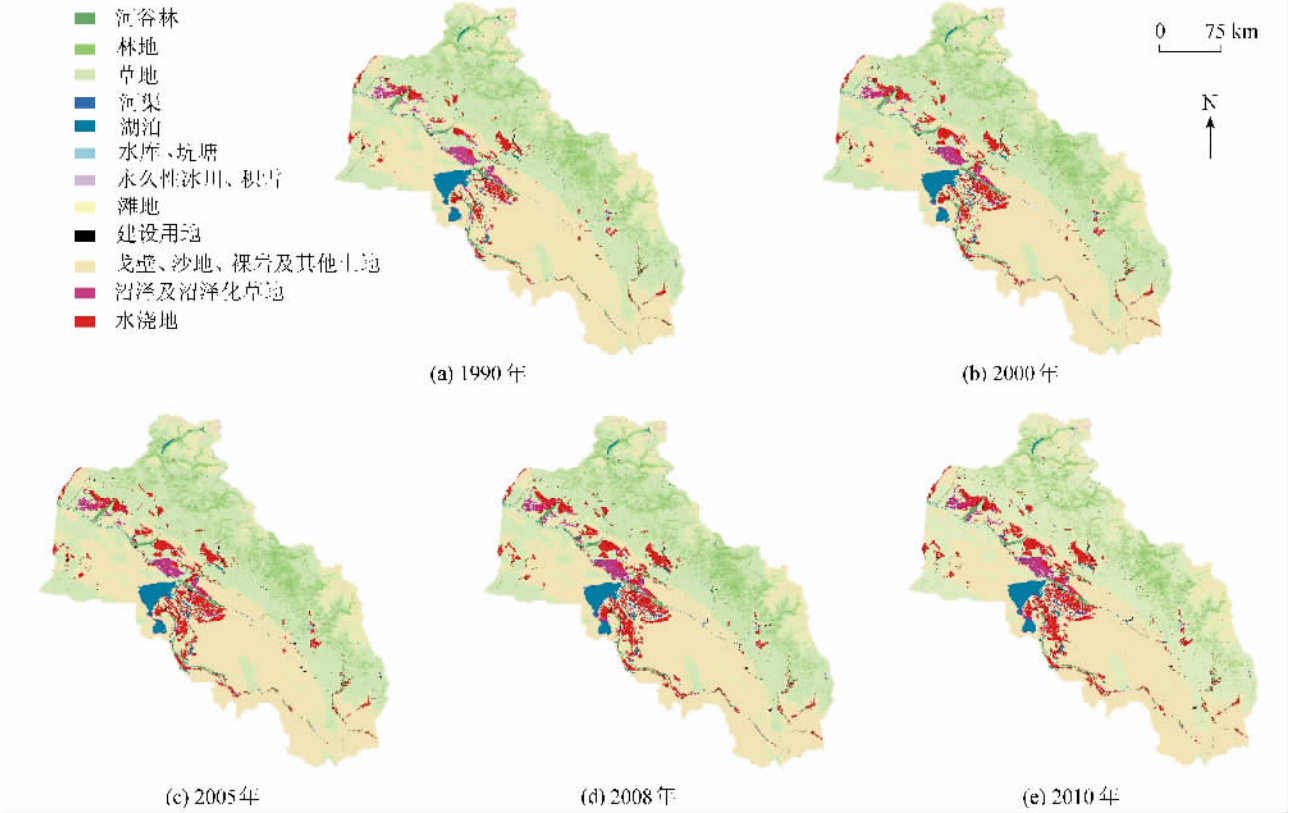


图 1 2010 年额尔齐斯河流域湿地分布

研究初期第 i 类土地的面积 A_{ia} 为研究末期第 i 类土地的面积。

对单一湿地资源,湿地动态度可表达为区域一定时间范围内某种类型湿地的数量变化,即^[14]

$$k = \frac{z_{ib} - z_{ia}}{z_{ia}} \frac{1}{t} \times 100\% \quad (2)$$

式中: k 为湿地动态度; z_{ia} 、 z_{ib} 分别为研究初期及末期某种类型的湿地面积; t 为研究时段长度,一般以 a 为单位。

根据式(1)式(2)对研究区湿地资源数据进行统计分析,得出表 2 和表 3。

表 3 额尔齐斯河流域不同年份湿地组成比例 %

分类	代码	1990 年	2000 年	2005 年	2008 年	2010 年
天然湿地	11	1.29	1.27	1.27	1.26	1.26
	12	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22
	13	1.57	1.65	1.66	1.71	1.72
	14	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
	15	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	16	1.39	1.36	1.32	1.45	1.44
人工湿地	21	0.03	0.05	0.05	0.06	0.06
	22	2.64	3.63	4.20	4.65	4.90
其他地类	31	7.08	7.07	7.05	7.05	7.05
	32	46.94	46.74	46.39	45.97	45.92
	33	0.13	0.14	0.15	0.21	0.21
	34	38.53	37.69	37.52	37.25	37.05

表 2 额尔齐斯河流域不同时段湿地面积变化幅度及动态度

分类	代码	1990 年 面积/ km ²	$\Delta A/\text{km}^2$					$k/\%$				
			1990— 2000 年	2000— 2005 年	2005— 2008 年	2008— 2010 年	2000— 2010 年	1990— 2000 年	2000— 2005 年	2005— 2008 年	2008— 2010 年	2000— 2010 年
天然 湿地	11	1062.10	-16.70	-0.60	-8.91	-4.37	-13.88	-0.16	-0.01	-0.28	-0.21	-0.13
	12	179.45	2.14	0.00	2.44	0.00	2.44	0.12	0.00	0.45	0.00	0.13
	13	1290.03	64.01	4.34	45.58	7.52	57.44	0.50	0.06	1.12	0.27	0.42
	14	86.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15	55.54	1.42	-0.54	-2.01	0.00	-2.55	0.26	-0.19	-1.19	0.00	-0.45
	16	1138.94	-25.26	-32.05	110.40	-9.55	68.80	-0.22	-0.58	3.40	-0.40	0.62
人工 湿地	21	26.20	17.11	-0.19	8.41	-0.98	7.24	6.53	-0.09	6.50	-0.95	1.67
	22	2165.06	816.07	467.00	368.41	204.57	1039.98	3.77	3.13	3.56	2.68	3.49
其他 地类	31	5813.35	-13.32	-14.34	-2.88	4.06	-13.17	-0.02	-0.05	-0.02	0.04	-0.02
	32	38521.40	-164.86	-287.31	-347.94	-37.56	-672.82	-0.04	-0.15	-0.30	-0.05	-0.18
	33	104.25	11.08	4.21	50.14	0.68	55.03	1.06	0.73	13.98	0.20	4.77
	34	31621.88	-691.68	-140.49	-223.64	-164.37	-528.50	-0.22	-0.09	-0.24	-0.27	-0.17

3 湿地面积变化分析

3.1 天然湿地

本研究中的天然湿地包括河谷林、河渠、湖泊、永久性冰川、积雪、滩地、沼泽及沼泽化草地 6 个亚类,其所占面积由大到小的顺序为:湖泊、沼泽及沼泽化草地、河谷林、河渠、永久性冰川、积雪、滩地。由表 3 计算得出,在 1990—2010 年间天然湿地面积所占比例呈波动变化,1990 年、2000 年、2005 年、2008 年、2010 年所占比例分别为 4.65%、4.68%、4.65%、4.82%和 4.81%。

从空间分布看,湖泊分布较广,分布于地势相对低洼、水体聚集处,依就地势、蜿蜒曲折,高低海拔均有,高海拔处如喀纳斯湖,是我国已知最深的冰蚀、冰渍高山河谷型湖泊;低海拔处如乌伦古湖,是新疆仅次于博斯腾湖的第二大内陆湖泊,在福海县城西北 10 多 km 的断层陷落凹地内,是乌伦古河的尾间湖。湖泊在天然湿地中所占比例最大,1990 年湖泊面积为 1 290.03 km²,占研究区的 1.57%,2010 年增长到 1.72%。在 1990—2010 年间一直呈增加趋势,1990—2000 年湖泊面积增加了 64.01 km²,2000—2010 年增加了 57.44 km²。前 10 a 的增长速度略大于后 10 a,其中 2005—2008 年增长速度最快,3 a 内湖泊面积增加了 45.58 km²。此结果与宫鹏等^[15-16]的研究结果相同,原因可能与近年来该地区的气候变化有关。

从空间分布来看,沼泽及沼泽化草地主要分布于河流两侧湖边积水处及冲洪积扇下缘,地势平坦低洼,排水不畅,长期潮湿,季节性积水或常年积水,在天然湿地中所占比例仅次于湖泊。1990 年、2000 年、2005 年、2008 年、2010 年所占比例分别为 1.39%、1.36%、1.32%、1.45%和 1.44%。从时间序列来看其变化规律呈波动趋势,从 1990—2005 年持续递减,2005—2008 年则有较大幅度的增加,增加面积达 110.40 km²,2008—2010 年间呈略减趋势。2005—2008 年沼泽及沼泽化草地面积的大幅增加与 2008 年前后进行的可可苏湿地自然保护区的生态补水工程有关,对当地湿地生态恢复起到了积极的作用。

空间上河谷林多呈带状,主要分布在额尔齐斯河干流及克兰河、布尔津河、哈巴河等支流两岸的河漫滩、低阶地上,以及乌伦古河的河谷,平原河谷低洼地水域的周边,平均宽度为 1~2 km。1990 年河谷林面积为 1 062.10 km²,占研究区面积的 1.29%。从时间序列来看,1990—2010 年间呈持续递减趋势,1990—2000 年间河谷林面积减少了 16.70 km²,2000—2010 年面积减少了 13.88 km²,前 10 a 的减少速率大于后 10 a 的减少速率,前 10 a 的年动态度为

-0.16%,后 10 a 的年动态度为 -0.13%。其中 2005—2008 年的减少速率最大,河谷林面积减少 8.91 km²,年动态度为 -0.28%,主要原因是河谷林内过牧严重及部分河谷林被开垦为耕地。

滩地、河渠、永久性冰川、积雪相对其他各类湿地面积小得多,所占研究区面积比例很小,但也有其各自的变化规律。其中永久性冰川、积雪所占比例较小,为 0.11%,总面积为 86.38 km²,在近 20 a 来基本未发生变化。河渠面积在研究时段内呈持续增加趋势,约占总面积的 0.22%,由于部分河流或水渠较窄,在分辨率为 30 m 的 TM 遥感影像上难以精确解译,但其总体变化规律是正确的。滩地在天然湿地中面积最小,前 10 a 呈递增趋势,后 10 a 呈递减趋势,约占总面积的 0.07%。

3.2 人工湿地

人工湿地包括水库、坑塘和水浇地,近 20 a 人工湿地面积增幅较大,由 1990 年的 2 191.26 km² 增加到 2010 年的 4 071.66 km²,增加了近 1 倍,主要是水浇地面积的增加。由表 3 可得,1990 年、2000 年、2005 年、2008 年、2010 年人工湿地所占比例分别为 2.67%、3.68%、4.25%、4.71%和 4.96%。

水库、坑塘指人工修建的蓄水区常年水位以下的土地,总面积所占比例较小。1990 年占总面积的 0.03%,2000 年为 0.05%,2010 年为 0.06%。从其面积变化来看总体呈波动上升趋势,1990 年面积为 26.20 km²,1990—2000 年面积增加较快,增加了 17.11 km²,年动态度为 6.53%,2000—2010 年增加了 7.24 km²,年动态度为 1.67%,其中 2000—2005 年减少了 0.19 km²,2005—2008 年增加了 8.41 km²,2008—2010 年又呈减少趋势,减少了 0.98 km²。

在所有湿地类型当中水浇地所占比例最大且增长最快。2010 年水浇地占湿地总面积的比例高达 49%。在整个研究区,水浇地面积也呈绝对增长态势。1990 年、2000 年、2005 年、2008 年、2010 年所占比例分别为 2.64%、3.63%、4.20%、4.65%和 4.90%。1990 年研究区有水浇地 2 165.06 km²,1990—2000 年面积增加了 816.07 km²;2000—2010 年面积增加了 1 039.98 km²,后 10 a 增加的面积大于前 10 a 所增加的面积。虽然水浇地面积连年增加,但 1990—2000 年、2000—2005 年、2005—2008 年、2008—2010 年的动态度分别为 3.77%、3.13%、3.56%、2.68%和 3.49%,呈波动递减的趋势,也就是说,水浇地面积在持续增加,但增加速度在减小。主要原因是 21 世纪以来国家不断加大宏观调控力度,研究区土地不断被开垦为水浇地。

3.3 其他地类

其他地类包括林地、草地、建设用地、戈壁、沙地、

裸岩及其他土地。1990 年、2000 年、2005 年、2008 年、2010 年其他地类所占比例分别为 92.68% ,91.64% , 91.10% ,90.47%和 90.22%。虽占研究区的绝大部分面积 ,但从时间序列来看呈逐年递减的趋势。

林地主要指生长于山区的非湿地林地 ,包括阿勒泰山上的针叶林、山地与平原过渡带的灌木林 ,以及平原地区人工林地 ,即除河谷林之外的所有林地。1990 年的面积为 5 813.35 km² ,1990—2000 年面积减少了 13.32 km² ,2000—2010 年面积减少了 13.17 km² ,减少速度基本相同。1990—2008 年间林地面积持续减小 ,2008—2010 年略有增加 ,增加面积为 4.06 km² ,增加部分主要是农田及水渠的防护林。

草地在研究区所占比例最大 ,1990 年、2000 年、2005 年、2008 年、2010 年所占比例分别为 46.94% , 46.74% ,46.39% ,45.97%和 45.92% ,呈逐年递减趋势。建设用地变化趋势与草地相反 ,呈逐年递增趋势。建设用地的增加来源多种多样 ,包括因城镇扩展占用耕地、开发区建设、定居点增加、工矿区扩大、道路新建扩建等。戈壁、沙地、裸岩及其他土地的面积呈逐年递减趋势 ,1990 年、2000 年、2005 年、2008 年、2010 年所占比例分别为 38.53% ,37.69% , 37.52% ,37.25%和 37.05%。

4 结 语

从空间分布来看 ,天然湿地中面积由大到小的顺序为 :湖泊 ,沼泽及沼泽化草地 ,河谷林 ,河渠 ,永久性冰川及积雪 ,滩地。人工湿地包括水库、坑塘和水浇地。其中水浇地在所有湿地类型当中所占比例最大 ,同时增长速度最快。

从时间序列来看 ,天然湿地面积在整个研究时段呈波动变化 ,总的来看 2010 年的面积大于 1990 年的面积 ,增加面积主要是湖泊和沼泽及沼泽化草地 ,而河谷林及滩地呈逐年减小的趋势。人工湿地面积增加较显著 ,主要是水浇地的大幅增加 ,而水库、坑塘面积在研究时间段内呈波动变化 ,总的来看也呈增加趋势。湿地总面积呈逐年递增趋势 ,增加部分主要是水浇地 ,其次是湖泊、沼泽及沼泽化草地 ,以及水渠。除湿地以外的其他土地总面积在研究时段内呈减小趋势 ,其中草地 ,戈壁、沙地、裸岩及其他土地的面积显著减少 ,而建设用地呈增加趋势。

考虑研究区湿地植被类型的提取和数据的已获取性 ,采用 Landsat TM 遥感影像和 CBERS-02 遥感影像的 4 3 2 这 3 个波段的组合来提取研究区的湿地信息 ,而未采用 TM 遥感影像湿地分类的最佳波段

组合 5 4 和 3 波段的组合方法。在以后的研究可尝试采用 TM 遥感影像 5 ,4 和 3 波段的组合方法 ,同时考虑其他波段组合来提取湿地分类信息。

致谢 :本研究部分数据由中国科学院新疆生态与地理研究所吴世新老师提供 ,在解译过程中得到了吴世新老师的指导 ,在制定湿地分类系统时得到周华荣老师的指导 ,在野外考察中得到了海鹰老师的帮助 ,在此表示感谢 !

参考文献 :

- [1] 江春波 ,惠二青 ,孔庆蓉 ,等 .天然湿地生态系统评价技术研究进展 [J]. 生态环境 ,2007 ,16(4) :1305-1310.
- [2] 孙广友 .中国湿地科学的进展与展望 [J]. 地球科学进展 ,2000 ,15(6) :666-672.
- [3] 杨永兴 .国际湿地科学研究进展和中国湿地科学研究优先领域与展望 [J]. 地球科学进展 ,2002 ,17(4) :508-514.
- [4] 易卫华 ,尚清芳 .西北干旱半干旱区湿地景观生态研究进展 [J]. 河西学院学报 ,2007 ,23(2) :70-75.
- [5] 白志强 ,张毓涛 ,郭仲军 ,等 .新疆额尔齐斯河河谷景观现状与生态保护策略 [J]. 福建林学院学报 ,2004 ,24(2) :188-192.
- [6] 袁方策 ,黄文房 ,朱德祥 ,等 .阿勒泰地区科学考察论丛 [M]. 北京 :科学出版社 ,1990.
- [7] 努尔兰·哈再孜 .阿勒泰地区河流水文特征 [J]. 水文 ,2001 ,21(4) :53-55.
- [8] 李忠锋 ,王一谋 ,冯毓荪 ,等 .基于 RS 与 GIS 的榆林地区土地利用变化分析 [J]. 水土保持学报 ,2003 ,17(2) :97-99.
- [9] 李生宇 ,雷加强 .额尔齐斯河流域生态系统格局及变化 [J]. 干旱区地理 ,2002 ,19(2) :56-61.
- [10] 刘子刚 ,马学慧 .湿地的分类 [J]. 湿地科学与管理 ,2006 ,2(1) :60-66.
- [11] 唐小平 ,黄桂林 .中国湿地分类系统的研究 [J]. 林业科学研究 ,2003 ,16(5) :531-539.
- [12] 陈华芳 ,王金亮 ,王平 ,等 .香格里拉县湿地分类研究 [J]. 云南地理环境研究 ,2004 ,16(1) :54-59.
- [13] 宋长春 .湿地生态系统碳循环研究进展 [J]. 地理科学 ,2003 ,23(5) :622-626.
- [14] 杨利普 .新疆水资源及其利用 [M]. 乌鲁木齐 :新疆人民出版社 ,1982.
- [15] 宫鹏 ,牛振国 ,程晓 ,等 .中国 1990 和 2000 基准年湿地变化遥感 [J]. 中国科学 :地球科学 ,2010 ,40(6) :755-768.
- [16] 牛振国 ,宫鹏 ,程晓 ,等 .中国湿地初步遥感制图及相关地理特征分析 [J]. 中国科学 :地球科学 ,2009 ,39(2) :188-203.

(收稿日期 :2011-03-15 编辑 :骆超)