

# 塔里木河中游典型绿洲土地利用/覆被 及水资源动态变化研究

张严俊<sup>1,2</sup>, 张 飞<sup>1,2</sup>, 塔西甫拉提·特依拜<sup>1,2</sup>, 买买提·沙吾提<sup>1,2</sup>, 姜红涛<sup>1,2</sup>

(1. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆 乌鲁木齐 830046;

2. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

**摘 要:** 运用 3S 技术, 并采用最大似然法分别对 1989 年和 2010 年渭干河—库车河绿洲两期 Landsat—TM 影像数据进行分类统计, 获得了该区域 22 年来土地利用/土地覆被变化矢量图和定量统计数据, 并利用不同时期该流域地表径流和地下水资源开发利用程度、农业种植结构、城市用水、天然植被用水, 分析该区域土地类型变化和水资源的关系。研究结果表明: 该地区耕地面积逐年增加, 22 年来增加耕地面积 141 573.4 hm<sup>2</sup>, 平均每年增加 6 741.59 hm<sup>2</sup>; 天然植被草地面积急剧减少, 平均每年减少 7 682.38 hm<sup>2</sup>, 城市用水由 0.41 亿 m<sup>3</sup> 增加至 4.26 亿 m<sup>3</sup>, 加之机电井数量骤增导致地下水位下降了 2.34 m; 导致地下水位下降, 水质矿化度增高, 天然植被大量减少, 流域下游生态问题极其脆弱。

**关键词:** 土地利用; 土地覆被; 渭干河—库车河绿洲; 水资源; 动态变化

**中图分类号:** F301.24; S273.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)04-0200-07

## Study on LUCC and dynamic changes of water resource in oasis in midstream of Tarim River

ZHANG Yan-jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Fei<sup>1,2</sup>, Tashpolat Tiyp<sup>1,2</sup>, Mamat Sawut<sup>1,2</sup>, JIANG Hong-tao<sup>1,2</sup>

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

2. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** By using 3S technology and supervised classification method, the Landsat—TM remote sensing images of Weigan—Kuqa oasis in 1989 and 2010 were statistically analyzed so as to obtain the quantitative statistic data and vector graphics on land use and land cover change (LUCC). Furthermore, the relation between land use change and water resource was investigated according to the exploitation of land surface runoff and groundwater resource, agricultural planting structure, urban water consumption and ecological vegetation water consumption. The results showed that: the arable land in the study area increased year by year, which was expanded by 141 573.4 hm<sup>2</sup> in 22 years, or 6 741.59 hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup> in average; the woodland and grassland decreased drastically at the rate of 7 682.38 hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>; the urban water consumption increased from 0.41 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup> to 4.26 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, and the number of electromechanical wells increased rapidly, causing serious ecological problems in the downstream such as the falling of water tables, the increasing of water salinity and the reduction of natural vegetation.

**Keywords:** land use; land cover; Weigan—Kuqa Oasis; water resource; dynamics

土地利用/土地覆被变化(LUCC)一直以来都是全球环境变化研究的热点和前沿问题, 其为一个包含自然和人文活动的综合过程, 一个地区的土地利用状况和变化能够在很大程度上反映该地区的环境问题、自然和资源条件及社会经济的发展状况和结构<sup>[1-2]</sup>。水在干旱区半干旱区极具敏感性, 绿洲地

区尤为明显, 是该区域生态恢复和经济持续发展的主要限制因子, 又是生态系统中最活跃的因素<sup>[3]</sup>, 土地利用变化对水文水资源影响的结果, 直接导致水资源在空间和时间格局上发生变化, 对区域生态环境及经济发展等多方面产生深刻影响; 开展土地利用对水资源的影响研究, 对合理调整土地利用格局,

保持水土,涵养水源,促进经济可持续发展具有重要的现实意义<sup>[4-6]</sup>。

西北干旱区,荒漠与绿洲并存,而绿洲面积仅占干旱区面积的4%~5%,却集中了该地区90%以上的人口与95%以上的社会财富<sup>[7]</sup>。水资源是支撑绿洲决定性的自然因子。随着新疆经济的快速发展,人们生活水平的不断提高,对水资源和土地资源的需求不断加大引发了绿洲萎缩、土地沙漠化以及水资源供需矛盾和地下水位下降等一系列社会经济问题<sup>[8]</sup>。近年来土地利用/覆被变化影响水文水资源得到普遍关注,成为研究热点。如 Werrick AW 等研究表明<sup>[9]</sup>:土地利用变化对流域水资源状况产生重大影响;Sullivan 等<sup>[10]</sup>认为农业方式的变化是影响英国 Camel 流域河川径流的主要因素;张廉祥等<sup>[11]</sup>研究了土地利用/土地变化对水资源合理配置产生的影响;李小玉等<sup>[12]</sup>对石羊河中下游绿洲土地利用变化与水资源动态研究指出:耕地面积的增加和水资源矛盾日益突出;黄会平提出<sup>[13]</sup>:土地利用/覆被变化改变着工农业用水、地表蒸发、土壤水分状况及地表覆被截留量,进而对区域水资源产生重大影响;王根绪<sup>[14]</sup>认为了解土地利用变化对流域地下水系统的作用与区域地下水资源的时空变化特征,对流域水土资源合理利用规划与管理有重要意义。

针对干旱区水资源与土地利用的问题,本文在前人研究的基础上选择新疆典型绿洲渭干河-库车河绿洲为靶区,深入研究该区域的土地利用/覆被变化和水资源的动态关系,不仅可为以后的合理利用水资源、土地资源和生态环境保护提供理论依据,也为新疆可持续发展提供重要的科学依据。

## 1 研究区概况

渭干河-库车河三角洲绿洲位于新疆维吾尔自治区南部塔里木盆地的北部,北起秋里塔格山,南接塔里木河北岸,东与轮台、尉犁县相邻,西与温宿县接壤,是一个典型而完整的扇形平原绿洲。土地总面积为  $5.2376 \times 10^6 \text{ hm}^2$ ,该区地形由三部分组成:北部是高峻的天山山脉,海拔3000~5000 m,是渭干河-库车河三角洲绿洲重要的水源地、冰川和涵养林景观;中部是以秋里塔格山为主的长期剥蚀的低山和残丘,呈东西向断续分布,海拔1500~2000 m;南部是山前平原区,主要是绿洲、沙漠和戈壁景观,渭干河-库车河使该地区发育为绿洲,是库车、

沙雅和新和三县经济发展的核心地带。本绿洲位于中纬度地区,远离海洋,属典型的大陆性暖温带干旱气候,具有气候干燥,风沙频繁,降水稀少,蒸发量大,昼夜温差大,夏季干热,冬季干冷等特征。年均气温  $10.5^\circ\text{C} \sim 11.4^\circ\text{C}$ ,年降水量  $50.0 \sim 66.5 \text{ mm}$ ,年均蒸发量  $2000.7 \sim 2092.0 \text{ mm}$ ,干燥度系数为44.37,属于干旱与极端干旱地区,年均无霜期240 d。北部高山区有常年冰川积雪,是区内众多水系的发源地,区内主要水系有渭干河、库车河、塔里木河等河流<sup>[15]</sup>。研究区示意图见图1所示。

## 2 数据来源及研究方法

### 2.1 数据收集与处理

选用1989年9月和2010年8月处于植被生长茂盛期的两期 Landsat-TM 影像,有利于土地利用/覆被类型的判读与解译。图像云量较少,精度较高。另外,对 TM 影像进行预处理,包括辐射校正、大气校正和几何校正,使其与研究区的空间属性真值尽可能接近。首先对影像进行辐射定标和大气校正;最后,以1:5万的地形图为准对2010年图像进行了图像到地图的几何校正,经重新选点检验,误差在一个像元内,接着以校正好的2010年的为基础对1989年图像进行配准处理。

使用1980—2010年新和县、沙雅县、库车县的地下水资源开发利用规划及地下水动态监测资料;2010年地下水联合利用规划机电井现状调查表;1980—2010阿克苏地区机电井分布图;库车县、新和县、沙雅县1949—2010年统计年鉴。

### 2.2 研究方法

利用 ENVI 和 ARCGIS 软件,采用1989年和2010年的 TM 影像数据,结合实地的野外考察进行人工目视解译的结果为基础资料。根据绿洲的土地利用特征和实际情况,运用最大似然分类法,把研究区景观分为6个类型:耕地、林地、草地、荒漠地、盐渍地和水体。经野外实地抽样调查和同期统计年鉴资料验证,1989年和2010年两期影像 kappa 系数分别为0.8192和0.8765,总精度均在85%以上,符合要求。

在水资源方面,利用观测和统计资料分析流域绿洲地表水、地下水资源开发利用情况并作出河流流量图、地下水位图,城市用水和植被生长状况所对应的地下水位表,利用运用地表景观分类图与之相结合进行相关分析。

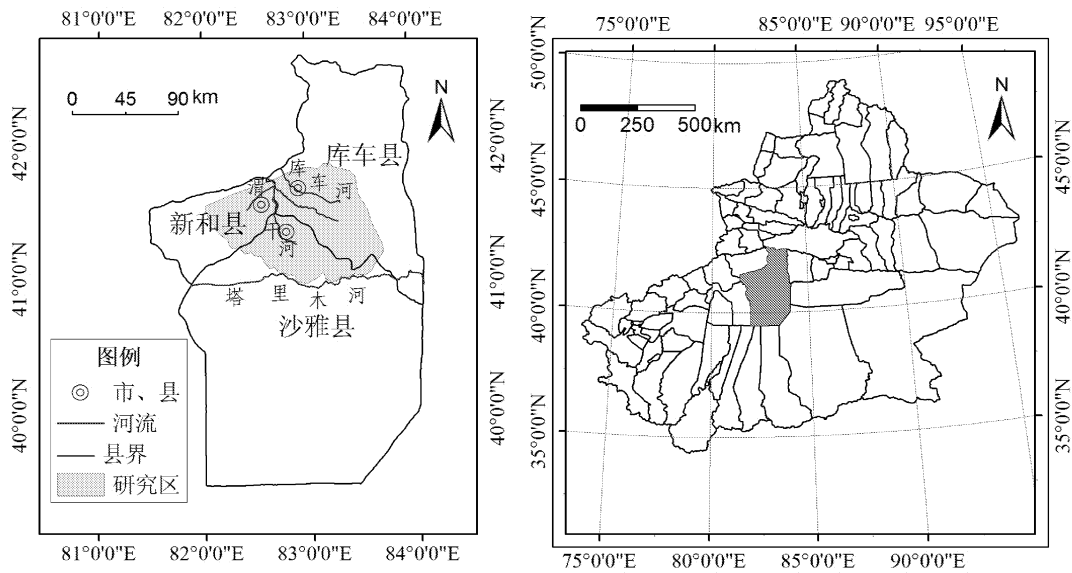


图 1 研究区示意图

Fig.1 The map of study area

3 结果与分析

3.1 LUCC 动态分析

研究区域 1989—2010 年间土地利用变化的最显著特征就是耕地面积扩张、天然林地和草地面积减少(图 2),可以直观地看出耕地面积增加最为明

显,主要占用草地和盐渍地;草地面积锐减,草地的减少除转化为耕地外,还有大量变为盐渍地;水体面积减少主要是由于水面干涸转为盐渍地。

为了定量分析流域地表景观类型变化情况,用 GIS 方法建立了渭干河-库车绿洲土地利用和变化速度图(图 3)和景观转移矩阵表(表 1)。

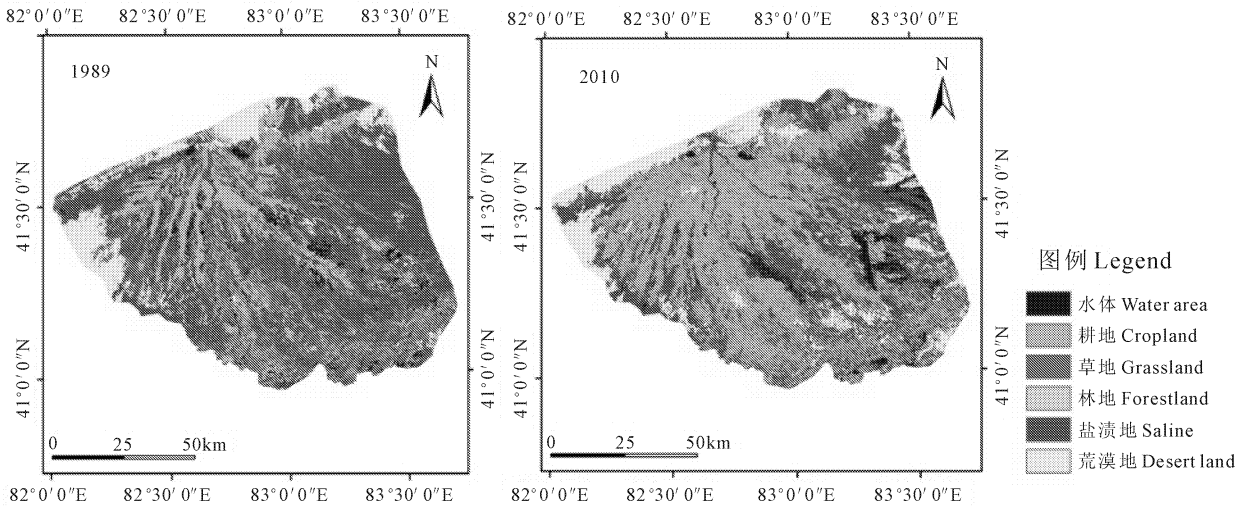


图 2 1989 年和 2010 年土地利用/覆盖分类图

Fig.2 The classification image of LUCC in 1989 and 2010

从图 3 和表 1 综合分析可以得出,耕地面积增加最为明显,从 1989 年 111 486.4  $\text{hm}^2$  增加到 2010 年 253 059.8  $\text{hm}^2$ ,增加了 141 573.4  $\text{hm}^2$ ,主要来自草地和盐渍地,分别转入 85 126.1  $\text{hm}^2$  和 43 991.10  $\text{hm}^2$ ,而同期从耕地面积转出的只有 36 402.7  $\text{hm}^2$ ,可见渭干河-库车河绿洲毁草开荒,改良盐渍地,破坏生态环境的现象十分严重。水体的面积转化最为

明显,水体总面积从 1989 年 52 294.7  $\text{hm}^2$  减少至 2010 年 34 475.8  $\text{hm}^2$ ,总面积减少了 17 818.9  $\text{hm}^2$ ,仅 11.83%的水体面积保持不变。说明水资源量减少,地下水位下降明显,土地利用强度不断加大,生态环境与土地利用的耦合关系减弱,协调发展面临巨大压力<sup>[16]</sup>。

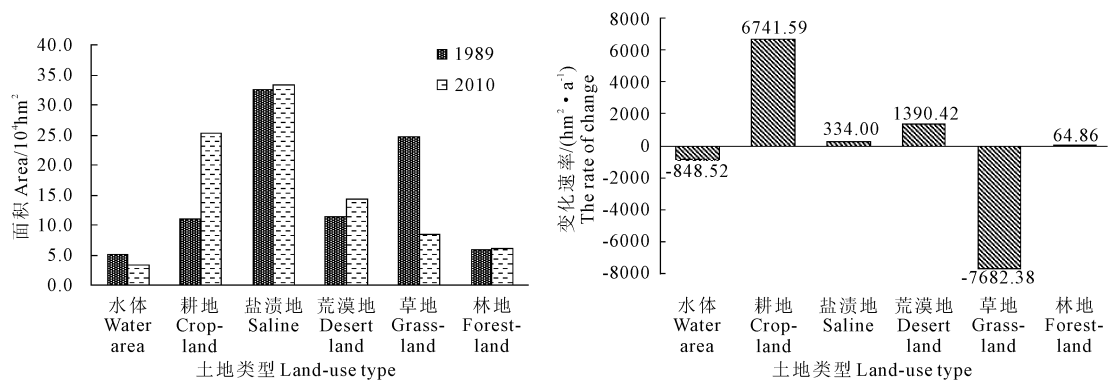


图 3 1989—2010 年渭干河 - 库车河绿洲土地利用和变化速度

Fig. 3 Land use and its variation rate in Weigan - Kuqa Oasis during 1989 to 2010

表 1 渭干河 - 库车河绿洲景观转移矩阵 (%)

Table 1 Transition matrix of landscape elements in Weigan - Kuqa River Basin

| 土地利用/覆被类型<br>Land-use type                      | 水体<br>Water body | 耕地<br>Arable land | 盐渍地<br>Saline land | 荒漠地<br>Desert land | 草地<br>Grassland | 林地<br>Woodland |
|-------------------------------------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| 水体 Water area                                   | 11.83            | 0.39              | 3.51               | 0.71               | 4.93            | 5.61           |
| 耕地 Cropland                                     | 28.88            | 67.35             | 13.45              | 7.72               | 34.39           | 41.53          |
| 盐渍地 Saline                                      | 43.57            | 5.89              | 50.62              | 27.32              | 36.61           | 28.61          |
| 荒漠地 Desert                                      | 2.16             | 1.85              | 20.43              | 56.89              | 3.30            | 1.02           |
| 草地 Grassland                                    | 7.57             | 18.42             | 6.51               | 3.98               | 11.64           | 11.68          |
| 林地 Forestland                                   | 5.99             | 6.11              | 5.47               | 3.39               | 9.13            | 11.56          |
| 1989 年总面积/hm <sup>2</sup><br>Total area in 1989 | 52294.7          | 111486.4          | 327047.9           | 115011.5           | 247513.3        | 59910.4        |
| 2010 年总面积/hm <sup>2</sup><br>Total area in 2010 | 34475.8          | 253059.8          | 334061.3           | 144210.4           | 86183.9         | 61272.9        |
| 转移量/hm <sup>2</sup><br>Transition amount        | -17818.9         | 141573.4          | 7013.4             | 29199.0            | -161329.4       | 1362.5         |

3.2 水资源动态变化分析

(1) 河流径流量变化与农业用水的关系。渭干河库车河流域的水资源主要是由地表水和地下水组

成。地表水主要源于北天山的冰雪融水和部分降水汇流而成;地下水补给主要是靠河流的潜流,地表水的下渗<sup>[17]</sup>,渭干河 - 库车河年径流量如图 4 所示。

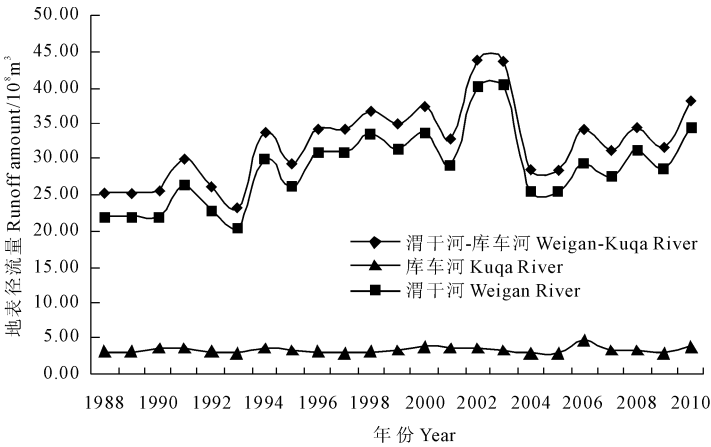


图 4 渭干河 - 库车河年径流量

Fig. 4 Changes of runoff in Weigan - Kuqa River

从图 4 中可以看出,渭干河 - 库车河流域地表径流 23 年的年径流量有所增加但幅度不大,1989 年

至 2010 年前后十年均值仅相差 3.03 亿 m<sup>3</sup>(前 10 年平均值为 31.95 亿 m<sup>3</sup>,后 10 年平均值为 34.98 亿

m<sup>3</sup>)。从遥感影像图分析得出,2010 年农业耕地面积相比 1989 年增加了 1 倍之多,可见,在渭干河 - 库车河流域当河流径流量一定时,为保证正常的农业种植不会受到影响,增大河流的可利用率。中国工程院《西北地区水资源配置、生态环境建设和可持续发展战略研究项目综合报告》提出<sup>[18]</sup>:“今后内流河流域用水量的最高开发利用率不超过 70%”。目前,库车河 - 渭干河流域水资源开发利用率都远远超过了合理开发利用的程度,由于水资源的过度开发,使得生态用水量减少,生态环境严重恶化。结合遥感影像分类图得出草地除 34.39% 转化为耕地外,有 36.61% 变为盐渍地,29.61% 的林地转化为盐渍地,43.57% 的水体干涸成为盐渍地。中上游河流水资源超负荷开发使得河流下游地下水位下降,湖泊干涸,沼泽地消失。

(2) 地下水开发利用变化。随着耕地面积的不断增大,修建大量水利设施,一个重要的措施就是大量修建水系灌渠把河流径流从河流上游直接输送到

灌区,减少了地表径流的下渗,从而地下水难以得到补给,使得地下水位下降。

另外农田机电井数量的增多也加速了地下水资源开采,图 5 为渭干河 - 库车河流域机电井建设情况,可以反映对地下水可发利用过程,20 世纪 70 年代到 90 年代机电井数量不多,变化不大,2000 年数量为 283 眼。本世纪开始的十年里机电井数量骤增,截止 2010 年已增加至 2 265 眼,可见对地下水的开采量剧增。随着对地下水的开采量加大,地下水位大幅下降。如图 6 所示,从 20 世纪 90 年代至 2010 年渭干河 - 库车河流域地下水位上中下游地下水位平均下降 2.34 m,平均下降速度为 0.10 m·a<sup>-1</sup>,但从 2000 年以后随着机电井数量和灌渠的增加地下水位下降速度非常明显,2005—2010 年 5 年地下水位平均下降 0.33 m·a<sup>-1</sup>。可见,地下水严重开采和地表水利用率提高使地下水不能及时得到补给,导致了地下水位的下降。

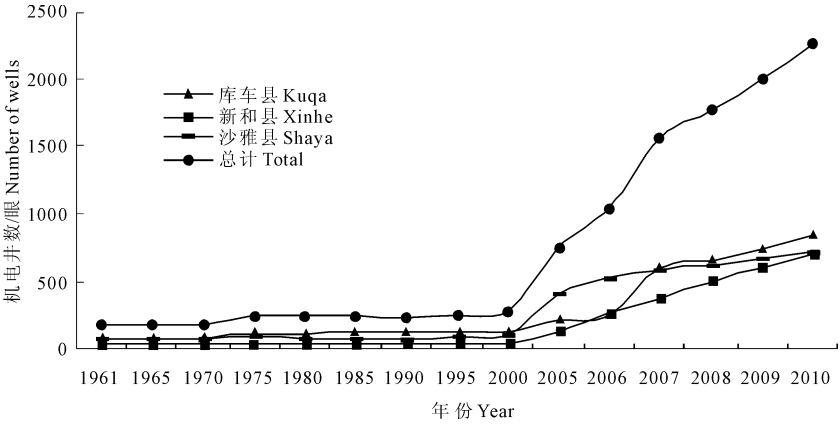


图 5 渭干河 - 库车河流域机电井数量  
Fig.5 Number of wells in Weigan - Kuqa River Basin

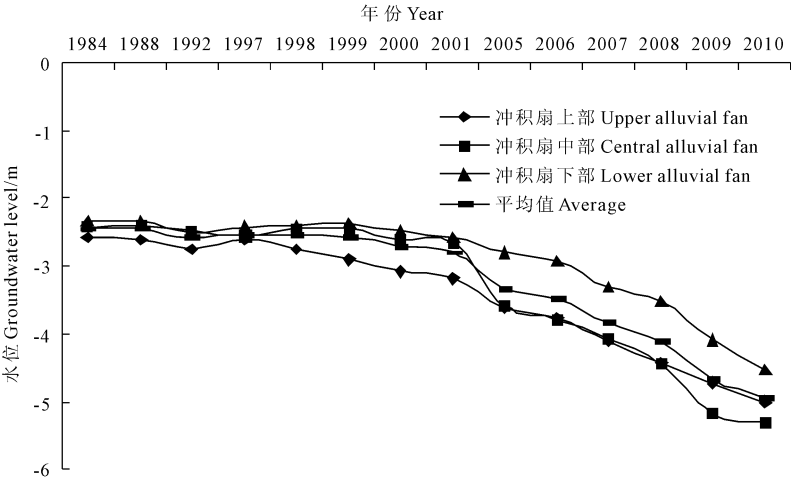


图 6 渭干河 - 库车河流域地下水位  
Fig.6 The groundwater level of Weigan - Kuqa River Basin

(3) 工业用水和居民用水剧增

随着西部大开发不断推进和深入,新疆城市化速度也不断加快,城镇居民骤增和城市工业化的进一步加快使城市用水面临巨大压力,其对水资源的影响也不容忽视。图 7 为研究区库车县、新河县、沙雅县自 1989—2010 年城镇人口和城镇居民用水量的变化关系,可以得出:城镇人口和城镇居民用水量变化趋于一致,城镇人口自 1989 年的 11.53 万增至 2010 年 57.12 万,增长 5 倍;城镇居民用水由 0.37 亿 m<sup>3</sup> 增至 2.71 亿 m<sup>3</sup>,增长 7.3 倍,城镇人口和用水量都正处于不断增长的趋势,随着社会经济的发展个人用水量也在增加。如图 8 所示:城市化进程的加快,工业化水平在不断地提高,规模也不断地扩大,三县的工业生产总值 22 年间从 1.03 亿元到 153.48 亿元,增长 149 倍;工业用水增长 38.75 倍,工业用水之所以没有工业产值增加得快的原因是工业科技的提高和工业用水重复利用率的提高(工业用水量是根据万元工业 GDP 取水量预测模型  $W = A \exp(B/(t - C))$ <sup>[19]</sup> 计算得出;式中:  $W$  为估计年万元工业 GDP 取水量, m<sup>3</sup>;  $A$ 、 $B$ 、 $C$  为常数;  $t$  为年份)。

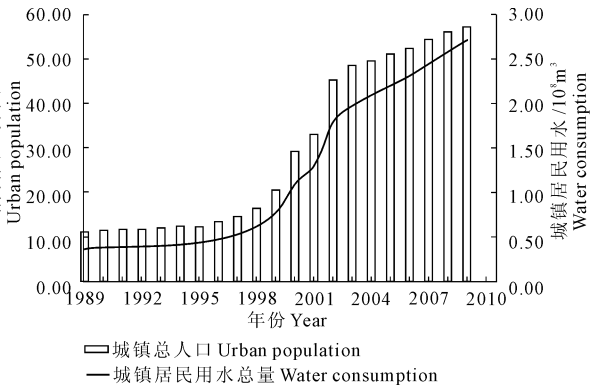


图 7 渭 - 库绿洲城镇人口和城镇居民用水量变化  
Fig. 7 Changes of urban population and water consumption of urban residents in Weigan - Kuqa Oasis

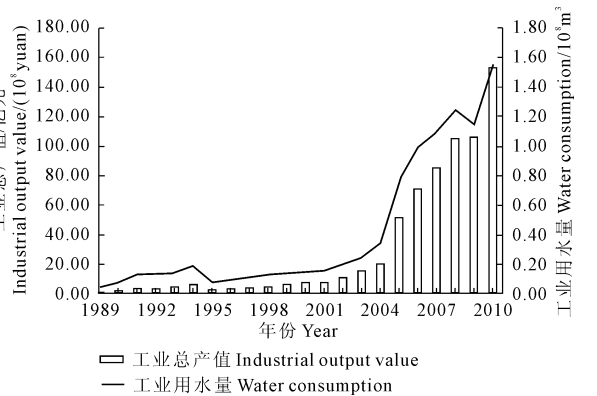


图 8 渭 - 库绿洲工业总产值和工业用水量变化  
Fig. 8 Changes of industrial output value and industrial water consumption in Weigan - Kuqa Oasis

渭 - 库绿洲城市工业用水和城镇居民用水增长速度惊人,就 2010 年城镇居民用水和工业用水的总量是渭干河库车河流域生态用水的 48%,城市用水面临严峻形势,城市化发展对水资源、水环境及水生态的影响不容忽视,可见在经济发展的同时应充分考虑水资源开发利用与生态、环境相互间的协调发展。

(4) 绿洲生态用水变化。生态用水和农作物用水有较大不同,主要表现:植被比较抗旱,实际蒸散耗水量小,所以对水的消耗量也就小;对水质要求不高,大多数农作物灌溉对水的矿化度要求在 1.0 g·L<sup>-1</sup> 以下,2.0 g·L<sup>-1</sup> 就会受到影响,但对于生态用水,矿化度小于 3.0 g·L<sup>-1</sup> 可生长良好的乔灌木,矿化度为 3.0~6.0 g·L<sup>-1</sup> 可生长一般的乔灌木,矿化度为 6.0~10.0 g·L<sup>-1</sup> 可生长较差的植被,矿化度大于 10.0 g·L<sup>-1</sup> 仍能生长怪柳等耐盐植被;此外,生态用水能够利用农业灌溉用水难以利用的埋藏较深的潜水,如怪柳、胡杨等植物根系可达 10 m 左右,主要利用埋藏较深的地下水<sup>[20]</sup>。

在温带气候区,存在部分或全部依赖于地下水的生态系统,依赖性呈季节和年度变化,地下水位的升高或降低会导致植物根系缺水或缺氧等现象的发生<sup>[21]</sup>。随着渭干河 - 库车河地表径流开发利用率不断地提高,地下水过渡开采,地下水位下降,水质矿化度升高,致使大量天然植被萎缩枯死,耐盐碱性较弱的植被由于水质的矿化度增大而被破坏,使得很多地区盐渍化、沙漠化速度加剧。由于地下水位过渡开发,当地下水水位埋深较大时,地下水无法通过毛细作用向地表植物根系输送水分,不利于植物生长,甚至枯萎、死亡<sup>[22]</sup>。

4 结论与讨论

干旱区内陆流域土地利用与覆被变化对流域水资源系统产生深刻影响。渭干河 - 库车河流域自 20 世纪 90 年代大规模开发以来,水资源利用较高的流域,到 2010 年,由于土地利用变化,主要是随着人口的不断增长,耕地面积不断扩大,水资源需求量大幅增加,开发利用程度的提高导致中下游用水资源严重失衡,地表水面积减少,地下水超采,地下水位持续下降,生态环境急剧恶化,已威胁到渭 - 库绿洲的生态安全和农业生产。主要表现为以下几点:

1) 土地利用变化对水量空间分布的影响。1989 年耕地、草地和盐渍地是主要的土地利用类型,三者合计占总面积的 75.12%;1989—2010 年耕地面积增加了 141 573.4 hm<sup>2</sup>,草地面积减少了

161 329.4 hm<sup>2</sup>。研究区地表水面积持续减少,地下水埋深增加;1989—2007 年地表水面积减少 17 818.9 hm<sup>2</sup>,期间地下水位下降了 2.34 m。

2) 土地利用对水资源空间分布的影响。水资源面积不仅减少了 17 818.9 hm<sup>2</sup>,其空间变化也十分明显,仅 11.83% 的水体保持不变。从转移矩阵得出有 43 991.1 hm<sup>2</sup> 的盐渍地成为耕地,有 90 611.8 hm<sup>2</sup> 的草地转化为盐渍地,22 784.6 hm<sup>2</sup> 的水体转为盐渍地,说明该流域盐渍化现象十分严重,并有不断地向水体和草地扩张的趋势。

3) 城镇人口和城市工业规模的扩大使城市用水量骤增,由 1989 年 0.41 亿 m<sup>3</sup> 增加至 2010 年的 4.26 亿 m<sup>3</sup>,增加 10.39 倍,使得农业灌溉用水和生态用水被迫转为城市用水。城市用水量占渭干河—库车河绿洲水资源总量的 10.2%,相当于生态用水的 48%,并呈现不断增加的趋势。

4) 土地利用对水质的影响。随着流域中上游水资源开发加大,下游水质也发生明显变化,矿化度升高。草地和林地是绿洲和荒漠的交错地带,说明该地带极为敏感,生态极其脆弱,草地、林地的面积大量减少,中上游河流水资源超负荷开发使得河流下游地下水埋深下降,湖泊干涸,矿化度增高,沼泽地消失,盐渍地、荒漠地的增加说明该流域生态问题十分突出。

因此,为实现渭干河—库车河流域的协调和可持续发展,必须根据可利用的水资源合理规划农业生产,控制耕地面积和城市用水,调节种植结构,发展节水工业,提高水资源利用效率。

参 考 文 献:

[1] 赵锐锋,陈亚宁,李卫红,等.塔里木河干流区土地覆被变化与景观格局分析[J].地理学报,2009,64(1):95-107.  
[2] 张 洁,李同昇,周杜辉.流域人地关系地域系统研究进展[J].干旱区地理,2011,34(2):364-376.  
[3] Wang Genxu, Liu Jingqi, Kubota, et al. Effects of land – use changes on hydrological processes in middle basin of the Heihe River, northwest China[J]. Hydrological Processes, 2007,21(10):1370-1382.  
[4] 徐宗学,李景玉.水文科学研究进展的回顾与展望[J].水科学进展,2010,21(4):450-459.

[5] 卢柳叶,李光录,张 莉,等.基于 TM 影像的半干旱区土地利用信息提取—以陕西省定襄县为例[J].干旱地区农业研究,2012,30(1):217-223.  
[6] Keller S. Arthropod – pathogenic Entomophthorales from Switzerland III: First additions[J]. Sydowia, 2007,59(1):75-113.  
[7] 贾宝全.绿洲景观若干理论问题的探讨[J].干旱区地理,1996,19(3):58-65.  
[8] 张 杰,李栋梁.黑河流域不同生育期生态用水量变化分析[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):164-168.  
[9] Werrick AW, Nielson DR. Spatial Variability of soil physical properties in the field[C]//Hillel D. Applications of soil physics. London: Academic Press,1980:319-344.  
[10] Camorani G, Castellarin A, Brath A. Effects of land – use changes on the hydrologic response of reclamation systems[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2005,30:561-574.  
[11] 张廉祥,蔡焕杰,张同泽,等.基于网格模型的石羊河流域武威属区水资源合理配置研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(3):37-42.  
[12] 李小玉,肖笃宁.石羊河流域中下游绿洲土地利用变化与水资源动态研究[J].水科学进展,2005,16(5):643-648.  
[13] 黄会平,张 岑.基于 3S 的干旱区土地利用/覆被动态变化及其对水资源的响应分析—以张掖市甘州区为例[J].水土保持研究,2009,16(4):270-275.  
[14] 王根绪,陈 玲,洼田顺平.黑河流域土地利用对地下水资源的影响[J].地理学报,2005,60(3):456-467.  
[15] 钱 云,郝毓灵.新疆绿洲[M].乌鲁木齐:新疆人民出版社,2000:358-359.  
[16] 刘新平,孟 梅.土地持续利用与生态环境协调发展的耦合关系分析——以塔里木河流域为例[J].干旱区地理,2011,34(1):173-178.  
[17] 满苏尔·沙比提,李艳红.渭干河—库车河三角洲绿洲的水资源问题与农业节水潜力分析[J].干旱区资源与环境,2007,21(5):23-28.  
[18] 中国工程院“西北水资源”项目组.西北地区水资源配置生态环境建设和可持续发展战略研究[J].中国工程科学,2003,5(4):1-26.  
[19] 秦福兴,耿雷华,陈晓燕.确定万元 GDP 取水量定额方法的探索[J].水利学报,2004,35(8):118-122.  
[20] 张光辉,石迎新,聂振龙.黑河流域生态环境的脆弱性及其对地下水的依赖性[J].安全与环境学报,2002,2(3):31-33.  
[21] 徐海量,宋郁东,王 强,等.塔里木河中游地区不同地下水位对植被的影像[J].植物生态学报,2004,28(3):400-405.  
[22] 安乐生,赵全升,叶思源,等.黄河三角洲地下水关键水盐因子及其植被效应[J].水科学进展,2011,22(5):689-695.