

基于归一化植被指数和地表反照率的土地 沙漠化遥感监测研究

刘茂华¹, 邵悦¹, 李雪欣²

(1. 沈阳建筑大学交通工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 东北大学资源与土木学院, 辽宁 沈阳 110819)

摘要 目的 对土地沙漠化状况进行监测和评价, 研究土地沙漠化变化及趋势预测, 为恢复植被覆盖和改善生态环境提供依据. 方法 以新疆昌吉为研究区域, 采用 Landsat 遥感影像, 经过预处理后通过提取归一化植被指数和地表反照率的空间特征, 获取沙漠化差值指数, 分析与评价新疆昌吉地区的沙漠化程度. 结果 新疆昌吉地区 2011 年沙漠面积为 62.29%, 裸地面积为 26.97%; 2013 年沙漠面积为 59.92%, 裸地面积为 28.59%; 2015 年的沙漠面积为 77.73%, 裸地面积为 18.14%. 2011—2013 年, 沙漠化差值指数增大, 沙漠面积减少; 2013—2015 年, 沙漠化差值指数显著减小, 土地沙漠化面积大幅度增加; 沙漠化等级由中度沙漠化演变为轻度沙漠化, 又由轻度沙漠化变为重度沙漠化. 结论 沙漠化差值指数与沙漠化等级呈负相关性, DDI 可正确地反映土地沙漠化的变化情况.

关键词 沙漠化; 动态监测; NDVI; Albedo; 沙漠化差值指数

中图分类号 TU198+.3; P237

文献标志码 A

Remote Sensing Monitoring of Land Desertification Based on Vegetation Index and Surface Albedo

LIU Maohua¹, SHAO Yue¹, LI Xuexin²

(1. School of Transportation Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang, China, 110819)

Abstract: To provide the basis for restoring vegetation cover and improving the ecological environment, the desertification status of land was monitored and evaluated to study the desertification change and predict the trend. From the Landsat remote sensing image in Changji and surrounding areas of Xinjiang, the spatial characteristics of normalized vegetation index (NDVI) and surface albedo (Albedo) were extracted to obtain the desertification difference index (DDI) which is used to analysis and evaluate its desertification. As a result, in 2011 the desert area was 62.29% and the bare land area is 26.97%; in 2013 the desert area is 59.92% and the bare land area is 28.59%; in

收稿日期: 2018-04-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(51774204)

作者简介: 刘茂华(1981—), 男, 副教授, 主要从事“3S”集成与应用方面研究.

2015 the desert area is 77.73% ,and the bare land area is 18.14% . From 2011 to 2013 ,the desertification difference index increased and the desert area is reduced ;from 2013 to 2015 ,the desertification difference index has decreased significantly and the desertification area of ?? land has increased significantly. The desertification grade changed from moderate desertification to mild desertification ,and from mild desertification to severe desertification. The desertification difference index (DDI) is negatively correlated with desertification grade ,and DDI can correctly reflect the change of land desertification.

Key words: Desertification ;dynamic monitoring ;NDVI-Albedo ;desertification difference index

土地沙漠化是人类活动和气候变化造成土地退化的一个过程^[1]. 从时间上来讲,土地沙漠化发生在人类历史时期;从空间上来讲,土地沙漠化发生在干旱地区(半湿润和半干旱);从本质上讲,土地沙漠化是一种土地退化过程,主要以风、沙的活动,时间和空间的限制为特征;就起源而言,土地沙漠化是人类活动、气候变化等因素的结果;从景观上来讲,土地沙漠化是一个逐渐变化的过程,风沙活动所引起的地表形态作为景观标志,大部分最终形成一种沙漠景观^[2]. 土地表面逐渐被风蚀和粗化,被沙丘占据,造成土地生产力、土地生产潜力和土地资源的严重损失. 我国沙漠化地区面积较大且逐年增长^[3]. 中国西北干旱地区是沙漠化较为严重的地区之一,土地沙漠化给当地的经济的发展带来了严重的影响,对居民生活、生态健康等构成严重威胁. 传统的土地沙漠化监测方法是对研究区沙漠化的类型和程度进行连续调查,记录和分析. 目前我国对土地沙漠化的监测大部分还依靠国家层面的调研数据,国家大尺度的调研数据往往无法满足部分区域对沙漠化监测预报的需求^[4-5]. 利用卫星遥感影像提取沙漠化信息可以对土地沙漠化区域进行监测,“3S”技术具有信息量大,覆盖范围广,周期短,监测结果更为准确详细的特点. “3S”为沙漠化监测提供了新的技术和手段^[6]. 因此,应用“3S”技术可对沙漠化土地现状进行监测,能及时准确地了解和掌握沙漠化发生、发展的规律和程度,可了解沙漠化的现状,对沙漠化土地进行评估及防治,为恢复植被覆

盖和改善生态环境提供依据. 笔者通过利用 GIS 技术和 RS 技术相结合的方法,以西北地区沙漠化较为严重的新疆昌吉地区为例,探讨一种利用 Landsat 影像为数据源,通过提取归一化植被指数 (NDVI) 和地表反照率指数 (Albedo) 来获得沙漠化信息的方法,从而来进行对土地沙漠化的监测和评价.

1 遥感数据源

新疆昌吉地处中国西北部,地貌类型主要有平原地区、山地地区和沙漠地区. 研究区面积为 34 236.519 km²,土地沙漠化较为严重. 笔者选用新疆昌吉地区 2011 年 6 月的 Landsat4-5TM 影像,2013 年 6 月和 2015 年 6 月的 Landsat8 OLI 影像,3 期来自 USGS 官方网站不同时相的遥感影像作为数据源. 由于 2011 年、2013 年和 2015 年的数据处理流程相同,所以笔者通过对新疆昌吉 2015 年土地沙漠化的研究评价其沙漠化程度.

Landsat8 OLI 共有 9 个波段,其中第 8 波段空间分辨率为 15 m,Band1-Band 7 以及 Band9 空间分辨率为 30 m. Landsat4-5TM 一共有 7 个波段,其中 Band 6 的空间分辨率为 120 m,其余波段的空间分辨率均为 30 m. Landsat 系列数据具有更好的连续性和更丰富的谱带^[7]. 此外 Landsat 系列卫星数据有着较好的时间分辨率和空间分辨率,对于中小区域的沙漠化监测有良好的适应性. 利用 Landsat 遥感数据监测具有宏观性、综合性、重复性、经济快速等特点,是监测土地沙漠化的有力工具. Landsat 遥感数据监测与

耗时耗工、高成本、低效率和精度难以保证的传统人工调查相比,客观、快速、低成本、范围大、多时相和非破坏性特征,能客观地反映实际情况和土地覆盖动态变化。图 1 为 2015 年新疆昌吉地区截取的部分影像,可以看出北部地区沙漠化程度较为严重。

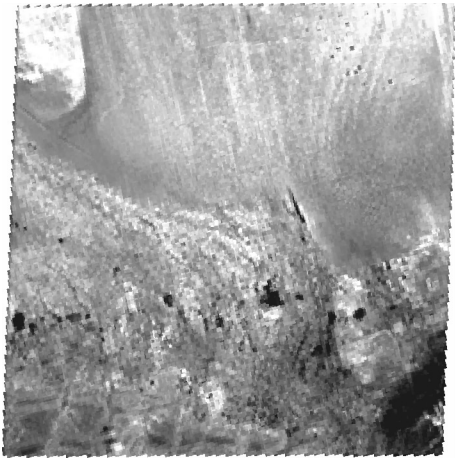


图 1 2015 年新疆昌吉影像图

Fig. 1 Image map of Xinjiang Changji in 2015

2 数据预处理

2.1 辐射校正

辐射校正以消除传感器引起的内部误差和环境因素引起的外部误差(大气折射和地面波动)为主要目的^[8]。根据校正结果的分类,辐射校正包括绝对和相对两种校正模式。绝对辐射校正就是将遥感影像的像元亮度值(DN)转换为真正地表反射值,需要获取图像过境时的地表测量数据。由于地形起伏等原因的影响,需对大气校正和传感器方面加以考虑^[9],所以一般来说这种方法比较复杂。相对辐射校正又称之为遥感图像光谱归一化,使用其中的一个图像作为参照图像,并通过调整另一个图像的 DN,使两幅图像中的相同地物具有相同的 DN 值。

辐射定标是将像元的亮度值转换为上层大气的反射率或者光谱辐射亮度的过程^[10]。根据辐射定标值计算遥感器的光谱辐射亮度值,计算方法为

$$L = Q_{cal} \times Gain + Bias.$$
 (1)

式中: L 为遥感器光谱辐射亮度; Q_{cal} 为像元的亮度值; $Gain$ 和 $Bias$ 分别为遥感图像的增益值和偏置值。

$$Gain = (L_{max} - L_{min}) \div (Q_{calmax} - Q_{calmin}),$$
 (2)

$$Bias = L_{min} - [(L_{max} - L_{min}) \div (Q_{calmax} - Q_{calmin})] \times Q_{calmin}.$$
 (3)

式中: L_{max} 为光谱辐射度的最大值; L_{min} 为光谱辐射度的最小值; Q_{calmax} 为像元可取得的最大亮度值; Q_{calmin} 为像元可取得的最小亮度值。

当像元亮度值最小时,光谱辐射度最小;像元亮度值最大时,光谱辐射度也相应最大。其中 $Q_{calmin} = 0, Q_{calmax} = 255$,辐射定标可将图像的像元亮度值转换为大气顶层的辐射亮度值^[11]。

笔者对 2015 年新疆昌吉影像图进行辐射定标,可选择 Display→Profiles→Spectral 查看辐射定标波谱曲线(见图 2)。定标后的光谱辐射度主要集中在 0~10 内。

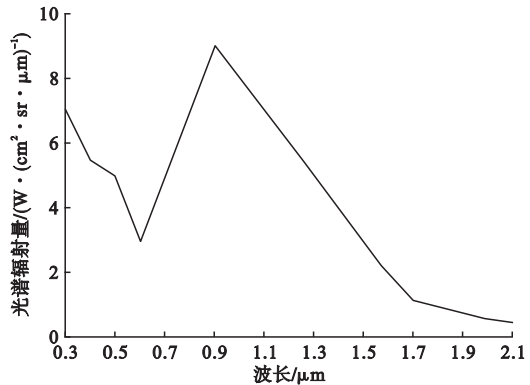


图 2 辐射定标波谱图

Fig. 2 Radiometric calibration spectrum

2.2 大气校正

大气校正就是将遥感影像中获得的大气辐射能以及其他辐射能的吸收和散射所引起的误差消除。目前主要的方法有:①不变目标法;②基于辐射传输模型的大气校正法;③直方图匹配法;④黑暗像元法^[12]。大气校正的操作流程:

(1)输入文件的设置。将辐射定标之后的数据格式转换成 ENVI 的标准格式文件—

BIL/BIP. 需为每一个波段指定一个缩放因子,也可为整幅影像的所有波段指定相同的缩放因子.

(2) 遥感器参数的设置. 遥感器的飞行高度、地面高程、数据采集时间、空间分辨率、地面中心坐标等参数由图像的区域位置确定. 图像的平均高度由软件获得,不能通过查询直接确定.

(3) 大气模式的设置. FLAASH(大气校正模块)共有 Tropical、Sub - Arctic Summer、Mid - Latitude Summer、Sub - Arctic Winter、Mid - Latitude Winter 以及 U. S. Standard 6 种标准的大气模式.

(4) 气溶胶模式的设置. FLAASH 模块有 4 种标准的气溶胶模式,分别为 Rural、Tropospheric、Urban 以及 Maritime 模式.

(5) 设置多光谱和去除水汽的具体参数.

(6) 最后设置输出文件以及存储路径,得到大气校正后的结果.

笔者依据 ENVI 软件中的大气校正模块 (FLAASH) 的一般性和可运用性,选择辐射传输模型中的 MORTTRAN 模型来进行大气校正. 输入文件时对整幅影像设置单位缩放因子,单位缩放因子为 0.1. 大气模式选择 Mid - Latitude Summer 大气模式. 气溶胶模式的设置选择 Rural 模式,并采用 K—T 变换的方法去除气溶胶. 多光谱及去除水汽的具体参数设置如表 1 所示.

表 1 具体参数设置

Table 1 Specific parameter settings					
气溶胶 比例高 度/km	CO ₂ 混 合比率/ 10 ⁻⁶	光谱分 辨率/ cm ⁻¹	天顶 角/ (°)	方位 角/ (°)	输出反 射比例 因子
1.5	390	15	180	0	10 000

完成设置后得到能见度、水汽柱的大气校正反演结果,选择 Display → Profiles → Spectral 查看大气校正波谱曲线(见图 3). 从图 3 可以看出,纵坐标的像元亮度在扩大 10 000 倍之后,数据值的范围在几百到几千.

可以使用 Bandmath 波段计算工具除以 10 000 得到 0 ~ 1 内的反射率数据. 大气校正波谱曲线与图 2 辐射定标的波谱曲线相比,大气校正后的影像基本消除了空气中水汽颗粒等因子的影响,植被的波谱曲线趋于正常.

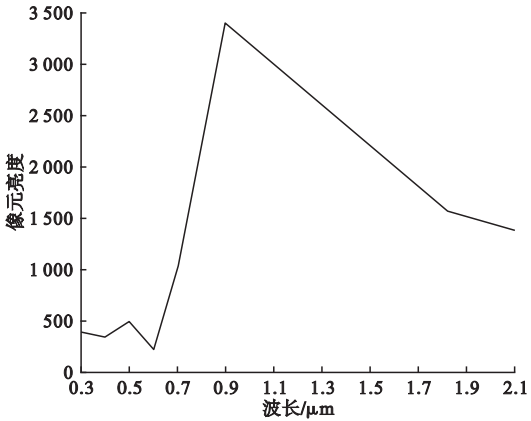


图 3 大气校正波谱图

Fig. 3 Correction spectrum of atmospheric

2.3 信息提取

为了保证数据的一致性,计算出的 *NDVI* 和 *Albedo* 值,需对其计算值进行正规化处理. 正规化处理前分别对 *NDVI* 和 *Albedo* 进行提取,提取流程:

(1) 提取归一化植被指数. 植被覆盖度、生长状态等可用归一化植被指数来监测. 利用经过辐射校正和几何校正的数据计算提取 *NDVI*. *NDVI* 提取流程:主菜单→Transform→弹出 *NDVI Calculation Parameters* 对话框→标定波段→保存文件并设置输出路径→点击 OK.

(2) 提取地表反照率. 地表反照率是表征地面以下垫面辐射特征的一个重要参数,且地表辐射平衡会随着它的变化而变化,并直接影响大气的产生^[12]. 可根据辐射通量推算出不同波段的权重值,基于辐射传输模型进行光谱校正,从而计算出宽波段的地表反照率. 利用 S. Liang^[13] 建立的 Landsat - TM 数据的反演模型来估算地表反照率.

$$Albedo = 0.356\rho_{TM1} + 0.130\rho_{TM3} + 0.373\rho_{TM4} + 0.085\rho_{TM5} + 0.072\rho_{TM7} - 0.0018. \quad (4)$$

式中: ρ_{TM1} ρ_{TM3} ρ_{TM4} ρ_{TM5} ρ_{TM7} 为不同波段的权重值.

(3) 正规化处理. 使用数据正规化公式对 *NDVI* 和 *Albedo* 进行正规化数据处理.

$$N = [(NDVI - NDVI_{min}) \div (NDVI_{max} - NDVI_{min})] \times 100\% . \tag{5}$$

式中: N 为正规化处理后的归一化植被覆盖指数; $NDVI_{min}$ 为归一化植被指数的最小值; $NDVI_{max}$ 为归一化植被指数的最大值.

$$A = [(Albedo - Albedo_{min}) \div (Albedo_{max} - Albedo_{min})] \times 100\% . \tag{6}$$

式中: A 为正规化处理后的地表反照率; $Albedo_{min}$ 为地表反照率的最小值; $Albedo_{max}$ 为地表反照率的最大值.

笔者对昌吉市影像分别计算了 *NDVI* 和 *Albedo* 的最大值与最小值. *NDVI* 的最大值为 0.178 625, 最小值为 -0.009 221; *Albedo* 的最大值为 3 674.955 322, 最小值为 -0.001 800. 然后分别对 *NDVI* 和 *Albedo* 数据进行正规化处理: 主菜单→选择 Basic Tools→点击 ToolsBandmath 选项→在 Band Math 对话框中输入 *NDVI* 和 *Albedo* 正规化表达式→点击 Add to List→点击 OK, 在 Variablesto Band Pairings 面板中指定相对应的波段信息, 最终得到正规化后的 *NDVI* 和 *Albedo* 数据.

2.4 计算 *NDVI* 和 *Albedo* 的定量关系

正规化后的 *NDVI* 与 *Albedo* 两者之间存在着一一种负相关的线性关系. 不同沙漠化土地类型对应的 *NDVI* 和 *Albedo* 具有不同的线性负相关性^[14-15].

$$Albedo = a \times NDVI + b. \tag{7}$$

式中: a 为系数; b 为参数.

式(7)说明, 随着土地沙漠化程度的加剧, *NDVI* 逐渐减小, 而 *Albedo* 逐渐增大^[16]. 在 *Albedo* - *NDVI* 二维特征空间中, 直观地反映了沙漠化过程及其地表特征.

在研究区选取 1 768 个样点, 对正规化后的 *NDVI* 与 *Albedo* 数据进行统计回归分

析, 其相关系数 $R^2 = 0.87$, 趋近于 1, 表明在 *Albedo* - *NDVI* 二维空间中, *NDVI* 与 *Albedo* 具有非常强的线性负相关性. 根据式(7)确定 *NDVI* 和 *Albedo* 两者之间的定量关系, 计算得到新疆昌吉地区 2011 年、2013 年和 2015 年 *NDVI* 和 *Albedo* 的拟合关系.

$$Albedo_{2011} = -10.52 NDVI + 2\,682.7, \tag{8}$$

$$Albedo_{2013} = -7.747\,4 NDVI + 1\,877.9, \tag{9}$$

$$Albedo_{2015} = -366.9 NDVI + 1\,084.6. \tag{10}$$

3 沙漠化差值指数

地表辐射平衡可随着地表反照率的变化而变化, 从而对植被覆盖度和土壤水分造成影响, 使地表的温度发生改变. 对于土地沙漠化遥感监测, 利用沙漠化差值指数 (*DDI*) 评价比采用多个评价指数要更简便^[17], 因此可以选择一个合理的指标来对不同程度的沙漠化土地加以区分, 从而实现对土地沙漠化程度的监测和评价. 因此通过 *DDI* 可以有效区分不同的沙漠化土地程度, 实现时空的定量监测. *Albedo* - *NDVI* 线性二元多项式表示为

$$DDI = k \times NDVI - Albedo. \tag{11}$$

式中:*DDI* 称为沙漠化差值指数; k 为线性二元多项式的斜率.

不同类型的沙漠化土地与 *DDI* 平均值之间的关系如表 2 所示^[18], 表 2 可作为判定土地沙漠化程度的依据.

表 2 不同沙漠化土地 *DDI* 值
Table 2 DDI values of different desertified land

<i>DDI</i> 平均值	土地沙漠化程度
132.8	非沙漠化土地
105.9	轻度沙漠化土地
92.7	中度沙漠化土地
78.7	重度沙漠化土地
65.2	极重度沙漠化土地

从式(10)可知, 新疆昌吉地区 2015 年系数 $a = -366.9$. 按 $a = -1/k$ 求解, 确定 k 值. 把计算得出的 k 值代入 *DDI* 计算式(式(11))中, 可得出 2015 年昌吉市 *DDI* 的最终表达式为

$$DDI_{2015} = 1/366.9 \times NDVI - Albedo. \quad (12)$$

按同样的方式计算 2011 年和 2013 年的 DDI 表达式.

$$DDI_{2011} = 1/10.52 \times NDVI - Albedo. \quad (13)$$

$$DDI_{2013} = 1/7.747 \times NDVI - Albedo. \quad (14)$$

使用 ArcGIS 软件打开在 ENVI 中处理之后的新疆昌吉地区矢量图,通过统计沙漠和裸地的像元个数,再乘以各自的像元值计算出沙漠面积和裸地面积. 根据 2011 年、2013 年和 2015 年新疆昌吉地区沙漠和裸地面积可以得出:2011—2015 年沙漠面积依次为 62.29% ,59.92% ,77.73% ;裸地面积依次为 26.97% ,28.59% ,18.14% . 根据 DDI 表达式计算出 DDI 的平均值,对照表 2 可判断土地沙漠化的程度. 新疆昌吉各年份 DDI 与沙漠化情况信息如表 3 所示.

表 3 新疆昌吉各年份 DDI 与沙漠化情况信息

Table 3 Information of DDI and desertification in Changji, Xinjiang from 2011 to 2015

年份	沙漠面积/ km ²	裸地面积/ km ²	DDI 平均值	沙漠化程度
2011	21 326.269 4	9 234.257	95.6	中度沙漠化
2013	20 513.652 3	9 786.735 1	100.1	轻度沙漠化
2015	26 611.185 4	6 210.556 7	81.2	重度沙漠化

通过 DDI 表达式可得到 DDI 的反演图. 获取 DDI 反演图的操作步骤:主菜单→Basic Tool→Bandmath→在 Enter an expression 对话框上输入 DDI 表达式,点击添加到列表,单击确定,并设置文件名和输出路径,得到 2015 年昌吉市 DDI 反演图(见图 4). DDI 反演图为一个灰度图像,灰度值为 0~255. 其中黑色灰度值为 0,白色灰度值为 255,每个像元的灰度值代表此像元的沙漠化程度. 灰度值越小代表 DDI 值越小,土地沙漠化程度则越大;灰度值越大则代表 DDI 值越大,土地沙漠化程度越小. 由图 4 可以看出,中部偏北部地区沙漠化较为严重,东南部地区植被覆盖度较好.

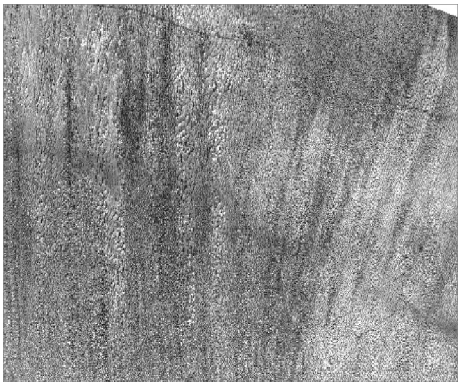


图 4 2015 年新疆昌吉沙漠化差值指数反演图
Fig. 4 Inversion map of desertification difference index of Changji in 2015

4 结 论

(1)新疆昌吉地区 2011—2015 年沙漠面积为依次为 62.29% ,59.92% ,77.73% ;裸地面积依次为 26.97% ,28.59% ,18.14% . 沙漠面积随着时间的推移发生了明显的起伏变化,2011—2013 年,沙漠面积小幅减少;2013—2015 年沙漠面积大幅度增加,沙漠面积总体呈显著上涨趋势.

(2)2011 年新疆昌吉 DDI 平均值为 95.6,为中度沙漠化土地;2013 年新疆昌吉 DDI 平均值为 100.1,为轻度沙漠化土地;2015 年新疆昌吉 DDI 平均值为 81.2,为重度沙漠化土地. 2011—2013 年, DDI 值没有显著变化,而沙漠化面积也没有过多浮动. 2013—2015 年, DDI 值显著减小,土地沙漠化面积大幅度上升. 验证了 DDI 值与沙漠化程度呈负相关性, DDI 反映了不同年份土地沙漠化程度,与实际沙漠化程度变化情况相吻合,正确地反映了土地的沙漠化变化情况.

参考文献

[1] 朱金峰. 巴丹吉林沙漠边缘地区近 20 年土地沙漠化遥感监测研究[D]. 兰州:兰州大学,2011. (ZHU Jinfeng. Monitoring of desertification on the edge of badainjaran desert in recent 20 years based on remote sensing imagery [D]. Lanzhou:Lanzhou University,2011.)

[2] 陈佳楠,邓芳,乌恩图,等. 浑善达克典型区域沙化土地十年遥感监测分析[J]. 中国农学通

- 报,2015,31(29):227-234.
(CHEN Jianan, DENG Fang, WU Entu, et al. 10 years remote sensing monitoring analysis of desertification land of representative region in Hunshandake[J]. Chinese agricultural science bulletin, 2015, 31(29): 227-234.)
- [3] 韩刚. 基于多尺度遥感数据的荒漠化草原土壤含水率监测研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2017.
(HAN Gang. Study on monitoring soil moisture content of desertified grassland based on multi-scale remote sensing data[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2017.)
- [4] 潘竟虎, 秦晓娟. 基于植被指数-反照率特征空间的沙漠化信息遥感提取:以张掖绿洲及其附近区域为例[J]. 测绘科学, 2010, 32(3): 193-195.
(PAN Jinghu, QIN Xiaojuan. Extracting desertification from landsat imagery using a feature space composed of vegetation index and albedo: a case study of Zhangye oasis and its adjacent areas[J]. Science of surveying and mapping, 2010, 32(3): 193-195.)
- [5] 曾永年, 冯兆东. 黄河源区土地沙漠化时空变化遥感分析[J]. 地理学报, 2007, 62(5): 529-536.
(ZENG Yongnian, FENG Zhaodong. Spatial and temporal changes of desertification in the headwater area of the Yellow River using remote sensing[J]. Acta geographica sinica, 2007, 62(5): 529-536.)
- [6] 官雨薇, 何彬彬. 基于遥感影像的全球沙漠化指数构建及趋势分析[D]. 成都:电子科技大学, 2015.
(GUAN Yuwei, HE Binbin. Construction and trend analysis of global desertification index based on remote sensing image[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2015.)
- [7] 陶安琪. 被动微波遥感纳木错湖冰变化研究[D]. 南京:南京大学, 2014.
(TAO Anqi. Research on the variation of Namco Lake ice by passive microwave remote sensing[D]. Nanjing: Nanjing University, 2014.)
- [8] 顾余庆. 基于遥感与GIS的基本农田调整方法研究:以东海县为例[D]. 南京:南京师范大学, 2014.
(GU Yuqing. Research on demarcate method of basic farmland based on RS and GIS: a case of donghai county[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2014.)
- [9] 庄晨辉, 陈铭潮, 李峥. 遥感技术在土地沙化监测中的应用[J]. 福建林学院学报, 2006, 26(4): 324-327.
(ZHUANG Chenhui, CHEN Mingchao, LI Zheng. Application of remote sensing technology in land desertification monitoring[J]. Journal of Fujian college of forest, 2006, 26(4): 324-327.)
- [10] 彭立. 岷江上游生态水信息指标参数遥感反演与变化监测[D]. 成都:成都理工大学, 2016.
(PENG Li. Remote sensing inversion and change monitoring of ecological water information index parameters in the upper reaches of Minjiang River[D]. Chengdu: Chengdu University of Technology, 2016.)
- [11] 程洪. 基于数字图像处理的水稻品种识别研究[D]. 保定:河北农业大学, 2007.
(CHENG Hong. Study on corn species identification based on digital image processing[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2007.)
- [12] 郁蔚兰. 海上交通枢纽建设的悬浮泥沙数值模拟与遥感监测研究:以大连海上机场为例[D]. 大连:大连海事大学, 2015.
(YU Yulan. Remote sensing and numerical simulation of suspended sediment pollution caused by offshore transportation hub construction: the background of Dalian offshore airport[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2015.)
- [13] LIANG S. Nanowband to broadband conversions of land surface albedo: algorithms[J]. Remote sensing of environment, 2001, 76(2): 213-238.
- [14] 袁宏波. 黄河源区玛曲县草地沙化动态监测及区域景观结构分析研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2006.
(YUAN Hongbo. Grassland sandification dynamic monitoring and landscape pattern analysis of Maqu County in source region of yellow river[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2006.)
- [15] 李苗苗. 植被覆盖度的遥感估算方法研究[D]. 北京:中科院研究生院, 2003.
(LI Miaomiao. Research on remote sensing estimation methods of vegetation coverage[D]. Beijing: Graduate School of Chinese Academy of Sciences, 2003.)
- [16] 贾树海, 王潇雪, 杨亮. 辽北农牧交错带土地荒漠化及景观格局变化研究[J]. 中国水土保持, 2014, 18(5): 51-55.
(JIA Shuhai, WANG Xiaoxue, YANG Liang. Study on land desertification and landscape pattern change in the farming-Pastoral ecotone of northern Liaoning[J]. Soil and water conservation in China, 2014, 18(5): 51-55.)
- [17] 侯晓真, 张书毕, 宁晓刚, 等. 基于TM影像波段运算的沙漠变化检测分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2013(6): 145-149.
(HOU Xiaozhen, ZHANG Shubi, NING Xiaogang, et al. Desert change detection and analysis based on TM image band operation[J]. Journal of geodesy and geodynamics, 2013(6): 145-149.)
- [18] 曾永年, 向南平, 冯兆东, 等. Albedo-NDVI特征空间及沙漠化遥感监测指数研究[J]. 地理科学, 2006, 26(1): 75-81.
(ZENG Yongnian, XIANG Nanping, FENG Zhaodong, et al. Albedo-NDVI space and remote sensing synthesis index models for desertification monitoring[J]. Scientia geographica sinica, 2006, 26(1): 75-81.)
- (责任编辑:徐玉梅 英文审校:唐玉兰)