

## 景电灌区植被覆盖遥感动态监测

陈芳,魏怀东,周兰萍,李亚

(甘肃省荒漠化与风沙灾害防治重点实验室/省部共建国家重点实验室培育基地,甘肃省治沙研究所,甘肃 兰州 730070)

**摘要:**植被盖度是评估区域生态环境的一个重要参数,基于1987、2001年和2008年3期TM遥感数据影像,利用像元二分模型进行了景电灌区植被覆盖度的估算,并通过转移矩阵,对引水灌溉工程措施下形成的绿洲灌溉农业区植被覆盖动态变化进行了定量监测。结果表明:1)受气候条件限制,景电灌区极低覆盖度和低覆盖度所占面积比例在60%以上,植被覆盖度极低。2)1987—2015年,由于景电工程和国家生态建设工程影响,景电灌区植被覆盖度出现了较大波动。极低覆盖度面积迅速减少,其所占面积比例由1987年的62.20%降至2015年的30.86%,年均减少1.19%。灌溉农田所占面积比例由1987年的16.93%增加至2015年的35.91%,年均变化率达0.68%。

**关键词:**归一化植被指数;像元二分模型;植被覆盖度;景电灌区

**中图分类号:**S771.8 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-7461(2018)03-0226-06

Dynamically Monitoring Vegetation by Remote Sensing in Jingtai Irrigation area

CHEN Fang, WEI Huai-dong, ZHOU Lan-ping, LI Ya

(Gansu Desert Control Research Institute / Gansu Desert Control Research Institute State Key Laboratory Breeding Base of Desertification and Aralian Sand Disaster Combating, Lanzhou, Gansu 730070, China)

**Abstract:** Vegetation coverage is an important ecological and environmental parameter for the evaluation of ecological environment. By interpreting the TM images in 1987, 2001 and 2015, the vibrations of vegetation coverage in Jingtai irrigation area was studied based on binary pixel model of remote sensing. The results showed that 1) due to the climatic conditions, the ratio of extremely low and low coverage in the area was more than 60%, indicating that the vegetation coverage was very low. 2) From 1987 to 2015, due to the implementation of Jingtai Electric Power Irrigation Project and national ecological construction project, the ratio of low vegetation cover decreased rapidly, from 62.20% in 1987 to 30.86% in 2015, with an annual decrease of 1.19%. The proportion of irrigated farmland increased from 16.93% in 1987 to 35.91% in 2015, with an average annual rate of change of 0.68%.

**Key words:** normalized vegetation index; binary pixel model; vegetation coverage; Jingtai electrical irrigation area

植被是覆盖地表的植被群落的总称,它是连接大气、土壤和水的重要纽带,也是生态系统存在的基础。植被覆盖度是描述生态系统的重要基础性指标,在干旱与半干旱地区,植被覆盖度是干旱防治、风沙灾害防治等的重要影响因子,在干旱区生态环境中扮演着极为重要的角色<sup>[1]</sup>。

地表实测和遥感反演是目前获取植被覆盖度信息的2种基本途径。然而,地表实测法虽然可以提供小尺度范围内植被结构和分布状况的准确变化信息,但由于地表实测需要投入巨大人力、财力且难形成统一的准则,导致结果出现很大的不确定性,因此很难用于大尺度、长时间序列的植被研究。随着遥

收稿日期:2017-04-01 修回日期:2017-12-06

基金项目:国家自然科学基金(31360204,51579102);甘肃省自然科学基金计划(17JR5RA062)。

作者简介:陈芳,女,副研究员,研究方向:荒漠化监测与防治。E-mail:chenfang2ff3@163.com

感技术的快速发展,利用多源遥感数据进行植被覆盖度反演是大区域植被覆盖研究的主要研究手段<sup>[2-4]</sup>。

景电灌区是在景泰川电力提灌工程(简称景电工程)的引水灌溉下发展起来的一块新型的荒漠绿洲。随着灌区建成,在原有的天然荒漠区建成了大面积的人工绿洲,取得了显著的经济效益,彻底改变了该区的干旱缺水状况和农业生产条件<sup>[5-6]</sup>。但是,在干旱区发展扬水灌溉,根本性地改变了区域环境的原始发展规律,强烈的人类活动干扰使得区域植被覆盖发生巨大变化。基于此,本研究选用了 1987、2001 年和 2015 年 3 期 TM 遥感影像,结合归一化植被指数(*NDVI*),计算植被覆盖度,对景电灌区植被覆盖度的动态变化进行遥感监测,研究该人工绿洲这 3 个时期植被覆盖动态变化规律,为灌区的生态建设和可持续发展提供决策支持。

## 1 研究区概况

景电灌区位于甘、宁、蒙三省交界地带,地理坐标  $36^{\circ}43' - 37^{\circ}41'N, 103^{\circ}20' - 104^{\circ}15'E$ 。属温带大陆性干旱气候区,年均降水量 184.7 mm,年蒸发量 3 040.0 mm,年均风速  $3.50 m \cdot s^{-1}$ ,年日照时数 2 714 h,无霜期 190 d 左右,多年平均气温  $8.2^{\circ}C$ 。整个灌区地势平坦,土层深厚,光热资源丰富。灌区地表径流和地下水源极为贫乏,在景电工程上水前,地表是以白刺(*Nitraria tangutorum*)、沙蒿(*Artemisia desertorum*)、沙米(*Agriophyllum squarrosum*)等为主的固定、半固定沙丘,受人类活动影响很小。景电一期工程于 1974 年建成,开发灌溉农田 2.03 万  $hm^2$ 。景电二期工程于 1984 年开工建设,1994 年基本建成,设计灌溉面积 3.47 万  $hm^2$ 。自灌区建成以来,不仅使灌区的农业生产得到了快速发展,也使得区域生态环境发生了彻底改变,干旱、荒凉的景泰川逐步变成新型绿洲灌溉农业区<sup>[6-9]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 数据源及遥感数据处理

本次植被覆盖度的动态变化监测区主要设为灌区绿洲,总面积 30.25 万  $hm^2$ 。研究数据源于 1987、2001 年和 2015 年 3 期的 Landsat TM 影像,数据轨道号为 131/34,影像获取时间分别为 1987 年 9 月 18 日、2001 年 7 月 21 日和 2015 年 7 月 13 日。同时,项目还收集了研究区 1:50 000 地形图,气象、人口、社会经济和野外考察资料及与 GPS 点相对应的实地景观照片数据库等。

遥感图像预处理:对所获取的影像,首先利用 ENVI 的 FLAASH 模型完成辐射定标和大气校正,得到地表目标的光谱反射信息。然后采用研究区 1:50 000 地形图对影像进行几何精校正,并利用研究区边界矢量数据进行裁剪,最后得到研究区遥感影像图<sup>[10]</sup>。

### 2.2 像元二分模型

经验模型法和植被指数法是遥感植被覆盖度估算常用的技术手段。其中,经验模型法是由实测样点构建地表植被覆盖度数据与遥感信息的经验模型,然后将该模型推广到整个研究区域,从而获取大面积植被覆盖度;而植被指数法是在对光谱信号进行分析的基础上,通过建立植被指数与植被覆盖度的转换关系来直接计算植被覆盖度,此方法简单易行,且诸多研究均显示很多植被指数与植被覆盖度具有较好的相关性。经验模型法对特定区域的实测数据具有很强的依赖性,虽然在小范围区域具有一定的精度,但在推广到较大区域的植被覆盖研究时却受到诸多限制<sup>[11-13]</sup>。本研究所采用的是基于归一化植被指数来计算植被覆盖度的方法。

归一化植被指数(*NDVI*)能够较为准确地反映地表植被的生长状况及覆盖程度等特征,是植被生长及空间分布状态的最佳指示因子。*NDVI* 被定义为近红外波段与红光波段反射率之差与其反射率之和的比值,即:

$$NDVI = \frac{\rho_n - \rho_r}{\rho_n + \rho_r} \quad (1)$$

式中,  $\rho_n$  和  $\rho_r$  分别代表地表的近红外 ( $0.7 \sim 1.1 \mu m$ ) 和红光波段 ( $0.4 \sim 0.7 \mu m$ ) 的反射值。

*NDVI* 的理论值区间为  $[-1, 1]$ ,但是,由于大气校正后的结果有部分像元为负值,使得部分区域计算得到的 *NDVI* 在  $[-1, 1]$  之外,为了便于以后的计算和分析,统一将这些异常值进行处理,将  $NDVI > 1$  的变为 1,  $< -1$  的变成 -1,得到去除异常值后的 *NDVI* 数据。

### 2.3 基于像元二分模型的植被覆盖度估算

在 *NDVI* 数据计算基础上,通过像元二分模型进行景电灌区的植被覆盖度估算,其计算公式如下:

$$f_c = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (2)$$

式中,  $NDVI_{soil}$  为无植被覆盖像元的归一化植被指数值,  $NDVI_{veg}$  代表完全被植被所覆盖的像元的归一化植被指数值。

可见,只要确定了  $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$ ,便可求出  $f_c$ 。但是,受植被类型、植被覆盖季节变化及土壤类型、颜色、湿度变化等影响,  $NDVI_{soil}$  和

$NDVI_{veg}$  的值会随时间和空间而变化。由于无法根据植被和土地利用类型获取具体对应的值,所以本研究中采用近似值代替的方法确定  $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$ ,即以区域  $NDVI$  累计概率分布直方图为基础,将 5% 和 95% 的累计百分比设置为置信度区间,以对应区间的最大值与最小值作为研究区有效的  $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$  参数值<sup>[14-15]</sup>。

## 2.4 植被盖度等级的划分

根据景电灌区土地利用类型图及估算的植被覆盖度图,以及国家《土地利用现状调查技术规程》,“全国沙漠类型划分原则”,并结合景电灌区植被生态特征及野外调查验证,将研究区的植被按覆盖度的大小分为极低覆盖度( $f_c < 10\%$ )、低覆盖度( $10\% \leq f_c < 30\%$ )、中覆盖度( $30\% \leq f_c < 60\%$ ) 和高覆盖度( $f_c \geq 60\%$ ) 4 类。另外,考虑到农田是一特殊的植被群体,不同的作物有不同的种植与收获时间,仅仅依据农田的光谱数据很难准确解译出农田

植被区。同时,农田植被盖度变化的统计也缺少实际意义。鉴于上述原因,再增设一类农田植被,这样研究区的植被共分为 5 类(表 1)。

表 1 景电灌区植被覆盖度分级

Table 1 Vegetation coverage classification in Jingtai electrical irrigation area

| 盖度分级    | 植被盖度        | 土地覆被特征            |
|---------|-------------|-------------------|
| 极低覆盖度植被 | <10%        | 流动沙地、戈壁、居民点、水域交用地 |
| 低覆盖度植被  | 10%~30%     | 半固定沙地、稀疏草地        |
| 中覆盖度植被  | 30%~60%     | 固定沙地、中高盖度草地、林地、旱地 |
| 高覆盖度植被  | $\geq 60\%$ | 密林地、优质草地、旱地、零星水浇地 |
| 灌溉农田    | —           | 水浇地               |

对每一时期遥感影像,先采用目视解译法区分农田植被区,然后通过密度分割处理,生成植被覆盖度分级图(图 1)和各等级面积统计结果。

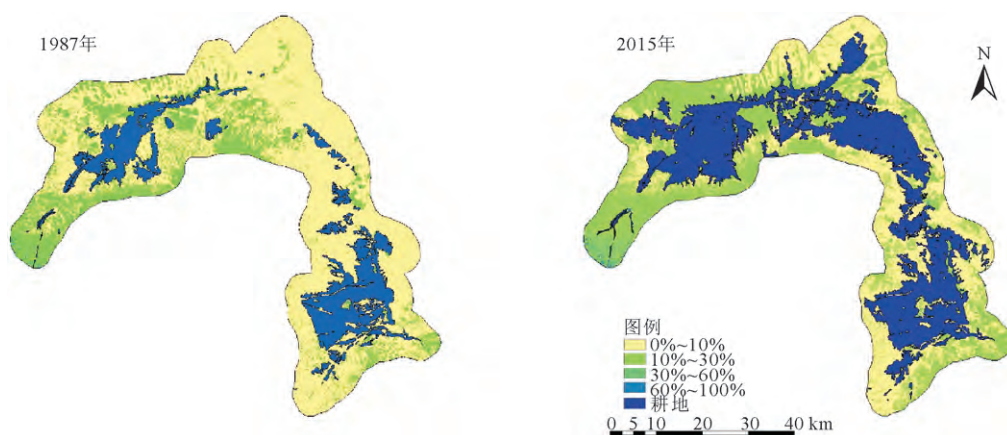


图 1 1987 年和 2015 年景电灌区植被覆盖度

Fig. 1 Vegetation coverage image of Jingdian irrigation area in 1987 and 2015

## 2.5 精度验证

通过实测值与估算结果的比较分析检验植被覆盖度估算结果的精度。2015 年 8 月,在植被覆盖高的季节,通过实地野外样地调查获得植被覆盖实测值,利用实测数据的经纬度坐标在 ArcGIS 软件下提取估算结果影像中的覆盖度信息,并和实测数据进行比较。通过计算估测值和实测值之间的误差,景电灌区植被覆盖度估算的总体精度可达 75% 以上。说明基于像元二分模型的植被覆盖度估算具有较高的精度和可靠性,验证结果符合要求。

## 3 结果与分析

### 3.1 景电灌区植被覆盖度动态变化

分类统计 1987—2015 年不同植被覆盖等级土地面积变化结果显示,景电灌区低覆盖度以下面积所占比重较大,1987、2001 年和 2015 年分别占该区

总面积的 82.80%、71.06% 和 61.96%,而中覆盖度以上区域所占面积比例均 < 2%,反映了区域整体植被覆盖度情况极差。

不同植被覆盖度等级类型在不同时段变化趋势不同,从各时段来看:1)1987—2001 年,年均变化率最高的为灌溉农田和极低覆盖度区域,分别年均增加 0.75% 和减少 0.67%,中、高覆盖度面积均有所增加,但年均变化率均 < 0.1%,变化较小。低覆盖度区域以年均 0.17% 的速率减少。2)2001—2015 年,面积年均变化率最高是极低覆盖度和低覆盖度区域,极低覆盖度区域以年均 1.72% 的速率急剧减少,低覆盖度区域以年均 1.06% 的速度增加。其余各类型中,灌溉农田以年均 0.61% 的速度增加,中、高覆盖度区域以极低的增长速率增加。3)1987—2015 年,28 a 中面积减少最快的是极低覆盖度,年均减少 1.19%,增加最多的是灌溉农田,年均变化

表 2 1987、2001 年和 2015 年景电灌区植被覆盖度变化

Table 2 Vegetation coverage change of Jingtai electrical irrigation area in 1987, 2001 and 2015

hm<sup>2</sup>, %

| 年份          |       | 极低覆盖度<br><10% | 低覆盖度<br>10%~30% | 中覆盖度<br>30%~60% | 高覆盖度<br>60%~100% | 灌溉农田       |
|-------------|-------|---------------|-----------------|-----------------|------------------|------------|
| 1987 年      | 面积    | 194 230.62    | 56 266.11       | 758.07          | 58.77            | 51 226.95  |
|             | 所占比例  | 64.20         | 18.60           | 0.25            | 0.00             | 16.93      |
| 2001 年      | 面积    | 166 001.94    | 48 992.76       | 4 075.65        | 505.89           | 82 964.28  |
|             | 所占比例  | 54.87         | 16.19           | 1.35            | 0.00             | 27.42      |
| 2015 年      | 面积    | 93 361.77     | 94 082.04       | 5 411.34        | 1 050.03         | 108 635.34 |
|             | 所占比例  | 30.86         | 31.10           | 1.79            | 0.35             | 35.91      |
| 1987—2001 年 | 变化量   | -28 228.68    | -7 273.35       | 3 317.58        | 447.12           | 31 737.33  |
|             | 变化率   | -9.33         | -2.40           | 1.10            | 0.15             | 10.49      |
|             | 年均变化率 | -0.67         | -0.17           | 0.08            | 0.01             | 0.75       |
| 2001—2015 年 | 变化量   | -72 640.17    | 45 089.28       | 1 335.69        | 544.14           | 25 671.06  |
|             | 变化率   | -24.01        | 14.90           | 0.44            | 0.18             | 8.49       |
|             | 年均变化率 | -1.72         | 1.06            | 0.03            | 0.01             | 0.61       |
| 1987—2015 年 | 变化量   | -100 868.85   | 37 815.93       | 4 653.27        | 991.26           | 57 408.39  |
|             | 变化率   | -33.34        | 12.50           | 1.54            | 0.33             | 18.98      |
|             | 年均变化率 | -1.19         | 0.45            | 0.05            | 0.01             | 0.68       |

率达 0.68%。低、中、高覆盖度面积都有所增加,年变化率分别为 0.45%、0.05% 和 0.01%。可以看出,研究区整体植被覆盖度显著增加,生态环境有极大的改善。

### 3.2 景电灌区植被覆盖度动态变化分析

为了精确定量计算植被覆盖度的格局与变化,将不同时期植被覆盖等级图进行空间叠加运算,通过不同时期植被覆盖度等级的转移变化情况分析,对区域不同植被覆盖类型之间的相互转化情况进行进一步监测。

表 3 数据显示,1987—2001 年,植被覆盖度未

发生变化的面积为 220 344.53 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 72.80%, 主要由极低覆盖度和灌溉农田构成。全区植被覆盖发生变化的过程主要包括: 植被恢复(少植被转化为多植被)、植被退化(多植被转化为少植被)、开荒((非耕地转变成耕地)、弃耕(耕地转变成非耕地)4 种。1987—2001 年, 全区植被恢复面积为 25 052.31 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 8.27%。植被退化面积为 19 492.11 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 6.40%。全区开荒面积达 34 773.33 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 11.49%。弃耕面积 3 006.04 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 1.00%。可以看出, 开荒是这一时期植被覆盖变化的主要形式。

表 3 1987—2001 年植被覆盖度面积转移

Table 3 Conversion matrix of vegetation coverage from 1987 to 2001

hm<sup>2</sup>

| 1987 年        | 2001 年        |                 |                 |                  | 灌溉农田       |
|---------------|---------------|-----------------|-----------------|------------------|------------|
|               | 极低覆盖度<br><10% | 低覆盖度<br>10%~30% | 中覆盖度<br>30%~60% | 高覆盖度<br>60%~100% |            |
| 极低覆盖度<10%     | 145 900.15*   | 21 281.24       | 839.31          | 115.77           | 26 843.50  |
| 低覆盖度 10%~30%  | 19 167.13     | 25 799.96*      | 2 607.57        | 124.03           | 7 812.48   |
| 中覆盖度 30%~60%  | 145.28        | 139.85          | 231.70*         | 84.39            | 106.25     |
| 高覆盖度 60%~100% | 14.33         | 19.20           | 6.32            | 4.83*            | 11.10      |
| 灌溉农田          | 1 357.56      | 1 170.36        | 323.92          | 154.20           | 48 407.89* |

注: \* 数据为植被覆盖度未发生变化的面积。下同。

由表 4 可以看出, 2001—2015 年间, 植被覆盖未发生变化的面积为 206 270.57 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 68.14%。植被恢复面积为 59 855.86 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 19.77%。植被退化面积为 5 622.98 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 1.86%。全区开荒面积达 28 312.90 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 9.35%。弃耕面积 2 633.72 hm<sup>2</sup>, 占总面积的 0.87%。表明开荒和植被覆盖度增加是这段时期植被覆盖变化的主要形式。

### 3.3 景电灌区植被覆盖度变化原因分析

#### 3.3.1 气候条件对植被覆盖度的影响

温度和降水是影响植被覆盖变化的重要因素, 通过景电灌区地面气象观测统计资料(图 2), 受全球气候变化影响, 灌区年平均气温略有增加, 长期年降雨量总体呈稳定趋势。在降雨量没有增加的情况下, 平均气温的升高会加剧地表水分的蒸发, 进而引发区域干旱, 影响植物生长。但实际上, 1987—2015 年研究区植

被覆盖度并没有出现退化,反而有较大恢复,这说明虽然气候条件与植被有关,但并不是影响本区域内植被覆盖度变化的决定因素。

3.3.2 人为因素对植被覆盖度的影响 虽然严酷的自然条件在一定程度上制约着植被覆盖的空间分布,但对本区而言,农业生产、生态建设等人类活动才是影响景电灌区植被覆盖变化的主要因素。首先,景电工程的实施使得研究区大面积非耕地转为灌溉农田,使得植被覆盖发生了根本性的变化<sup>[16]</sup>;其次,研究区自 1982 年开始,就在局部风沙危害较

为严重的区域实施低密度造林、封育等植被恢复措施。近年来,随着封山造林、天然林保护、退耕还林、三北防护林体系建设、公益林生态补偿等国家大规模生态恢复措施的实施,灌区生态环境状况明显改善。景电二期工程投入使用后,从根本上改善了区域的农业生产条件,在腾格里沙漠南缘形成了 1 000 km<sup>2</sup> 的绿洲。百万亩灌区与三北防护林带、公益林带连为一体,很好地保护了区域的生态环境。可以说,景电灌区植被覆盖增加的主要原因是因为生态环境的改善有利于植被生长。

表 4 2001—2015 年植被覆盖度面积转移

Table 4 Conversion matrix of vegetation coverage from 2001 to 2015

hm<sup>2</sup>

| 2001 年        | 2015 年        |                 |                 |                  |            |
|---------------|---------------|-----------------|-----------------|------------------|------------|
|               | 极低覆盖度<br><10% | 低覆盖度<br>10%~30% | 中覆盖度<br>30%~60% | 高覆盖度<br>60%~100% | 灌溉农田       |
| 极低覆盖度<10%     | 88 073.77*    | 56 291.34       | 819.40          | 162.39           | 21 256.74  |
| 低覆盖度 10%~30%  | 4 652.94      | 35 690.10*      | 2 067.90        | 197.67           | 5 802.01   |
| 中覆盖度 30%~60%  | 44.34         | 816.50          | 1 843.36*       | 317.16           | 987.45     |
| 高覆盖度 60%~100% | 3.31          | 19.58           | 86.31           | 107.32*          | 266.70     |
| 灌溉农田          | 663.01        | 1 251.80        | 474.99          | 243.92           | 80 556.02* |

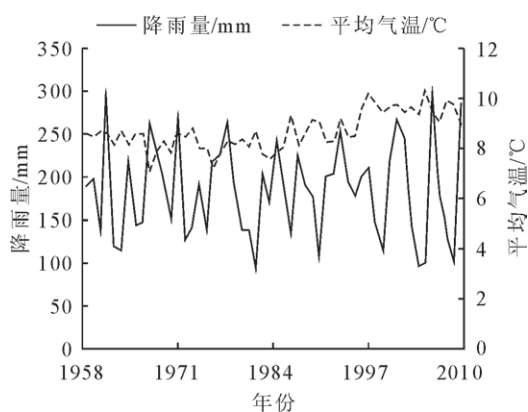


图 2 景电灌区年降雨量、年平均气温变化

Fig. 2 Annual rainfall, annual mean temperature change in Jingtai electrical irrigation area

### 3 结论与讨论

本研究利用 1987、2001 年和 2015 年 3 期的 TM 影像,采用基于 NDVI 的像元二分法模型对景电灌区 28 a 来的植被覆盖度进行了估算,并利用空间叠加运算对该区的植被变化进行了定量分析。

1)就植被覆盖空间分布情况而言,研究区极低覆盖度和低覆盖度面积比重较大,这 2 种植被覆盖类型在 1987、2001 年和 2015 年分别占该区总面积的 82.80%、71.06%和 61.96,而中、高覆盖度区域所占面积比例均<2%,区域整体植被覆盖度情况较差。

2)1987—2015 年,景电灌区植被覆盖度出现了

较大波动,极低覆盖度面积迅速减少,其所占比例由 1987 年的 62.20%降至 2015 年的 30.86%,年均减少 1.19%。面积增加最多的是灌溉农田,其所占面积比例由 1987 年的 16.93%增加至 2015 年的 35.91%,年均变化率达 0.68%。

3)植被覆盖等级转移矩阵分析结果显示,开荒和植被覆盖度增加是研究时段内植被覆盖变化的主要形式。1987—2001 年,全区植被恢复面积占总面积的 8.27%,开荒面积占总面积的 11.49%。2001—2015 年,植被恢复面积占总面积的 19.77%,全区开荒面积达 28 312.90 hm<sup>2</sup>,占总面积的 9.35%。

4)对自然植被而言,温度和降水是影响植被覆盖变化的重要因素。但就本区而言,农业生产、生态建设才是植被覆盖变化的主要因素,景电工程和国家生态建设工程的实施使得区域生态环境状况明显改善,植被覆盖增加。

#### 参考文献:

- [1] 张飞,塔西普拉提·特依拜,丁建丽,等.新疆典型盐渍区植被覆盖度遥感动态监测——以渭干河-库车河三角绿洲为例[J].林业科学,2011,47(7):27-35.  
ZHANG F, TAXIPULATI · T, DING J L, et al. Dynamically monitoring vegetation cover by remote sensing in the typical salinization region of Xinjiang: a case study in delta oasis of Weigan and Kuqa rivers[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47 (7):27-35. (in Chinese)
- [2] 闫敏,李增元,陈尔学,等.内蒙古大兴安岭根河森林保护区植被覆盖度变化[J].生态学杂志,2016,35(2):508-505.

- YAN M, LI Z Y, CHEN E X, *et al.* Vegetation fractional coverage change in Daxinganling Genhe forest reserve of Inner Mongolia[J]. Chinese Journal of Ecology, 2016, 35(2): 508-505. (in Chinese)
- [3] 李毅, 杨仁斌, 毕军平, 等. 长株潭核心区植被覆盖度动态监测与分析[J]. 林业科学研究, 2015, 28(2): 265-270.  
LI Y, YANG R B, BI J P, *et al.* Monitoring and analysis of vegetation fractional cover in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan core region based on remote sensing data[J]. Forest Research, 2015, 28(2): 265-270. (in Chinese)
- [4] 韩亚军, 贾炜玮, 朱万才. 基于RS和GIS的伊春市土地覆盖变化与空间格局分析[J]. 森林工程, 2017, 33(5): 17-23.  
HAN Y J, JIA W Y, ZHU W C. Land cover change and spatial pattern analysis based on RS and GIS in Yichun City[J]. Forest Engineering, 2017, 33(5): 17-23. (in Chinese)
- [5] 贾广钰. 统筹优化法在景电灌区建管中的应用[J]. 中国水利, 2017(9): 49-51.
- [6] 李亚, 魏怀东, 纪永福, 等. 景电引黄灌区植被变化过程与恢复模式研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(5): 294-299.  
LI Y, WEI H D, JI Y F, *et al.* Restoration model and change process of vegetation in Yellow River irrigation area of Jingtai [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(5): 294-299. (in Chinese)
- [7] 丁峰, 高志海, 魏怀东. 景电二期工程上水前后土地利用变化及生境评价[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 150-153.  
DING F, GAO Z H, WEI H D. Landuse variety and environment assessing in second electric-irrigating project of Jingtai plain[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2004, 18(3): 150-153. (in Chinese)
- [8] 徐向宏, 王婷婷, 雷文文, 等. 景电灌区绿洲综合生态系统管理耦合技术评价分析[J]. 草业科学, 2010, 27(6): 38-44.  
XU X H, WANG T T, LEI W W, *et al.* Evaluation of management coupling technology of integrated ecosystem in the Jingtai electrical irrigation region oasis [J]. Pratacultural Science, 2010, 27(6): 38-44. (in Chinese)
- [9] 丁峰, 李亚, 苏万红, 等. 景电灌区农田防护林衰败及优化模式[J]. 草业科学, 2015, 32(3): 340-346.  
DING F, LI Y, SU W H, *et al.* Study on the decline and optimized model of agriculture protective forest ecosystem in the Jingtai electrical irrigation area [J]. Pratacultural Science, 2015, 32(3): 340-346. (in Chinese)
- [10] 陈芳, 马全林, 张德魁, 等. 干旱荒漠区植被恢复动态遥感监测[J]. 草业科学, 2011, 28(6): 1075-1078.  
CHEN F, MA Q L, ZHANG D K, *et al.* Dynamic monitoring of the vegetation restoration in arid desert area[J]. Pratacultural Science, 2011, 28(6): 1075-1078. (in Chinese)
- [11] 凌威, 王新杰, 吴文昊, 等. 1990-2014年新疆卡山保护区植被覆盖度时空变化特征[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(4): 227-232.  
LING W, WANG X J, WU W H, *et al.* Spatial differences of the variations of vegetation coverage in Mt. Kalamaili Ungulate nature reserve during 1990-2014 [J]. Journal of Northwest Forestry University, 2016, 31(4): 227-232. (in Chinese)
- [12] 赵艳华, 苏德, 包扬, 等. 阴山北麓草原生态功能区植被覆盖度遥感动态监测[J]. 环境科学研究, 2017, 30(2): 240-248.  
ZHAO Y H, SU D, BAO Y, *et al.* Dynamic monitoring of fractional vegetation cover of eco-function area of grassland on northern foot of Yinshan Mountains through remote sensing technology [J]. Research of Environmental Sciences, 2017, 30(2): 240-248. (in Chinese)
- [13] 杨静雅, 李新国, 闫凯, 等. 基于遥感和像元二分模型的新疆和静县草地植被覆盖度时空变化特征研究[J]. 西北林学院学报, 2017, 32(1): 210-217.  
YANG J Y, LI X G, YAN K, *et al.* Temporal and spatial variation characteristics of grassland vegetation coverage in Hejing of Xinjiang based on remote sensing and dimidiate pixel model[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2017, 32(1): 210-217. (in Chinese)
- [14] 张号, 屈建军, 张克存. 绿洲植被覆盖度遥感信息提取——以敦煌绿洲为例[J]. 中国沙漠, 2015, 35(2): 793-798.  
ZHANG H, QU J J, ZHANG K C. Vegetation cover information extraction technology for Dunhuang oasis based on remote sensing images[J]. Journal of Desert Research, 2015, 35(2): 793-798. (in Chinese)
- [15] 马娜, 胡云峰, 庄大方, 等. 基于遥感和像元二分模型的内蒙古正蓝旗植被覆盖度格局和动态变化[J]. 地理科学, 2012, 32(2): 251-256.  
MA N, HU Y F, ZHUANG D F, *et al.* Vegetation coverage distribution and its changes in plan blue banner based on remote sensing data and dimidiate pixel mode[J]. Scientia Geographica Sinica, 2012, 32(2): 251-256. (in Chinese)
- [16] 何玉琛, 聂俊坤, 徐存东. 甘肃景电灌区盐碱地综合治理与开发对策[J]. 人民黄河, 2015, 37(7): 141-145.  
HE Y C, NIE J K, XU C D. Countermeasures study of salinization comprehensive treatment and development in Jingtaichuan Yellow River pumping-irrigation area of Gansu [J]. Yellow River, 2015, 37(7): 141-145. (in Chinese)