

基于 LUCC 的渭干河—库车河三角洲绿洲 水文及生态特征

王娟^{1,2,3}, 张飞^{1,2,3}, 于海洋^{1,2,3}, 任岩^{1,2,3}, 张月^{1,2,3}

(1. 新疆大学 资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学 绿洲生态教育部重点实验室,
乌鲁木齐 830046; 3. 新疆智慧城市与环境建模普通高校重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘要: 高强度的人类活动促使 LUCC 对水圈和生物圈产生了巨大的影响, 以塔里木盆地北缘典型绿洲渭干河—库车河三角洲绿洲为研究区, 采用 1989 年、1998 年以及 2013 年多期遥感影像, 利用最大似然的方法对影像进行分类并统计出研究区耕地、林地、盐渍地、水体以及裸地的变化, 讨论 LUCC 对水文及生态特征的影响。结果表明: (1) 从水文特征方面来看, 由于人类活动强度加强导致渭干河—库车河三角洲绿洲的 LUCC 大幅度的改变。自 1989—2013 年这 25 a 间, 耕地面积总共增加 $2.408 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。而由于耕地面积的增加, 促使用于灌溉等用水量大量增加, 加上修建渠道、水库等活动促进地表径流量有所增加, 导致研究区年径流量呈现出缓缓上升趋势。因为随着灌区排水系统的完善, 疏干了低洼地的积水, 降低了相应地域的地下水位, 从而造成地下水位呈现出逐年下降的趋势。(2) 从生态特征方面看, 人类活动作为主导因素所导致的 LUCC 通过与气候变化交互作用, 引起温度、湿度以及蒸发量发生变化; 耕地面积的大范围增加, 导致草地、林地等自然栖息地破碎化和丧失, 加之 25 a 间由于人为饲养家禽种类的简化、数量的大幅度增长, 在综合作用结果下, 最终导致生物多样性简化、单一性愈发显著。因此, 本研究为系统开展 LUCC 对生态环境影响的趋势和机制方面有较高的科学价值。

关键词: LUCC; 水文; 生态; 最大似然分类

中图分类号: X87

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)02-0236-07

Analysis on the Hydrological and Ecological Characteristics Based on the LUCC in Weigan and Kuqa River

WANG Juan^{1,2,3}, ZHANG Fei^{1,2,3}, YU Haiyang^{1,2,3}, REN Yan^{1,2,3}, ZHANG Yue^{1,2,3}

(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Key Laboratory of oasis Ecology, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

3. Key Laboratory of Xinjiang wisdom city and environment modeling Urumqi, Urumqi 830046, China)

Abstract: Land use/land cover change (LUCC) is one of the core issues in global change research. Because of human behaviors, especially the aggravated land utilization by wasteland cultivation, more fertilizer and land utilization change resulting from cosmically disafforestation and disintegrating habit, the nature landscape was seriously destroyed and the survival environment of animals and plants was inflected, which degrade the eco-system function. As a result, high intensity of human activity let LUCC has the great influence on the hydrosphere and biosphere. We used the typical oasis Weigan-kuqa River as the study area. We used the method of maximum likelihood for image classification and statistics of cultivated land, forest land, saline land, water, and the bare land in the years of 1989, 1998, 2013. The results show that: (1) from the aspects of hydrological, LUCC changed significantly because of the human activities in the oasis Weigan-kuqa Rive, from 1989 to 2013, in total, cultivated area increased by $2.408 \times 10^3 \text{ km}^2$ that led to irrigation and other water consumption, at the same time, combination of construction of irrigation channels and reservoirs and other activities promoted increased surface runoff and caused the decline of underground water level year by

year; (2) from the aspects of ecological, LUCC caused climate change with the main factors of human activity in the study area, it was caused by changes in temperature, humidity and evaporation, with the widespread increase of arable land, grassland and woodland area decreased to some extent, making the biodiversity simple and simplex significantly. Therefore, study on the characteristics of hydrological and ecological as well as environmental impacts and mechanisms based on the LUCC has the significant scientific value.

Keywords: LUCC; hydrological; ecological; maximum likelihood classification

土地利用/覆盖变化(LUCC)影响着水分循环以及能量循环等陆地主要生态过程的结构和功能,会造成生态系统和生态环境的变化^[1]。其对诸多自然要素和生态环境产生重大影响,是全球变化的重要原因和驱动因子之一^[2]。

生态水文学所研究的对象不仅仅局限于湿地生态系统,还应该包括其他生态系统,如干旱地区的生态系统、森林和疏林生态系统、江河生态系统、湖泊生态系统和水生生态系统等^[3]。生态水文学正是在全球水资源短缺的背景下,在人类寻求合理实现水资源的持续利用中形成的。我国西部地区多为干旱、半干旱地区,因此水资源的合理开发利用是我国高速发展的关键。

目前,国内外已有许多学者对于生态水文方面进行了研究。如国外 Tighe Matthew^[4]等研究了通过生态演替、水文过程和碳采集在微观层面上测量生物外壳;Daniel L. Peters^[5]等研究了寒冷地区的水文指标变化对生态流量需求评估;Peters Daniel L^[6]等研究了在加拿大农业地区建立生态需水评估标准的分析;国内李崇巍^[7]等通过构建保水指数,研究其与景观格局指数的关系;黄青^[8]利用3S技术,对塔里木河中游景观格局与生态水文过程进行系统分析,结果发现景观多样性指数与径流的相关性最大。但是,以上研究多集中在降水丰富和大江大河等水量充沛的地区,对于生态环境脆弱、土地荒漠化十分严重的中国西北干旱区,这些研究与生态过程的结合较少。因此,本文以干旱地区典型绿洲渭干河—库车河三角洲绿洲为例,分析了该地区LUCC对生态水文过程的影响,对我国干旱区水文和生态特征方面研究有着较为重大的科学意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

渭干河—库车河三角洲绿洲(以下简称渭—库绿洲)地处天山南麓,范围大致位于41°00′—42°24′N, 80°54′—83°48′E,是完整且相对闭合的山前冲洪积平原绿洲。其地处新疆维吾尔自治区南部的塔里木盆地,范围包括库车、沙雅和新和3个县,土地总面积为523.76万hm²。1960—2010年来多年平均降水量为120.3

mm^[9]。其中,沙雅地区最低,库车地区最高,年均蒸发量为1992.0~2863.4mm,干燥度系数为44.37,属于干旱与极端干旱地区。年平均气温为10.5~14.4℃,属大陆性暖温带极端干旱气候,光热资源丰富。流域水资源维护养育着绿洲发展"是绿洲主要的灌溉水源,1965—2006年多年平均径流量为29.9亿m³,其中冰川径流占出山径流量的56.2%^[10]。当前流域绿洲的河水引水量已达渭干河年径流量90%以上,基本无下泄水量。整体上,流域绿洲水资源利用程度高,但利用效率低下,引发的绿洲内部次生盐碱化现象严重^[11]。

1.2 数据源

该研究本底资料有(1)采用1989年、1998年以及2013年多期遥感数据,其分辨率均为30m,没有云、雾和积雪等的影响,经过大气校正、几何校正处理,图像质量好。(2)水文特征和生态特征分析主要是根据渭干河水系中库车河兰干站、渭干河黑孜水库站以及渭干河千佛洞站1957—2006年水文观测资料。(3)渭—库地区统计资料(气象、水文、人口、土壤、社会经济等)。(4)研究区统计资料,利用SPSS等软件分析其变化规律。

1.3 遥感图像分类

监督分类(supervised classification)又称训练场地法,是以建立统计识别函数为理论基础,依据典型样本训练方法进行分类的技术。根据分类的复杂度、精度需求等选择一种分类器,此外还包括应用于高光谱数据的波谱角(Spectral Angle Mapper Classification)、光谱信息散度(Spectral Information Divergence Classification)和二进制编码(Binar 监督分类 Encoding Classification)分类方法^[12]。

本文采用监督分类方法中的最大似然分类法,也称为贝叶斯分类,是基于图像统计的监督分类法,也是应用最广的监督分类方法^[13-15]。作者利用该方法对1989年、1998年以及2013年多期遥感影像进行最大似然分类。根据研究区概况,将研究区分为耕地、林地、盐渍地、水体以及其他五种土地类型。结果表明,1989年图像分类精度为99.19%、Kappa系数为0.9898;1998年图像分类精度为99.68%、Kappa

系数为 0.996 0;2013 年图像分类精度为 98.44%、Kappa 系数为 0.980 3。为进一步验证分类结果的准确性,统计得到各分类类型间的分离度,见表 1。由表 1 可以得到各类型间的分离度较高,均达到 1.9 以上,说明各类型之间区分度较大,分类结果较好,满足该研究的要求。

表 1 各地物类型间分离度

| 地物类型 | 1989 年 | 1998 年 | 2013 年 |
|--------|------------|------------|------------|
| 耕地与林地 | 1.93910134 | 1.90645123 | 1.99356066 |
| 耕地与盐渍地 | 1.99999930 | 2.00000000 | 2.00000000 |
| 耕地与水体 | 2.00000000 | 2.00000000 | 2.00000000 |
| 耕地与其他 | 1.99999546 | 1.99999881 | 2.00000000 |
| 林地与盐渍地 | 1.99999273 | 1.99957330 | 1.99904785 |
| 林地与水体 | 1.99999993 | 1.99950522 | 1.99999619 |
| 林地与其他 | 1.99999744 | 1.99538057 | 1.99052734 |
| 盐渍地与水体 | 2.00000000 | 2.00000000 | 1.99999996 |
| 盐渍地与其他 | 1.93910134 | 1.92773225 | 1.91720279 |
| 水体与其他 | 2.00000000 | 1.99999988 | 2.00000000 |

2 结果与分析

2.1 基于 LUCC 的水文特征研究

水资源是维系干旱区绿洲生态环境与经济社会和谐发展的决定性因素。然而,受到人类社会对水土资源大力开发的影响,造成对水资源需求量的急剧增加,促使干旱区绿洲水循环过程和生态格局发生了一定的变化,更造成干旱区绿洲水资源短缺与生态退化,成为实现流域可持续发展的关键障碍^[16-17]。

2.1.1 LUCC 分析 土地利用/覆被变化可引起许多自然现象和生态过程的变化,研究土地利用/覆被变化及其对生态环境的影响,对于了解区域生态环境乃至全球环境变化具有重要的意义^[18]。土地利用/覆盖的变化对水资源分布在一定程度上造成了很大的影响,并在一定时空域上改变其原有的演变轨迹。因此,如何解决“人—水—生态”之间的关系是实现可持续发展的关键,人类应该更深刻的思考生存环境,水资源把人类与自然紧密的联系起来,成为一个共同体。要处理好人与自然的关系,首先要处理好水问题^[19]。为研究人类活动对水资源以及生态环境的影响,作者对 1989 年、1998 年及 2013 年多期遥感影像进行了最大似然分类,如附图 8 所示。

由附图 8 可以看出,从 1989—2013 年这 25 a 期间,人类活动逐渐增强,土地类型有了很大的变化。为满足人口增长需要,从 1989—2013 年林地有逐渐减少的趋势,而耕地取而代之,面积不断增加。同时,由于人类耕种方式的改善,多年来盐渍地有所改善,面积有逐渐变小的趋势。水体变化幅度较小,裸地面积也随着耕地面积的不断扩张而大幅度缩减。通过

统计可以得到这 25 a 中,耕地面积从 1989—2013 年总体上增加了 $2.408\times10^3\text{ km}^2$ 。从 1989—1998 年近 10 a 期间,耕地面积增加了 $6.29\times10^2\text{ km}^2$;而从 1998—2013 年这 15 a 中,耕地面积大幅度增长,与 1998 年相比耕地面积增加了 $1.779\times10^3\text{ km}^2$ (如图 1 所示)。随着社会的发展,人类的活动,导致土地利用/覆盖得到了很大的改变。由于耕地面积的大幅度增长,进一步影响了地表水与地下水资源的变化。

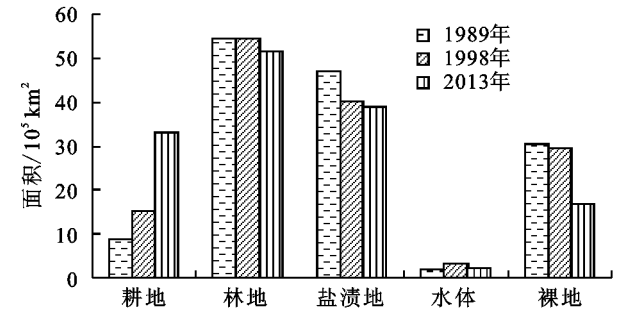


图 1 渭一库绿洲土地利用/覆盖变化

2.1.2 基于 LUCC 的径流量变化特性研究 在我国西北干旱区,水资源是社会发展的关键制约因素,而干旱区水资源主要来源于河川径流,河川径流的变化将直接影响到当地社会经济的发展^[20]。近 50 a 来,我国西北地区逐渐向暖湿化发展,温度持续升高,气候因子的变化势必会影响到河川径流的变化^[21]。近年来,很多研究已经表明西北地区河流径流主要表现为增加趋势^[22]。在全球变暖的大背景下,研究地表径流的变化特征,对深入了解流域水循环与水平衡具有重要意义。

通过实地考察、数据的收集,制作了渭一库绿洲水系图,见附图 9。图中可以清晰的看到渭一库绿洲地表水资源的分布状况。在此基础上,作者根据渭干河水系中库车河兰干站、渭干河黑孜水库站以及渭干河千佛洞站 1957—2006 年水文观测资料绘制了近 60 a 渭一库绿洲的径流量变化图(见图 2)。其中从 1957—1960 年的平均径流量为 31.48 亿 m^3 ,从 1961—1970 年的平均径流量为 30.56 亿 m^3 ,从 1971—1980 年的平均径流量为 30.66 亿 m^3 ,从 1981—1990 年的平均径流量为 32.06 亿 m^3 ,从 1991—2000 年的平均径流量为 35.85 亿 m^3 ,从 2001—2006 年的平均径流量为 37.98 亿 m^3 。可以看出多年来渭干河—库车河三角洲流域的多年平均径流量呈上升的趋势,结果与研究西北地区河流径流主要表现为增加趋势相符合,说明多年来研究区地表水资源有所增加且较为丰富。耕地面积的扩张,促使用于灌溉等用水量大量增加,加上修建渠道、水库等活动更进一步促进地表径流量有所增加。而地表水资源的增加有利于满足人们耕种的需要,但

也要合理利用地表水资源,以免造成土地沙化和盐渍化,加剧了土地退化,增加土地压力。

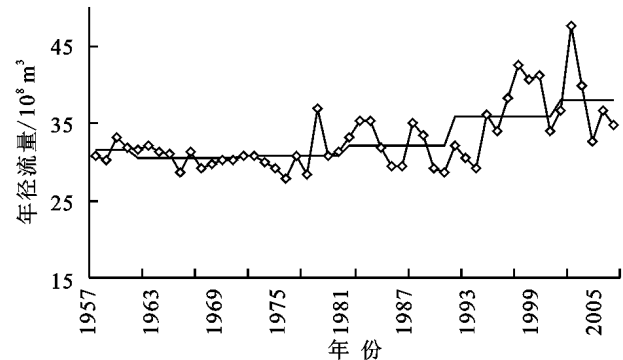


图 2 渭—库绿洲年径流量变化

2.1.3 基于 LUCC 的地下水位变化研究 地下水动态特征可以反映出本区域地下水补给条件的好坏和地下水开发利用的程度高低。土地利用方式对地下水资源有着显著的效应,改变了地下水系统的天然循环路径和方式。土地利用变化的各种过程不仅决定地下水的补给部分,而且也决定着地下水的水质状况^[23-24]。

由于地形的影响,研究区的地下水在灌溉区大体上呈沿扇形分布。其地下水来源于降水、田间灌水、渠系引水、河道放水等地表水源的渗透,且主要以降雪融水为主要补给方式。从渭干河各支流及库车河山区径流补给情况来看,地下水每年总补给量为 19.94 亿 m^3 ,其中渭干河补给 2.18 亿 m^3/a ,库车河补给 0.242 2 亿 m^3/a ,渠系入渗 15.01 亿 m^3/a ,平原库渗漏 0.246 亿 m^3/a ,田间渗漏 1.87 亿 m^3/a ,天然补给量为 0.39 亿 m^3/a ^[25]。

在渭干河灌溉区内,收集了按照绿洲外围及绿洲内部布置方式布设的 38 眼观测井的 1996—2012 年的地下水位资料,地下水位为每月 5 号、15 号、25 号由人工观测得到的(研究的数据主要来源于渭干河流域管理局提供)。利用研究区 38 眼观测井的 16 a 的观测数据,计算不同年份 38 眼观测井的平均地下水位。

分析了 1996—2012 年的平均地下水位的动态变化,如图 3。可以看出,1996—2001 年期间研究区平均地下水位具有下降趋势,这主要是因为随着灌区排水系统的完善,特别是骨干排水沟渠的开通运行,疏干了低洼地的积水,同时也降低了相应地域的地下水位。2002 年和 2003 年有上升趋势,主要是由 2002 年 7 月 22—23 日的特大洪水引起的。2003 年的地下水位也一定程度上受 2002 年的洪水的影响。自 2003 年后明显下降趋势。多年来地下水位整体呈现出逐渐下降的趋势。其中人口的大量增加所导致的用水增加、耕地面积的大量增加所导致的灌溉需水量增加,使得人类对地下水的开采力度大大加强,从而

也是促使地下水位一直呈现出下降趋势的重要原因。

地下水位下降导致潜水蒸发减少使得给土壤水补给量减少,从而导致土壤水分匮乏以及生态环境退化。为此,地下水一旦遭到破坏,很难修复。因此应该科学的认识研究区地下水特征,对地下水进行合理的开发、保护以及治理,从而保障流域的供水安全、生态环境安全和地下水资源的可持续发展。

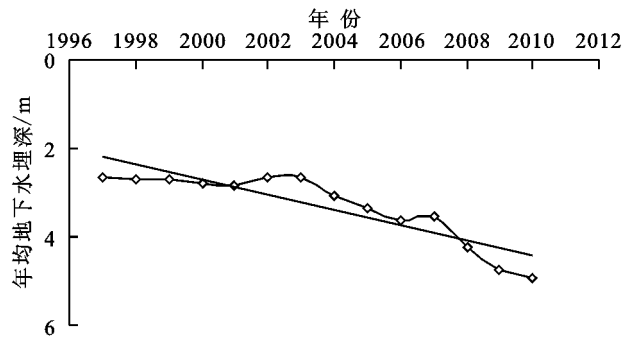


图 3 渭—库绿洲地下水位变化

2.2 基于 LUCC 的生态特征研究

土地利用通过改变地表覆被而影响环境变化,如气候变化、陆地生态系统的碳循环、土地质量、生物多样性等^[26]。土地利用变化被认为是生态系统多样性下降的主要驱动因子^[27],受到广大生态学家的高度关注。

2.2.1 LUCC 对气候变化影响 随着全球变暖研究的深入,人类活动作为主导因素所导致的 LUCC 通过与气候变化交互作用,在局地、区域与全球尺度对生态系统产生重要影响。由于土地利用变化引起下垫面物理性质的改变,即地表反射率、粗糙度、植被叶面积以及植被覆盖比例的变化引起温度、湿度、风速以及降水发生变化,由此引起局地与区域气候变化。为此,作者收集了渭—库绿洲近 25 a 来的年均温度、年均相对湿度以及年均蒸发量的数据,分析了渭—库绿洲气候的变化情况(图 4)。

由图 4 可得,渭—库绿洲近 25 a 来年均温度虽有所波动,但整体呈现出上升的趋势。随着温度的逐年升高导致年均相对湿度则呈现出缓慢下降的趋势。而由于 LUCC 导致植被类型的改变,尤其是人类社会发展的耕地面积大量增加,加之受年均温度逐年上升的影响导致年均蒸发量也整体呈现出上涨的趋势。在全球变暖和水分循环加快的背景下,特别是在生态环境极其脆弱的渭干河—库车河三角洲绿洲,强烈的 LUCC 增加了气候发生变化的可能性。近些年新疆气候发生了明显的变化,发生了由暖干向暖湿方向的转型,因此掌握渭—库绿洲气候因子的动态变化对新疆的生态环境、经济发展、洪旱灾害和人民生活等均具有重要影响。

2.2.2 LUCC 及牲畜变化对渭—库绿洲生态环境的影响 物种在长期进化过程中,彼此之间及其与环境之间形成了相对稳定的适应关系,而 LUCC 改变了这些关系。LUCC 是导致自然栖息地破碎化和丧失的主要因素,而有效栖息地面积是决定生物多样性的主要因子^[28]。天然林破坏、城市化、农田开垦过程或农田弃耕等都引起生态系统结构和功能的变化。因此,渭—库绿洲土地利用的变化,意味着研究区生态系统物种组成结构与功能的显著变动,从而使区域生物多样性发生变化。本研究基于 LUCC,初步分析牲畜数量的增长趋势,探讨渭—库绿洲生态环境的变化情况。

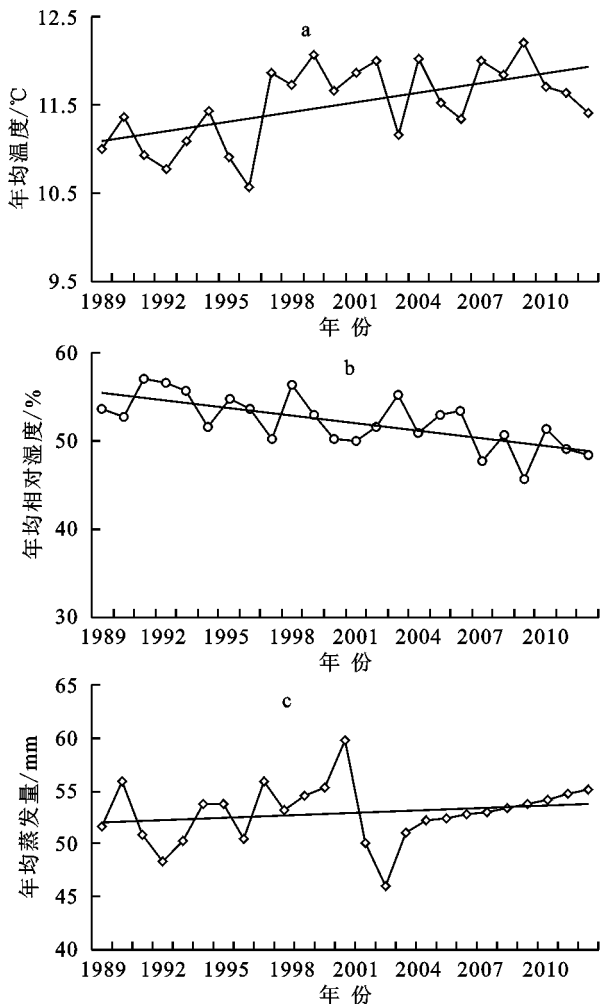


图 4 年均温度、相对湿度及蒸发量变化

渭干河—库车河三角洲绿洲,由于缺少煤矿资源,各族农民能源主要依靠天然林的红柳、胡杨、梭梭。初步计算,如每户每月若要按 250 kg 计算,整个绿洲 10.9 万户(50 a 平均)就需要 32.7 万 t,每 1 km 按 2.25 t 出柴量计算,每年砍伐 14.53 km²,50 a 砍伐破坏 7.27×10² km²^[29]。所以群众取柴是林地减少的主要原因。与此同时,人类对天然草地的开垦,加上草地的荒漠化,也造成草地面积锐减。且渭—库绿

洲草地普遍存在严重超载过牧现象,平均超载率达 23.89%,导致本来就十分脆弱的植被生态系统更加剧衰退。通过董森等^[30]的研究,绘制了自 1989—2008 年耕地、草地、林地以及水体的面积变化,如图 5 所示。结果表明渭—库绿洲多年来因人口增长需要,耕地面积有所增长,草地、林地以及水体都有一定程度上的减少。自然栖息地面积的锐减,加之人为饲养牲畜所导致的不论是在数量上大幅度增加还是种类上的高度简化,都致使生物多样性受到一定程度上的影响。故作者收集了研究区 1989—2013 年人类饲养牲畜的变化情况,如图 6 所示。可以得到,25 a 间由于人为饲养家禽,牲畜种类主要为牛、猪、羊,且数量大幅度增长,同时在 LUCC 所导致自然栖息地破碎化的综合作用的结果下,进一步导致物种结构高度简化、单一性愈加明显。森林、草地、湿地等自然栖息地的减少和破碎化一方面导致某些物种灭绝,一方面又容易引发外来物种入侵,导致生物多样性的变化。故研究研究区的土地利用/覆盖的动态变化、牲畜种类及增长状况,为保护渭—库绿洲的生物多样性提供依据,对维持典型绿洲的生态环境平衡具有重要的影响。

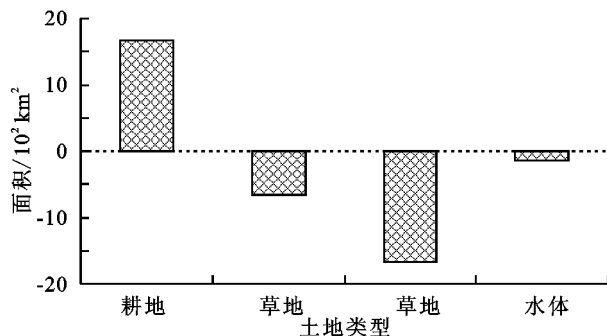


图 5 1989—2008 年土地面积变化

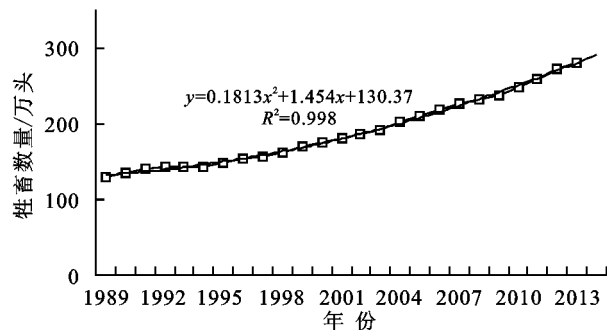


图 6 渭—库绿洲牲畜变化

3 结论

(1) 采用最大似然的方法,对 1989 年,1998 年,以及 2013 年多期遥感数据进行分类。分类结果表明,1989 年、1998 年及 2013 年图像分类精度分别为 99.19%,99.68% 及 98.44%,且各地物类型间分离度均达到 1.9 以上,说明分类精度较高,满足该研究

的要求。通过监督分类并统计结果可以得到从1989—2013年这25 a中,耕地面积总体上增加了 $2.408 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。从1989—1998年近10 a期间,耕地面积增加了 $6.29 \times 10^2 \text{ km}^2$;而从1998—2013年这15 a中,耕地面积大幅度增长,与1998年相比耕地面积增加了 $1.779 \times 10^3 \text{ km}^2$ 。

(2) 从水文特征方面来看,作者收集了近60 a渭—库绿洲的径流量数据,其中从1957—1960年的平均径流量为31.48亿 m^3 ,从1961—1970年的平均径流量为30.56亿 m^3 ,从1971—1980年的平均径流量为30.66亿 m^3 ,从1981—1990年的平均径流量为32.06亿 m^3 ,从1991—2000年的平均径流量为35.85亿 m^3 ,从2001—2006年的平均径流量为37.98亿 m^3 。可以看出多年来渭—库流域的多年平均径流量呈上升的趋势,说明多年来地表水资源有所增加且较为丰富。同时作者分析了1996—2012年的地下水位的动态变化,可以看出,多年来地下水位呈现出逐渐下降的趋势。其中人口的大量增长所导致的需水需求加大、耕地面积的大量增加所导致的灌溉需水量也随之增加,最终导致人类对地下水的开采力度大大加强,从而促使地下水位一直呈现出下降的趋势。

(3) 从生态特征方面看,研究区近25 a来年均温度虽有所波动,但整体呈现出上升的趋势。随着温度的逐年升高导致年均相对湿度则呈现出缓慢下降的趋势。而由于LUCC导致植被类型的改变,尤其是人类社会发促使的耕地面积大量增加,加之受年均温度逐年上升的影响导致年均蒸发量也整体呈现出上涨的趋势。对于LUCC对牲畜的影响来说,渭—库绿洲多年来因人口增长需要,耕地面积有所增长,使林地、草地等有效栖息地面积大范围减少。加之25 a间由于人为饲养家禽种类的简化、数量的大幅度增长,以及在LUCC所导致自然栖息地破碎化的综合作用的结果下,促使原生物种大量消失,土地覆被类型由繁变简,物种结构高度简化。故研究土地利用/覆盖的动态变化、牲畜种类及增长状况,为保护渭—库绿洲的生物多样性提供依据,为未来综合考虑基因多样性、物种多样性和生态系统多样性方面,系统开展土地利用变化对生物多样性影响的趋势和机制方面的研究以及定量预测土地利用变化对生物多样性的影响方面奠定一定的基础。总之,LUCC对水文和生态特征均具有重大影响,如何合理处理土地利用/覆盖的有效方式对土地保护至关重要。因此,干旱区渭—库绿洲脆弱生态区LUCC对水文和生态特征的影响研究,在今后一段时期仍然是生态水文学研究的热点之一。

参考文献:

- [1] 郝仕龙,李春静.黄土丘陵区土地利用/覆盖变化对生态承载力的影响:以固原上黄试验区为例[J].水土保持研究,2013,20(2):135-138.
- [2] 宋戈,李娜,李静,等.建三江垦区土地利用/覆盖变化与生态环境效应作用机理研究[J].经济地理,2011,31(5):816-821.
- [3] Baird A J, Wilby R L. Eco-hydrology: plants and water in terrestrial and aquatic environments[M]. UK, Hove: Psychology Press, 1999.
- [4] Tighe Matthew, Haling Rebecca E, Flavel Richard J, et al. Ecological succession, hydrology and carbon acquisition of biological soil crusts measured at the micro-scale[J]. PLoS ONE, 2012, 7(10): e48565.
- [5] Daniel L. Peters, Wendy A. Monk, Donald J. Baird. Cold-regions Hydrological Indicators of Change(CHIC) for ecological flow needs assessment[J]. Hydrological Sciences Journal, 2014, 59(3/4): 502-516.
- [6] Peters Daniel L, Baird Donald J, Monk Wendy A, et al. Establishing standards and assessment criteria for ecological instream flow needs in agricultural regions of Canada[J]. Journal of Environmental Quality, 2012, 41(1): 41-51.
- [7] 李崇巍,刘世荣,孙鹏森,等.岷江上游景观格局及生态水文特征分析[J].生态学报,2005,25(4):691-698.
- [8] 黄青.塔里木河中游景观格局与生态水文过程的耦合分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(9):83-87.
- [9] 叶柏生,杨大庆,丁永建,等.中国降水观测误差分析及其修正[J].地理学报,2007,62(1):3-13.
- [10] Gao X, Ye B S, Zhang S Q, et al. Glacier runoff variation and its influence on river runoff during 1961—2006 in the Tarim River Basin, China[J]. Science China: Earth Science, 2010, 40(6): 654-665.
- [11] 陈小兵,杨劲松,乔晓英,等.绿洲耕地适宜面积确定与减灾研究:以新疆渭干河灌区为例[J].中国地质灾害与防治学报,2008,19(1):118-123.
- [12] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法[M]. 北京:科学出版社,2010.
- [13] 梅安新,彭望录,秦其明,等.遥感导论[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [14] 方炫,安韶山,薛志婧,等.基于最大似然与矩法的黄土高原小流域土壤碳氮空间变异分析[J].水土保持通报,2014,34(4):141-146.
- [15] 孙倩,塔西甫拉提·特依拜,张飞,等.渭干河—库车河三角洲绿洲土地利用/覆被时空变化遥感研究[J].生态学报,2012,32(10):3252-3265.
- [16] 程国栋,肖洪浪,徐中民,等.中国西北内陆河水问题及其应对策略:以黑河流域为例[J].冰川冻土,2006,28(3):406-413.

- [17] 严登华,王浩,杨舒媛,等.干旱区流域生态水文耦合模拟与调控的若干思考[J].地球科学进展,2008,23(7):773-778.
- [18] 付梦娣,妙旭华,全占军,等.庆阳市土地利用变化的景观生态效应研究[J].水土保持研究,2014,21(6):241-244.
- [19] 王凌河,严登华,龙爱华,等.流域生态水文过程模拟研究进展[J].地球科学进展,2009,24(8):891-898.
- [20] 丁永建,叶柏生,韩添丁,等.过去 50 a 中国西部气候和径流变化的区域差异[J].中国科学 D 辑:地球科学,2007,37(2):206-214.
- [21] 李珍,姜逢清.1961—2004 年新疆气候突变分析[J].冰川冻土,2007,29(6):351-359.
- [22] 王钧,蒙古军.黑河流域近 60 a 来径流量变化及影响因素[J].地理科学,2008,28(1):83-88.
- [23] 闫金凤,陈曦.绿洲浅层地下水位与水质变化对人为驱动 LUCC 的响应:以三工河流域为例[J].自然资源学报,2005,20(2):172-180.
- [24] 邓伟,何岩.论地下水对地表生态的作用[J].地理科学,1993,13(2):161-168.
- [25] 满苏尔·沙比提,陈冬花.渭干河—库车河三角洲绿洲形成演变和可持续发展研究[J].资源科学,2005,27(6):118-124.
- [26] 黄秉维,郑度,赵名茶,等.现代自然地理[M].北京:科学出版社,1999.
- [27] Sala O E, Chapin F S, Armesto J J, et al. Biodiversity-Global biodiversity scenarios for the year 2100[J]. Science,2011,287(5459):1770-1774.
- [28] Noss R F, Quigley H B, Hornocker M G, et al. Conservation biology and carnivore conservation in the Rocky Mountains[J]. Conservation Biology, 1996,10(4):949-963.
- [29] 满苏尔·沙比提,陈冬花.渭干河—库车河三角洲绿洲形成演变和可持续发展研究[J].资源科学,2005,27(6):118-124.
- [30] 董淼,王雪梅,席瑞,等.渭干河—库车河三角洲绿洲土地利用/覆盖结构变化及荒漠化响应[J].天津农业科学,2014,20(3):40-43.

~~~~~

(上接第 235 页)

- [6] 欧阳志云,王如松,赵景柱.生态系统服务功能及其经济价值评价[J].应用生态学报,1999,10(5):635-640.
- [7] 汪小平,周宝同,王小玉,等.重庆市土地利用变化及其生态系统服务价值响应[J].西南师范大学学报,2009,34(5):225-229.
- [8] 王燕,高吉喜,王金生,等.新疆国家级自然保护区土地利用变化的生态系统服务价值响应[J].应用生态学报,2014,25(5):1439-1446.
- [9] 马倩,孙虎,咎梅.新疆艾比湖生态脆弱区生态服务价值对土地利用变化的响应[J].地区研究与开发,2011,30(4):112-116.
- [10] 胡和兵,刘红玉,郝进锋,等.城市化流域生态系统服务价值时空分异特征及其对土地利用程度的响应[J].生态学报,2013,33(8):2565-2576.
- [11] 吴蒙,车越,杨凯.基于生态系统服务价值的城市土地空间分区优化研究:以上海市宝山区为例[J].资源科学,2013,35(12):2390-2394.
- [12] 蒋晶,田光进.1988—2005 年北京生态服务价值对土地利用变化的响应[J].资源科学,2010,32(7):1407-1416.
- [13] 董美娜,杨琳,栗练灵,等.基于土地利用变化的生态系统服务价值及敏感性研究:以大庆市为例[J].安全与环境学报,2014,14(4):330-333.
- [14] Kreuter U P, Harris H G, Matlock M D, et al. Change in ecosystem service values in the San Antonio area, Texas [J]. Ecological Economics,2001,39(3):333-346.
- [15] 中华人民共和国水利部水利风景区管理办法[J].水利建设与管理,2004(5):2-3.
- [16] Turner I I B L. The sustainability principle in global agendas: implication for understanding land use/land cover change[J]. The Geographical Journal,1997,163(2):133-140.
- [17] 谢高地,张德镒,鲁春霞,等.中国自然草地生态系统服务价值[J].自然资源学报,2001,16(1):49-51.
- [18] Batabyal A A, Kahn J R, O'Neill R V. On the scarcity value of ecosystem services[J]. Journal of Environmental Economics and Management,2003,46(2):334-352.
- [19] 冉圣宏,吕昌河,贾克敬,等.基于生态服务价值的全国土地利用变化环境影响评价[J].环境科学,2006,27(10):2139-2144.
- [20] 李进鹏,王飞,穆兴民,等.延河流域土地利用变化对其生态服务价值的影响[J].水土保持研究,2010,17(3):110-114.