

基于 ETM + 数据的干旱区盐渍化土壤信息提取研究*

江红南 丁建丽 塔西甫拉提 特依拜[†] 赵睿 张飞

(新疆大学资源与环境科学学院, 省部共建新疆绿洲生态重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

摘要 准确而自动地提取盐渍化土壤信息对于土壤盐渍化监测和土壤盐渍化动态变化研究具有重要意义。选择新疆渭干河—库车河三角洲绿洲特有的干旱地区为研究区, 在对研究区土壤特征实地调查和典型土壤遥感信息分析基础上, 利用含有 7 个多光谱波段的 2001 年 8 月 1 日增强-加型专题绘图仪 (ETM+) 遥感图像提取了归一化植被指数 (NDVI)、第三主成分 (PC3), 分别作为非盐渍化土壤和盐渍化土壤信息提取的主要特征变量, 改进归一化差异水体指数 (MNDWI)、TMI、TM7 作为辅助特征变量。利用决策树分类方法建立信息提取模型, 对研究区遥感图像进行了分类。研究结果证明, 基于研究区遥感信息特征基础上的盐渍化土壤信息自动提取是可行并能达到较高信息识别精度的。

关键词 遥感; 干旱区; 土壤盐渍化; 决策树分类; 主成分分析
中图分类号 TP753; S127 **文献标识码** A

土壤盐渍化是一种动态现象和过程。遥感技术由于具有观测范围广、实时性强、可获得地物空间特征等特点适合用来研究土壤盐渍化现象。利用遥感手段提取盐渍化土壤信息已经取得了一定的成效^[1-3], 现阶段遥感提取盐渍化土壤信息主要基于其光谱响应特征。Ba0 对盐渍化土壤光谱特征进行了专门研究^[4], 与一般耕地相比, 盐渍化土壤在可见光和近红外波段光谱反射强; 土壤盐渍化程度越高, 反射光谱越强, 在红光和绿光波段, 地面植被覆盖影响盐渍化土壤的光谱响应, 此外, 太阳高度角、土壤含水量也会影响盐渍化土壤的光谱响应模式。Dwivedi 开展了盐渍化土壤监测最佳波段组合的试验研究^[5], 单纯从信息量来衡量, TM 数据 1、3 和 5 波段组合所含信息量最大, 但盐渍化土壤信息提取的精度并不与遥感数据信息量的大小成正比关系。

干旱区降水少, 土壤水分蒸发强烈, 生态环境比较脆弱, 土壤盐渍化现象发生普遍。盐渍化土壤多分布在气候干旱、半干旱的平原地区^[6,7], 严重影响生态环境和社会经济的发展。而干旱区土壤盐渍化遥感研究存在着较特殊的问题, 例如盐渍化土壤和砂质土壤的光谱相似性问题, 加强干旱区盐渍化土壤遥感信息提取研究对于干旱区的可持续发展有着

特殊的意义。土壤盐渍化是特定的气候因子、地学综合体因子和土地管理因子等综合作用的结果。不同因素形成的盐渍化土壤在遥感影像上有着不同的光谱响应。而对于极端干旱区盐渍化土壤信息自动提取的研究还不多见。本文研究了基于增强-加型专题绘图仪 (ETM+) 数据的干旱区盐渍化土壤信息的自动提取问题。

1 研究区概况

根据实地土壤采样区域确定研究区边界坐标纬度为 41°8' ~ 41°39' N、经度 82°58' ~ 83°57' E。此地区位于塔里木盆地的中北部, 渭干河—库车河流域的下游, 中部天山南麓, 塔克拉玛干沙漠北缘。地势北高南低, 平均海拔 920 ~ 1 100 m。属大陆性暖温带极端干旱气候, 多年平均蒸发量 2 124 mm, 多年平均降水量 52 mm, 蒸降比约 40 : 1。本区以盐岩、石膏为主体的盐类沉积规模大, 地下水位和矿化度偏高, 土层构成物颗粒细, 透水性差, 土壤普遍盐渍化, 除大多数砂质土壤、耕地、胡杨或柽柳分布密度较高地方外, 均有不同程度的土壤盐渍化现象发生。土壤主要为亚砂土和亚黏土。盐渍化土壤 pH 在 8 左右,

* 国家自然科学基金项目 (40261006)、新疆自治区高校科研计划项目 (XJ EDU2004106, XJ EDU2005107)、新疆自治区教育厅创新研究群体基金项目 (XJ EDU2004 CD4)、中国科学院西部之光项目 (CAS200313) 和新疆大学青年教师科研启动基金联合资助

[†] 通讯作者, E-mail: tash@xju.edu.cn

作者简介: 江红南 (1980 ~), 男, 山东郓城人, 硕士, 主要从事遥感应用研究。E-mail: jiang_hn@126.com

收稿日期: 2006 - 07 - 26; 收到修改稿日期: 2007 - 05 - 28

含盐主要成份为氯化物。

2 研究方法

2.1 研究资料

研究区农业生产完全依赖灌溉,7、8、9 月份是研究区对水文调节剧烈时期。为了系统研究人类活动对土壤盐渍化的影响^[8,9],有必要对这一时期的盐渍化土壤信息提取方法进行研究。因此选择图像数据为 2001 年 8 月 1 日成像的 Landsat-7 ETM+ 影像,含有 7 个多光谱波段和一个全色波段。经过了几何和辐射校正等技术处理,根据研究区坐标剪切出图像范围,保证了图像和研究区范围一致。此区域的土壤盐渍化面积较大且景观较复杂,含有一定

的与盐渍化土壤光谱相似的沙漠区域和绿洲向沙漠的过渡区域,具有一定的代表性。所选图像大小为 2 027(行) × 2 942(列) 个像元。另有研究区 1:10 万地形图及其矢量化数据、检验分类精度的 1:1 万的 2000 年土地利用图及其矢量化数据、绿洲地下水埋深数据库、土壤特征库、植被数据库、盐渍化土壤实验数据等。

2.2 专题信息提取方法

研究区盐渍化土壤主要表现为没有植被覆盖、表层土壤含盐量较高的盐渍化土壤(光板地)和柺柳、盐穗木、盐节木、芦苇等盐生植物覆盖密度小、表层土壤含盐量次之的盐渍化土壤以及盐生植物覆盖密度高、表层土壤含盐量更低的盐渍化土壤三种类型。部分样本土壤表层含盐量和其他指标统计如表 1。

表 1 野外实测样本统计

Table 1 Statistic of field samples

样点号 Number of sample	含盐量 ¹⁾ Salt content (g kg ⁻¹)	含水量 Water content (g kg ⁻¹)		地下水位 Groundwater table (m)	植被覆盖度 Vegetation coverage (%)
		0 ~ 10 cm	0 ~ 50 cm		
1	81.8	12	202	0.5	0
2	86.9	52	126	0.9	0
3	79.2	46	172	0.8	0.5
4	47.7	8	81	1.5	5
5	63.1	14	110	1.6	2
6	29.4	58	116	1.9	10
7	36.5	40	80	2.1	10
8	16.3	23	51	2.5	15
9	14.9	100	125	3.0	30
10	0.4	50	71	2.5	25

1) 含盐量为 0 ~ 10 cm 土层数据 Salt content in 0 ~ 10 cm soil layer

决策树分类法(Decision tree classification method)是以各像元的特征值设定的基准位,分层逐次比较的分类方法。比较中所选用的特征量及基准值是按照地面实际数据与目标物有关知识等做成的。合理选取特征量是运用决策树分类法进行专题信息提取的关键所在。在分析研究区主要地物光谱特征的基础上(表 2),选择了适合本研究区决策树盐渍化土壤信息提取的特征量。根据研究区盐渍化土壤实际状况以及研究需要,制定遥感图像信息提取方案如表 3 所示(本文表层土壤含盐量为 0 ~ 10 cm 土壤全盐量)。

2.3 决策树特征变量选取

2.3.1 归一化植被指数 (NDVI) 植物叶片组织

对红光(Red)有强烈的吸收,对近红外(NIR)有强烈反射。植被覆盖越高,红光反射越小,近红外反射越大。任何强化 Red 和 NIR 差别的数学变换都可以作为植被指数描述植被覆盖状况。植被指数之所以能有效提取植被是因为 TM4 与 TM3 两波段灰度值相比,只有植被在 TM4 上的反射值大于 TM3,而其他地物均相反。

植被指数按不同的计算方法又可分为多种。在植被处于中、低覆盖度时,归一化植被指数随覆盖度的增加而迅速增大,当达到一定覆盖度后增长缓慢,所以适用于植被早、中期生长阶段的动态监测。8 月份正是研究区植物生长中期。又根据土壤盐渍化程度和植被覆盖程度的统计看出(表 1),土壤盐渍

表 2 研究区典型地物光谱亮度值统计

Table 2 Statistic of brightness values of typical surface feature spectra in the study area

波段 Bands	重度盐渍化土壤 Severely salinized soil	中度盐渍化土壤 Moderately salinized soil	轻度盐渍化土壤 Slightly salinized soil	非盐渍化土壤 Non-salinized soil	水体 Water body	砂质土壤 Sandy soil
TM1	145	77	80	57	82	102
TM2	138	58	68	61	80	103
TM3	163	62	84	67	75	124
TM4	114	60	75	131	28	93
TM5	116	53	64	68	21	111
TM6	151	163	159	150	131	174
TM7	89	54	69	28	16	102
PC3	- 42	- 0.2	4.3	0.03	- 45	8.48
NDVI	- 0.162	- 0.149	- 0.085	0.4	- 0.45	- 0.176

表 3 研究区遥感图像分类方案

Table 3 Scheme for classification of RS images of the study area

类别 Class	含义 Signification
砂质土壤 Sandy soil	土壤砂质化、砾石化
水体 Water body	河流、水库、湖泊、水渠
非盐渍化土壤 Non-salinized soil	表层土壤含盐量 0~15 g kg ⁻¹
轻度盐渍化土壤 Slightly salinized soil	表层土壤含盐量 15~45 g kg ⁻¹ , 植被盖度约 15%
中度盐渍化土壤 Moderately salinized soil	表层土壤含盐量 45~75 g kg ⁻¹ , 植被盖度约 5%
重度盐渍化土壤 Severely salinized soil	表层土壤含盐量 >75 g kg ⁻¹ , 植被盖度约 0~1%

化程度越低, 植被的覆盖度越高, 因此可以根据植被覆盖状况划分土壤盐渍化程度^[10]。将样点表层土壤含盐量和与其对应的 NDVI 进行相关分析可发现, 当样点含盐量处于 10~67 g kg⁻¹ 时, 表层土壤含盐量和 NDVI 的相关性最大, 相关系数为 -0.857, 其相关性在 0.01 置信水平下显著。统计数据包含较多此区间以外的点时, 其相关性会降低。这是因为当土壤含盐量很高时, 植物生长受到强烈抑制, 植被覆盖极低, NDVI 受土壤信息影响大; 当土壤含盐量很低时, 植被覆盖很高, NDVI 处于缓慢增长期, 对植被覆盖度的变化不敏感。依据分类方案, 10~67 g kg⁻¹ 为非盐渍化土壤、轻度和中度盐渍化土壤所在区间, 所以可以对这一区间的表层土壤含盐量和 NDVI 进行回归分析, 找出区分土壤盐渍化程度的 NDVI 的阈值。对样点表层土壤含盐量和与其对应的 NDVI 进行回归分析得出, 不带常数项的三次多项式拟合程度最好, 决定系数 R^2 为 0.948, 且 F 检

验显著。拟合公式如下:

$$NDVI = 6.31 \times 10^{-7} X^3 - 7.91 \times 10^{-5} X^2 + 5.14 \times 10^{-4} X$$

式中 X 表示样点表层土壤含盐量。根据此式得到表层土壤含盐量为 15 g kg⁻¹ 和 45 g kg⁻¹ 时对应的 NDVI 值分别为 -0.008 和 -0.08。

2.3.2 改进归一化差异水体指数 (MNDWI) 和 TM7

为了能自动提取水体信息, McFeeters 提出了归一化差异水体指数 NDWI^[11], NDWI 只考虑了植被因素, 却忽略了另一个重要地类—土壤/建筑物, 后者在绿光和近红外波段的波谱特征与水体几乎一致。徐涵秋将 NDWI 指数作了改进, 提出了 MNDWI 指数 (Modified NDWI)^[12], 即改进归一化差异水体指数。其公式如下:

$$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR)$$

其中 Green、MIR 分别为绿光和中红外波段, 如 TM/ETM+ 的 2、5 波段。

利用 MNDWI 提取水体信息证明水体和重度盐渍化土壤有一定的混淆。从表 2 看出在 TM7 上水体的光谱亮度值最低, 而重度盐渍化土壤的亮度值远大于水体的, 因此本文采用 MNDWI 和 TM7 作为区分水体与其他地物的特征变量。

2.3.3 主成分分析 (K-L 变换)

K-L 变换的作用主要是降低数据量, 减小信息间相关性, 达到增强或提取有用信息的目的。变换后多光谱空间变成主分量空间, 这时亮度不再与地物光谱值直接关联^[13]。研究中先将空间分辨率较低的 TM6 波段重采样成 30 m, 然后将 ETM+ 数据的七个多光谱波段进行主成分变换。

对于主成分的物理含义已有研究^[14,15], 从遥感

图像各个波段的特征向量(表 4)可看出第三主分量 7 个特征向量中以 5、6、7 波段为较高正值,其他为负值,不同的地区各个主成分的特征向量会有一定

的变化,表现为各种地物的亮度值在每个主分量上发生一定变化,第三主分量一般意义上反映了红外波段的热辐射水准^[14]。

表 4 研究区 2001 年 ETM 图像主成分特征向量和特征值矩阵

Table 4 Principal component eigenvalue and eigenvector matrix of 2001 ETM image

主成分 Principal component	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	特征值 Eigenvalue	方差贡献率 Contribution of variance
PC1	0.27	0.34	0.50	0.12	0.47	0.17	0.54	1 490.46	81.04 %
PC2	- 0.06	- 0.03	- 0.20	0.87	0.23	- 0.37	- 0.04	223.05	12.13 %
PC3	- 0.32	- 0.37	- 0.52	- 0.08	0.43	0.40	0.39	88.59	4.82 %
PC4	0.32	0.15	- 0.13	0.36	- 0.16	0.78	- 0.32	19.23	1.05 %
PC5	- 0.68	- 0.22	0.56	0.24	- 0.22	0.26	0.01	11.02	0.60 %
PC6	0.01	0.19	- 0.24	0.15	- 0.67	- 0.01	0.66	5.19	0.28 %
PC7	- 0.51	0.80	- 0.22	- 0.09	0.14	0.02	- 0.15	1.68	0.08 %

第三主成分(PC3)中水体与重度盐渍化土壤的亮度值相近且较小,重度盐渍化土壤仅与少量的砂质土壤以及洪水冲刷的黏土分布区的亮度值混淆。虽然第三主成分方差贡献率只有 4.82%,但信息的重要性不能单独用数据量的大小来衡量,所以可选择 PC3 作为识别重度盐渍化土壤信息的一个特征变量。如前所述,MNDWI 可将水体剔除;而在 TM1 上重度盐渍化土壤和砂质土壤的亮度值相近且与其他土壤分离性好;同时在 TM7 上黏土和砂质土壤的亮度值最大,少数砂质土壤与重度盐渍化土壤混淆,但是在 PC3 上砂质土壤亮度值较大,所以对 PC3 和 TM1、TM7 设定一定的阈值可将重度盐渍化土壤信息提取出来。

至于本文用到的第三主成分对于裸露土壤的物理含义笔者给出以下解释。通过以上分析得出第三主成分反映的基本是 TM5、TM6、TM7 的热辐射水准。TM5、TM7 波段为水体的两个强吸收波段,对土壤湿度敏感,常用于探测土壤湿度。TM6 获得的是地物自身的热辐射信息。根据研究,含水量相同的不同类型土壤在热红外区的比辐射率差异不大^[16];张仁华等通过在禹城遥感实验场长期研究得出热传导系数对土壤温度起着控制作用,而土壤含水量又对热传导系数起着决定性作用,凌晨与午后的地温差干土较湿土大,土壤含水量是引起两块土地温度差别的主要因素^[17],因此根据地表发射辐射响应的差别,可以利用热红外波段辨别土壤表面湿度,并且效果较好,探测深度可达到 50 cm^[18]。因此,第三主成分对于裸露土壤反映的主要是一定深度空间的土壤湿度情况。

由于第六波段的特殊性和分辨率低于其他波段,一般的研究中很少将第六波段与其他波段联合使用,但实验发现,除去 TM6 的 PC3 只能较好地揭示重度盐渍化土壤,并且第三主成分中重度盐渍化土壤和水体的亮度值相差不大,不利于决策树方法的信息提取。对遥感数据有选择的除去 TM5、TM6、TM7 进行实验;其第三主成分均不能较好地揭示盐渍化土壤信息。

而 PC3 能反映盐渍化土壤信息是因为土壤盐渍化与地下水运动、地下水与土壤湿度、土壤湿度与土壤温度之间有紧密联系。研究区降水少,发生较强盐渍化的地方地表水补给很少,表层土壤湿度受地下水影响大,地下水位相对高的地方土壤湿度较大,同时土壤易发生盐渍化。根据实测,研究区重度盐渍化土壤的地下水位一般不超过 1.5 m,个别地方有地下水出露。研究区重度盐渍化土壤 0~10 cm 的土壤湿度与其他类型土壤相比基本没有差别,但其 0~50 cm 的土壤湿度明显大于其他类型土壤(表 1)。在 PC3 中和重度盐渍化土壤混淆的均为表层土壤湿度较大的地方。第三主成分能较好地揭示土壤盐渍化信息,是因为这个主成分综合了 TM5、TM6、TM7 对土壤湿度的信息。

2.4 盐渍化土壤信息提取规则

根据选择的特征变量,反复试验选择各变量的最佳亮度值,编制盐渍化土壤信息提取规则模型如图 1 所示。利用设定的规则对研究区 2001 年图像进行分类,得到分类结果如图 2。规则中“and”和“or”分别表示逻辑“与”和逻辑“或”运算。

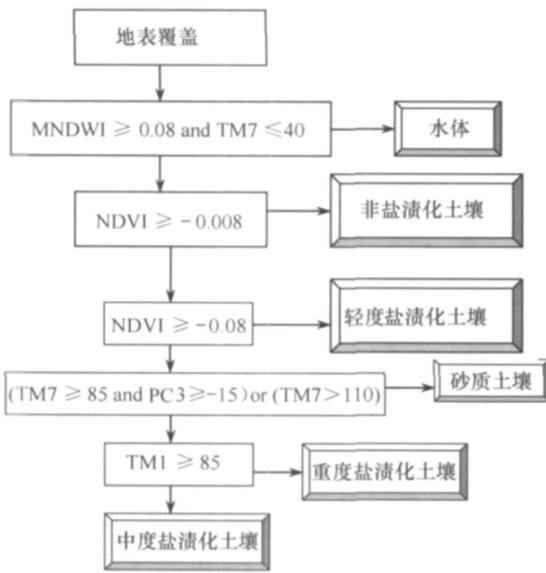


图 1 盐渍化土壤信息自动提取流程图

Fig. 1 The flow chart of automatic extraction of salinized soil information

2.5 盐渍化土壤识别精度评价

盐渍化土壤识别精度评价采用分层随机采样

法,按照分类标准将采样点数据划分到所在的类别,然后利用采样点的坐标将每一类样点输到遥感未分类的图像上作为检验参照点,结合样点和土地利用图进行目视判读,随机地增加各个类别的参照点到 50 个,共得到 300 个分类精度检验参照点,利用这 300 个参照点对分类图像进行检验。精度评价采用最常用的误差矩阵 (Error matrix) 方法,误差矩阵是一个 N 行 $\times N$ 列矩阵 (N 为分类数),用来简单比较参照点和分类点。矩阵的行代表分类点,列代表参照点,主对角线上的点为分类完全正确的点。从精度评价混淆矩阵 (表 5) 可看出,此种方法提取重度盐渍化土壤信息有 90% 被正确识别,根据采样点数据分析,表层土壤湿度很低的重度盐渍化土壤不能被正确识别;中度盐渍化土壤信息识别精度最好;轻度盐渍化土壤易被误判为非盐渍化或中度盐渍化土壤;砂质土壤易被误判为重度盐渍化土壤,砂质土壤误识别区域都在沙漠边缘,土壤湿度较大地区。而每类盐渍化土壤信息识别精度均达到了 90%,同时遥感图像总分类精度为 94.7%,Kappa 系数为 0.92,表明盐渍化土壤信息提取总体精度较好。

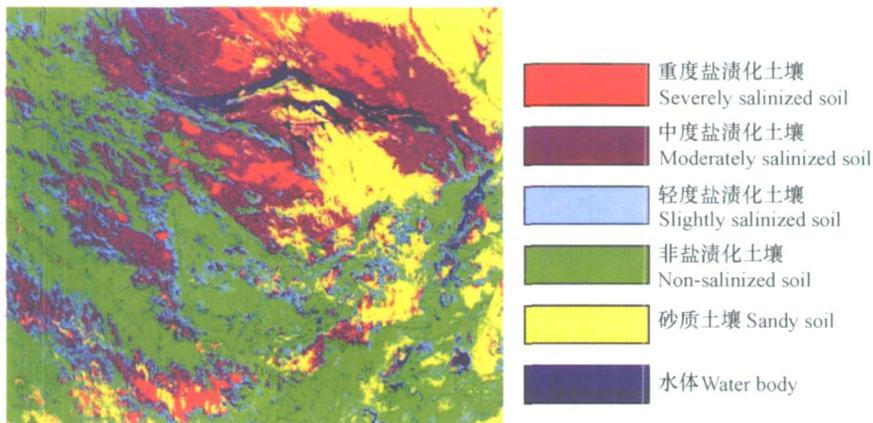


图 2 研究区 2001 年 8 月图像分类结果

Fig. 2 Classification of images of the study area in August 2001

表 5 研究区 2001 年 8 月遥感图像分类精度混淆矩阵

Table 5 Precision mixture matrix of classification accuracy of images of the study area

类别 Class	非盐渍化 土壤	重度盐渍化 土壤	中度盐渍化 土壤	水体	砂质土壤	轻度盐渍化 土壤
非盐渍化土壤	49	0	0	1	0	2
重度盐渍化土壤	0	45	0	0	4	0
中度盐渍化土壤	0	5	50	0	0	2
水体	0	0	0	49	0	0
砂质土壤	0	0	0	0	46	1
轻度盐渍化土壤	1	0	0	0	0	45

Non-salinized soil ; Severely salinized soil ; Moderately salinized soil ; Water body ; Sandy soil ; Slightly salinized soil

3 讨论和结论

1) 从盐渍化土壤信息提取结果可以看出,2001年8月份研究区重度盐渍化土壤多分布在绿洲外部,中、轻度盐渍化土壤在绿洲内外均有分布,且绿洲外部重度盐渍化土壤交错分布在中、轻度盐渍化土壤中。2001年8月研究区重、中、轻度盐渍化土壤数量分别占研究区总面积的4.6%、32.8%和15.3%。

2) 本文在分析研究区地物光谱和遥感信息物理意义的基础上,选用NDVI、MNDWI、PC3、TM1、TM7作为信息提取的特征变量,运用决策树信息提取方法自动地提取了干旱区盐渍化土壤信息,研究结果表明盐渍化土壤信息的自动提取是可行并能达到较高精度的,且此方法能够一定程度上解决干旱区盐渍化土壤和砂质土壤的光谱相似性问题。

3) 土壤盐渍化的发生是气候因素主导下的降水、蒸发、地下水、土壤母质等自然因子以及人为因子多种因素综合作用的结果;而遥感数据具有光谱、空间、时间特征,可以快速大面积监测土壤盐渍化情况,并可揭示地表土壤湿度、植被覆盖状况等多种信息。因此充分挖掘遥感信息表达的物理意义和土壤盐渍化发生时各土壤因子的关系,例如地形坡度、土壤湿度等,而不仅仅局限于遥感的光谱特征,对于利用遥感技术研究土壤盐渍化现象具有积极意义。文中将一般用于土壤水分监测的TM6以及地表植被监测的NDVI用于土壤盐渍化信息提取,正是基于此思想。

4) 文中所用方法主要是用于干旱区特别是具有一定盐生植被覆盖的盐渍化土壤信息的提取,由于土壤盐渍化的发生是气候、地下水、土壤母质等具有区域差异性的多种因素综合作用的结果,并且遥感技术获得的土壤的光谱特征受多方面因素的影响,因此,此方法能否用于其他地区盐渍化土壤信息的提取需根据实际做相应研究。

参考文献

- [1] 牛宝茹. 塔里木河上游表土积盐量遥感信息提取研究. 土壤学报, 2005, 42(4): 674~677. Niu B R. Extraction of remote sensing information of surface salt accumulation in the upper reaches of the Tarim River (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2005, 42(4): 674~677
- [2] Metternicht G I. Fuzzy classification of JERS-1 SAR data an evaluation of its performance for soil salinity mapping. Ecological Modelling, 1998, 111: 61~74
- [3] 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): 40~42. Guan Y X, Liu G H. A review of regional soil salinization monitoring by remote sensing (In Chinese). Remote Sensing Technology and Application, 2001, 16(1): 40~42
- [4] Rao B R M, Sankar T R, Dwivedi R S, et al. Spectral behavior of salt-affected soils. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(12): 2125~2136
- [5] Dwivedi R S. Monitoring and the study of the effects of image scale on delineation of salt-affected soils in the Indio-Gangetic Plains. Int. Journal of Remote Sensing, 1992, 13(8): 1527~1536
- [6] 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. 自然灾害学报, 2001, 10(1): 99~102. Lu C X, Yu Y J, Guan Y Z. Soil salinization in Gansu Province and its economic loss evaluation of eco-environmental damages (In Chinese). Journal of Natural Disasters, 2001, 10(1): 99~102
- [7] 姚荣江, 杨劲松, 刘广明. 东北地区盐碱土特征及其农业生物治理. 土壤, 2006, 38(3): 256~262. Yao R J, Yang J S, Liu G M. Characteristics and agrobiological management of saline-alkalized in northeast China (In Chinese). Soils, 2006, 38(3): 256~262
- [8] 杨建锋, 邓伟, 章光新. 田块尺度苏打盐渍土盐化和碱化空间变异特征. 土壤学报, 2006, 43(3): 500~505. Yang J F, Deng W, Zhang G X. Field scale spatial variability of soil salinity and alkalinity in a saline sodic soil (In Chinese). Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(3): 500~505
- [9] Pen-Muratov S, Rakhimbaev M, Steinberger Y. Pedosphere spatiotemporal effect on soil respiration in fine-scale patches in a desert ecosystem. Pedosphere, 2006, 16(1): 1~9
- [10] Toth T, Csiliag F, Buttner G. Satellite remote sensing of salinity alkalinity in the Great Hungarian Plain. Proceedings of International Symposium. Impacts of Salinization and Acidification on Terrestrial Eco-System and Its Rehabilitation. Fuchu, Tokyo, 1991
- [11] McFeeters S K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 1996, 17(7): 1425~1432
- [12] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究. 遥感学报, 2005, 9(5): 590~595. Xu H X. A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI) (In Chinese). Journal of Remote Sensing, 2005, 9(5): 590~595
- [13] 梅安新, 彭望球, 秦其明, 等. 遥感导论. 北京: 高等教育出版社, 2001. 155~156. Mei A X, Peng W L, Qin Q M, et al. Introduction to Remote Sensing (In Chinese). Beijing: Higher Education Press, 2001. 155~156
- [14] 戴昌达, 雷莉萍. TM图像的光谱信息特征与最佳波段组合. 遥感学报, 1989, 12(4): 282~292. Dai C D, Lei L P. The information characteristics of thematic mapper data and the optimal band combination (In Chinese). Journal of Remote Sensing, 1989, 12(4): 282~292
- [15] Johnson R D, Kasischke E S. Change vector analysis: A technique

- for the multispectral monitoring for land cover and recognition. *International Journal of Remote Sensing*, 1998, 19(3):411~426
- [16] 戴昌达, 姜小光, 唐伶俐. 遥感图像应用处理与分析. 北京: 清华大学出版社, 2004. 107~110. Dai C D, Jiang X G, Tang L. *Remote Sensing Images Application Processing and Analysis* (In Chinese). Beijing: Tsinghua University Press, 2004. 107~110
- [17] 张仁华著. 实验遥感模型及地面基础. 北京: 科学出版社, 1996. Zhang R H. *Test Remote Sensing Model and Ground Foundation* (In Chinese). Beijing: Science Press, 1996
- [18] 刘志明, 张柏, 晏明, 等. 土壤水分与干旱遥感研究的进展与趋势. *地球科学进展*, 2003, 18(4):576~583. Liu Z M, Zhang B, Yan M, *et al.* Some research advances and trends on soil moisture and drought monitoring by remote sensing (In Chinese). *Advances in Earth Sciences*, 2003, 18(4):576~583

EXTRACTION OF SALINIZED SOIL INFORMATION IN ARID AREA BASED ON ETM+ DATA

Jiang Hongnan Ding Jianli Tahiplot Tiyip[†] Zhao Rui Zhang Fei

(College of Resources and Environmental Science, Lab for Oasis Ecosystem of Xinjiang, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

Abstract The eco-environment of the arid region in West China is quite feeble. It is of great practical significance to accurately and automatically extract salinized soil information to the monitoring of soil salinization and the study on dynamic variation of soil salinization. Remote sensing (RS) technology demonstrates a number of advantages in studying soil salinization in arid area. But how to extract salinized soil information accurately from RS images is the basis of the study. An arid area typical of the Wigan-Kuqa River Delta Oasis in the north of the Tarim River Basin of Xinjiang, China, was selected as an example for the study. Seven-spectrum-band Enhanced Thematic Mapper-plus (ETM+) images dated August 1, 2001 were used against the data obtained from field investigation of the soil features of the area, and analysis of typical soil RS soil information, to extract NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and PC3 (third principal component), which were specified as major characteristic variables for information extraction of non-salinized soil and salinized soils, respectively. And MNDWI (Modified Normalised Difference Water Index), TMI and TM7 were cited as supplementary characteristic variables. An information extraction model, using the decision-tree classification method was established and applied to classification of RS images. Results show that the RS information characteristics-based automatic information extraction of salinized soils is feasible and capable of yielding information higher in identification accuracy.

Key words Remote sensing; Arid area; Soil salinization; Decision tree classification; Principal component analysis