

塔里木河上游表土积盐量遥感信息提取研究*

牛宝茹

(中煤航测遥感局遥感应用研究院, 西安 710054)

EXTRACTION OF REMOTE SENSING INFORMATION OF SURFACE SOIL SALT ACCUMULATION IN THE UPPER REACHES OF THE TARIM RIVER

Niu Baoru

(Remote Sensing Application Institute, Aerophotogrammetry and Remote Sensing of China Coal, Xi'an 710054, China)

关键词 表土积盐量; 遥感; 模型; 塔里木河

中图分类号 TP753; S127

文献标识码 A

国外利用卫星遥感进行土壤盐渍化研究始于 20 世纪 70 年代, 至 90 年代以来一直以目视判读为主, Bao^[1]作了盐渍土光谱特征的专门研究, 发现土壤盐渍化程度越高, 光谱反射越强; 在红光和绿光波段, 地表植被覆盖影响盐渍土的光谱反应; 土壤含水量也会影响盐渍土的光谱响应模式。骆玉霞等^[2]对盐渍土遥感信息单要素分类与遥感信息地理信息综合分类进行了比较研究。

新疆是我国干旱的内陆盐渍土分布区, 其中以塔里木盆地最多。由于塔里木盆地极端干旱的气候, 给土壤水分和盐分的垂直向上运动创造了条件, 强烈的蒸发是土壤水分在剖面上向上运动的驱动力, 地下潜水的存在则是蒸发得以持续的必要条件; 溶解在潜水中的盐分随着土壤水分的蒸发源源不断地向上移动, 最终聚集于土壤表层, 造成塔里木盆地次生盐渍化严重^[3]。在塔里木河流域上百万平方千米的区域目前仅有阿拉尔一处生态监测站有监测资料, 因此要监测该地区的土壤盐渍化状况, 必须充分利用遥感数据, 结合阿拉尔生态监测站监测资料, 建立遥感信息提取模型, 从而达到宏观监测的目的。

1 研究区概况

塔里木河上游是指阿克苏河、叶尔羌河、和田河

三源流汇合后的 369 km 河段, 多年来水量 $4.63 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。河流两侧地表 10m 以内为第四纪冲积粉细砂, 表层为亚砂土, 潜水地下水埋深一般 1~5 m, 地下水矿化度自塔里木河向外由 $1 \sim 2 \text{ g L}^{-1}$ 递增至大于 3 g L^{-1} 。

影响塔里木盆地土壤积盐的因素主要有^[4]:

(1) 气候因素: 塔里木盆地是我国最干旱的地区, 干燥炎热, 蒸发强烈, 大量地下水和土壤中的盐分随着土壤毛细管不断上升至地表而积聚, 造成积盐过程十分强烈。呈现了气候越干旱, 积盐强度越大, 积盐层越厚的规律; (2) 地质条件: 盆地周围分布有含盐、石膏的第三纪地层, 大部分含盐地层出露地表, 雨后大量盐分随地表径流或地下径流向洪积扇和平原输送, 更增加了局部地区的盐源。

该地区由于大面积开发土地、不合理的灌溉引水、渠系及田间灌溉水的大量补给使地下水位不断升高, 潜水蒸发强烈, 造成土壤次生盐渍化, 且有逐年加重的趋势。

2 表土积盐量遥感信息提取模型

土壤次生盐渍化是毛细水上升到地表在蒸发作用下盐分聚集于地表形成的, 它主要受土壤母质、地

* 国家重大基础研究前期研究专项(2003CCC01500)和世界银行贷款项目(Cr3093-CHA/Ln434+CHA)

作者简介: 牛宝茹(1965~), 男, 高级工程师, 主要从事遥感应用研究

收稿日期: 2004-06-07; 收到修改稿日期: 2004-11-30

下水埋深、地下水矿化度等因素的影响。

在同样气候条件下, 土壤蒸发极限深度受土壤质地影响很大, 不同的土壤质地其极限蒸发深度不同。根据渭干河潜水蒸发试验, 砾石的极限蒸发深度最小为 0.75 m, 粉砂土、亚砂土和粘土分别为 3.5 m、4.5 m、4.5 m。农一师在塔里木河上游垦区实际测得的粉砂土和亚砂土蒸发极限数值为 4.0~4.5 m^[5]。

在相同的土壤母质条件下, 地下水埋藏越浅、地下水矿化度越高, 土壤表层积盐速率越快。

塔里木河上游河流两侧以冲积粉细砂为主, 质地较均一, 因此利用遥感图像通过提取土壤水分进而转化为地下水埋深, 结合地下水矿化度建立土壤积盐模型, 可以提取土壤盐渍化程度。

2.1 土壤水分

土壤光谱主要受土壤母质、水分、植被等多种因素的影响, 在土壤母质等其余因素固定的条件下, 土壤光谱受土壤水分的制约比较明显。研究表明, 土壤水分与反射率呈指数相关^[5]:

$$R_i = ae^{bw_i(y)} \quad (1)$$

其中, R_i 为第 i 波段光谱反射率, $w_i(y)$ 为土壤在第 i 波段水分百分比, a 、 b 为待定系数。

对(1)式两边取自然对数得:

$$w_i(y) = c \ln R_i + d \quad (2)$$

式中 c 、 d 为待定系数, 可以利用已知数据通过回归分析获得。

土壤光谱的提取首先要去除植被的影响。植被盖度的大小用“光学植被盖度”来衡量, 光学植被盖度的定义为实有植被光学信息量占观测范围内全部光学信息量的百分比, 一个像元包括土壤和植被两种信息, 对于 TM 数据一个像元的植被盖度可由 2、3、4 波段的光谱亮度来估算^[6]:

$$C_{ov} = 0.00579B_4 - 0.00308B_2 - 0.002484B_3 - 0.08905 \quad (3)$$

式中, C_{ov} 为像元的光学植被盖度, B_2 、 B_3 、 B_4 分别为 TM 图像 2、3、4 波段的光谱亮度。

为排除植被对土壤水分的干扰, 使带有植被光谱信息的复合像元变成裸土光谱亮度, 利用对土壤水分反映敏感的 TM 数据 4 波段换算^[6]:

$$R_4 = \frac{0.6996B_2 + 0.5249B_3 - 0.2246B_4 + 18.83}{1.089 - 0.00579B_4 + 0.00308B_2 + 0.002482B_3} \quad (4)$$

将公式(4)代入公式(2):

$$w_4(y) = c \ln \frac{0.6996B_2 + 0.5249B_3 - 0.2246B_4 + 18.83}{1.089 - 0.00579B_4 + 0.00308B_2 + 0.002482B_3} + d \quad (5)$$

2.2 地下水埋深

塔里木盆地降水量极少, 蒸发量大, 土壤含水量受地下水埋深影响极大。当潜水位高时, 表层土壤可得到毛细管水的补给, 使其保持较高的土壤含水量; 随着潜水位的下降, 土壤含水量随毛细管水的补给减少而下降。因此, 土壤含水量是地下水埋藏深浅的直接反映。

当地下水溢出地表时, 遥感传感器记录的是水体的反射特征; 地下水埋深低于毛细水极限蒸发高度时, 地下水对表层土壤水分无任何影响。因此遥感土壤水分-地下水埋深模型研究的是地下水埋深高于毛细水极限蒸发高度而未溢出地表的情况。

设 y 为地下水埋深, 土壤水分与地下水埋深可以用下式来描述^[5]:

$$W^2(y) = A + By \quad (0 \leq y \leq H_m) \quad (6)$$

其中, H_m 为毛细水极限蒸发高度。土壤类型不同, 毛细水极限蒸发高度也不一样。常数 A 、 B 由下面的边界条件来定义: 当地下水埋深最小, 即 $y = 0$ 时, 土壤水分为最大值 W_{\max} , 有:

$$W_{\max}^2 = A \quad (7)$$

当地下水埋深为毛细水极限蒸发高度 H_m 时, $y = H_m$, 土壤水分为最小值 W_{\min} , 有:

$$W_{\min}^2 = A + BH_m \quad (8)$$

据此建立地下水埋深遥感提取模型:

$$y = \frac{W_{\max}^2 - W^2(y)}{W_{\max}^2 - W_{\min}^2} H_m \quad (9)$$

2.3 土壤积盐量

一些学者采用经验公式计算土壤潜水蒸发和积盐速率, 并得出表土积盐量与地下水埋深呈负指数关系, 而与蒸发量呈线性关系^[7,8]。

蒸发强度 (E_t) 采用阿维扬诺夫公式^[9]:

$$E_t = E_0 \left(1 - \frac{y}{H_m}\right)^n \quad (10)$$

式中, E_0 为可能蒸散, H_m 为毛细水极限蒸发高度, n 为土壤和植被经验常数。

地下水矿化度 (C) 与地下水埋深的关系采用新疆维吾尔自治区水利厅的经验公式:

$$C = 5.276e^{-0.651y} \quad (11)$$

利用以上两个公式, 建立表土积盐量(M) 遥感信息提取模型:

$$M = 5.276E_0(1 - \frac{y}{H_m})^2 e^{-0.651y} \quad (12)$$

2.4 参数确定和模型校验

随着土壤类型的不同, 常数 c 、 d 也有差别, 将 1997 年阿拉尔生态监测站监测数据代入公式 (2), 对研究区实测数据进行统计、回归分析, 得 $c = 0.2471$ 、 $d = -0.8748$ 。根据对塔里木盆地样点测试^[10], 依托 1997 年阿拉尔生态监测站监测资料(见表 1), 根据前文提到的农一师在塔里木河上游垦区

实际测得的粉砂土和亚砂土蒸发极限数值为 4.0~4.5 m, 最大土壤水分 W_{max} 取 0.35, 最小土壤水分 W_{min} 取 0.0328, 取 $H_m = 4.5$ m。代入公式 (9) 得:

$$y = 4.535 - 37.0115W^2(y) \quad (13)$$

利用公式 (12) 回归分析, 去除个别非正常数字, 统计得 $E_0 = 6.52$ 。

代入公式 (12) 得:

$$M = 1.6987(4.5 - y)^2 e^{-0.651y} \quad (14)$$

利用公式 (5)、(13)、(14) 结合提取表土积盐量, 提取结果见图 1、图 2。

表 1 阿拉尔生态监测站 1997 年监测资料统计

监测点号	时间	地下水矿化度($g L^{-1}$)	地下水埋深(m)	0~10 cm 表土积盐量($g kg^{-1}$)
M2	5月	2.31	2.05	4.56
	7月	2.03	1.76	5.21
N7	11月	2.01	2.15	3.21
	5月	4.90	0.92	2.54
M4	7月	5.76	1.38	5.08
	11月	3.02	1.05	2.52



图 1 表土积盐量提取图像

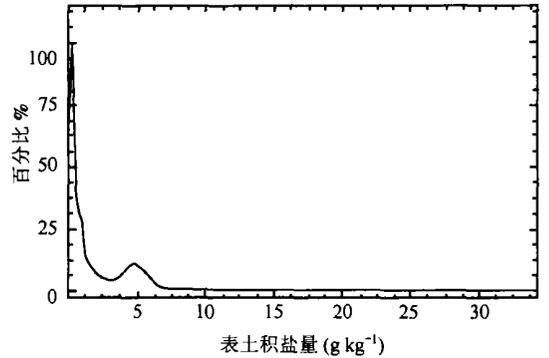


图 2 表土积盐量分布曲线

3 结果与分析

研究区地处塔里木河两侧, 潜水地下水埋深一般 1~5 m, 在毛细水极限蒸发高度范围以内, 满足上述模型建立的条件。本文采用美国 Landsat 2002

年 8 月 ETM+ 8 个波段数据, 经辐射校正和几何校正, 选取子区 1 605 × 1 061 像元, 利用上面建立的提取模型, 通过提取土壤水分反演地下水埋深, 进而求出表土积盐量(见图 1)。

将遥感信息提取结果与阿拉尔生态监测站实测资料进行对比(见表 2)。

表 2 遥感信息提取结果与监测资料对比

监测点号	0~10 cm 土层含盐量($g kg^{-1}$)	遥感提取含盐量($g kg^{-1}$)	误差($g kg^{-1}$)	误差(%)
M1	11.90	11.45	0.45	3.78
M2	5.10	5.39	0.29	5.69
M3	2.82	3.14	0.32	11.35
M4	4.97	4.68	0.29	5.84
M5	0.95	0.80	0.15	15.79

研究区表土积盐量最小为 0.0002 g kg^{-1} , 最大为 34.36 g kg^{-1} , 平均 1.91 g kg^{-1} 。从图2 表土积盐量分布曲线可以看出, 研究区大部分地区表土积盐量低于 1.2 g kg^{-1} , 在 5 g kg^{-1} 附近有一个小的分布小高峰, 与当地情况相符。与阿拉尔生态监测站实测资料对比分析表明(见表 2), 平均误差 8.49%, 其中 M5 点误差 15.79%, 相对较大, 这与该点距离农田较近, 受农业灌溉影响较大有关。

4 结 论

通过对塔里木河上游阿拉尔地区遥感信息提取表土积盐量表明, 利用土壤水分-地下水埋深-表土积盐量遥感信息提取模型对无人工干扰的荒漠地区有较好的效果, 尤其是塔里木盆地这样的荒漠地区, 人烟稀少, 生态监测站稀少, 遥感技术提取生态环境因子有着广阔的应用前景。

但在农田灌溉地区, 由于每年冬、春季农田进行大水漫灌压碱, 使表土积盐量随人为因素而变化较大, 本模型提取效果不理想。

本模型利用表层土壤水分反演地下水埋深进而推算表土含盐量, 适用于地下水埋深小于土壤毛细水极限蒸发高度地区, 对于地下水埋深较大

的地区, 以遥感图像光谱信息提取盐渍化程度效果较好。

参 考 文 献

- [1] 关元秀, 刘高焕. 区域土壤盐渍化遥感监测研究综述. 遥感技术与应用, 2001, 16(1): 40~ 43
- [2] 骆玉霞, 陈焕伟. GIS 支持下的 TM 图像土壤盐渍化分级. 遥感信息, 2001, (4): 12~ 18
- [3] 关欣, 李巧云, 张凤荣, 等. 南疆干旱土的成土条件与石膏的聚集. 土壤, 2003, 35(2): 148~ 151
- [4] 顾国安. 新疆盐渍化土壤的形成及其防治. 新疆地理, 1984, 7(4): 1~ 16
- [5] 宋郁东, 樊自立, 雷志栋, 等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 2000. 250~ 255
- [6] 刘培君, 张琳, 埃里西尔库尔班, 等. 卫星遥感估测土壤水分的一种方法. 遥感学报, 1997, 1(2): 135~ 138
- [7] 杨玉建, 杨劲松. 土壤水盐运动的时空模式化研究. 土壤, 2004, 36(3): 283~ 288
- [8] 刘广明, 杨劲松. 地下水作用下土壤积盐规律研究. 土壤学报, 2003, 40(1): 65~ 69
- [9] Komarov S A, Romanov A N, *et al.* Remote sensing of water table: Measurement and data processing algorithm. Mapping Science Remote Sensing, 1999, 36(1): 1~ 10
- [10] 塔西南拉提·特依拜, 阿布都瓦斯提·吾拉木, 等. 绿洲-荒漠交错带地下水位分布的遥感模型研究. 遥感学报, 2002, 6(4): 299~ 306