

doi: 10.6046/gtzyyg.2013.02.22

引用格式: 蔡衡,王结贵,杨瑞霞等.基于 FCD 模型的且末绿洲植被覆盖度时空变化分析[J].国土资源遥感,2013,25(2):131-137. (Cai H, Wang J G, Yang R X, et al. Analysis of spatial-temporal change of Qiemo oasis vegetation coverage based on FCD model[J]. Remote Sensing for Land and Resources 2013, 25(2): 131-137.)

# 基于 FCD 模型的且末绿洲植被覆盖度时空变化分析

蔡 衡<sup>1,2</sup>, 王结贵<sup>3</sup>, 杨瑞霞<sup>1</sup>, 李 超<sup>1,2</sup>, 吉 玮<sup>1</sup>, 王心源<sup>1</sup>

(1. 中国科学院对地观测与数字地球科学中心数字地球重点实验室, 北京 100094;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 3. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖 241000)

摘要: 利用新疆维吾尔自治区且末绿洲 1998 年、2001 年、2006 年、2011 年 4 期 TM/ETM<sup>+</sup> 图像, 基于森林郁闭度制图模型 FCD 模型( forest canopy density mapping model, FCD) 构造复合植被指数, 对且末绿洲地区近 13 a 的植被覆盖度进行了反演, 得到植被覆盖度等级图, 分析并揭示出且末绿洲植被覆盖的时空变化特征, 对其变化的影响因素进行了探讨。总体来说, 且末绿洲 13 a 来总植被覆盖面积增加了 742.64 km<sup>2</sup>, 绿洲在向外扩张; 各阶段的植被覆盖度变化表现出波动性, 1998—2001 年、2006—2011 年间植被恢复面积( 植被向较高覆盖度转移) 分别是植被退化面积( 植被向较低覆盖度转移) 的 2.98 倍和 1.79 倍, 植被恢复状态较好, 而 2001—2006 年间出现较严重的植被退化状况, 植被退化面积为 435.3 km<sup>2</sup>, 植被恢复面积仅为 5.41 km<sup>2</sup>; 且末绿洲植被覆盖度的变化受春夏季温度、降水及大规模的防护林、灌溉系统建设等多重因素的影响。

关键词: 复合植被指数; 植被覆盖; 遥感反演; FCD 模型; 且末绿洲

中图法分类号: TP 79 文献标志码: A 文章编号: 1001-070X(2013)02-0131-07

## 0 引言

作为绿洲的重要组成部分, 植被维持着干旱区生态环境稳定, 发挥着有效的生态功能<sup>[1]</sup>。植被覆盖度是刻画地表植被覆盖的一个重要参数, 也是表明生态环境变化的重要指数, 它是指植被( 包括叶、茎、枝) 在地面的垂直投影面积占统计区总面积的百分比。提取植被覆盖度空间分布及其变化信息, 探讨其变化的影响因素, 对于促进绿洲稳定有序可持续发展具有重要的现实意义<sup>[2]</sup>。

遥感技术是快速提取区域植被覆盖度信息的重要手段, 它克服了传统的地面样方实测法存在的人力、财力消耗大以及耗时、精度不高等缺点<sup>[3]</sup>。目前的研究通常将植被指数与像元分解模型结合进行植被覆盖度计算<sup>[4]</sup>。但是, 单纯利用植被指数进行植被覆盖度计算存在不确定性, 阴影及土壤背景会对植被反射波谱产生影响, 从而影响覆盖度反演精度。FCD 模型( forest canopy density mapping model, FCD) 能够构造出复合植被指数( vegetation, bare soil and shadow index, VBSI), 代替常用的 NDVI( normalized difference vegetation index, NDVI) 等植被指数, 与像元二分法结

合进行植被覆盖度的估算, 可以很好地削弱遥感图像的阴影、土壤、岩石、建筑用地等背景的影响, 突出植被信息, 具有较高的反演精度<sup>[5-8]</sup>。

本文以干旱区典型绿洲——新疆维吾尔自治区且末绿洲为研究对象, 分别采用且末绿洲 1998, 2001, 2006 和 2011 年 4 期 TM/ETM<sup>+</sup> 遥感图像, 基于 FCD 模型构造出复合植被指数 VBSI, 代替归一化植被指数 NDVI, 结合像元二分法计算出近 13 a 且末绿洲植被覆盖度, 通过分析其时空变化特征, 探讨且末绿洲生态环境变化的趋势及其主要影响因子。

## 1 研究区概况和数据源

新疆维吾尔自治区且末县总面积约 14.025 万 km<sup>2</sup>, 其中 2/3 面积为沙地。其境内的且末绿洲位于车尔臣河冲积三角洲地带, 昆仑山、阿尔金山北麓, 塔里木盆地的东南缘, 是沿车尔臣河发育形成的典型带状绿洲。该绿洲被戈壁、沙漠与高山环绕, 四面环沙, 如沙漠孤岛, 干旱少雨, 蒸发强烈, 土壤疏松保水性差。车尔臣河从南部山区流出, 穿过且末绿洲, 由南向北, 再折为东北向, 流往台特玛湖区域。南部山区的终年积雪和冰川融化是该绿洲诸河流的主要水

收稿日期: 2012-07-13; 修订日期: 2012-09-09

基金项目: 国家自然科学基金项目( 编号: 41271427) 和国家科技支撑计划项目( 编号: 2012BAH27B05) 共同资助。

源。且末绿洲是该县主要的人类活动及农业生产场所，其稳定性直接关系到该县经济发展与生态环境状况。

本文采用的数据是 Landsat TM/ETM<sup>+</sup> 遥感图像，获取时间分别为 1998 年 8 月、2001 年 7 月、2006 年 7 月和 2011 年 8 月，每期均由 4 景图像镶嵌而成，行列号分别为 142/33、142/34、143/33 和 143/34。所选 4 个时期的图像均获取于农作物、人工和天然植被生长最旺盛的夏季，无云且质量良好，能够完整反映且末绿洲地区植被生长状况，具有可比性<sup>[9]</sup>。图 1 为经过镶嵌裁剪的 2011 年研究区遥感图像。



图 1 2011 年且末绿洲遥感图像

Fig. 1 Remote sensing image of Qiemo oasis in 2011

## 2 研究方法

首先对遥感图像进行了辐射校正、直方图匹配、镶嵌、裁剪等预处理，再基于 FCD 模型构造复合植被指数 VBSI，并代入像元二分法中计算植被覆盖度，对且末绿洲植被覆盖度进行反演与制图，具体的技术路线如图 2 所示。

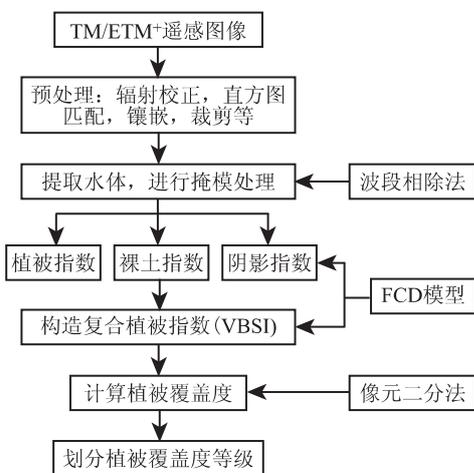


图 2 植被覆盖度时空变化分析技术路线

Fig. 2 Technology flow of vegetation coverage change study

### 2.1 水体信息的提取

试验发现，将中红外波段与绿波段 2 个波段亮度值相除，能够很好地突出水体信息，对且末绿洲地

区的水体提取具有很好的效果。对相除后的结果找出分割阈值，进行掩模处理，将水体区域去除。

### 2.2 基于 FCD 模型构建复合植被指数(VBSI)

FCD 模型由国际热带木材组织 (international tropical timber organization, ITTO) 提出，以 Landsat TM/ETM<sup>+</sup> 图像为数据源，主要构造 4 个指数——植被指数 (vegetation index, VI，一般选用归一化植被指数 NDVI)、裸土指数 (bare soil index, BI)、阴影指数 (shadow index, SI) 及热量指数 (temperature index, TI)。由于 TM/ETM<sup>+</sup> 图像的热红外波段分辨率较低，且该指数很少使用到，一般研究中不进行讨论<sup>[10]</sup>，因此本文也不考虑 TI。FCD 模型利用绿波段、红波段、近红外波段和短红外波段进行各指数的构造<sup>[11]</sup>，即

$$VI = NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3) \quad (1)$$

$$BI = (B5 + B3 - B4 - B1) / (B5 + B3 + B4 + B1) \quad (2)$$

$$SI = [(256 - B1) (256 - B2) (256 - B3)]^{1/3} \quad (3)$$

式中 B1—B5 分别为蓝、绿、红、近红外和短波红外波段亮度值。根据 FCD 模型原理，植被覆盖度与 NDVI、SI 呈正相关，与 BI 呈负相关。通过 NDVI、BI、SI 的线性组合构建 VBSI，可以减弱图像上植被、建筑等阴影、土壤背景的影响。依据各指数的相关性特征，构造 VBSI<sup>[10]</sup>，即

$$VBSI = (VI + nBI) SI \quad (4)$$

式中 n 为修正系数，根据本研究区的实际情况，经试验选取 n = -0.1。

### 2.3 像元二分法计算植被覆盖度

像元二分法假定遥感传感器所观测到的一个像元的全部信息 S 由植被所贡献的信息 S<sub>v</sub> 和由无植被覆盖 (裸土) 部分所贡献的信息 S<sub>s</sub> 两部分构成。

假设 F<sub>c</sub> 为一个像元中有植被覆盖的面积比例，即该像元的植被覆盖度，则裸土部分的面积比例就是 1 - F<sub>c</sub>。如果一个全植被覆盖的纯像元 (即 F<sub>c</sub> = 1) 所贡献的遥感信息为 S<sub>veg</sub>，一个无植被覆盖的纯裸土像元 (即 F<sub>c</sub> = 0) 所贡献的遥感信息为 S<sub>soil</sub><sup>[12-13]</sup>，则可得 S<sub>s</sub> 和 S<sub>v</sub> 分别为

$$S_s = F_c S_{veg} \quad (5)$$

$$S_v = (1 - F_c) S_{soil} \quad (6)$$

一个像元的全部信息 S 为

$$S = F_c S_{veg} + (1 - F_c) S_{soil} \quad (7)$$

可求出 F<sub>c</sub>，即

$$F_c = (S - S_{soil}) / (S_{veg} - S_{soil}) \quad (8)$$

由 FCD 模型得到的  $VBSI$  是将遥感传感器所接收的地物信息经过函数组合而形成,能够定量反映地表植被覆盖状况。将计算获取的  $VBSI$  代入式 (8) 则植被覆盖度的计算公式为

$$F_c = (VBSI - VBSI_{soil}) / (VBSI_{veg} - VBSI_{soil}) \quad (9)$$

式中  $VBSI_{soil}$  和  $VBSI_{veg}$  分别为纯裸土和全植被覆盖像元的  $VBSI$  值。根据研究区实际情况,  $VBSI_{soil}$  和  $VBSI_{veg}$  分别取置信区间 1% 和 99% 内的最小值和最大值代入公式 (9) 进行计算<sup>[14]</sup>。4 个时期的  $VBSI_{soil}$  和  $VBSI_{veg}$  取值如表 1 所示。

表 1 4 个时期的  $VBSI_{soil}$  和  $VBSI_{veg}$  取值

Tab. 1 Values of  $VBSI_{soil}$  and  $VBSI_{veg}$  in 4 periods

复合植被指数	1998 年	2001 年	2006 年	2011 年
$VBSI_{soil}$	-25	-28	-26	-27
$VBSI_{veg}$	45	33	43	48

### 2.4 获取植被覆盖度等级分布图

根据全国沙漠化普查地类划分标准、国家《土

地利用现状调查技术规程》和相关文献<sup>[15-17]</sup>,结合且末绿洲实际情况,将其植被覆盖度划分为以下 5 级:  $F_c \in [0.0, 0.1)$  地表主要覆盖类型为沙漠、地面流动沙地、戈壁、裸地,为无植被区(或称荒漠区);  $F_c \in [0.1, 0.3)$  低覆盖度植被,主要为低产草地、疏林地等,为差等植被区;  $F_c \in [0.3, 0.5)$  中覆盖度植被,主要是中产草地、低郁闭林地,为中等植被区;  $F_c \in [0.5, 0.7)$  中高覆盖度植被,主要是滩地、中高产草地、林地等,为良等植被区;  $F_c \in [0.7, 1.0]$  高覆盖度植被,高产草地、农田等,为优等植被。

## 3 结果与分析

### 3.1 且末绿洲各时期植被覆盖度等级

基于 FCD 模型,借助 Erdas Imaging 和 ArcGIS 软件,获得且末绿洲各时期植被覆盖度等级分布图(图 3)。

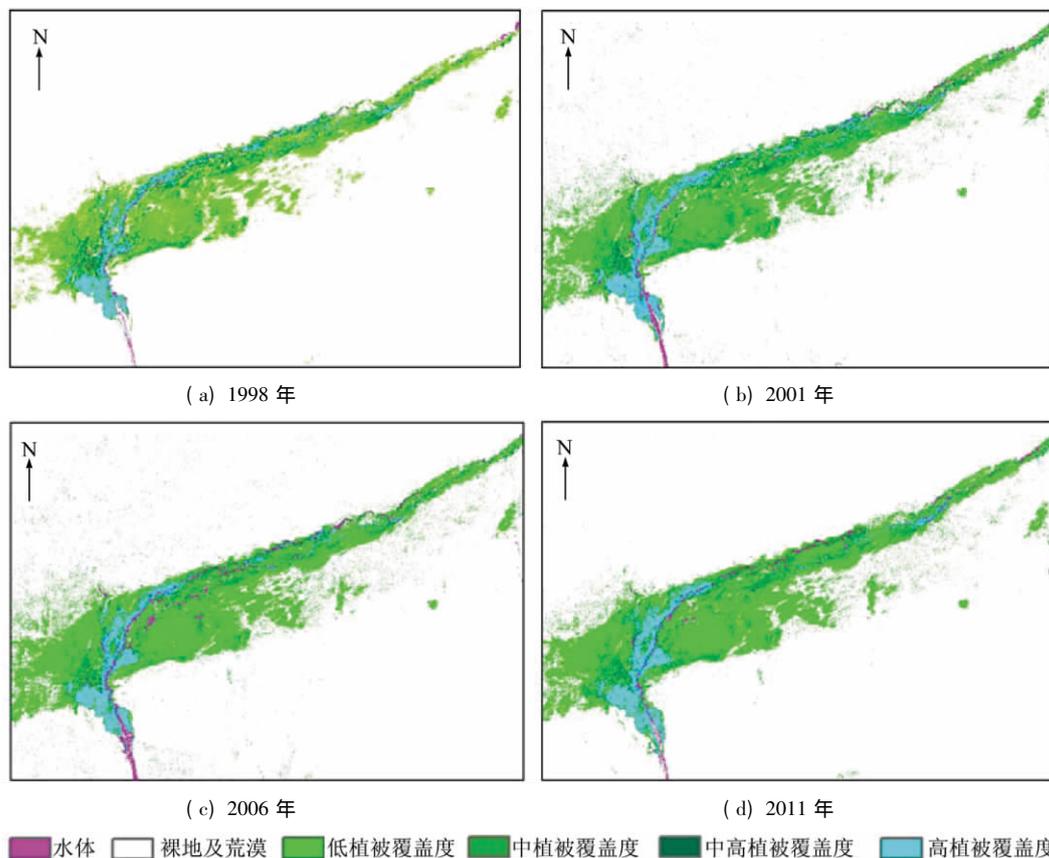


图 3 且末绿洲各时期植被覆盖度等级

Fig. 3 Vegetation coverage grade in different periods

前人研究表明, FCD 模型的反演精度较高,约 90%,在我国新疆典型干旱区总体精度也达到 83%,能够满足区域尺度的植被覆盖度调查要求<sup>[5-8]</sup>。将反演结果中各植被覆盖等级所对应的类型与高分辨率影像进行对比,结合且末绿洲部分地

区实地观测结果,证明反演精度可以满足本研究要求。

### 3.2 且末绿洲植被覆盖度空间分布总体特征

将各年份植被覆盖等级图进行数据统计,得到各等级的面积统计结果(表 2)。总体来看,且末绿

洲 13 a 来总植被覆盖面积增加了 742.64 km<sup>2</sup>。

表 2 各等级植被覆盖度面积统计表

Tab.2 Area table of vegetation cover of Qiemo oasis in different periods (km<sup>2</sup>)

植被覆盖度	年份			
	1998 年	2001 年	2006 年	2011 年
低	1 354.53	1 903.90	2 397.48	2 037.77
中	373.33	528.44	301.75	383.69
中高	151.03	144.49	106.83	126.66
高	253.70	326.14	288.09	327.10
合计	2 132.59	2 902.97	3 094.15	2 875.22

从表 2 可见,绿洲各时期总植被覆盖面积不同,这是由于绿洲的边缘为沙漠绿洲交错带,经常发生植被与荒漠之间的相互转换。低覆盖度植被所占面积最大,约占总植被覆盖的 70%;其次为中覆盖度、高覆盖度,分别占总植被覆盖的 15% 和 10%;中高覆盖度植被所占面积最小,约占总植被覆盖的 5%。在空间分布上,沿着车尔臣河两侧向外,覆盖度等级依次降低。高覆盖度植被沿车尔臣河由南向东北方向延伸,并逐渐变窄消失,这部分为且末绿洲城镇及村落所在地,是且末县大部分人口的聚居地,主要为耕地和建筑用地。中等和高覆盖度植被沿着高覆盖度的外侧分布,分布较离散,主要为新开垦的农田及人工防护林地等。低覆盖度植被呈片状分布在绿洲核心地带以外,向绿洲两侧延伸,主要类型为疏林地、天然草地,这部分处于绿洲与沙漠交错地带,容易与沙漠和其他较高等级覆盖植被发生转化。

3.3 植被覆盖度各等级面积随时间变化分析

将不同时期各覆盖度等级及总植被覆盖的面积进行计算,得到 1998—2001 年、2001—2006 年、2006—2011 年和 1998—2011 年 4 个时间段的面积增减情况,如表 3 所示。

表 3 各等级植被覆盖度面积变化

Tab.3 Vegetation cover area change of Qiemo oasis in different periods (km<sup>2</sup>)

植被覆盖度	1998—	2001—	2006—	1998—
	2001 年	2006 年	2011 年	2011 年
低	549.37	493.58	-359.72	683.23
中	155.11	-226.69	81.94	10.36
中高	-6.54	-37.66	19.83	-24.37
高	72.44	-38.04	39.00	73.40
合计	770.38	191.19	-218.95	742.62

从表 3 可见,1998—2011 年间绿洲的总植被覆盖面积增加了 742.62 km<sup>2</sup>,主要是 683.23 km<sup>2</sup> 的低覆盖度植被,其次是 73.40 km<sup>2</sup> 的高覆盖度植被,这表明绿洲在空间范围上向周边的交错带扩张,绿洲中心地带范围也在增长。

3.4 植被覆盖度动态变化分析

为了更准确定量地分析植被覆盖度格局的变化

特征,采用转移矩阵法对各覆盖度等级间的相互转换进行了空间运算,如表 4—7 所示。转移矩阵中,对角线上的数据为各时段植被覆盖等级未发生变化的部分,对角线下方的数值为由较高覆盖度向较低覆盖度转移的面积,代表植被退化的面积。对角线上方的数值是由较低覆盖度等级向较高覆盖度植被转移的面积,代表植被恢复的面积。

表 4 1998—2001 年植被覆盖度面积转移矩阵

Tab.4 Conversion matrix of vegetation cover area from 1998 to 2001 (km<sup>2</sup>)

1998 年植被覆盖度等级	2001 年植被覆盖度等级			
	低	中	中高	高
低	1 021.10	227.14	16.50	30.94
中	48.19	232.53	42.16	34.41
中高	4.91	41.41	49.33	44.47
高	1.75	10.11	26.35	202.03

1998—2001 年植被退化面积为 132.72 km<sup>2</sup>,植被恢复面积为 395.62 km<sup>2</sup>,是植被退化面积的 2.98 倍,这说明这个阶段且末绿洲植被处于良性的生长状态。

表 5 2001—2006 年植被覆盖度面积转移矩阵

Tab.5 Conversion matrix of vegetation cover area from 2001 to 2006 (km<sup>2</sup>)

2001 年植被覆盖度等级	2006 年植被覆盖度等级			
	低	中	中高	高
低	1 809.00	2.50	0.02	0.01
中	306.50	206.40	1.38	0.17
中高	1.00	80.32	51.99	1.34
高	0.07	2.13	45.28	273.20

2001—2006 年植被退化面积为 435.3 km<sup>2</sup>,占总面积的 15%;植被恢复面积仅为 5.41 km<sup>2</sup>,占总面积的 0.19%,表明这个时期退化很严重,大量较高覆盖度植被转化为低覆盖度植被。

表 6 2006—2011 年植被覆盖度面积转移矩阵

Tab.6 Conversion matrix of vegetation cover area from 2006 to 2011 (km<sup>2</sup>)

2006 年植被覆盖度等级	2011 年植被覆盖度等级			
	低	中	中高	高
低	1 675.00	142.80	20.18	22.38
中	62.94	173.50	33.13	19.38
中高	4.91	35.66	30.57	27.76
高	2.68	13.26	29.30	241.30

2006—2011 年植被退化面积为 148.75 km<sup>2</sup>,植被恢复面积为 265.63 km<sup>2</sup>,是退化面积的 1.79 倍,这说明这段时期植被生长处于恢复趋势。

表 7 1998—2011 年植被覆盖度面积转移矩阵

Tab.7 Conversion matrix of vegetation cover area from 1998 to 2011 (km<sup>2</sup>)

1998 年植被覆盖度等级	2011 年植被覆盖度等级			
	低	中	中高	高
低	1 133.00	104.00	22.64	46.10
中	123.70	168.10	28.43	36.28
中高	15.83	60.11	28.50	35.28
高	5.30	28.04	31.84	181.40

1998—2011 植被退化面积为 264.82 km<sup>2</sup>, 恢复面积为 272.73 km<sup>2</sup>, 两者基本持平。总体而言, 1998—2011 年该地植被生长经历了良性生长到严重退化再逐步恢复的过程。

3.5 植被覆盖度变化的主要影响因子分析

且末绿洲是典型的干旱区内陆河流域下游的人工绿洲, 是集自然、经济和社会为一体的复合体系。因此, 植被覆盖度格局的变化也受着自然和人文方面多因素的共同作用, 本文针对且末绿洲的特点对其影响因素进行了分析。

3.5.1 气候因素

水分是影响干旱区植被生长的关键因素, 降水量对植被覆盖的空间分布具有重要的驱动作用。图 4 为且末绿洲 1998—2011 年春季月均温与降水量变化曲线。

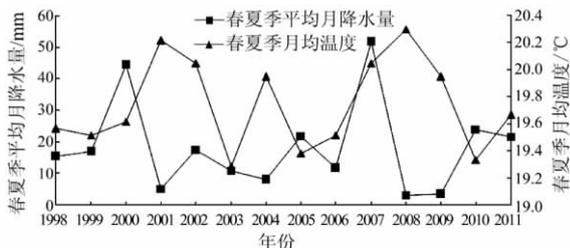


图 4 1998—2011 年春季月均温与降水量变化曲线  
Fig. 4 Average temperature and precipitation in months in spring and summer from 1998 to 2011

从图 4 中可以看出, 且末绿洲 13 a 来春季 (3—8 月) 的月平均降水量和月均温存在一定波动性。2002—2006 年期间春季降水量始终处于低谷期, 春季月平均降水量为 14 mm, 与这段时间植被退化严重状况是吻合的。1998—2001 年和 2007—2011 年春季降水量相对较充沛, 波动较大, 平均降水量分别为 22.17 mm 和 20.74 mm, 其中 2000 年和 2007 年分别出现降水高峰, 降水量分别达 44.4 mm 和 51.7 mm, 这是 2 个时期内植被恢复状况良好的主要原因之一。

气温与植被的生长状况有一定的相关性。且末绿洲内的河流发源于其南部昆仑山, 阿尔金山北麓, 冰雪融水是其最主要的水源, 气温上升将加速积雪

融化, 加大河流流量, 为绿洲提供更多的水资源, 促进植被的生长。

从图 4 中春夏季月均温的变化曲线可以看出, 1998—2001 年气温稳定上升, 这个阶段春夏季气温月均温均值为 19.73℃, 2002—2006 年波动较大, 气温均值也偏低, 为 19.63℃, 2007—2011 年春季气温月均值为 19.86℃。其中 2 次春夏季月均温高峰分别为 2001 年 (20.22℃) 和 2008 年 (20.3℃), 均出现在植被覆盖度增高的 1998—2001 年和 2007—2011 年时期内。可见, 且末绿洲气温的变化趋势与植被生长状况的变化趋势是一致的。

3.5.2 人为因素

1949 年以来, 且末县人口数量一直在猛增, 且末绿洲聚集了全县人口的 86.8%。对于这样一个地势不利、半农半牧的且末县来说, 势必要增加耕地面积和发展畜牧业, 以满足绿洲人民的生存需求。且末县 1949—2010 年的人口数量变化曲线如图 5 所示。

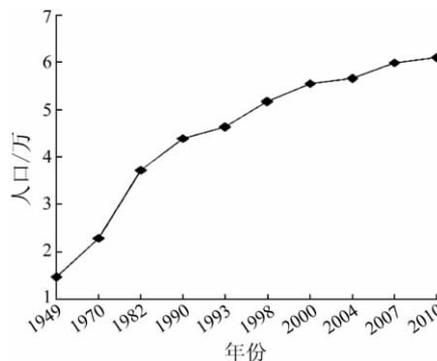


图 5 且末县人口数量变化曲线  
Fig. 5 Population of Qiemu from 1949 to 2009

从图 3 可看出, 以耕地为主要类型的高植被覆盖度区域总体在扩张。人们首先会在自然条件好的、靠近河流的区域开垦耕地, 即绿洲的中心地带。其次在其外围地区也增加了很多农田, 部分农田直接深入荒漠。

伴随农业建设发展, 且末县在政府支持下, 通过大规模引水灌溉, 提高水资源的利用率, 促进农作物的生长, 同时发展人工植被, 增加了绿洲总体植被覆盖面积, 也促进了植被覆盖度的提高。但另一方面, 该区牲畜数量的迅速增加, 过度放牧和水资源的不合理利用均会造成植被严重退化, 水土流失加重, 荒漠化趋势加剧。

近几年, 且末县开展了较大规模的治沙工程, 在车尔臣河东侧建立了长 12 km, 宽 2 km 的“绿色长廊”, 挡住了与县城一河之隔的流动沙漠侵袭。这些生态工程的建设使且末绿洲植被得以恢复, 生态环境有了显著改善。

## 4 结论

1) 且末绿洲 1998—2011 年植被覆盖度的遥感提取结果表明,在空间分布上沿车尔臣河两侧向外,植被覆盖度等级依次降低。低覆盖度植被所占面积比例较大,约占总植被覆盖面积的 2/3 多,分布在绿洲中心地带以外,属绿洲与沙漠的交错地带,主要为疏林地、天然草地,容易与沙漠和其他较高等级覆盖植被发生转化。中、高覆盖度植被面积比例次之,中高覆盖度植被所占面积比例最小。高覆盖度主要分布于绿洲内部人口聚居地,中等、中高覆盖度植被在其外侧分布,主要为农田及人工防护林。

2) 且末绿洲 13 a 来总植被覆盖面积在增加,绿洲在向外扩张。1998—2001 年间和 2006—2011 年间表现出较好的植被恢复状态,2001—2006 年间则出现过较严重的植被退化状况。

3) 且末绿洲植被覆盖度的变化受春夏季温度、降水及人为因素多重因素的影响。降水和境内河流是该绿洲最重要的水资源,较高的春夏季降水量会促进植被的生长,有利于植被恢复。温度升高加速了南部山区冰雪的融化,提高了河流水流量,为绿洲提供了更多的水资源。且末县的迅速发展大大提高了人们对资源的需求,过度放牧和水资源的不合理利用会严重影响植被生长环境,导致绿洲植被退化。近些年,大规模的防护林的建设 and 灌溉系统的完善使得绿洲生态环境得到了较好的恢复与改良。

### 参考文献 (References):

- [1] 陈曦,罗格平.干旱区绿洲生态研究及其进展[J].干旱区地理 2008,31(4):487-495.  
Chen X, Luo G P. Researches and progress of oasis ecology in arid areas[J]. Arid Land Geography 2008, 31(4):487-495.
- [2] 刘静,银山,张国盛,等.毛乌素沙地 17 年间植被覆盖度变化的遥感监测[J].干旱区资源与环境,2009,23(7):162-167.  
Liu J, Yin S, Zhang G S, et al. Dynamic change of vegetation coverage of Mu Us sandland over the 17 years by remote sensing monitor [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment 2009, 23(7):162-167.
- [3] 程红芳,章文波,陈锋.植被覆盖度遥感估算方法研究进展[J].国土资源遥感 2008,20(1):13-18.  
Cheng H F, Zhang W B, Chen F. Advances in researches on application of remote sensing method to estimating vegetation coverage [J]. Remote Sensing for Land and Resources 2008, 20(1):13-18.
- [4] Du P J, Li X L, Cao W, et al. Monitoring urban land cover and vegetation change by multi-temporal remote sensing information[J]. Mining Science and Technology 2010, 20(6):922-932.

- [5] 江洪,汪小钦,陈星.一种以 FCD 模型从 SPOT 影像中提取植被覆盖度的方法[J].地球信息科学 2005,7(4):113-116.  
Jiang H, Jiang X Q, Chen X. A method for abstraction of vegetation density from SPOT image [J]. Geo-Information Science 2005, 7(4):113-116.
- [6] 李晓琴,孙丹峰,张凤荣.北京山区植被覆盖率遥感制图与景观格局分析——以门头沟区为例[J].国土资源遥感 2003,15(1):23-28.  
Li X Q, Sun D F, Zhang F R. The application of remote sensing and landscape pattern analysis to vegetation coverage mapping in mountain areas of Beijing: A case study of Mentougou district [J]. Remote Sensing for Land and Resources 2003, 15(1):23-28.
- [7] Gao Z F, Niu H P, Liu J P. Extraction of vegetation fraction information from CBERS images based on VBSI vegetation index in Kaixian county [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China 2011, 21(s3):712-716.
- [8] 江洪,王钦敏,王小钦.福建省省长汀县植被覆盖度遥感动态监测研究[J].自然资源学报 2006,21(1):126-132.  
Jiang H, Wang Q M, Wang X Q. Dynamic monitoring of vegetation fraction by remote sensing in Changting county of Fujian Province [J]. Journal of Natural Resources 2006, 21(1):126-132.
- [9] 张飞,塔西南拉提·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-库车河三角洲绿洲为例[J].林业科学 2011,47(7):27-35.  
Zhang F, Tashpolat 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.
- [10] Joshi C, De Leeuw J, Skidmore A K, et al. Remotely sensed estimation of forest canopy density: A comparison of the performance of four methods [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 2006, 8(2):84-95.
- [11] 邢著荣,冯幼贵,杨贵军,等.基于遥感的植被覆盖度估算方法述评[J].遥感技术与应用 2009,24(6):849-854.  
Xing Z R, Feng Y G, Yang G J, et al. Method of estimating vegetation coverage based on remote sensing [J]. Remote Sensing Technology and Application 2009, 24(6):849-854.
- [12] 马娜,胡云峰,庄大方,等.基于遥感和象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 model [J]. Scientia Geographica Sinica 2012, 32(2):251-256.
- [13] 李登科,范建忠,王娟.陕西省植被覆盖度变化特征及其成因[J].应用生态学报 2010,21(11):2896-2903.  
Li D K, Fan J Z, Wang J. Change characteristics and their causes of fractional vegetation coverage in Shanxi Province [J]. Chinese Journal of Applied Ecology 2010, 21(11):2896-2903.
- [14] 南颖,刘志锋,董叶辉,等.2000—2008 年长白山地区植被覆盖变化对气候的响应研究[J].地理科学 2010,30(6):921-928.  
Nan Y, Liu Z F, Dong Y H, et al. The responses of vegetation cover to climate change in the Changbai Mountain area from 2000 to 2008 [J]. Scientia Geographica Sinica 2010, 30(6):921-928.

- [15] 曹永翔, 刘小丹, 张克斌, 等. 青海省都兰县察汗乌苏绿洲植被覆盖度变化研究[J]. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1267 - 1272.  
Cao Y X, Liu X D, Zhang K B, et al. Vegetation coverage change of Tsagan Us oasis in Dulan county, Qinghai Province, China [J]. Journal of Desert Research, 2011, 31(5): 1267 - 1272.
- [16] 周志强, 曾源, 张磊, 等. 南水北调中线水源区植被覆盖度遥感监测分析[J]. 国土资源遥感, 2012, 24(1): 70 - 76.  
Zhou Z Q, Zeng Y, Zhang L, et al. Remote sensing monitoring and analysis of fractional vegetation cover in the water source area of the middle route of projects to divert water from the South to the North [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2012, 24(1): 70 - 76.
- [17] 吴昌广, 周志翔, 肖文发, 等. 基于 MODIS NDVI 的三峡库区植被覆盖度动态监测[J]. 林业科学, 2012, 48(1): 22 - 28.  
Wu C G, Zhou Z X, Xiao W F, et al. Dynamic monitoring of vegetation coverage in Three Gorges reservoir area based on MODIS NDVI [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2012, 48(1): 22 - 28.

## Analysis of spatial - temporal change of Qiemo oasis vegetation coverage based on FCD model

CAI Heng<sup>1,2</sup>, WANG Jiegui<sup>3</sup>, YANG Ruixia<sup>1</sup>, LI Chao<sup>1,2</sup>, JI Wei<sup>1</sup>, WANG Xinyuan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Digital Earth, Center for Earth Observation and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China; 2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. College of National Territorial Resource and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu 241000, China)

**Abstract:** Using the TM images of Qiemo oasis, Xinjiang Uygur Autonomous Region, obtained in August of 1998, 2001, 2006 and 2011, the authors built the complex vegetation index VBSI based on FCD model. This index contains vegetation index (NDVI), bare soil index (BI), and shadow index (SI). Furthermore, the vegetation coverage in Qiemo oasis in 1998, 2001, 2006 and 2011 was calculated separately according to the dimidiate pixel principal and then the vegetation coverage graduation maps were compiled. Based on statistical diagrams and transfer matrices, the authors have drawn some conclusions: ① The overall vegetation coverage area increased 742.62 km<sup>2</sup> in the 13 years, and Qiemo oasis was expanding; ② The vegetation coverage showed a fluctuation change during the period. Vegetation was restored well from 1998 to 2001 and from 2006 to 2011. The area of recovered vegetation (vegetation transferred to higher coverage) was 2.98 and 1.79 times the area of degraded vegetation (vegetation transferred to lower coverage) from 1998 to 2001 and from 2001 to 2006; Nevertheless, it degraded heavily from 2001 to 2006, the area of degraded vegetation was 435.3 km<sup>2</sup>, whereas the recovered vegetation area was only 5.41 km<sup>2</sup>; ③ The vegetation coverage change in Qiemo oasis was influenced by such factors as temperature, precipitation in spring and summer, population and anti-desertification projects.

**Key words:** composite vegetation index; vegetation coverage; remote sensing inversing; FCD model; Qiemo oasis

第一作者简介: 蔡蘅(1987-), 女, 硕士研究生, 主要从事资源环境遥感研究。E-mail: hcai@ceode.ac.cn。

通信作者: 王心源(1964-), 男, 研究员, 博士生导师, 研究方向为遥感考古。E-mail: xywang@ceode.ac.cn。

(责任编辑: 李瑜)