

# 星载雷达影像对盐渍地微观离子的响应研究

何祺胜<sup>1,2</sup>, 曹春香<sup>1</sup>, 塔西甫拉提·特依拜<sup>3</sup>

(1. 中国科学院 遥感应用研究所 遥感科学国家重点实验室, 北京 100101; 2. 中国科学院 研究生院, 北京 100049; 3. 新疆大学 资源与环境科学学院 绿洲生态教育部重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** 以库车绿洲为例, 探讨了星载雷达影像对表征土壤盐渍化微观离子的响应情况。选取春、秋两季的 Radarsat 影像数据, 野外采集土壤剖面 0—10 cm 和 0—50 cm 处土样, 室内测定其 8 大粒子含量( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ) 以及 pH 值、电导率、矿化度、含盐量。采用 GPS 定位技术, 记录每一采样点位的经纬度坐标和雷达影像进行匹配, 采用灰色关联分析法分析了 Radarsat C 波段 HH 极化对微观粒子在春、秋季节 0—10 cm 和 0—50 cm 土壤剖面的响应。结果表明, 春季雷达影像对 pH 值响应强烈, 对含盐量响应不稳定, 对电导率、矿化度响应一般。就阳离子而言, 对  $\text{Ca}^{2+}$  响应最为显著; 就阴离子而言, 对  $\text{HCO}_3^-$  响应最为显著。10 月份雷达影像对 pH 值、电导率响应强烈, 对含盐量响应不稳定, 对矿化度响应一般。就阳离子而言, 无明显规律。就阴离子而言  $\text{Cl}^-$  响应最为显著,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  无明显规律。

**关键词:** 星载雷达影像; 微观离子; 灰色关联分析法; 响应

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)05-0017-04

中图分类号: TP79

## Response of Satellite SAR Images to the Ions of Saline Soils

HE Qisheng<sup>1,2</sup>, CAO Chunxiang<sup>1</sup>, Tashpolat · Tiyip<sup>3</sup>

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, the Institute of Remote Sensing

Applications of Chinese Academy of Sciences Beijing 100101, China; 2. Graduate School of the

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3. Key Laboratory of Oasis Ecology of the Ministry of Education, College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

**Abstract:** By taking the Kuqa oasis as a study area, the response of satellite SAR images to the ions of saline soils was analyzed. Two Radarsat images collected in March and October, 2001, were selected, and field sampling to soil profiles of 0—10 and 0—50 cm was made. The values of eight microcosmic ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , and  $\text{CO}_3^{2-}$ ), pH value, conductivity, hardness degree, and salt content of saline soils in the typical region were measured according to the measurement point coordinates in field. The values of each point in the remote sensing images were calculated. The gray associate analytic method was used to carry on the relevant arrangement of eight large ions and the values of the remote sensing images. Results indicated that Radar images in March intensely responded to pH value. The response was unstable to salt content and common to conductivity and hardness degree. For positive ion, the response was most remarkable to  $\text{Ca}^{2+}$ ; and for negative ion, the  $\text{HCO}_3^-$  response was most remarkable. Radar images in October intensely responded to pH value and conductivity, were unstable to the salt content, and were middle to the hardness degree. For positive ion, there was no evident rule; and for negative ion, the  $\text{Cl}^-$  response was most remarkable and there was no evident rule in  $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{HCO}_3^-$ .

**Keywords:** satellite SAR image; microcosmic ion; grey correlation analysis; response

土壤盐渍化是由于表土层易溶盐含量过高而造成绝大多数植物难以生长和土地贫瘠的土地资源退

化。盐渍化土壤多分布在气候干旱、半干旱的平原地区<sup>[1]</sup>, 严重影响生态环境和社会经济的发展。半个世

收稿日期: 2008-12-31

修回日期: 2009-05-15

资助项目: 高等学校博士学科点专项科研基金(20050755002); “863”计划(2008A A12Z107); 青海省重大科技攻关计划(2006-G-160-01) 资助

作者简介: 何祺胜(1981—), 男(汉族), 山东省定陶县人, 博士研究生, 主要从事干旱区资源环境、定量遥感以及地理信息系统应用研究。

E-mail: hqsfei999@126.com。

通信作者: 塔西甫拉提·特依拜(1958—), 男(维吾尔族), 新疆自治区伊犁人, 工学博士, 教授(博士生导师), 现从事遥感技术及其应用研究。

E-mail: tash@xju.edu.cn。

纪以来遥感技术和 GIS 飞速发展, 遥感以其覆盖面广, 实时性强, 能够真实反映地物特征信息的特点, 为快速获得区域土壤普查资料提供了有效的手段<sup>[2-6]</sup>。

随着微波的发展, 不少学者也对用微波遥感技术进行土壤盐碱化监测做了探讨和研究。微波遥感具有全天候、全天时的特点, 微波 C、P 特别是 L 波段对监测盐碱土很有潜力。盐度与介电常数有很密切的关系, 在一定的微波频率下, 复介电常数的实部随着盐度的增加而降低, 而虚部则随之升高。虚部对盐度的敏感性随着频率的降低而增高, 并认为 L 和 C 波段传感器的结合使用可用来进行土壤盐碱化的监测<sup>[7-10]</sup>。雷达影像反映的是地面上地物的宏观信息, 本文着重分析雷达影像辐射亮度值与表征土壤盐渍化的八大离子之间的关系, 以更好的大范围、宏观地了解土壤盐渍化状况。

雷达影像对地表有一定的穿透性, 能探测一定深度的地下信息。本文选取 3 月和 10 月成像的两景加拿大 Radarsat 数据, 结合地面野外考察数据, 选取库车绿洲这一盐渍地普遍发育地区作为训练区, 采用灰色关联分析法, 分析了微波波段对表征盐渍化微观粒子的响应情况, 对雷达影像检测盐渍地动态变化具有重要意义。

## 1 研究区概况及数据源

库车绿洲位于天山南麓, 塔里木盆地北缘, 地处南疆腹地渭干河—库车河三角洲地带, 是南疆具有一定代表性的典型绿洲<sup>[11]</sup>。库车绿洲属大陆性暖温带极端干旱气候, 多年平均降水量 51.6 mm/a, 多年平均蒸发量 2 123.7 mm, 蒸降比约 40:1。该区地下水位高, 土壤下层构成物颗粒轻细, 透水性差, 因而造成土壤的盐渍化比较普遍, 在古河道、河漫滩、泉水溢出带等地下水浅埋区, 分布着大面积的盐渍化土和盐土。盐渍地分区在中国土壤盐渍分区图上为: 青、新极端干旱荒漠盐渍区。本次研究采用数据为 2001 年 3 月 21 日和 2001 年 10 月 23 日成像的加拿大 Radarsat 数据, 其参数为: 标准模式(S<sup>+</sup>), C 波段, 入射角度为 36.714°, HH 极化方式, 分辨率为 12.5 m, 图像的地表覆盖范围为 100 km × 100 km。

## 2 技术方法

### 2.1 土壤八大离子的测定

2005 年 11 月 20—27 日以及 2006 年 3 月 8—15 日在库车、新和、沙雅 3 县进行了野外考察。本文所用的试验范围为雷达影像的覆盖区, 选取盐渍化明显区域进行采样。

在每个采样点共取 3 个点进行混合采样, 分 0—10 cm 和 0—50 cm 两个剖面进行采样。3 个点呈三角形分布, 每个采样点属性较为均一, 因此 3 个点的均值可以代表每个采样点的属性。每个采样点的土壤八大离子的值取 3 个点的均值。将样品带回实验室, 在室内测定八大离子含量。

对所有采集的样品风干、碾碎, 过 1 mm 筛, 取 50 g 风干土与 250 ml 蒸馏水混合, 经过浸泡和振动使土壤盐分充分溶解后, 进行土壤盐分及其组分、pH 值等的测定, 其中, pH 值(水土比 2.5:1)采用 LP115pH Meter 酸度计法测定; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 和 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 采用双指示剂中和法测定; Cl<sup>-</sup> 采用 AgNO<sub>3</sub> 滴定法测定; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 采用 EDTA 间接滴定法测定; Ca<sup>2+</sup> 和 Mg<sup>2+</sup> 采用 EDTA 络合滴定法测定; Na<sup>+</sup> 和 K<sup>+</sup> 采用差减法; 电导率、含盐量、总溶解固体(TDS)采用 Orion 115A+ 仪器测定, 本研究区 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 未检出。

### 2.2 每一点位的像元值与八大离子的对应值

对 Radarsat 影像存在大量的斑点噪声, 斑点噪声表现为图像灰度的剧烈变化, 即在同一片均匀区域, 有的分辨单元呈亮点, 而有的单元呈暗点, 降低了图像的空间分辨率, 隐藏了图像的精微结构, 严重影响图像的判读性和可解译性, 甚至可能导致地物特征的消失。因此, 对 SAR 图像首先要进行斑点噪声的消除。

针对本研究区, 应用 Lee 滤波、增强 Lee 滤波、Frost 滤波、增强 Frost 滤波、Gamma 滤波、Kuan 滤波、Local Sigma 滤波、Bit Errors 滤波等滤波器对雷达影像进行处理, 分析了不同窗口下图像变换后的标准差的变化, 然后以平滑指数(FI)、边缘保持指数(ESI)为指标分析了不同窗口下典型地类区域重度盐渍地、中轻度盐渍地、农田、水体、黏土的变化。结果表明, 增强 Lee 滤波和增强 Frost 滤波的去除斑点噪声的效果较为满意。本文采用增强 Frost 滤波作为去除斑点噪声的方法。本研究区盐渍地分布区地势平坦, 地形变化较小, 因此没有进行地形辐射校正。

在采样时采用 GPS 定位技术, 记录每一点位的经纬度坐标。同时对每一点位的景观进行了拍照, 并对周围的环境特征进行了描述。最终以照片库的形式进行了整理。对雷达影像进行精校正以精确确定各点的几何位置。然后将每一点位的雷达影像的强度值提取出来, 和此点位的表征盐渍化的微观特征整理在一起, 形成本地基础数据, 为后面的分析做准备。

### 2.3 灰色关联分析

2.3.1 本地数据的准备 本次研究分不同季相、不同土壤剖面进行。覆盖本研究区的为 10 个采样点, 设 X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>3</sub>, X<sub>4</sub>, X<sub>5</sub>, X<sub>6</sub>, X<sub>7</sub>, X<sub>8</sub>, X<sub>9</sub>, X<sub>10</sub>, X<sub>11</sub>, X<sub>12</sub>, 分别代表雷达影像强度值, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, 矿化度,

Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pH 值, 含盐量, 电导率, 形成 10 (行) × (12) 列矩阵, 由于数据较多, 不一列出。

2.3.2 数据的标准化 为了消除量纲的影响, 增强不同量纲的因素之间的可比性, 需要对原始数据做均值变换, 均值变换的计算公式为:

$$X'_i(t) = X_i(t) / \bar{X}, i = 1, 2, \dots, 12, t = 1, 2, \dots, 10$$

式中:  $\bar{X}_i = \frac{1}{10} \sum_{t=1}^{10} X_i(t)$ 。

2.3.3 关联度计算 反映各因素变化特性的数据列分别为 {X'<sub>1</sub>(t)}, {X'<sub>2</sub>(t)}, {X'<sub>3</sub>(t)}, {X'<sub>4</sub>(t)}, {X'<sub>5</sub>(t)}, {X'<sub>6</sub>(t)}, {X'<sub>7</sub>(t)}, {X'<sub>8</sub>(t)}, {X'<sub>9</sub>(t)}, {X'<sub>10</sub>(t)}, {X'<sub>11</sub>(t)}, {X'<sub>12</sub>(t)}, t = 1, 2, ..., 10。因素 X'<sub>i</sub> 对 X'<sub>j</sub> 的关联系数定义为  $\varepsilon_{ij}(t) = (\Delta_{\min} + K\Delta_{\max}) / (\Delta_{ij}(t) + K\Delta_{\max})$ , t = 1, 2, ..., 10, 其中  $\varepsilon_{ij}(t)$  为因素 X'<sub>i</sub> 对 X'<sub>j</sub> 的关联系数; 因素 X<sub>i</sub> 对 X<sub>j</sub> 的关联系数定义为  $\varepsilon_{ij}(t) = (\Delta_{\min} + K\Delta_{\max}) / (\Delta_{ij}(t) + K\Delta_{\max})$ , t = 1, 2, ..., 10, 其中  $\varepsilon_{ij}$  为因素 X<sub>i</sub> 对 X<sub>j</sub> 的关联系数;  $\Delta_{ij}(t) = |X_i(t) - X_j(t)|$ ,  $\Delta_{\max} = \max_{j,t} \Delta_{ij}(t)$ ;  $\Delta_{\min} = \min_{j,t} \Delta_{ij}(t)$ ; K 为介于(0, 1)区间上的灰数, 即分辨系数, 其值越小, 分辨率越高; 一般令 K = 0.5<sup>[12]</sup>。最后, 由关联度公式:  $\gamma_{ij} = \frac{1}{10} \sum_{t=1}^{10} \varepsilon_{ij}(t)$  计算出关联度。计算结果见图 1—4。

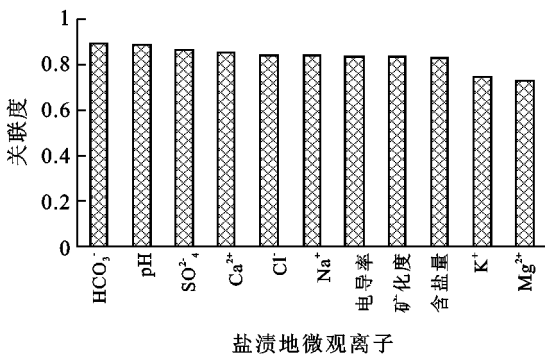


图1 3月份0—10 cm 关联度排序

的相关序排列为 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, pH 值, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, 电导率, 矿化度, 含盐量, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>。从图 2 可以看出, 3 月份 0—50 cm 对雷达影像的相关序排列为 pH 值, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, 含盐量, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, K<sup>+</sup>, 电导率, 矿化度, Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>。3 月份对雷达影像的相关序排列共同之处为对 pH 值、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 响应明显, 其次为 Ca<sup>2+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 较小的为电导率、矿化度、Mg<sup>2+</sup>, 不稳定的为 Cl<sup>-</sup>, Na<sup>+</sup>。就阳离子而言, Ca<sup>2+</sup> 响应最为显著, Mg<sup>2+</sup> 最不显著, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 次序不稳定。就阴离子而言 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 响应最为显著, 其次为 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>。雷达影像对 pH 值响应强烈, 对含盐量响应不稳定, 对电导率、矿化度响应一般。

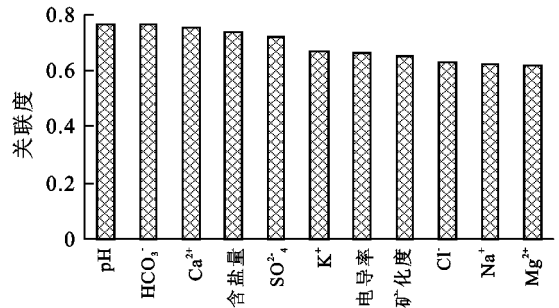


图2 3月份0—50 cm 关联度排序

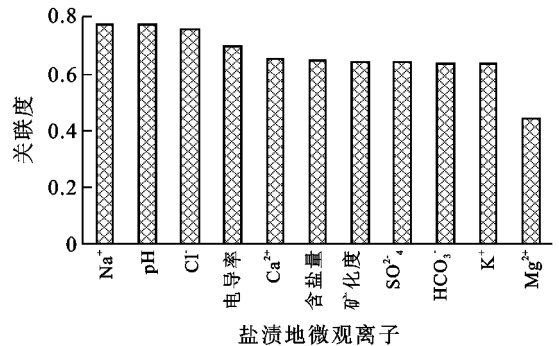


图3 10月0—10 cm 关联度排序

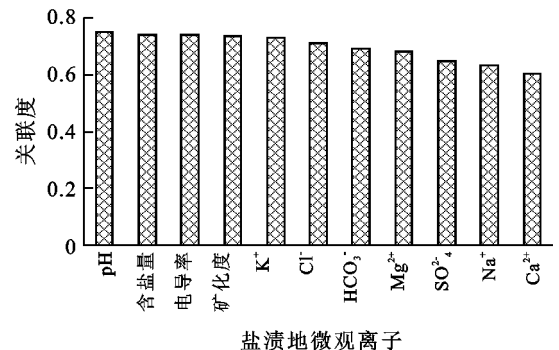


图4 10月0—50 cm 关联度排序

### 3 结果与分析

雷达电磁波的穿透能力受波长、入射角以及环境条件的影响, 目前还没有研究报道雷达数据对本研究区盐渍地的穿透深度是多少。其它方面的研究表明, 典型干燥低耗土壤的穿透深度为波长的 9.2 倍, 那么 C 波段的穿透深度为 0.53 m<sup>[13]</sup>。当然这个值对本研究区雷达数据对盐渍地的穿透深度仅是个参考值。但作为干旱区的典型土壤, 含水量较为接近, 穿透深度也有一定的可比性, 因此本文分析了雷达影像对土壤厚度为 0—10 cm 和 0—50 cm 微观离子的响应。

#### 3.1 3 月份雷达影像对盐渍地微观离子的响应

从图 1 可以看出, 3 月份 0—10 cm 对雷达影像

#### 3.2 10 月份雷达影像对盐渍地微观离子的响应

从图 3 可以看出, 10 月份土壤厚度 0—10 cm 对雷达影像的相关序排列为 Na<sup>+</sup>, pH 值, Cl<sup>-</sup>, 电导率,

$\text{Ca}^{2+}$ , 含盐量, 矿化度,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 。从图 4 可以看出, 10 月份土壤厚度 0—50 cm 对雷达影像的相关序排列为 pH 值、含盐量、电导率、矿化度、 $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 。10 月份对雷达影像的相关序排列共同之处为对 pH 值、电导率响应明显, 其次为含盐量、 $\text{SO}_4^{2-}$ , 较小的为  $\text{Cl}^-$ , 矿化度,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , 不稳定的为  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ 。就阳离子而言, 无明显规律。就阴离子而言  $\text{Cl}^-$  响应最为显著,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  无明显规律。雷达影像对 pH 值、电导率响应强烈, 对含盐量响应不稳定, 对矿化度响应一般。

### 3.3 季节变化雷达影像对盐渍地微观离子的响应的变化

就年内变化而言, 雷达影像对土壤厚度 0—10 cm 的微观离子响应较为稳定的为 pH 值, 矿化度,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , 变化较大的为  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Na}^+$ 。就阳离子而言, 变化较大的为  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  稍微变化,  $\text{K}^+$  和  $\text{Mg}^{2+}$  无变化。就阴离子而言, 变化较大的为  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  稍微变化。

雷达影像对土壤厚度 0—50 cm 微观离子响应较为稳定的为 pH 值,  $\text{Na}^+$ , 含盐量, 变化较大的为  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , 电导率, 矿化度。就阳离子而言, 变化较大的为  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  稍微变化,  $\text{Na}^+$  无变化。就阴离子而言, 变化较大的为  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  稍微变化。

因此, 在年内变化中雷达影像对无论是 0—10 cm 还是 0—50 cm 微观离子响应较为稳定的为 pH 值, 变化较大的为  $\text{HCO}_3^-$ 。就阳离子而言, 无明显的变化规律; 就阴离子而言, 变化规律明显, 都是变化较大的为  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  稍微变化。

## 4 结论

本文研究了雷达影像对表征盐渍地的离子的响应, 结合两期 RADARSAT 雷达影像图, 分析了随季节变化雷达影像对表征盐渍地状况的离子的响应的变化。就年内变化而言, 雷达影像对土壤厚度 0—10 cm 的微观离子响应较为稳定的为 pH 值、矿化度、 $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , 雷达影像对土壤厚度 0—50 cm 微观离子响应较为稳定的为 pH 值,  $\text{Na}^+$  含盐量。在年内变化中雷达影像对无论是 0—10 cm 还是 0—50 cm 微观离子响应较为稳定的为 pH 值。由于雷达影像的穿透性有限, 因此雷达影像对土壤厚度 0—10 cm 的

观离子响应更具有应用价值。分析雷达影像对土壤厚度 0—50 cm 微观离子响应, 与对土壤厚度 0—10 cm 的微观离子响应不同, 从侧面反映了盐渍地剖面结构的不同, 随着土壤厚度的不同, 各微观离子的变化不一致。其结论对于进一步研究宏观雷达信号与微观离子的定量关系具有重要意义。

在进行雷达图像处理时, 仅从影像强度值上进行处理, 没有得到相应的定标参数, 因此数据处理的精度受到一定的影响, 但进行灰色关联分析时, 要对数据进行标准化处理, 消除量纲的影响, 不会对结果造成实质的影响。本文仅从数学统计上分析雷达影像对表征盐渍化离子的响应, 得出有意义的结论, 缺乏关于雷达影像对盐渍地响应的机理分析。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 鲁春霞, 于云江, 关有志. 甘肃省土壤盐渍化及其对生态环境的损害评估[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(1): 99-102.
- [2] 何祺胜, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽. 基于决策树方法的干旱区盐渍地信息提取[J]. 资源科学, 2006, 28(6): 134-140.
- [3] Dwivedi R S, Sreenivas K. Image transforms as a tool for the study of soil salinity and alkalinity dynamics[J]. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(4): 605-619.
- [4] 刘志明, 晏明, 何艳芬. 吉林省西部土地盐碱化研究[J]. 资源科学, 2004, 26(5): 111-116.
- [5] 李晓燕, 张树文. 吉林省大庆市近 50 年土地盐碱化时空动态及成因分析[J]. 资源科学, 2005, 27(3): 92-97.
- [6] 陈建军, 张树文, 陈静, 等. 大庆市土地盐碱化遥感监测与动态分析[J]. 干旱区资源与环境, 2003, 17(4): 101-107.
- [7] 吕远, 邵芸. 含水含盐土壤的微波介电常数特性研究[J]. 遥感信息, 2001(3): 19-23.
- [8] 邵芸, 吕远, 董庆, 等. 含水含盐土壤的微波介电特性分析研究[J]. 遥感学报, 2002, 6(6): 416-423.
- [9] 熊文成, 邵芸. 基于 IEM 模拟的干旱区多时相数据含水量反演模型及分析[J]. 遥感学报, 2006, 10(1): 111-117.
- [10] Taylor G R, Mah A H, Kruse F A, et al. Characterization of saline soils using airborne radar imagery [J]. Remote Sensing of Environment, 1996, 57(3): 127-142.
- [11] 满苏尔, 阿布拉克江, 艾尼瓦尔. 新疆库车县耕地人口承载能力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2002, 16(3): 28-32.
- [12] 徐效军, 张鹰. 土壤含水率与光谱反射率的灰色关联分析[J]. 安徽农业科学, 2006, 34(7): 1403-1404.
- [13] 郭华东. 雷达对地观测理论与应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 289-291.