
综
合
研
究

近 20 a 黑河下游核心绿洲区土地荒漠化特征及影响因素

马骏¹, 刘蔚¹, 席海洋¹, 张涛¹, 鱼腾飞¹, 杨凯年²

(1. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 2. 额济纳旗林业工作站, 内蒙古 额济纳旗 735400)

摘要: 利用遥感影像数据, 在 GIS 的支持下, 对近 20 a 黑河下游核心绿洲区的土地荒漠化特征进行分析。结果表明, 研究区的沙漠面积在不断增加, 在近 20 a 里沙漠面积增加约 31 km²; 2001 年盐碱地面积为 465.97 km², 比 1990 年增加 82.29 km², 2002 年分水工程实施后, 盐碱地面积开始减小, 2010 年又有所增加; 近 20 a 中, 沙地在稳步增加, 林草地在持续减少, 二者之间的转换较为频繁; 在不同的土地覆被类型中, 林草地、盐碱地、沙地和水体的变化较大。社会经济和人口因素对研究区土地荒漠化的影响显著, 在自然因素背景下, 人为因素对水资源时空分布的影响在短期内决定着研究区绿洲的演变方向。

关键词: 黑河下游; 荒漠化; 影响因素

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)01-0160-06

中图分类号: X144

Characteristics and Influencing Factors of Land Desertification in Kern Oasis Area of Lower Heihe River Basin in Recent 20 Years

MA Jun¹, LIU Wei¹, XI Hai-yang¹, ZHANG Tao¹, YU Teng-fei¹, YANG Kai-nian²

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Science, Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. Ejina Forestry Station, Ejina, Inner Mongolia 735400, China)

Abstract: The land desertification characteristics in the kern oasis area of the lower Heihe River basin were analyzed using remote sensing image data with support of GIS technique. The studied results showed that desert area steadily increased in recent 20 years, reaching about 31 km²; saline-alkali land area was 465.97 km² in 2001, increased by 82.29 km² compared to 1990; and since the water transfer project was implemented in 2002, the saline-alkali land area started to decrease, but increased again in 2010. In recent 20 years, sandy land area steadily increased, but forest land and grassland area continuously decreased and their inter-conversion was frequent. Among different land cover types, the forest land, grassland, saline-alkali land, sandy land and water bodies varied greatly. Socioeconomic and population factors have a significant influence on the land desertification in the study region. Under the background condition of natural factors, the effects of human factors on the spatial-temporal distribution of water resources decide the evolution direction of the oasis in the study region.

Keywords: lower reaches of the Heihe River; land desertification; affecting factor

荒漠化是全球突出的生态环境问题, 中国是世界上受荒漠化危害比较严重的国家之一。荒漠化是指人类历史时期以来, 由于人类不合理的经济活动和脆弱生态环境相互作用造成土地生产力下降, 土地资源丧失, 地表呈现类似荒漠景观的土地退化过程^[1]。额济纳三角洲是内蒙古自治区少有的绿洲之一, 历史上也存在生态系统平衡的时期, 但随现代发展对额济纳绿洲不合理的开发, 造成了包括土地荒漠化在内的一

系列生态环境问题。绿洲的荒漠化主要包括绿洲的干旱化、沙漠化和盐渍化, 如果绿洲水源完全断绝, 其绿洲将会消失, 最终演变为风蚀劣地或沙质荒漠^[2]。土地沙漠化和盐碱化是黑河流域最为严重的生态环境问题, 植被的退化贯穿于其中, 其结果不仅直接威胁下游天然绿洲的存亡, 而且制约中下游人工灌溉绿洲的稳定与发展^[3]。对于荒漠化土地面积变化的研究便于分析内在的稳定性和复杂程度, 揭示其空间结

收稿日期: 2013-03-06

修回日期: 2013-07-09

资助项目: 国家自然科学基金项目“内陆河沙漠化土地影响因子判定及判别指标体系研究”(41071052); 国家自然科学基金项目“干旱内陆河流域典型生态系统土壤碳模拟的研究”(31270482)

作者简介: 马骏(1988—), 男(汉族), 山东省潍坊市人, 硕士研究生, 研究方向为干旱区荒漠化。E-mail: majun@lzb.ac.cn.

通信作者: 刘蔚(1969—), 女(汉族), 陕西省横山县人, 副研究员, 主要从事干旱区环境及水土化学研究。E-mail: weiliu@lzb.ac.cn.

构变化过程^[4]。遥感技术以其信息量大,观测范围广,速度快等优势已广泛应用于土地沙漠化的监测,其在额济纳土地覆被变化的应用中也取得较好的效果^[5-7]。本文重点对黑河下游的核心绿洲区进行研究,影像数据的时间根据河流流量的变化特征进行选取,更直观地体现影响因子的作用,进而为内陆河土地荒漠化影响因子的判别提供数据支撑,为研究区绿洲的保护和土地生产服务。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

研究区位于内蒙古自治区阿拉善盟额济纳旗,是黑河下游的核心绿洲区。额济纳三角洲为开阔平坦的盆地,海拔高程为 900~1 100 m,地面坡降为 1/1 000~1/1 200,整体地形向东北倾斜^[8],根据额济纳气象站 1959—2011 年降水资料统计分析,多年平均降水量为 35.4 mm,最少年份降水量和最少年份降水量分别为 7,101.1 mm,区域内蒸发量大,多年平均蒸发量为 3 505.7 mm,热量丰富,多年平均气温 8.2℃,是一个完全靠黑河上中游来水滋养的绿洲^[9]。黑河发源于祁连山脉,干流长 821 km,流域面积 $1.30 \times 10^5 \text{ km}^2$,在狼心山处分流成东西两支,其东河进入研究区域,形成内陆河三角洲,并最终发育为额济纳天然绿洲。

1.2 数据来源与研究方法

利用不同时期的 Landsat 影像数据,结合野外实地调查以及辅助信息对地物进行解译分析。遥感影像数据为 1990 年 9 月的 TM 影像,2001 年 8 月的 ETM⁺ 影像,2006 年 9 月的 TM 影像,2009 年 8 月的 ETM⁺ 影像和 2010 年 8 月的 TM 影像。选择 4,3,2 波段作为 RGB 分量合成标准假彩色图像,以利于区分植被与土地边界特征。利用 Erdas Imagine 9.2 对影像数据进行几何校正、空间数据增强等预处理,校正中选取 30 个控制点,其 RMS 小于一个像元,辅助数据为 1983 年版阿拉善盟额济纳旗 1:50 000 地形图以及从国家科学数据服务平台下载的 DEM 数据。为便于目视解译的判读,用 ENVI 4.5 对研究区的植被信息进行提取,利用 ArcGIS 10.0 对处理后的数据进行分析,在人工目视解译的基础上,结合计算机自动识别进行地物的判读,解译中地物特征依据“数字黑河”提供的基础地理信息和阿拉善荒漠生态水文实验研究站的野外调查数据。通过野外 61 个采样点的实测数据对解译结果进行验证与修正,解译后的精度满足调查要求。土地利用分类依据国家土地资源遥感宏观调查采用的土地分类系统^[10],结合额济纳旗

绿洲区的实际情况以及研究所要突出的地物信息进行分类。利用 ArcGIS 对图层中相同属性的区域进行融合,融合后的数据进行每两期间的叠置分析,导出数据制作转移矩阵,建立土地利用类型变动关系,得出黑河下游核心绿洲区的土地荒漠化特征,进一步明晰各驱动力的影响机制。

2 结果与分析

2.1 不同时期土地荒漠化特征

2.1.1 1990 年的土地覆被特征 1990 年研究区域内的沙地面积为 190.84 km²,占研究区域面积的 9.63%,盐碱地面积为 383.68 km²,面积比重为 19.37%;沙漠面积为 178.96 km²,面积比重为 9.03%;林草地、耕地、水体的面积分别为 417.05, 24.78, 44.34 km²;居民地面积为 3.01 km²,戈壁面积为 738.53 km²。研究区总面积约 1 980 km²,土地覆被特征如图 1 所示。研究区的植被覆盖区域被戈壁、沙漠环绕,图中林地、草地统作为植被覆盖区域,绿洲内有小面积的基岩,统计到戈壁范围内,区域内干涸的河道以及裸地因植被覆盖度低,在遥感影像中与沙地难以区分,统作为沙地处理。植被主要集中于东河下游河道两侧,临近东居延海为大面积盐碱地,沙漠位于研究区东侧植被区与戈壁之间。居民地主要在研究区西南方向的额济纳旗,耕地和沙地在林地间成点状、带状分布。

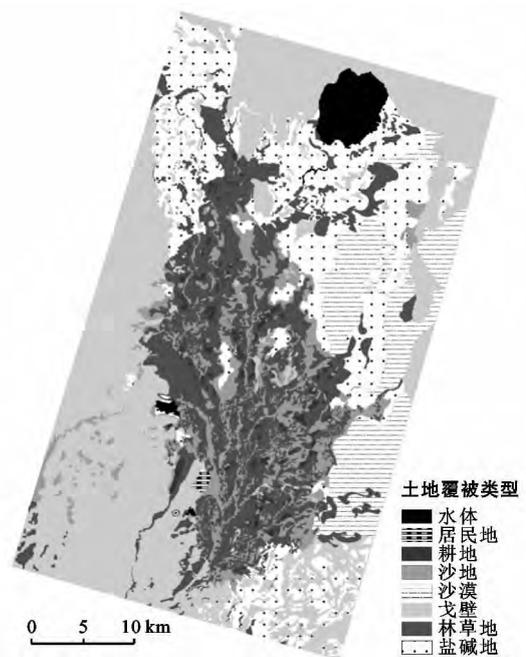


图 1 1990 年黑河下游核心绿洲区的土地覆被特征

2.1.2 2001 年的土地覆被特征 2001 年研究区域(图 2)的沙化面积明显增大,其北部东居延海完全干

涸,土地大范围盐碱化,额济纳旗城区西北部沙日淖尔处的水域干涸,附近林草地转化为沙地,此时研究区的地表水体面积仅为 0.17 km^2 。研究区的沙漠、沙地、盐碱地的面积分别为 $190.27, 228.26, 465.97 \text{ km}^2$, 面积比重分别为 $9.6\%, 11.9\%, 23.5\%$ 。与 1990 年相比,沙漠面积增加 11.31 km^2 , 沙地增加 37.42 km^2 , 盐碱地增加 82.29 km^2 。沙地转入 125.52 km^2 , 转出 88.11 km^2 , 盐碱地转入 160.71 km^2 , 转出 78.51 km^2 , 沙漠面积转入 21.81 km^2 , 转出 8.3 km^2 。沙漠、沙地、盐碱地的变化趋势和状态指数值分别为 $0.45, 0.18, 0.34$, 表明沙漠和盐碱地的增长趋势明显, 主要以其他类型转入为主; 沙地增长缓慢, 且双向转换频繁。林草地和耕地面积分别为 $309.38, 27.51 \text{ km}^2$, 其中林草地减少 107.67 km^2 , 其变化趋势和状态指数为 -0.42 , 呈现非平衡状态, 规模逐步萎缩, 主要转变为沙地和盐碱地。耕地和居民地面积有一定程度增加, 戈壁面积为 754.49 km^2 , 面积比重为 38.1% 。到 2001 年有 89.07 km^2 的林草地转变为沙地, 60.7 km^2 的林草地转变为盐碱地, 盐碱地和沙地增加较多, 林草地和水体面积都大量减少。转移矩阵中变化幅度较大的为沙地、林草地, 沙漠、盐碱地和水体, 面积变化的大小为: 林草地 > 盐碱地 > 水体 > 沙地。

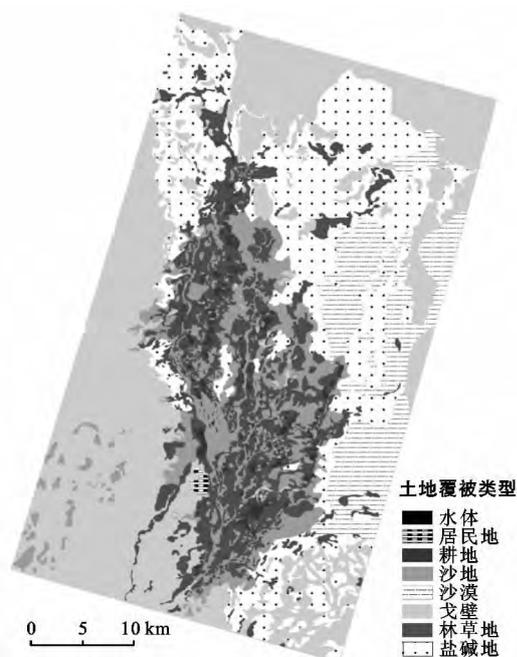


图 2 2001 年黑河下游核心绿洲区的土地覆被特征

2.1.3 2006 年土地覆被特征 2006 年研究区的河道内尚有流水(图 3),主河道区域在图 2 中显示相对清晰,河道周围的植被长势良好,水体和耕地面积明显增加。2006 年的水体面积比 2001 年增加 50.22 km^2 。

沙地和沙漠的面积分别为 $235.56, 203.21 \text{ km}^2$, 面积比重为 $11.89\%, 10.26\%$, 分别比 2001 年增加了 $7.3, 12.94 \text{ km}^2$ 。林草地面积减少了 16.33 km^2 , 盐碱地面积减少了 89.17 km^2 。与 2001 年相比面积变化的大小为盐碱地 > 水体 > 耕地 > 林草地。

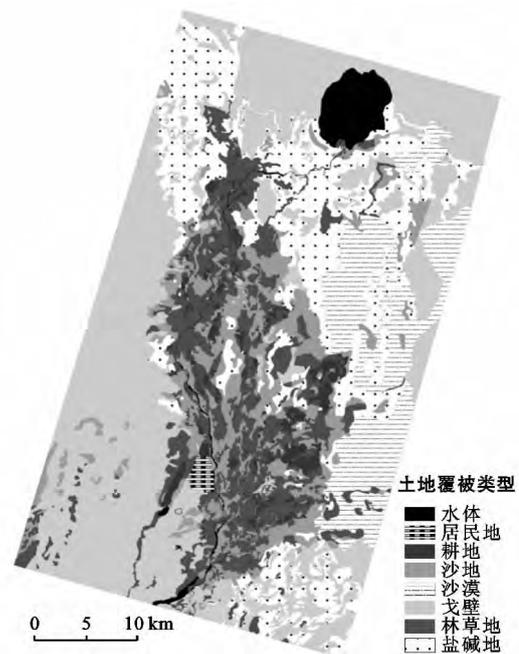


图 3 2006 年黑河下游核心绿洲区的土地覆被特征

2.1.4 2009 年土地覆被特征 2009 年研究区的水分条件明显改善,东居延海蓄水,东居延海附件盐碱地向林草地转变。城镇和耕地面积增大,东侧沙漠的面积明显增大,林草地面积减少。其荒漠化土地增加,土地退化显著。2009 年研究区的沙漠面积为 213.02 km^2 , 比 2006 年增加 9.81 km^2 ; 与 2001 年相比,转入 37.85 km^2 , 转出 15.1 km^2 , 整体增加 22.75 km^2 ; 与 1990 年相比,转入 45.18 km^2 , 转出 11.12 km^2 , 整体增加 34.06 km^2 。沙地面积占总面积的 13.67% , 比 2006 年增加 35.2 km^2 ; 比 1990 年增加 79.92 km^2 , 其中转入 164.3 km^2 , 转出 84.34 km^2 。水体面积为 44.09 km^2 , 面积比重为 2.2% 。盐碱地比 2006 年减少 27.34 km^2 , 面积比重为 18.2% , 比 1990 年减少 34.22 km^2 。

2001—2009 年,林草地的变化趋势指数为 -0.14 , 朝规模减小的状态发展,有 21.37 km^2 的林草地转变为耕地,有 80.7 km^2 的林草地转变为沙地,林草地退化明显(表 1)。沙漠和沙地的变化趋势指数分别为 $0.43, 0.17$, 表明沙漠的增加趋势明显, 以其他类型转入为主; 沙地的双向转换频繁, 转换为其他类型的面积略小于其他类型转换为沙地的面积。

1990—2009 年变动最大的为林草地,减少量达到研究区域的 7.16%,其变化趋势指数为-0.5,呈现较强的非平衡状态,以向其他类型转化为主。其中,有多达 114.43 km² 的林草地转变为沙地,有 48.06 km² 的林草地转变为盐碱地,转化为耕地的面积为 26.61 km²。

沙地的变化趋势指数值为 0.32,以其他类型转入为主,呈稳步增加状态。沙漠变化趋势指数值为 0.6,呈现极端非平衡状态。盐碱地转入比重较大,转入面积为 27.74 km²,沙漠的转出相对较小。近 20 a 的面积变化大小依次是:林草地>沙地>盐碱地>沙漠。

表 1 2001—2009 年黑河下游核心绿洲区土地覆被变化转移矩阵

km²

土地覆被类型	水体	居民地	耕地	沙地	沙漠	戈壁	林草地	盐碱地	2009 年总计
水体	0.06	0	0	0.13	0	5.86	0.28	37.75	44.08
居民地	0	4.10	0.79	0.25	0	4.63	2.53	0	12.30
耕地	0	0	10.74	16.04	0.05	0.85	21.37	1.95	51.00
沙地	0	0	2.77	123.55	3.88	14.32	80.70	44.84	270.06
沙漠	0	0	0	0.97	175.24	5.68	1.60	29.60	213.09
戈壁	0.11	0	0	18.84	4.29	688.84	7.40	46.15	765.63
林草地	0	0	13.21	54.87	1.75	7.06	173.10	24.47	274.46
盐碱地	0	0	0	13.61	4.98	28.40	21.55	281.05	348.99
2001 年总计	0.17	4.10	27.51	228.26	190.19	755.64	308.53	465.81	1979.59

2.1.5 2010 年土地覆被特征 与 2009 年相比,2010 年研究区的水量增多(图 4),存在较多的积水区域,东居延海水量增加,全年累计进水量 4.8×10^7 m³,最大水面面积 40.0 km²。在 2010 年关键调度期,狼心山水文断面实测下泄水量为 2.26×10^8 m³,在春季、夏季、秋季输水中,东河均全线过水,有效补充了沿河地下水,保证了植被在主要生长期的需水。研究区的沙漠面积比重为 10.6%,相比 2009 年面积减少 3.15 km²。沙地面积减少 23.65 km²,林草地面积有少量减少。1990—2010 年黑河下游核心绿洲区土地覆被的面积及变化如表 2 所示。

偏少,90 年代有所回升,21 世纪开始又进入偏少时期^[11]。

2.2 荒漠化驱动力浅析

2.2.1 自然因素 自然因素是绿洲荒漠化的大背景,研究区额济纳三角洲的气候极端干旱,1990—2000 年的平均潜在蒸发量为 3074.6 mm,1998 年的潜在蒸发量最大为 3271.1 mm。1990—2011 年的年均降水量仅为 39.95 mm,其中 1995 年的年降水量最多为 77.3 mm,年降水量最少为 9.2 mm,发生在 2009 年。1990—2011 年的相对湿度为 33.3%。额济纳旗的降水量总体呈下降趋势。80 年代降水明显

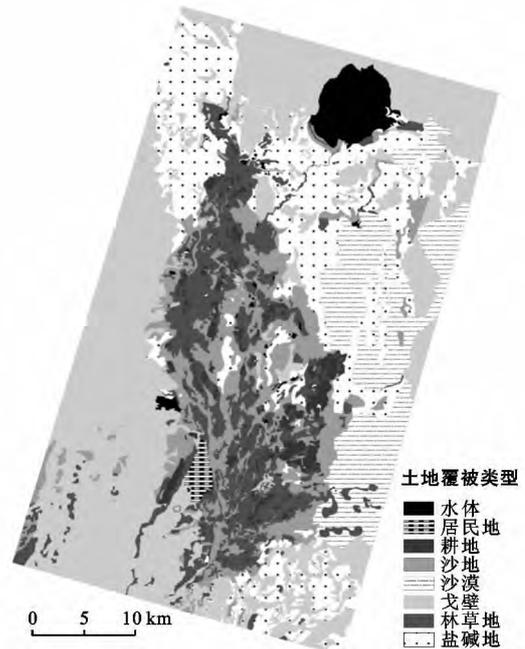


图 4 2010 年黑河下游核心绿洲区的土地覆被特征

表 2 1990—2010 年黑河下游核心绿洲区土地覆被面积变化

km²

土地覆被类型	1990	2001	2006	2009	2010	1990—2001	2001—2006	1990—2009	2001—2009	2009—2010
水体	44.34	0.17	50.39	44.09	55.45	-44.17	50.22	-0.25	43.92	11.36
居民地	3.01	4.10	8.16	12.42	12.42	1.09	4.06	9.41	8.32	0
耕地	24.78	27.51	47.34	51.05	52.27	2.73	19.83	26.27	23.54	1.22
沙地	190.84	228.26	235.56	270.76	247.11	37.42	7.30	79.92	42.50	-23.65
沙漠	178.96	190.27	203.21	213.02	209.87	11.31	12.94	34.06	22.75	-3.15
戈壁	738.53	754.49	766.93	765.9	765.33	15.96	12.44	27.37	11.41	-0.57
林草地	417.05	309.38	293.05	275.29	269.14	-107.67	-16.33	-141.76	-34.09	-6.15
盐碱地	383.68	465.97	376.8	349.46	370.57	82.29	-89.17	-34.22	-116.51	21.11

研究区气温从 70 年代起呈现上升趋势,平均气温的升幅超过全国年平均气温升幅的 2 倍^[12]。1990—2011 年平均气温为 9.72 °C,1990—2000 年的年平均气温为 9.48 °C,2000—2011 年的年平均气温为 9.95 °C,气温的上升率约为 0.5 °C/10 a。其中,年平均气温最高值为 10.6 °C,发生在 1998 年,最低值为 1993 年的 8.7 °C。额济纳地区气温的增高,在影响蒸发量的同时,促进了植被的蒸腾作用,蒸腾是植物耗水的主要方式,水分供应的不足,限制了植被生长,进一步加速当地土地荒漠化面积的增加^[13]。研究区的年太阳总辐射达 6 800 MJ/m²,是中国日照时数和日照百分率最高的地区之一,辐射强度加剧了本区的干旱程度^[14]。额济纳地区生态环境脆弱主要因为所处的地理环境恶劣,其降水量少,蒸发量大,重要的水源补给主要为中上游来水和该区的地下水,在输水量减少的情况下,下游的生态环境面临较大威胁,脆弱的生态系统使土地退化的速率增大。

2.2.2 人为因素 影响研究区土地荒漠化的因素较为复杂,在分析土地覆被变化的人为驱动因素时,结合驱动因子之间的相关关系,采用主成分分析法研究驱动因子的贡献值。在影响土地荒漠化的因子中选取 2 个自然因子:降水(mm),气温(°C);选取 9 个人为因子:输水量(10⁸ m³),牲畜总头数(只),国民总产值(万元),第一产业产值(万元),第二产业产值(万元),第三产业产值(万元),人均产值(元),工业总产值(万元),总人口数(人),其因素包括自然因素、人口、畜牧业、城市化、工业化等因素。Y 为沙漠化面积(km²),以 1990—2011 年的数据为分析样本。结果表明,前两个主成分的累积贡献率达到 83%,结合指标特征对贡献值进行分析,从第一主成分和第二主成分可知,社会经济和人口因素为主要影响因素,其次为输水量因素,畜牧业和自然因素变化的影响相对较低。

人口增长是土地利用、土地覆盖变化和环境响应的本质驱动力^[15]。1990 年额济纳旗人口总数为 15 102 人,在 2006 年超过 17 000 人,2010 年总人口为 17 249 人,在近 20 a 中增加了 2 147 人。自 21 世纪当地旅游产业迅速发展,流动人口增加,总人数超过常住人口数。其在 2000 年的旅游人数为 3.80×10⁴ 人次,2010 年已达到 2.48×10⁵ 人次。流动人口和旅游在 21 世纪对当地生态的影响加剧。1990 年农业总产值为 5.84×10⁶ 元,2001 年生产总值为 4.37×10⁷ 元,增长 3.78×10⁷ 元,增幅达 647.7%。2010 年农业生产总值 1.09×10⁸ 元,比 2006 年增加 5.70×10⁷ 元。农业生产总值中很大程度反映当地畜牧养殖和耕地的

发展程度。1990 额济纳地区年末牲畜存栏头数为 1.596×10⁵ 头/只,2001 年总数为 1.28×10⁵ 头/只,2010 年存栏头数 8.67×10⁴ 头/只。年末牲畜存栏头数自 2004 年后低于 10×10⁴ 头/只,平均每年存栏约 7.40×10⁴ 头/只。荒漠化地区地处内陆,长期处于封闭或半封闭的半农半牧状态,重用轻养,在草地利用与管理方面比较落后^[16]。从当地的人口和农牧业发展来讲,其对耕地及林草地的需求在不断增大,牧业对生态的破坏极大,牧民的过度放牧和任意开荒对当地环境造成严重的破坏。社会经济发展对自然环境的扰动较大,属于沙漠绿洲的额济纳表现更为明显。在人口增长,农业发展的同时,其产业结构的变动在绿洲保护与破坏中动态影响土地沙漠化状况。随西部大开发的进行,额济纳绿洲获得了前所未有的发展,第二、三产业投入加大,产业比例已由前期的第一、三、二的产业顺序转化成第二、三、一的产业顺序^[17]。1991 年第二、三产业总值分别为 1.18×10⁷ 和 1.54×10⁷ 元,到 2010 年分别增长为 1.86×10⁹ 和 1.19×10⁹ 元,额济纳旗在内蒙古县域经济发展中的经济发展较快。第二、三的增长减少了农业对土地的直接破坏,但其给土地带来的间接影响在研究区土地质量的变化中占较大比重。

下游绿洲区生态系统的稳定在很大程度上依赖进入本区的水量。中游地区农业发展和城市化速度的加快,农业用水、城市的工业、生活用水也随之增加。中游地区的耗水量在 1998 年达到最大值 1.04×10⁹ m³,之后开始减少,从 2002 年开始耗水量又增加。至 2007 年中游地区耗水量每年以 1.97×10⁶ m³ 递增,并且增加的速度不断加快^[18]。中游大量水利设施的兴建,地表水、地下水的开发,从根本上改变了整个流域水资源在时空上的分配和转化^[19]。黑河流域水资源的利用率比较高,莺落峡和正义峡的生态环境需水量均占到地表水资源来水量的 30% 左右^[20],中游河道生态环境的稳定本身需要大量来水量维持。在上游山区降水和冰川融水一定的情况下,下游的生态环境受到中游耗水量的制约。河流下泄量的减少造成下游地下水位的降低,进而土地干旱化,造成荒漠植被的死亡,导致下游绿洲区荒漠化面积的增大。

西北干旱区水资源短缺及其在时空分布的高度异质性决定了其生态系统的脆弱性^[21]。在东居延海干涸的 2001 年,狼心山来水量仅为 2.32×10⁸ m³,输水量低的情境下,居民用水及生态用水对地下水的依赖性增大。河水对耕地、林草地的补给减少,加之研究区旺盛的蒸发量,使水分不足的区域转变为旱地、盐碱地,原沿河发育的河岸林、灌丛草场退化为旱生

和盐生草甸。维持额济纳绿洲的稳定与发展,必须保持 $5.78 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的生态水量,自 2002 年开始分水工程后,下游来水量增多,生态系统开始恢复,盐渍化面积也大幅度减小^[22-23]。

3 结论

通过近 20 a, 5 个不同时期土地覆被特征的解译,研究区核心绿洲各土地类型的面积得到较新的分析结果,土地质量变化特征也得到较好的诠释。额济纳绿洲作为沙漠绿洲,生态系统稳定性相对较弱。其 2010 年的沙漠面积为 209.87 km^2 , 在 21 a 中增加了近 31 km^2 , 1990—2010 年沙地增加了近 60 km^2 , 以约 $30 \text{ km}^2/10 \text{ a}$ 速度的增加,林草地在快速减少,2002 年后因分水政策对输水量的调控,林草地退化速率减缓。盐碱地面积从 1990 年呈增加趋势,到 2001 年面积达最大值,之后呈减少趋势。居民地和耕地的面积在稳步增加。

在不同的土地覆被类型中,林草地、盐碱地、沙地和水体的变化较大,研究区生态质量呈下降趋势,土地退化现象显著。在自然因素的大背景下,人为因素在短期内对绿洲区的影响更为显著,水资源的时空分布变化决定着研究区绿洲的演变方向。

本文利用 RS 与 GIS 手段对研究区进行研究,其解译过程中存在一定的误差,影响对地物的判读精度,统计数据与实际面积存在差异。为此有待进一步的研究,以加强对研究区的分析,从而为减缓绿洲区土地荒漠化的速率提供科学依据,为研究区的土地生产服务。

[参 考 文 献]

- [1] 朱震达. 中国土地荒漠化的概念、成因与防治[J]. 第四纪研究, 1998(2): 145-155.
- [2] 赵哈林, 赵学勇, 张铜会, 等. 我国西北干旱区的荒漠化过程及其空间分异规律[J]. 中国沙漠, 2011, 31(1): 1-8.
- [3] 蓝永超, 孙保沐, 丁永建, 等. 黑河流域生态环境变化及其影响因素分析[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(2): 32-39.
- [4] 李义玲, 乔木, 杨小林, 等. 干旱区典型流域近 30 年土地利用/土地覆被变化的分形特征分析: 以玛纳斯河流域为例[J]. 干旱区地理, 2008, 31(1): 75-81.
- [5] 刘春雨, 赵军, 刘英英, 等. 25 年来额济纳天然绿洲 LUCC 及景观格局时空变化[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(9): 32-38.
- [6] 王心源, 郭华东, 王长林, 等. 额济纳旗绿洲生态环境的遥感动态监测分析[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 60-62.
- [7] 张小由, 龚家栋, 赵雪, 等. 额济纳绿洲近 20 年来土地覆被变化[J]. 地球科学进展, 2005, 20(12): 1300-1305.
- [8] Feng Qi, Cheng Guodong, Endo Kunihiko. Towards sustainable development of the environmentally degraded river Heihe basin, China [J]. Hydrological Science Journal, 2002, 46(5): 647-668.
- [9] Feng Qi, Liu Wei. Water resources management and rehabilitation in China [J]. Pakistan Journal Social Sciences, 2005, 3(2): 216-224.
- [10] 岳健, 张雪梅. 关于我国土地利用分类问题的探讨[J]. 干旱区地理, 2003, 26(1): 78-86.
- [11] 王旭东, 刘克利, 戴玉芝, 等. 1957—2007 年额济纳荒漠绿洲暖干化趋势[J]. 干旱区研究, 2009, 26(6): 771-777.
- [12] 付彩菊, 潘竟虎, 赵军. 基于 RS 和 GIS 的额济纳旗土地利用变化研究[J]. 国土资源科技管理, 2006, 23(6): 71-75.
- [13] 常兆丰, 韩福贵, 仲生年, 等. 民勤荒漠区几种主要固沙植物群落的水分平衡特性[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 139-164.
- [14] 李森, 李凡, 孙武, 等. 黑河下游额济纳绿洲现代荒漠化过程及其驱动机制[J]. 地理科学, 2004, 24(1): 61-67.
- [15] 董新光, 周金龙, 陈跃滨. 干旱内陆区水盐监测与模型研究及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 112-113.
- [16] 董光荣, 吴波, 慈龙骏, 等. 我国荒漠化现状、成因与防治对策[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 318-322.
- [17] 王耀斌, 冯起, 司建华, 等. 基于专家导向的额济纳绿洲生态系统恢复政策及措施评价[J]. 甘肃联合大学学报: 自然科学版, 2012, 26(2): 43-49.
- [18] 李守波. 黑河下游地下水波动带地下水时空动态 GIS 辅助模拟研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [19] 肖生春, 肖洪浪. 额济纳地区历史时期的农牧业变迁与人地关系演进[J]. 中国沙漠, 2004, 24(4): 448-450.
- [20] 陈红翔, 杨保, 王章勇, 等. 黑河中游河道生态环境需水量研究[J]. 水土保持研究, 2010, 17(6): 194-197.
- [21] 陈亚宁, 杨青, 罗毅, 等. 西北干旱区水资源问题研究思考[J]. 干旱区地理, 2012, 35(1): 1-9.
- [22] 刘蔚, 王涛, 郑航, 等. 黑河流域不同类型土地荒漠化驱动力分析[J]. 中国沙漠, 2008, 28(4): 634-641.
- [23] 席海洋, 冯起, 司建华. 实施分水方案后对黑河下游地下水影响的分析[J]. 干旱区地理, 2007, 30(4): 487-495.