新疆艾比湖地区土地沙漠化时空演变及其成因

曾小箕，丁建丽，樊亚辉

（新疆大学 资源与环境科学学院 绿洲生态教育部重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830046）

摘　要：基于 RS 和 GIS 技术，对 1990—2010 年艾比湖地区沙漠化动态变化进行了监测。研究表明，艾比湖地区分布着大面积的沙漠化土地，主要分布在其东部和西岸地区。20 a 间沙漠化土地面积明显减少，沙漠化土地面积从 1990 年的 4 426.49 km^2 减少到 2010 年的 637.33 km^2，减少了 3 789.16 km^2。经历了强烈逆转—稳定发展—基本稳定 3 个阶段，1990—2001 年沙漠化土地面积从 4 426.49 km^2 减少到 3 713.2 5 km^2；2001—2007 年沙漠化土地总面积保持基本不变，但沙漠化程度稍有加重；2007—2010 年沙漠化土地总面积略微增加，沙漠化程度在持续加深。近 20 a 来沙漠化转变尤为显著，气候变化和不合理的人类活动共同导致了研究区东部的沙漠化程度的加剧。

关键词：艾比湖；沙漠化；遥感；时空演变

文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2014)02-0287-06　　**中图分类号**：X87

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.02.059

Spatial and Temporal Changes of Desertification Land and Related Influencing Factors in Ebinur Lake of Xinjiang Uyghur Autonomous Region

ZENG Xiao-ji, DING Jian-li, FAN Ya-hui

(*College of Resource and Environmental Science, Key Laboratory of Oasis Ecology of Education Ministry, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang* 830046, *China*)

Abstract: The distribution of desertification land in Ebinur Lake region in 1990 and 2010 was monitored by remote sensing and GIS technology. There was a large area of desertification land in Ebinur Lake region and it was mainly distributed in east of study area and the west bank of Ebinur Lake. The decrease of desertification land was obvious from 1990 to 2010. The desertification land decreased from 4 426.49 km^2 in 1990 to 3 789.16 km^2 in 2010, decreased by 3 789.16 km^2. The study area experienced a development process from strong reverse of desertification to stability and development. From 1990 to 2001, the area of desertified land reduced from 4 426.49 km^2 to 3 713.25 km^2; from 2001 to 2007, the total area of desertified land will remain basically unchanged, but the degree of desertification is slightly higier. In the past 20 years, the desertification is particularly serious due to climate change and irrational human activities, and the eastern part of the study area is more serious.

Keywords: Ebinur Lake; desertification; remote sensing; spatial and temporal changes

沙漠化是在干旱、半干旱及部分半湿润地区由于人地关系不协调所造成的以风沙为主要标志的土地退化[1]。土地沙漠化过程也是土地退化过程，包括物理过程、生物过程、土壤化学过程、水文过程等[2]。土地沙漠化由于危害严重、分布广泛、威胁人口众多，已经成为全球最严重的环境与社会经济问题之一，受到社会各界的普遍关注。我国是世界上受沙漠化危害最为严重的国家之一，据统计资料显示，我国沙漠化土地面积达 1.69×10^6 km^2，占全国土地面积的 17.30%[3]。

沙漠化已不仅是一个单纯的生态环境问题，而且还演变为经济问题和社会问题，导致人类社会的贫困和不稳定。对于受沙漠化威胁的人们来说，沙漠化意味着将失去最基本的生存基础。国内外科学家对沙漠化问题研究，特别是对干旱半干旱区的土地沙漠化问题，进行了大量的研究并取得了丰硕的研究成果。

收稿日期：2013-04-23　　**修回日期**：2013-05-19

资助项目：国家自然基金重点项目“干旱区湖泊流域陆面过程及人类活动适应性：以艾比湖流域为例”(41130531)；国家自然科学基金项目(41161059)；教育部新世纪优秀人才支持计划项目

作者简介：曾小箕(1986—)，男(汉族)，江西省吉安市人，硕士研究生，研究方向为干旱区资源遥感。E-mail：zenger0323@163.com。

通信作者：丁建丽(1974—)，男(汉族)，山东省成武县人，教授，博士生导师，主要从事资源遥感与 3S 技术应用研究。E-mail：watarid@xju.edu.cn。

艾比湖是新疆地区最大的湖泊湿地，位于准噶尔盆地西南缘最低洼地和水盐汇集中心[4]。属于典型的干旱区湖泊，具有特殊的湿地—干旱生态环境，是天山西部气候变化的指示器[5]，对地处干旱的新疆北疆地区来说是极为重要的自然资源和经济资源，并发挥着不可替代的生态环境功能[6]。由于地处在阿拉山口大风通道下，生态系统极不稳定，具有很强的敏感性与脆弱性[7]。近几十年来，在气候变化和人类活动的双重作用下，艾比湖湖面缩小及其周边生态环境恶化，出现湖泊萎缩、沼泽地退化、草地沙化、生物多样性减少等一系列环境问题，直接影响到艾比湖流域乃至整个天山北坡经济带的社会经济发展[8-9]。随着人类社会的迅猛发展，在很大程度上愈演愈烈地作用于荒漠生态系统的原生素质，引起一系列以土地沙漠化为代表的生态逆向演替，由此产生了一系列生态环境恶化的严重后果。近几年，对于艾比湖地区沙漠化的研究也逐渐受到关注，研究主要集中在驱动力分析及荒漠化程度分级上，而从整体上对沙漠化土地进行分析的研究较少。自 20 世纪 90 年以来，随着社会的发展和人口的急剧增多，大规模的开垦荒地和入湖水量的减少，导致土地沙漠化程度加重，近年来随着西部大开发战略的实施，退地还草、限制放牧、滴灌农业的推广等措施土地沙漠化有所好转。在这 20 a 间，受人为因素和自然因素的影响，艾比湖地区土地沙漠化演变尤为显著，是沙漠化转变的关键时期。本研究在遥感和 GIS 技术的支持下，对艾比湖地区土地沙漠化变化进行动态分析，从而为艾比湖地区草地恢复，沙漠化治理和区域生态环境恢复与重建提供决策依据。

1 研究区概况

艾比湖地区坐标范围为 79°53′—85°02′E，43°37′—45°55′N。位于中国新疆维吾尔自治区与哈萨克斯坦共和国交界的阿拉山口。以艾比湖体为核心，包括湖滨地带范围约 2 960 km^2。温带干旱大陆气候，日平均气温 6～8 ℃，年日照时数约为 2 800 h，年平均降水量 90.9 mm，年蒸发量 3 790 mm 以上。艾比湖湿地是准噶尔盆地西南缘最低洼地和水盐汇集中心。由于特殊的地理位置和地形地貌特征使洼地内分布着多种荒漠类型，荒漠生物种群多样；生物多样性较完整[7]。随着人类社会活动的迅猛发展，土地沙漠化普遍发生，生态环境脆弱，易遭受自然因素和人类社会经济活动的影响。艾比湖湿地是指征准噶尔盆地生态环境变化的关键地区，生态区位与地理位置极为重要。

2 数据资料及研究方法

2.1 数据资料

本研究用到的遥感影像数据分别为 1990，2007，2010 年的 TM 数据（分辨率为 30 m）；2001 年的 ETM^+ 数据（分辨率 15 m）。遥感影像的时相均在 9—10 月之间，该时期植被生长良好，这有利于沙漠化土地的识别。此外本研究还用到 1∶50 万地形图、用作辅助数据的土壤类型图及土地利用图、野外景观照片以及实地调查资料。

2.2 遥感解译方法

利用不同地物在遥感影像 5，4，3 波段组合成假彩色图像中的色彩、色调、形状、大小、纹理、图案、阴影、位置和布局等特征，并结合研究区土地的自然生态和利用属性及其它非遥感数据进行综合分析、逻辑推理进行解译。由于地物结构和化学成分的不同，对太阳光谱进行选择性的吸收和反射，形成地物本身所具有的独特的光谱特征，因此在影像上呈现出各自的图像特征；由于在成像过程中光谱分辨率会受到诸多因素的干扰影响，从而存在“同物异谱”和“同谱异物”的现象。本研究利用实地考察照片、记录资料作为分类选取样本的依据。将上述样点转换为 shp 格式的矢量文件，对其进行空间插值，叠加在遥感影像上，在附近 3×3 像元范围内选择纹理和颜色相同像元作为分类感兴趣区，对较明显的地表类型（如绿地、沙漠、水体等）采用目视判读，最后采用人工神经网络分类方法进行监督分类。

2.3 沙漠化土地分类系统

沙漠化类型及发展程度是沙漠化研究的重要和基础内容之一[10]，参考已有的划分标准[11-15]，根据研究内容及研究区特殊的自然环境状况，以风成地貌形态为主，结合植被、土壤、景观、地貌等环境要素为指标，将研究区沙漠化土地类型划分为 4 种类别：轻度沙漠化，中度沙漠化，重度沙漠化，严重沙漠化。通过野外实地调查和 GPS 定位，对研究区域的遥感影像进行准确分辨，从而确定了艾比湖区域不同沙漠化程度的土地类型的遥感解译标志（表 1）。

3 结果与分析

3.1 不同时期的沙漠化土地面积变化

根据艾比湖地区 1990，2001，2007 和 2010 年 4 个时相沙漠化遥感监测的解译结果，采用 ArcGIS 的分类统计工具，对研究区内各时期不同程度的沙漠化土地面积进行统计（表 2）。结果表明，20 a 来研究区

沙漠化土地面积经历了从强烈逆转到基本稳定到稳定发展的变化过程。1990—2001 年为强烈逆转阶段,沙漠化土地面积减少了 713.24 km^2,轻度沙漠化土地面积急剧减少,中度沙漠化土地面积有所增加,增加面积 62.01 km^2。沙漠化土地总面积减少主要是人为原因导致的耕地大面积增加,但研究区东部的沙漠化程度仍在继续恶化。2001—2007 年期间沙漠化土地总面积保持基本不变,但沙漠化程度稍加重,沙漠化土地面积仍占 41.3%。轻度沙漠化土地面积仍然在减少,减少面积 94.55 km^2;中度、重度和严重沙漠化土地面积呈略微增加趋势,分别增加了41.73,26.51 和 25.99 km^2。在此 6 a 间绿地的面积增加了 342.81 km^2,而水域的面积减少了 86.59 km^2,说明人类活动对输入艾比湖的水源影响越来越大,艾比湖水源的减少导致严重沙漠化土地增加。2007—2010 年沙漠化程度在持续加重,沙漠化土地总面积略微增加,沙漠化总面积从 3 713.57 km^2 增加到 3 789.17 km^2。中度沙漠化土地面积减少了 58.97 km^2;轻度、重度和严重沙漠化土地面积分别增加了 68.28,38.3 和 27.62 km^2。这主要是由于艾比湖西部在人为因素下绿地增加,而东部土地沙漠化程度不断加剧所致。

表 1　沙漠化土地分类系统

编号	地 类	地物特征	植被特征
1	轻度沙漠化	基本无流沙分布,风蚀地貌不明显,片状或点状分布。	植被覆盖度大于 50%,原生植被种类受到影响。
2	中度沙漠化	流沙分布不明显,片状或连续块状分布。	植被覆盖度大于 20%,小于 50%,有低矮的沙丘出现。
3	重度沙漠化	以片状或者块状流动沙丘为主。	植被覆盖度大于 5%,小于 20%。局部地段植被消失,草场原有植物种群中混生沙生先锋植物。
4	严重沙漠化	以连续的片状或纹状结构分布的沙丘链为其重要特征,流沙比例达 60%～70%,有明显的边界。	几乎无植被覆盖,覆盖度在 5%以下,植被出现区域性消失。

表 2　1990－2010 年各沙漠化土地类型面积及比例

沙漠化类型	1990 年		2001 年		2007 年		2010 年	
	面积/km^2	百分比/%	面积/km^2	百分比/%	面积/km^2	百分比/%	面积/km^2	百分比/%
轻度沙漠化	1 974.55	22.0	1 351.55	15.0	1 257.00	14.0	1 325.28	14.7
中度沙漠化	1 609.94	17.9	1 464.29	16.3	1 506.02	16.8	1 447.05	16.1
重度沙漠化	512.01	5.7	574.02	6.4	600.53	6.7	638.83	7.1
严重沙漠化	329.98	3.8	324.40	3.6	350.39	4.2	378.01	4.3
非沙漠化	4 459.27	49.6	5 271.49	58.7	5 271.81	58.7	5 196.58	57.8

3.2　沙漠化土地时空变化

根据解译结果,利用 ArcGIS 空间叠加分析模块对解译得到的 3 期沙漠化数据进行叠加计算,分别得到 1990—2001 年、2001—2007 年、2007—2010 年 3 个时段的沙漠化土地转移矩阵(表 3)。

从表 3 可以看出,1990—2001 年沙漠化土地类型主要以逆转为主,逆转面积 1 199.75 km^2,轻度沙漠化逆转显著,逆转面积占总逆转面积的 57.0%;发展的沙漠化土地面积为 547.84 km^2,以弱发展为主,弱发展面积为 465.51 km^2,占总发展面积的 85.0%。1990 年主要以轻度沙漠化、中度沙漠化为主,占同期沙漠化土地总面积的 81.69%。到 2001 年时,经过 11 a 的沙漠化发展,该区土地沙漠化仍然以轻度沙漠化、中度沙漠化类型为主,占同期沙漠化土地总面积的 63.61%。1990 年非沙漠化土地面积占总土地面积的 51%,到 2001 年时增加到 59%。综上所述,在该时段该研究区沙漠面积减少,绿地增加,整体呈逆转趋势。

通过分析 2001—2007 年沙漠化土地转移矩阵可以得出,2001 年沙漠化土地类型以轻度沙漠化、中度沙漠化为主,占同期沙漠化土地总面积的 75.83%。到 2007 年时,经过 6 a 的沙漠化发展,该区沙漠化土地仍以轻度沙漠化、中度沙漠化类型为主,占同期沙漠化土地总面积的 74.40%,2001 和 2007 年非沙漠化土地面积占总土地面积同为 59.0%。因此,研究表明该时段研究区沙漠化土地类型变化以稳定为主,轻度沙漠化面积仍在减少,艾比湖东部沙漠化程度在进一步加剧。

由 2007—2010 年沙漠化土地转移矩阵得出,该时期内研究区土地沙漠化主要类型及比重几乎没变化。2007 年沙漠化土地类型以轻度沙漠化、中度沙漠化为主,占同期沙漠化土地总面积的 74.40%。到

2010 年，经过 3 a 的沙漠化发展，该区仍然以轻度沙漠化、中度沙漠化为主，占同期沙漠化土地总面积的 73.15%。2007 年非沙漠化土地面积占总土地面积的 58.7%，到 2010 年是 57.8%，略微降低。综上分析表明，该时段沙漠化土地面积稍微增加，沙漠化程度在持续加剧。

表 3 艾比湖地区 1990—2010 年沙漠化土地类型转移矩阵 km^2

时段	沙漠化程度	裸岩等	轻度	中度	重度	严重	绿地	水域	盐漠	总计
1990—2001 年	裸岩等	1 979.07	91.93	38.06	13.49	4.63	13.10	1.36	0.94	2 146.38
	轻 度	42.69	924.02	234.71	33.95	14.16	95.08	2.74	3.54	1 351.55
	中 度	23.66	314.82	979.33	74.92	32.41	5.26	1.59	31.17	1 463.62
	重 度	20.40	42.65	124.85	361.47	20.24	1.12	0.26	2.56	574.02
	严 重	4.08	9.00	30.68	25.84	254.67	0.10	0.01	0.01	324.40
	水 域	4.41	7.79	11.07	0.04	0.68	8.31	566.99	38.48	637.80
	绿 地	31.62	583.67	44.46	1.67	3.11	1 036.88	17.70	1.47	1 720.68
	盐 漠	0.24	0.51	146.61	0.38	0.08	0.09	4.09	615.99	767.98
	总 计	2 110.39	1 974.55	1 609.94	512.01	329.98	1 159.97	594.75	694.16	8 985.75
2001—2007 年	裸岩等	1 881.71	22.91	10.81	6.89	1.91	1.31	5.99	0.17	1 931.84
	轻 度	131.87	720.46	242.40	40.82	11.87	8.45	100.46	0.64	1 257.00
	中 度	48.33	193.40	966.06	98.44	19.00	5.84	7.09	167.87	1 506.02
	重 度	19.83	37.94	120.25	397.59	24.02	0.10	0.32	0.48	600.53
	严 重	8.58	19.43	31.74	23.33	265.73	0.16	1.36	0.06	350.39
	水 域	2.40	3.88	2.42	0.66	0.05	528.81	11.91	1.09	551.21
	绿 地	52.44	344.18	60.94	3.73	1.79	10.57	1589.80	0.07	2 063.52
	盐 漠	1.80	9.34	29.67	2.55	0.03	82.56	3.78	597.60	727.32
	总 计	2 147.14	1 351.55	1 464.29	574.02	324.40	637.80	1 720.71	767.98	8 985.75
2007—2010 年	裸岩等	1817.41	47.40	27.96	23.63	5.16	3.25	4.92	3.20	1 933.09
	轻 度	63.21	809.60	185.73	33.11	27.35	4.65	195.05	6.55	1 325.28
	中 度	21.33	137.44	1 040.63	79.36	14.68	1.34	16.00	136.24	1 447.05
	重 度	13.17	43.87	128.90	427.81	21.59	0.14	0.21	3.12	638.83
	严 重	5.29	14.61	45.43	35.74	275.99	0.17	0.38	0.40	378.01
	绿 地	10.92	200.19	27.45	0.80	5.57	18.55	1 845.12	11.42	2 120.02
	水 域	0.26	3.60	6.54	0.06	0.05	461.17	1.81	16.61	490.11
	盐 漠	0.16	0.25	43.39	0.02	0.00	61.95	0.03	549.78	655.57
	总 计	1 931.84	1 257.00	1 506.02	600.53	350.39	551.21	2 063.52	727.32	8 985.75

4 沙漠化成因分析

沙漠化是各种自然、生物、社会、政治、文化和经济等因素复杂作用的结果，归根到底，是人为和自然两类因素[16]。

4.1 自然因素

本研究搜集和整理了 1990—2010 年间精河、博乐和阿拉山口 3 个气象站的气温、降水量、蒸发量、风速等有关气象为数据源进行分析，在艾比湖地区沙漠化的气候影响因子中，最主要的是气温和降水，而气温的升高是关键作用，导致蒸发量增加，在艾比湖地区沙漠化发生和发展过程中起着重要的驱动作用。

4.1.1 研究区气温与降水变化 艾比湖地区范围广阔，属典型的温带大陆性气候。流域西高东低的地势特点，气温则由西向东逐渐升高。研究区年均气温为 8.3 ℃，日月气温差异较大，春季气温回升快，秋季降温迅速，夏季炎热，冬季寒冷。从多年年平均气温来看(图 1)，艾比湖地区在近 20 a 间的平均气温缓慢上升，升高幅度可达 0.3 ℃，平均增温率为 0.038 ℃，高于中国近 40 a 来的平均增温率及全球近百年来的平均增温率。

从近 20 a 降水变化来看，艾比湖地区年均降水量缓慢减少，最低降水量为 1997 年的 60.8 mm，最高为 2001 年的 164.6 mm。20 世纪 90 年代最低降水量为 60.8 mm，最高为 149.5 mm，降水量振幅均为 88.7 mm，21 世纪前 10 a 最低降水量为 67.2 mm，最高为 164.6 mm，振幅为 97.4 mm。从艾比湖地区的降水季节分布来看，夏季降水量对全年降水量贡献最大。而降水变率大，对地表植被生长保护及水资源开发利用均有不利影响。研究区年均气温和降水的总体变化是

气温升高、降水减少,导致气候呈现出暖干化的特征,产生土壤湿度下降、地表蒸发量增大等环境问题,进一步导致地表植被退化、枯萎,为风力侵蚀地表创造了有利条件,从而导致了沙漠化的进一步发展。

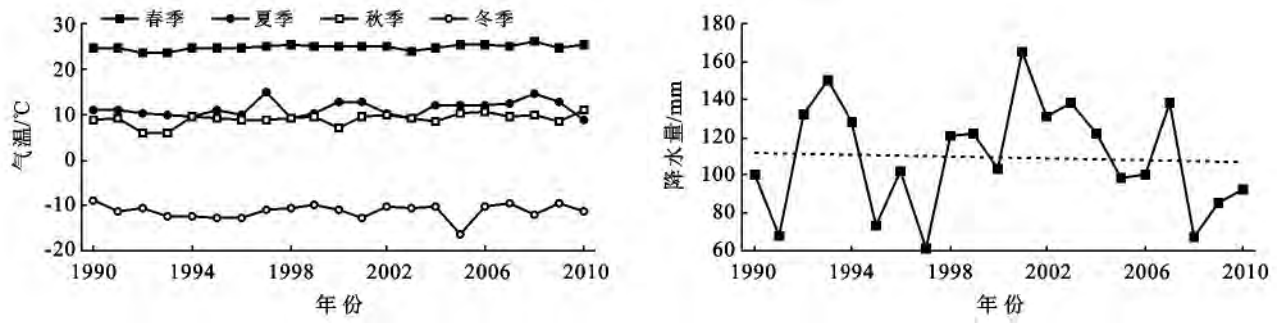


图 1　艾比湖地区 1990－2010 年来年平均气温、降水变化

4.1.2　蒸发量和风速的变化　从年际的蒸发量变化图来看(图 2),21 世纪初以来,在全球气候变暖的环境下,研究区年蒸发量有增加的趋势,而蒸发量增加会导致生态用水严重不足,地表植被不但逐渐丧失了控制沙漠化发展的能力,而且会促使沙漠化加速发展。

艾比湖由于处于阿拉山口,大风是影响当地气候的主导因素。该山口年均有 8 级以上大风 241 h,瞬间最大风速达 55 m/s。从研究区风速年际变化图来看,近 20 a 来艾比湖流域年均风速有所减小,风速减小与植被的增加有一定的关系。也有利于艾比湖流域沙漠化程度的好转。在 2001—2010 年间该研究区风速又开始逐渐增大,结合沙漠化专题图可发现,植被的增加多为精河、博乐等地区人工绿洲的增加,而对周边地区来说,虽然年均风速有所减小,但沙漠化程度却仍呈加剧态势。

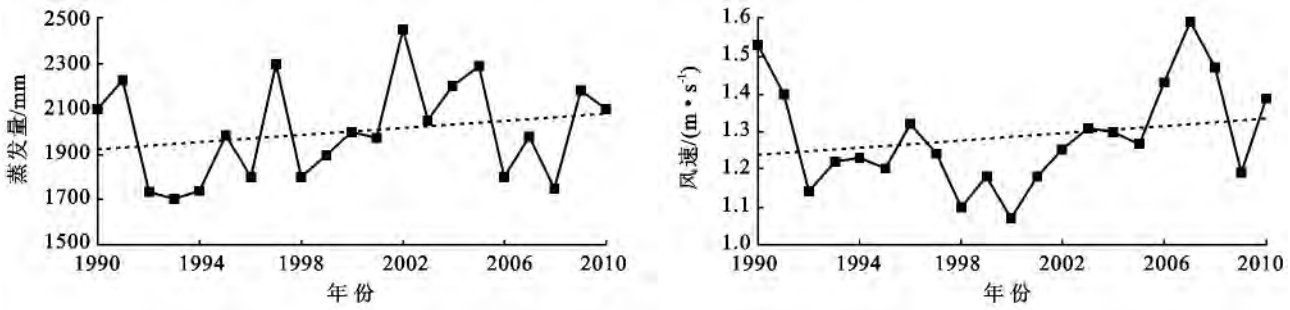


图 2　艾比湖地区 1990－2010 年来蒸发量、风速年际变化

4.2　人为因素

人类活动在沙漠化过程中的作用非常显著,人类活动通过生产生活方式来影响沙漠化[17]。据王涛等[18]人研究,影响沙漠化的不合理生产生活方式主要形式表现为过耕、过牧、过樵、过度利用水资源等。处于经济转型初期的新疆地区在社会经济发展过程中,更多地关注经济增长和工业化发展,容易忽视生态环境的破坏[19-20]。

4.2.1　人口数量变化　近 20 a 来,研究区人口数量一直呈持续稳定上升的趋势,如博州地区 1990—2008 年人口增长了 8.2 万人(图 3)。但是城市化水平一直较低。人口的迅速增长导致耕地面积的急剧增加,这是导致研究区轻度沙漠化土地减少和人工绿洲增加的主要原因。

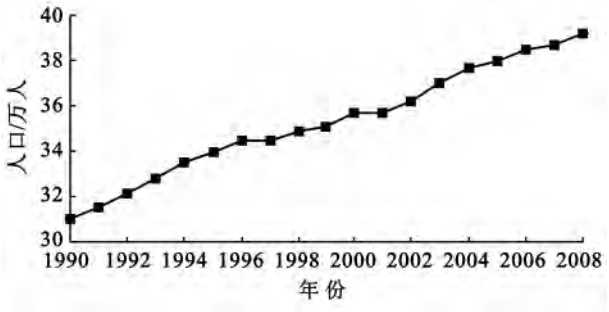


图 3　博州近 20 a 总人口变化曲线

4.2.2　生产方式的改变　生产方式的改变也是导致沙漠化的一重要原因,其中包括土地过度开垦、过度放牧和过度樵采等。其中过度放牧是造成研究区沙漠化加剧发展的重要原因之一,过度放牧等人为活动加剧了沙地、草地生态系统退化,对艾比湖地区的生

产、生活和生态安全构成严重的威胁。可以用牲畜压力来衡量草地利用方式是否合理。1990—2010 年研究区牲畜头数呈现先增加后减少的趋势，1990—2004 年均增长率为 3.04 万头。2004 以后出现减少趋势，年均减少率为 4.05 万只。由于一定面积草地载畜量是有限度的，当牲畜数量的快速增加，超过这个限度时，由于牲畜的过度啃食，致使草地高度降低、盖度减小及牲畜践踏，将一定程度上加剧了土地沙漠化程度。

5 结 论

(1) 1990—2010 年艾比湖研究区沙漠化土地的总面积在减少，研究区沙漠化土地面积经历了从强烈逆转到基本稳定到稳定发展的变化过程。沙漠化土地总面积减少主要是人为原因导致的耕地大面积增加，在人为因素下绿地增加，而东部土地沙漠化程度不断加重。由于沙漠化土地基数过大及人类生产方式的改变，因此对沙漠化土地面积增长的控制将是一个长期的工作。

(2) 在沙漠化土地空间分布上，1990—2010 年研究区的沙漠化分布特征为：严重、重度沙漠化土地位于艾比湖东岸，呈片状分布；在艾比湖西岸轻度沙漠化土地面积较大，呈块状分布；而中度沙漠化土地主要分布在艾比湖东岸，呈大片分布，在研究区中占绝对优势。

(3) 由于人类对土地资源的过度利用，人口的增长、过度开垦、过度放牧等增大了当地环境的负担，使沙漠化程度加剧。随着近些年政府和当地民众对沙漠化问题的重视，有了政策与资金的投入，沙漠化严重问题得以缓解。但是艾比湖东岸沙漠化仍然十分严重，需要政府以及当地农民的共同努力。

(4) 基于遥感和 GIS 技术，对艾比湖地区的土地沙漠化进行动态监测和时空变化分析，不仅能够提供其变化信息，而且还可以通过长期监测建立土地沙漠化数据库，结合气象数据及社会经济等数据为其防治提供科学数据和决策支持。

[参 考 文 献]

[1] 王涛，吴薇，薛娴，等. 近 50 年来中国北方沙漠化土地的时空变化[J]. 地理学报，2004，59(2)：203-212.

[2] 董治宝，王涛，屈建军，等. 100 a 来沙漠科学的发展[J]. 中国沙漠，2003，23(1)：1-5.

[3] 张慧超，沙占江，张婷婷，等. 20 年来环青海湖区沙漠化土地的空间变化及其驱动力分析[J]. 干旱区资源与环境，2011，25(3)：59-64.

[4] 毋兆鹏，金海龙，王范霞. 艾比湖退化湿地的生态恢复[J]. 水土保持学报，2012，26(3)：212-221.

[5] 尚华明，魏文寿，袁玉江，等. 艾比湖胡杨宽度年表建立及其环境意义[J]. 中国沙漠，2008，28(5)：815-820.

[6] 刘世薇，周华荣，梁雪琼，等. 艾比湖流域降水与径流变化特征分析[J]. 水土保持学报，2011，25(5)：21-25.

[7] 李虎，陈冬花，慈龙骏，等. 新疆艾比湖地区土地荒漠化时空格局的变化[J]. 中国水土保持科学，2008，6(4)：28-32.

[8] 周驰，何隆华，杨娜. 人类活动和气候变化对艾比湖湖泊面积的影响[J]，海洋地质与第四纪地质，2010，30(2)：121-126.

[9] 苏颖君，张振海，包安明. 艾比湖生态环境恶化及防治对策[J]，干旱区地理，2002，25(2)：143-148.

[10] 李爱敏，韩致文，许健，等. 21 世纪初科尔沁沙地沙漠化土地变化趋势[J]. 地理学报，2006，61(9)：976-984.

[11] 沙占江，曾永年，李玲琴，等. 土地沙漠化动态监测的遥感与 GIS 一体化探讨：以龙羊峡库区为例[J]. 干旱区地理，2005，23(3)：274-278.

[12] 封建民，王涛. 遥感和 GIS 支持下的黄河源区土地沙漠化研究[J]. 水土保持通报，2008，28(2)：116-120.

[13] 段翰晨，王涛，薛娴，等. 科尔沁沙地沙漠化时空演变及其景观格局：以内蒙古自治区奈曼旗为例[J]. 地理学报，2012，67(7)：917-928.

[14] 李爱敏，韩致文，黄翠华，等. 21 世纪初科尔沁沙地沙漠化程度变化动态监测[J]. 中国沙漠，2007，27(4)：546-551.

[15] 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.

[16] 朱震达，刘恕. 中国北方沙漠化过程与分区治理[M]. 北京：林业出版社，1981：32-33.

[17] 董朝阳，樊胜岳，钟方雷，等. 中国沙漠化过程中人文作用研究进展[J]. 中国沙漠，2006，2(4)：657-663.

[18] 王涛，朱震达，赵哈林. 我国沙漠化研究的若干问题：沙漠化的防治战略与途径[J]. 中国沙漠，2004，24(2)：115-123.

[19] 胡光印，董治宝，逯军峰，等. 黄河源区 1975—2005 年沙漠化时空演变及其成因分析[J]. 中国沙漠，2011，31(5)：1079-1086.

[20] 王长建，张小雷，杜宏茹，等. 近 30 a 新疆城市化与生态环境互动关系的动态计量分析[J]. 中国沙漠，2012，32(6)：1794-1802.