

# 利用 TM 影像分析天山北坡三工河流域 地表反照率的时空变化

王继燕<sup>1, 2</sup>, 罗格平<sup>1\*</sup>, 鲁 蕾<sup>1, 2</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 下垫面状况是影响地表反照率分布的主要因素之一。利用遥感方法获取地表反照率时空特征是研究地表下垫面状况的有效手段。天山北坡具有典型的山地-绿洲-荒漠景观和山盆地貌格局, 这一独特且复杂多样的地表下垫面特征形成了特有的垂直分布的地表反照率。通过对三工河流域 TM 影像进行地形校正, 基于 6S (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum) 模型分析地表反照率的时空分布。结果表明: 基于中空间分辨率遥感数据的地表反照率反演适合于地表起伏明显的天山北坡地表反照率的分析。由于受到地表覆被类型及地表干湿程度的影响, 三工河流域地表反照率呈明显的垂直地带性分布。中山森林带和低山干草原带受地形起伏和阴阳坡作用, 其地表反照率表现出有规律的上下波动。绿洲区随着地表覆被类型、作物结构和作物物候的变化, 地表反照率波动较大。

**关键词:** 地表反照率; 时空变化; 三工河流域

文章编号: 1000-0585(2010)10-1899-10

## 1 引言

地表反照率 (surface albedo) 是地球表面总的反射辐射通量与入射辐射通量之比, 表征地球表面对太阳辐射的反射能力<sup>[1]</sup>。地表反照率影响着区域气候, 特别是对局地小气候的形成及其变化有重要的影响, 制约着地表和大气之间的辐射交换, 是遥感反演陆面参数中的首要参数<sup>[2]</sup>。

随着遥感技术的发展, 反照率遥感反演已逐渐取代传统的实测资料结合地表覆盖类型推算反照率的方法, 而且利用遥感方法求取不同下垫面地表反照率及其季节变化特征的研究日益受到重视<sup>[3, 4]</sup>, 特别是针对区域复杂下垫面的研究<sup>[5]</sup>。我国西北干旱区下垫面复杂多样, 独特的地形地貌条件孕育了典型的山盆地貌景观。陈云浩等<sup>[6]</sup> 计算了我国西北地区地表反照率的空间分布, 陈添宇等<sup>[7]</sup>、吴艾笙等<sup>[8]</sup> 分别利用 AVHRR 数据计算了黑河流域的地表反照率, 但较低空间分辨率的卫星遥感影像不足以反映复杂下垫面地表反照率的空间变化。马耀民等<sup>[9]</sup>、刘三超等<sup>[10]</sup> 利用中空间分辨率卫星遥感影像 TM 数据分析了黑河流域地表反照率, 但对干旱区典型山盆结构、地形起伏较大山区和具有显著垂直地带性的地表反照率的空间分布的分析明显不足, 缺乏系统研究信息。因此, 中空间分辨率卫星

收稿日期: 2009-12-11; 修订日期: 2010-04-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40971066)

作者简介: 王继燕 (1982), 女, 河南新乡人, 硕士。主要从事地面参数定量遥感研究。

E-mail: wangjiyan@mails.gucas.ac.cn

\* 通信作者: 罗格平 (1968), 男, 研究员。主要从事土地变化、GIS 和遥感应用研究。E-mail: luogp@ms.xjb.ac.cn

数据是否适合于区域复杂下垫面地表反照率遥感反演值得探索，同时，系统分析复杂下垫面地表反照率的时空变化信息有助于区域气候模式和能量平衡的研究。

亚欧内陆干旱区是由山地-绿洲-荒漠复合生态系统构成，而干旱区内陆河流域是承载干旱区山地-绿洲-荒漠复合生态系统的<sup>最小地理单元</sup>。因此，本文选择具有典型的山地-绿洲-荒漠景观三工河流域作为研究区，利用中空间分辨率遥感影像 TM 数据，获取宽波段地表反照率时空信息，系统分析干旱区山盆地貌景观的地表反照率空间分布特征以及地形平缓但地表覆被类型复杂的绿洲区地表反照率的时间变化模式。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

天山北坡东段三工河流域面积 1980km<sup>2</sup>，属典型大陆性气候，夏季炎热，冬季寒冷，降水多分布在 4~ 10 月。整个流域地势南高北低，海拔由南部的山区 4600m 左右，降至北部沙漠区的 440m 左右，呈现干旱区典型的山地-绿洲-沙漠地貌景观，和显著垂直地带性（图 1），地貌景观从山地至平原依次为<sup>[11]</sup>：（1）高山带（海拔 2650m 以上），地表覆被以低矮垫状植被和亚高山草甸植被为主，海拔 3500m 以上以冰川、积雪覆盖为主；（2）中山带（海拔 1700~ 2700m），是整个流域降水最多的区域，达 400~ 700mm，阳坡为覆盖率达 70%~ 90%的草地，阴坡为天山云杉林，林下为阴生性灌木和草本；（3）低山丘陵带（海拔 600~ 1700m），是山地系统和平原系统的纽带，地表覆被以荒漠草地和灌木半灌木为主；（4）绿洲区，位于山前平原，地表覆被以农作物、农田防护林以及绿洲外围的矮灌木、荒漠草场为主。绿洲上部因热量条件不足，农作物种植以粮食作物为主；绿洲中部和下部，热量条件较好，以种植棉花、啤酒花和葡萄等经济作物为主；（5）北部沙漠区，为沙质荒漠，植被盖度为 10%~ 30%。

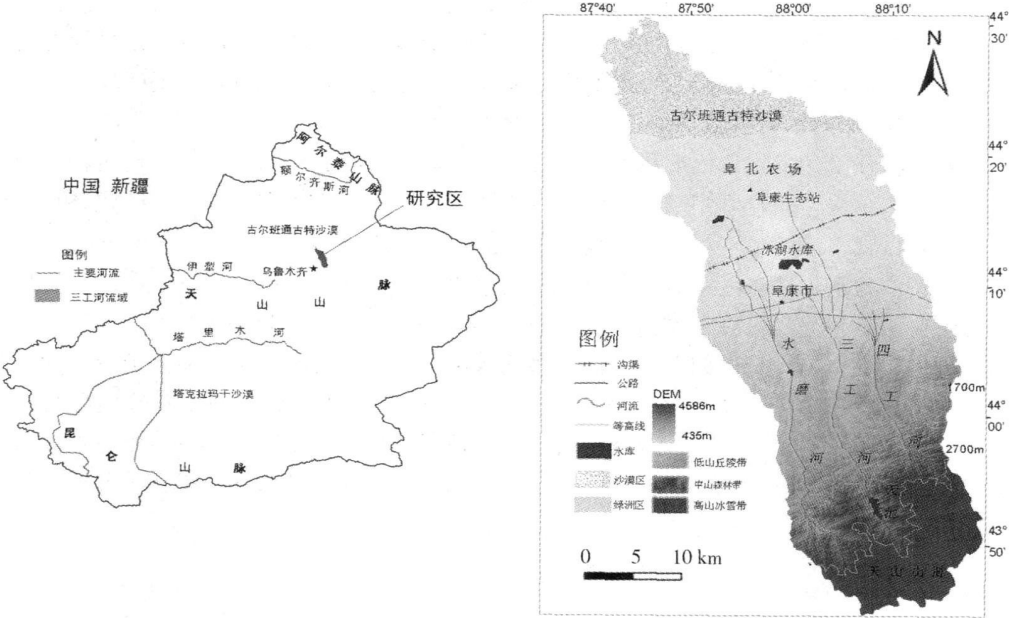


图 1 三工河流域及其研究区位置示意图

Fig 1 The sketch map of Sangong River watershed and location of the study area

2 2 数据来源

本文选择 Landsat TM 影像作为主要的数据分析干旱区山盆结构的地表反照率特征。TM 影像的空间分辨率为 30m, 相对于低空间分辨率影像, 是否适合于分析复杂下垫面地表反照率时空分布值得探索。为合理分析干旱区流域尺度及平原区地表反照率的空间分布情况, 研究平原地区地表反照率的时间分布模式, 本文选取的遥感数据包括: 2007 年 7 月 20 日轨道号为 142-29、142-30 的 Landsat—5 TM 影像, 影像覆盖整个三工河流域, 用于分析三工河流域地表反照率的空间分布; 轨道号 142-29 与 143-29 的 Landsat—5 TM 可以重复覆盖三工河流域平原区, 选取 2007 年 5~ 10 月 8 期 (表 1) 影像用于分析三工河流域绿洲地表反照率时空分布。地表反照率的大小与天气状况、下垫面状况息息相关<sup>[12]</sup>, 所选影像均为无云或少云影像。

表 1 三工河流域绿洲 2007 年 TM 影像数据概况  
Tab 1 The TM image in Sangong River Watershed in 2007

序号	日期	轨道号	序号	日期	轨道号
1	5 月 17 日	142-29	5	7 月 11 日	143-29
2	5 月 24 日	143-29	6	7 月 20 日	142-29
3	6 月 18 日	142-29	7	9 月 13 日	143-29
4	6 月 25 日	143-29	8	9 月 29 日	143-29

其他数据包括: 基于 1: 10 万地形图生成的空间分辨率为 30m 的数字高程模型 (DEM) 及 2007 年阜康荒漠生态站自动气象站观测数据。阜康荒漠生态站位于 87° 55' E、44° 17' N, 海拔 461m, 周围环境为沙漠、农田和零散居民点。

2 3 研究方法

为了精确获得宽波段地表反照率, 进行过几何校正的 TM 影像需要进一步做地形校正、大气校正、光谱校正等。

(1) 地形校正: 地形起伏引起了太阳、地表和卫星传感器三者之间的几何关系的变化, 使辐射传输过程更加复杂<sup>[13]</sup>, 直接影响地表反照率的反演, 因此在地形起伏的山区, 其地表反照率遥感反演, 需要消除地形的影响。二次归一化模型是 Civico<sup>[14]</sup> 提出来的基于 DEM 的地形校正方法, 主要针对地势大部分较平坦、局部有起伏的地区, 能够有效剔除地形影响, 明显减小同类地物的光谱值差异<sup>[15]</sup>。这一方法主要利用 DEM 得到的地形阴影图模拟研究区在卫星影像摄取时坡地阴影分布, 通过下列公式剔除地形对 TM 影像每一波段象元 DN 值的影响<sup>[10]</sup>。

$$DN'_i = DN_i + DN_i \times (u_k - x) / u_k \tag{1}$$

$i$  为第  $i$  个波段,  $DN'_i$  为地形校正后第  $i$  个波段图像像元的  $DN$  值;  $DN_i$  为原始图像中像元的  $DN$  值;  $u_k$  为地形阴影图中象元灰度值的中值;  $x$  为对应 TM 影像像元数值。

(2) 大气校正: 传感器接收到的大气顶部光谱反射率受到了大气效应地干扰, 为获得地表真实反照率, 可通过对辐射传输过程进行模拟和假设, 剔除大气影响。在诸多基于辐射传输理论的大气校正模型中, 6S 模型是目前国际上发展比较完善的大气辐射校正模型之一。其利用标准大气组分模型及气溶胶组分模型, 假设地表为非均匀朗伯面, 对除热红外波段 TM 影像其他各个波段进行大气校正, 模拟大气校正参数  $x_a$ 、 $x_b$  和  $x_c$ 。再利用

这三个参数计算 Landsat —5 TM 各个波段大气校正后的单波段地表反照率<sup>[16]</sup>：

$$R_{Hi} = y_i / (1 + x_c \times y_i), y_i = x_a \times L_i - x_b \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 7) \tag{2}$$

其中， $R_{Hi}$  为大气校正后的窄波段地表反照率， $L_i$  是  $i$  波段辐射亮度。

(3) 光谱校正：得到的单波段地表反照率是离散光谱信息的反映，不能覆盖整个波长范围（0.3~4μm），为获得宽波段地表反照率，需要进行光谱校正。可根据 6S 模型得到各个波段反射能量和总入射能量，利用两者之比得到不同波段的权重  $w_i$ ，使各波段光谱反照率乘以相应波段的权重，从而实现窄波段反照率向宽波段反照率的转换<sup>[17]</sup>。

对于 Landsat —5 TM 来说，宽波段地表反照率可以表达为：

$$A_s = \sum w_i \times R_{Hi}, w_i = \frac{E_{Di}}{\sum E_{Dk}} \quad (i = 1, 2, 3, 4, 5, 7) \tag{3}$$

$A_s$  为宽波段地表反照率， $w_i$  为给定波长  $i$  的权重系数， $w_1 + w_2 + \dots + w_n = 1$ ， $E_{Di}$  为  $i$  波段的地面接收的总辐射。 $\sum E_{Dk}$  为给定波长的入射辐射。对于整个波长（0.3~4μm），最后得到总短波段（1~5、7 波段）地表反照率  $A_s$  为：

$$A_s = 0.282R_{H1} + 0.265R_{H2} + 0.239R_{H3} + 0.166R_{H4} + 0.035R_{H5} + 0.013R_{H7} \tag{4}$$

(4) 地表反照率的时空特征分析：考虑到难以获得历史同步反照率的实测值，本文将利用 2007 年阜康荒漠生态站卫星过境当日自动气象站观测的太阳辐射资料，通过计算反射辐射与入射辐射之比，得到基于观测站点的地表反照率。然后通过与该点对应的遥感影像 3×3 个像元的地表反照率反演平均值进行比较，对 TM 影像宽波段地表反照率反演值精度进行验证。

为获得流域地表反照率时空分布信息，本文沿着河流走向，从左到右设定 4 条样线（图 2），分别经过不同的下垫面类型，通过对不同样线上地表反照率的空间分布进行分析，获取干旱区典型山地—绿洲—沙漠地貌景观地表反照率空间分布格局。在山前平原区设置上、中、下 3 条东西样线，分别通过地表荒漠—绿洲—荒漠景观以及绿洲内不同的作物结构，并结合 2007 年 5~10 月的 8 期 TM 影像反演的地表反照率，分析山前平原区地表反照率的时空变化模式。

植被分布在相当程度上影响了地表反照率的分布<sup>[18]</sup>，可以比较植被指数与地表反照率值的大小用以分析地表反

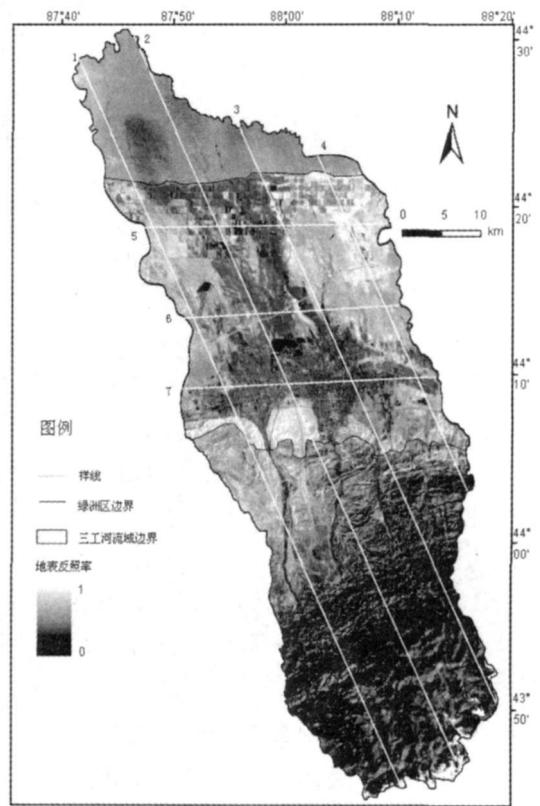


图 2 2007 年 7 月 20 日三工河流域宽波段地表反照率以及样线分布

Fig. 2 The broadband surface albedo of Sangong River watershed on July 20th in 2007 and the distribution of the transect lines

照率的分布特征。归一化植被指数 ( $NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$ ,  $NIR$  和  $R$  分别是 TM 波段 4 和波段 3 的波段反射率) 是植物生长状态以及植被覆盖度的最佳指示因子, 对植被有着明显的指示作用, 广泛应用于区域植被覆盖及其变化过程的研究<sup>[19]</sup>。因此, 可以利用  $NDVI$  的变化来监测三工河流域绿洲植被覆盖度和植被生物量的变化。

### 3 结果分析

#### 3.1 反照率遥感反演精度校验

通过比较基于阜康荒漠生态站气象数据计算的阜康站地表反照率与基于遥感影像反演的阜康站地表反照率 (表 2), 表明基于气象资料计算得到的该点反照率值与基于影像反演的反照率值绝对误差在 0.004~0.044 之间, 相对误差分布在 2%~15% 之间。时空不同尺度的气候模式研究要求反照率绝对误差在 0.05 以内<sup>[20]</sup>, 本研究结果存在的误差在允许范围之内, 因此基于 TM 影像的获取的地表反照率精度符合要求, 可用于地表反照率计算。计算得到该站点地表反照率与 TM 影像反演值接近, 但还是存在一定的误差, 且从春季到夏季, 误差增大。其原因可能是: (1) 从春季到夏季, 干旱区植被覆盖有可能增加; (2) TM 影像空间分辨率为 30×30m, 实测数据代表一个点的反照率, 尺度差异可能是误差引起的一个主要原因; (3) 影像是通过像元反映地表反照率的, 这中间会受到诸如太阳高度角、大气、地面等不确定因素的干扰, 从而影响反演精度。

表 2 基于气象资料计算的反照率和基于影像反演的反照率值之间的比较  
Tab 2 Comparison of estimated albedos computed through the weather datum with surface computed albedo computed through the TM image

日期	计算值	反演值	绝对误差	相对误差 (%)
5 月 17 日	0.291500	0.270974	0.02023	7.0416
5 月 24 日	0.227069	0.231993	0.004924	2.1683
6 月 18 日	0.266223	0.270008	0.003785	1.4216
6 月 25 日	0.25955	0.267488	0.007938	3.0583
7 月 11 日	0.257932	0.229591	0.02834	10.988
7 月 20 日	0.306412	0.263049	0.04336	14.152
9 月 13 日	0.295138	0.253888	0.04125	13.9764
9 月 29 日	0.299819	0.293346	0.00647	2.15908

#### 3.2 地表反照率空间分布特征

从北部沙漠区向南到天山山脉, 呈现沙漠区、绿洲区、低山丘陵带、中山森林带、高山冰雪带的地貌景观, 海拔从西北向东南递增, 地表反照率呈明显的垂直地带性分布。以 2 号样线为例 (图 3a), 该样线从盆地荒漠区至高山冰雪带, 海拔递增, 途经各种典型下垫面类型, 依次为沙漠区、绿洲区、低山丘陵区、中山森林—草甸带和高山冰雪带。(1) 沙漠区, 与绿洲毗邻, 接纳来自绿洲的排水, 植被覆盖度 15%~30%, 以低矮灌木和荒漠草本为主。全区地表反照率在 0.3~0.45 之间, 平均为 0.32, 下垫面均一, 波动不大。由于受到绿洲的影响, 距离绿洲越近, 植被生长越好, 地表植被覆盖度越高, 地表反照率越小。(2) 绿洲区, 该区地表覆被类型复杂, 地表反照率波动较大。图 3a 中绿洲区地表

反照率主要有 2 处波峰、1 处波谷，波峰分别位于阜北农场与阜康市附近，波谷则位于冰湖水库。冰湖水库的北部反照率波动较大，低值区 ( $< 0.35$ ) 为耕地，地表覆盖为人工植被，高值区 ( $> 0.35$ ) 为耕地之间的未利用地，以盐碱地和植被稀疏的荒草地为主。阜康城镇地表以不透水层为主，地表反照率明显高于植被覆盖地区。且由于城市地表不透水层和绿地交错分布，地表反照率波动较大。紧邻阜康市东南为绿洲与低山丘陵过渡带，植被覆盖稀疏，裸露地表反照率较大。绿洲内部，水体、植被覆盖地区地表反照率较小，水库地表反照率最低，约为 0.1。(3) 低山丘陵带，该区植被覆盖为低山丘陵干草原，植被覆盖度总体不如绿洲区，其地表反照率略高于绿洲区。由于受到阴阳坡的影响，其地表反照率呈现明显的波动。(4) 中山森林带—草甸带，是植被覆盖、生长最好的区域，也是降水分布最多的区域，地表干湿状况对地表反照率的影响较大，该区域地表反照率明显低于其它区域，均值为 0.19。中山带阳坡地表覆盖以草地为主，阴坡以森林为主，地表反照率与低山丘陵带一样呈有规律的上下起伏。(5) 高山冰雪带，地表植被覆盖低，大部分为裸岩和冰雪覆盖，地表反照率是流域最高的，明显高于流域的其他地表下垫面类型。

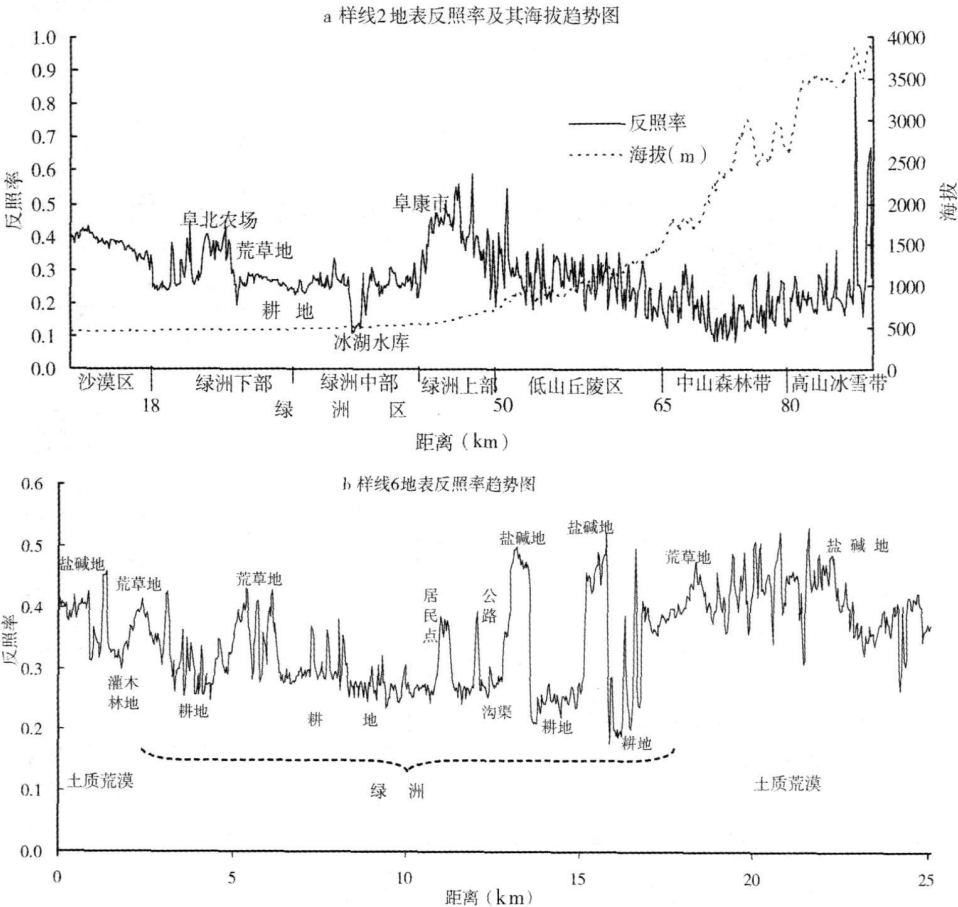


图 3 2007 年 7 月 20 日样线 2、6 的地表反照率剖面曲线

Fig 3 Example (# 2 and # 6) of transects derived from the images of the surface albedo on July 20th in 2007

绿洲区内地表覆被类型相对于荒漠和山地要复杂一些, 这是因为绿洲具有较大面积的灌溉农田, 由于种植结构、灌溉时间差异导致绿洲区地表反照率空间变异较大。纵向 (与河流走向一致) 上看, 绿洲区依次分布着玉米、向日葵、葡萄、棉花、啤酒花等作物, 不同作物在生长旺季地表反照率空间上的差别较小。然而由于不同作物存在着物候差异, 且农作物之间分布有居民点、水库、夹荒地或裸地等使地表反照率呈现出显著的起伏 (图 3a), 总体上生长作物的农田, 地表反照率较低, 通常在 0.2~0.3 之间, 地表反照率最低的是水库 (冰湖水库), 居民点、公路、夹荒地或裸地的地表反照率相对较高, 一般在 0.4 以上; 横向 (与河流走向垂直) 上看, 绿洲被土质荒漠景观 (盐碱地、荒草地等) 包围, 绿洲区地表反照率明显小于东西两侧土质荒漠区地表反照率 (图 3b)。在绿洲区, 有人工植被覆盖的区域, 土壤水分相对较高, 地表反照率较小, 反之较大。如耕地地表反照率较小, 且作地表反照率起伏也较小; 但乡镇、公路的地表反照率明显增高; 绿洲内的盐碱地、裸地地表植被覆盖低, 且不均匀, 造成了地表反照率较高且波动较大。

基于以上分析, 三工河流域地表反照率的空间分布主要与地表覆被状况、地表干湿程度相关, 并呈现出显著的垂直地带性分布特征。植被覆盖度越高, 地表越湿, 地表反照率就越低。绿洲区农田地表反照率空间变化主要受到作物结构空间上的变化以及物候差异的影响。

3.3 绿洲区地表反照率时间分布特征

通过比较不同时期绿洲区地表反照率均值与植被指数均值, 发现两者呈负相关 (图 4)。5~7 月 NDVI 逐渐变大, 地表反照率有降低趋势, 表明植被生长对地表反照率的影响占主要地位, 使地表反照率降低。5~6 月份, 随着太阳高度角的升高地表温度上升, 蒸发增大, 表层土壤湿度开始下降, 这样使地表反照率升高。相对于 2007 年 8 期 TM 数据, 6 月 18 日太阳高度角最大, 地表反照率相对最大。7~9 月植被生长更为茂盛, NDVI 变大, 造成地表反照率有更大的降低趋势, 这种规律较好地体现了植被生长变化情况。9 月正处于作物收割期, 地表覆盖复杂多样, 此时 NDVI 变小, 植被覆被降低, 地表反照率升高。

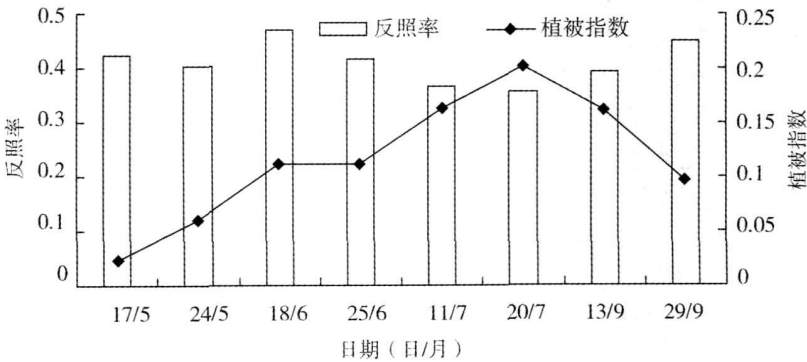


图 4 三工河流域绿洲区 2007 年 5~10 月地表反照率与植被指数变化

Fig 4 The change of the surface albedo and NDVI during May–October in 2007 in the oasis of Sangong River watershed

自然植被与人工植被存在显著的物候差异,尤其是在流域绿洲区及其周边荒漠区,其地表反照率表现出显著的时间变化特征。对于单一作物,其物候差异影响到植被指数的变化进而引起地表反照率分布的时间差异。如7月20日的棉花长势和生物量相对于生长初期5月17日和棉花成熟期9月29日要明显强,因此7月20日棉花地反照率比棉花生长初期和成熟期要低一些,但成熟期棉花地地表反照率低于生长初期(图5a)。绿洲区内部作物结构不同,物候存在差异。小麦可在整个流域进行种植,然而在6月底,小麦基本收割完毕;玉米从7月上旬种植到10月中下旬开始收获;葡萄、啤酒花、棉花收获时间分别从8月中旬到10月上旬不一,其反照率具有显著的时间变化(图5b)。总体看,引起地表反照率时间变化的影响因素复杂多样。通常地表覆被类型以及物候变化是主要的影响因素。另外,太阳高度角对地表反照率也有一定影响,太阳高度角越大,地表反照率越大。

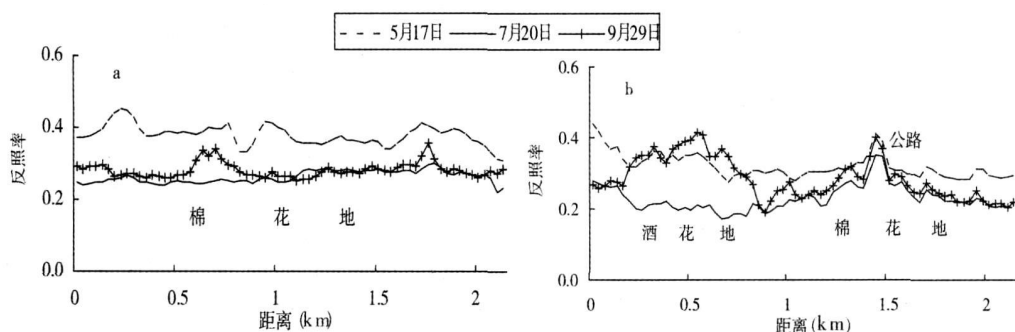


图5 不同作物结构地表反照率时间变化

Fig. 5 The change of the surface albedo between different crops during different time periods

## 4 结论与讨论

天山北坡独特的地形地貌和气候条件孕育了典型的山盆地貌景观,准确获取该区域地表反照率的时空变化信息是研究该区域气候模式和能量平衡所必须的。本文基于 Landsat TM 数据,探讨了中空间分辨率卫星数据对复杂下垫面地表反照率遥感反演的适应性,并分析了天山北坡三工河流域的地表反照率的时空变化模式,得出以下基本结论:

(1) 利用 TM 影像反演地表反照率的方法能够反映复杂下垫面地表反照率分布状况。TM 影像适合于地表起伏明显的天山北坡山地地表反照率的分析,对于山前平原区地表反照率的研究也有较好适用性。

(2) 三工河流域地表反照率呈明显的垂直地带性分布,绿洲地表反照率随着地表覆被情况变化,地表反照率波动较大。三工河流域地表反照率的时空分布特征很好地表征了复杂下垫面状况及其随季节变化的特性。天山北坡受到地表覆被类型及地表干湿程度的影响,其地表反照率空间上呈明显的垂直地带性分布,由高到低依次是高山冰雪带、绿洲上部的城市区、北部绿洲荒漠过渡带、低山丘陵干草原区、以人工植被覆盖为主的绿洲中部和下部、中山森林带。中山森林带和低山干草原带受地形起伏和阴阳坡作用,其地表反照率表现出有规律的上下波动。绿洲区农田地表反照率空间变化主要受到作物结构空间上的变化以及物候差异的影响。



(3) 绿洲区由于物候、表层土壤干湿状况、植被覆盖程度的差异和太阳高度角的季节变化使地表反照率呈现有规律的时间变化。如棉花生长中期的反照率明显高于生长初期和成熟期的反照率, 但成熟期棉花地地表反照率低于生长初期。

另外, 地表反照率时空分布具有明显的地区差异, 本文利用 TM 数据研究天山北坡地表反照率的分布状况, 其他地区的应用分析有待探讨。地表反照率影响区域气候, 然而气候模式的发展是一个长期的过程, 因此地表反照率的时空分布需进一步深入研究。

## 参考文献:

- [ 1 ] Ranson K J, Irons J R, Daughtry C S T. Surface albedo from bidirectional reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 1991, 35: 201~ 211.
- [ 2 ] 左大康, 周允华, 项月琴, 等. 地球表层辐射研究. 北京: 科学出版社, 1991. 37~ 39
- [ 3 ] Kreible K T. Albedo of vegetated surface: Its variability with differing irradiances. *Remote Sensing of Environment*, 1979, 8: 283~ 291.
- [ 4 ] Robock A. The seasonal cycle of snow cover, sea ice, and surface albedo. *Monthly Weather Review*, 1980, 108 (3): 267~ 285
- [ 5 ] 张杰, 张强, 郭锐, 等. 应用 EOS/MODIS 卫星资料反演西北干旱绿洲的地表反照率. *大气科学*, 2005, 29(4): 510~ 517
- [ 6 ] 陈云浩, 李晓兵, 谢锋. 我国西北地区地表反照率的遥感研究. *地理科学*, 2001, 21(4): 327~ 333
- [ 7 ] 陈添宇, 陈乾. 用气象卫星资料推算黑河地区地表特征参数. *高原气象*, 1992, 11(4): 431~ 439
- [ 8 ] 吴艾笙, 钟强. 黑河实验区地表反照率与植被指数的季节变化. *高原气象*, 1992, 11(4): 441~ 450
- [ 9 ] 马耀明, 王介民. 卫星遥感结合地面观测估算非均匀地表区域能量通量. *气象学报*, 1999, 57(2): 180~ 190
- [ 10 ] 刘三超, 张万昌, 蒋建军, 等. 用 TM 影像和 DEM 获取黑河流域地表反射率和反照率. *地理科学*, 2003, 23(5): 585~ 591.
- [ 11 ] 罗格平. 天山北坡三工河流域绿洲时空变异与稳定性研究. 北京: 中国科学院研究生院博士学位论文, 2002
- [ 12 ] Rahman S, Rahman H, Keramat M. Study on the seasonal changes of land cover and their impact on surface albedo in the north-western part of Bangladesh using remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 2007, 28 (5): 1001~ 1022
- [ 13 ] Kawata Y, Ueno S. The surface albedo retrieval of mountainous forest area from satellite MSS data. *Applied Math and Comp*, 1995, 69: 41~ 59
- [ 14 ] Civico D L. Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper digital imagery. *PE& RS*, 1989, 55(9): 1303 ~ 1309
- [ 15 ] 高永年, 张万昌. 遥感影像地形校正研究进展及其比较实验. *地理研究*, 2008, 27(2): 467~ 477
- [ 16 ] Zhao W, Tamura M, Takahashi H. Atmospheric and spectral corrections for estimating surface albedo from satellite data using 6S code. *Remote Sensing of Environment*, 2000, 76: 202~ 212
- [ 17 ] Zoran M, Stefan S. Atmospheric and spectral corrections for estimating surface albedo from satellite data. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 2006, 8(1): 247~ 251
- [ 18 ] 郭建茂, 于强, 王连喜, 等. 宁南地区地表特征参数及辐射平衡区域分布. *地理研究*, 2007, 26(6): 1127~ 1136
- [ 19 ] 张雪艳, 胡云锋, 庄大方, 等. 蒙古高原 NDVI 的空间格局及空间分异. *地理研究*, 2009, 28(1): 10~ 18
- [ 20 ] Liu J, Schaaf C, Strahler A, *et al.* Validation of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) albedo retrieval algorithm: Dependence of albedo on solar zenith angle. *Journal of Geophysical Research*, 2009, 114: D01106

# Analysis of the spatio-temporal distribution of the surface albedo in Sangong River Basin on the northern slope of Tianshan Mountains using TM image

WANG Ji-yan<sup>1,2</sup>, LUO Ge-ping<sup>1</sup>, LU Lei<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;

<sup>2</sup> Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The difference in land surface features and land cover conditions have a great impact on anisotropy surface albedo distribution. Remote sensing is an effective means to study the land surface features by obtaining spatial and temporal characteristics of surface albedo. The northern slope of the Tianshan Mountains is well-known with its typical mountain-basin geomorphology pattern system and mountains-oasis-desert landscape. The unique and complicated background forms the special vertical distribution of the surface albedo. This paper examines the spatial distribution of surface albedo on the northern slope of the Tianshan Mountains using Landsat TM images. Topographic correction was implemented on the images using topographic normalization model based on DEM and atmospheric correction was completed using 6S (Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum) model. The results indicate: (1) The methodology for surface albedo inverted from the moderate spatial resolution remotely sensed data is reliable to be used for estimation of the surface albedo over the northern slope of the Tianshan Mountains with significant heterogeneity in elevation. (2) The distribution of the surface albedo on the northern slope of the Tianshan Mountains is affected by the land surface features, land cover conditions and surface soil moisture. Therefore, the spatial distribution of the surface albedo on the northern slope of the Tianshan Mountains presents a distinctly vertical zonal feature. As to the mountainous forest and the dry grassland in low mountain area, the surface albedo presents regular fluctuation under the effects of the undulating terrain and elevation changes. (3) Influenced by the cover types, the crop structure and the crop phenology of the cropland, the variation of the surface albedo of the oasis in the Sangong River Basin shows instability. In the oasis area, the surface albedo varies obviously with growth seasons of the crops as well.

**Key words:** surface albedo; the spatio-temporal variation; Sangong River Basin