

## 玛纳斯河流域农灌区土壤盐渍化遥感定量评价

史晓艳, 李维弟, 余露, 王海江\*, 宋江辉, 朱永琪

(石河子大学农学院农业资源与环境系, 新疆石河子 832000)

**摘要:**【目的】提高利用遥感影像解译盐渍化土壤的精度。【方法】以新疆玛纳斯河流域为研究区,利用 Landsat 8 OLI 遥感数据,采用主成分法分析了归一化盐分指数指标(*NDSI*)、地表反照率指标(*Albedo*)、亮度指标(*Bright*)、绿度指标(*Green*)、归一化植被指数指标(*NDVI*)、湿度指标(*Wet*)、蓝色波段指标(*B*)、红色波段指标(*R*)、中红外波段指标(*SWIR1*)和氧化铁指标( $I_{Fe_2O_3}$ )10个指标之间的关系,构建了不同盐渍化程度土壤的函数表达式,结合实测盐分数值与不同程度盐渍化土壤栅格图的拟合,确定了盐渍化程度的判别阈值,叠加制作了研究区盐渍化土壤类型划分图。【结果】基于遥感数据和土壤实测样点划分出的土壤盐渍化程度分布图,轻度盐渍化土壤判别准确率为68.97%,中度盐渍化为76.47%,重度盐渍化为83.83%,平均判别准确率达76.42%,轻度盐渍化土壤判别准确率相对较低,重度和中度盐渍化土壤的分布区域有较好的一致性。【结论】将遥感数据与实测土壤盐分数据相结合,能够提高盐渍化土壤的判别精度。

**关键词:**土壤; 盐渍化; 遥感; 主成分分析; 评价

中图分类号:S127

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.gggs.20180134

史晓艳,李维弟,余露,等. 玛纳斯河流域农灌区土壤盐渍化遥感定量评价[J]. 灌溉排水学报,2018,37(11):69-75,83.

### 0 引言

目前土壤盐渍化已成为全球性的环境问题,是由多种自然条件如特定的气候、水文地质、地形等共同作用的结果<sup>[1-3]</sup>,严重影响绿洲地区农业的稳定与可持续发展<sup>[4-5]</sup>。因此,对土壤盐渍化和次生盐渍化的防治已刻不容缓。新疆土壤盐渍化问题严重制约着当地农业经济的发展,随着滴灌技术在绿洲地区的普及,有效地节约了农田用水量,但长期农田滴灌产生的次生盐渍化现象日益严重<sup>[6-7]</sup>。因此,对大面积农田盐分信息的监测是防止土壤退化与科学管理农田的关键。

传统盐渍化监测手段不仅需要耗费大量人力、物力<sup>[8-9]</sup>,且难以快速准确地获取大面积土地盐分数据。而遥感技术因其具有宏观、综合、动态、快速的优点,在盐渍土监测方面应用广泛<sup>[9-10]</sup>。土壤盐渍化反演主要是通过与盐渍化相关的遥感指标进行的,常用的光谱指数有干旱指数、植被指数、盐分指数、亮度指数、湿度指数、水体指数、组成物指数、黏土指数等<sup>[11-12]</sup>。近年来,已有许多学者利用与土壤盐分密切相关的指标提取土壤盐分信息。诸如,基于归一化植被指数(*NDVI*)与盐分指数(*SI*)的分析,提出了*NDVI-SI*特征空间概念,*NDVI-SI*指数能较好地表征研究区实际的盐渍化程度<sup>[13]</sup>;提出了盐渍化距离指数(*SDI*),*SDI*对盐渍化信息提取精度高,且与地表覆盖度密切相关,但*SDI*与地表平均土壤盐分建立的模型没有完全排除土壤水分与植被指数的干扰<sup>[14]</sup>;盐分指数-反照率(*SI-Albedo*)特征空间下提取盐渍化信息效果较好<sup>[15]</sup>;使用土壤亮度指数、土壤湿度指数、土壤盐盖度指数和土壤辐射水平指数4个指标对新疆石河子农区土壤盐分进行了反演<sup>[16]</sup>。已有研究多集中在利用遥感技术对裸地地表盐分进行研究或利用实时植被变化反映盐分<sup>[17]</sup>,但通过遥感影像的处理对区域盐分进行反演<sup>[18]</sup>,其精度较差,很难得到准确的土壤盐分分布信息<sup>[19-20]</sup>。基于此,在对研究区实地采样获取土壤盐分数据的基础上,利用遥感影像选取与土壤盐渍化相关的10个指标对玛纳斯河流域盐

收稿日期:2018-03-06

基金项目:国际科技合作项目(2015DFA11660);国家自然科学基金项目(31360301);石河子大学大学生SRP项目(SRP2018003)

作者简介:史晓艳(1993-),女,硕士研究生,主要从事土壤盐渍化监测研究。E-mail: 553608562@qq.com

通信作者:王海江(1980-),男,河南偃师人。副教授,博士,主要从事绿洲水土资源利用研究。E-mail: whj-219@163.com

渍化程度进行分析,根据主成分分析得到该区域的盐渍化程度函数表达式,结合实测数值确定不同程度盐渍化土壤判别阈值,最终实现盐渍化土壤的准确估测,以期为盐渍化区域遥感监测与评价提供一定技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

玛纳斯河流域(84°43'—86°35'E,43°21'—45°20'N)位于新疆天山北麓准噶尔盆地南缘<sup>[21]</sup>,流域面积约 $3.1 \times 10^4$  km<sup>2</sup>,地势南高北低,属于典型的山盆系统结构<sup>[22]</sup>,全流域由塔西河、玛纳斯河、宁家河、金沟河、巴音沟河5条较大的河流构成<sup>[23]</sup>(图1)。该区地处亚欧内陆腹地,平均海拔300~500 m,属于干旱大陆性气候,冬季寒冷,夏季炎热干燥,年平均降水量为110~200 mm,且分布不均,年平均蒸发量为1 500~2 100 mm,蒸发量远大于降水量,年平均气温为4.7~5.7 °C。有3大地貌类型,分别为山地、山前平原和沙漠,土壤类型复杂,其主要影响因素为地貌、气候、水文条件、成土母质、植被等,空间分布不均匀<sup>[24]</sup>。自然条件下土壤中可溶性盐极易积累形成大面积盐土<sup>[24]</sup>,绿洲盐渍化土地主要分布在洪积冲积扇扇缘、冲积平原、干三角洲等部位,地下水位高、地下水量丰富的洪积冲积扇扇缘及冲积平原上部盐渍化严重<sup>[23]</sup>。



图1 玛纳斯河流域农灌区分布图

### 1.2 数据来源

8月土壤盐渍化情况与农作物的生长情况密切相关,兹采用2016年8月11日Landsat 8 OLI影像(来自国际数据服务平台的Landsat 8数据)进行研究,该影像包含9个多光谱波段,地面分辨率为30 m。用ERDAS软件对影像进行几何和辐射校正后,根据实际情况将影像图中的沙漠及雪山部分去除,仅研究影像图中的绿洲部分(玛纳斯河流域农灌区)。2016年8—9月对玛纳斯河流域进行了实地考察,在各农灌区进行小样本采样,采集了0~5 cm表层土样217个,均进行统一编号,GPS定位,景观描述,并拍摄相应的景观照片,以备后期必要时进行核对,室内测定其盐分。对于所采土样,其中160个采样点作为监测数据,其余57个为验证数据。

### 1.3 基于遥感的盐渍化程度评价指标

通过查阅文献[10, 13, 16],选取10个指标进行盐渍化程度的判别,即:

1)地表反照率(*Albedo*)。 *Albedo* 是一个反映地球表面对太阳光的反射能力的指标,大小由地表反射的辐射通量与太阳入射通量决定。

参照文献[25]建立的适用于不同大气和地面条件的反演公式计算 *Albedo*, 即  $Albedo = 0.356\rho_B + 0.130\rho_R + 0.373\rho_{NIR} + 0.085\rho_{SWIR1} + 0.072\rho_{SWIR2} - 0.0018$ , 其中  $\rho_B$ 、 $\rho_R$ 、 $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_{SWIR1}$ 、 $\rho_{SWIR2}$  为Landsat OLI遥感图像蓝色、红色、近红外、中红外、中红外波段的反射率。

2)归一化植被指数(*NDVI*)。 *NDVI* 是一个可以较好地表征土壤盐渍化的指标<sup>[26]</sup>,通过植被的覆盖度反映土壤中的盐分信息。一般来说,土壤盐碱化会抑制植被的生长,从而土壤呈现出裸露状态。因此,*NDVI* 表现为盐碱地小于非盐渍化土壤。研究<sup>[27]</sup>表明,在可见光和近红外波段,盐渍化土壤光谱反射率强于正常土壤。兹利用经过辐射定标和几何校正的Landsat红波段 $\rho_R$ 和近红外波段 $\rho_{NIR}$ 的反射率数据反演 *NDVI*, 计算

$$\text{式}^{[28]} \text{为 } NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R}。$$

3)K-T变换指标。 缨帽变换(K-T变换)是Kauth和Thomas在1976年分析农作物光谱变化特征过程中提出的一种特殊的主成分分析<sup>[29]</sup>,主要是通过对原始数据进行正交变换,得到的结果消除了冗余信息,更具有重要意义<sup>[30]</sup>。K-T变换和主成分分析不同的是其转换系数是固定的,每个图像经过变换后的结果具有可比性。 缨帽变换将原有6个波段的影像(除热红外波段外)转换为与地面景物关联密切的前3个分量,分别是亮度指数(*Bright*)、绿度指数(*Green*)和湿度指数(*Wet*)<sup>[30]</sup>。亮度分量是对6个波段的亮度值进行加权和运算得到的,实质是通过亮度变化来反映地物的反射率信息;绿度分量主要反映绿色植被的覆盖度;湿度指数

反映地表水的分布情况,即土壤与植被的湿度信息<sup>[30]</sup>。前人研究<sup>[31]</sup>表明,伴随着植被的生长,植被覆盖度增加,绿度指数信息不断被加强,而裸露的土壤逐渐减少,因此土壤信息逐渐减弱,地物反射率减小。植被在整个生育期内,其绿度指数不断变化。相关研究发现,K-T变换不但可以突出地物特征,还能用以精确判断盐渍化类型<sup>[32]</sup>;通过K-T变换,能更准确地分辨地面景物,突出土壤盐渍化信息<sup>[33]</sup>。

4)氧化铁指标( $I_{Fe_2O_3}$ )。盐渍化过程不仅会对植被、土壤水分、气候和地形等环境要素产生影响,还会造成土壤化学组成的变化。研究表明,随着土壤中氧化铁量的增加,土壤反射率会下降<sup>[34]</sup>。因而选择氧化铁指标作为盐渍化评价的一个指标,在遥感影像中,通常遥感中氧化铁指标利用计算式  $I_{Fe_2O_3} = \rho_R / \rho_{NIR}$  定量计算<sup>[35]</sup>,其中: $I_{Fe_2O_3}$  表示  $Fe_2O_3$  指标。

5)波段指标。研究<sup>[36]</sup>表明,蓝色(B)、红色(R)、中红外(SWIR1)光谱波段对于盐渍化信息有较好的响应,故选择该3个指标作为建模的指标。

6)归一化盐分指数(Normalized Differential Salinity Index, *NDSI*)指标。通过辐射和几何校正后的红波段和近红外波段的反射率数据得到*NDSI*,其计算式<sup>[28]</sup>为  $NDSI = \frac{\rho_R - \rho_{NIR}}{\rho_{NIR} + \rho_R}$ 。

#### 1.4 盐渍化程度的确定

据考察,研究区主要有3种盐渍化土壤类型,分别为表层含盐量高无植被覆盖的重度盐渍化土壤、表层土壤含盐量较高植被覆盖密度小的中度盐渍化土壤以及表层含盐量很低而植被丰度较大的轻度盐渍化土壤。

#### 1.5 土壤盐渍化分级标准

目前,盐渍化程度等级的划分还没有统一的标准,一般主要根据土壤含盐量、盐离子组成和土壤盐碱性等指标进行划分<sup>[37]</sup>。兹主要是基于研究区盐渍土特征,结合罗家雄提出的新疆土壤盐渍化程度等级划分标准<sup>[38]</sup>,得到适用于研究区的土壤盐渍化程度划分标准(表1)。

表1 土壤盐渍化程度划分标准

等级	非盐渍土	轻度盐渍土	中度盐渍土	重度盐渍土	盐土
全盐量/(g·kg <sup>-1</sup> )	<3	3~6	6~10	10~20	>20
植物生长状况	植物生长基本正常	植物受轻微抑制	植物受到一般抑制	植物生长困难	植物不能生长

#### 1.6 研究方法

主成分分析方法是一种常见的降维处理数据的方法,其合成的指标个数较少,并且能保证新合成的指标间无信息重叠。使用该方法能够减少主观因素的影响,客观的找到对观测数据影响较大的因素。

## 2 结果与分析

### 2.1 主成分的提取

提取160个采样点对应10个变量值( $X_1:NDSI; X_2:Albedo; X_3:Bright; X_4:Green; X_5:NDVI; X_6:Wet; X_7:B; X_8:R; X_9:SWIR1; X_{10}:I_{Fe_2O_3}$ ),按照表1将采样点划分为轻度、中度、重度盐渍化3种类别,并运用统计软件SPSS19.0对10个变量进行因子分析,相关关系矩阵、主成分载荷矩阵和主成分特征向量分别见表2和表3。

由表2可知,①轻度盐渍土中*NDSI*与*B*、*R*显著正相关,与*Green*极显著负相关,相关系数达到-0.971;*Albedo*与*Bright*有极显著正相关,与  $I_{Fe_2O_3}$  极显著负相关;*Bright*与*SWIR1*极显著正相关,与  $I_{Fe_2O_3}$  极显著负相关;*Green*与*NDVI*极显著正相关,其相关系数达到0.971,与*B*、*R*显著负相关;*NDVI*与*B*、*R*显著极负相关;*Wet*与*SWIR1*极显著负相关。②中度盐渍土中*NDSI*与*B*、*R*极显著正相关,与*Green*、*Wet*极显著负相关;*Bright*与  $I_{Fe_2O_3}$  极显著负相关;*Green*与*NDVI*、*Wet*极显著正相关;*NDVI*与*Wet*极显著正相关;*B*与*R*、*SWIR1*极显著正相关,*B*与  $I_{Fe_2O_3}$  显著负相关;*R*与*SWIR1*极显著正相关,其相关系数达到0.934;*SWIR1*与  $I_{Fe_2O_3}$  极显著负相关。③重度盐渍土中*NDSI*与*B*、*R*极显著正相关,与*Green*、*Wet*极显著负相关;*Albedo*与*Bright*、*B*、*R*、*SWIR1*极显著正相关;*SWIR1*与*R*、*B*极显著正相关;*R*与*B*极显著正相关,其相关系数达到0.986;*Bright*与  $I_{Fe_2O_3}$  极显著负相关;*Green*与*NDVI*、*Wet*极显著正相关;*NDVI*与*Wet*极显著正相关;*B*与*R*、*SWIR1*极显著正相关,与  $I_{Fe_2O_3}$  极显著负相关;*R*与*SWIR1*极显著正相关,其相关系数达到0.952,与  $I_{Fe_2O_3}$  极显著负相关。*SWIR1*与  $I_{Fe_2O_3}$  极显著负相关。

表2 相关关系矩阵

类别	变量	<i>NDSI</i>	<i>Albedo</i>	<i>Bright</i>	<i>Green</i>	<i>NDVI</i>	<i>Wet</i>	<i>B</i>	<i>R</i>	<i>SWIR1</i>	$I_{Fe_2O_3}$
轻度盐渍土	<i>NDSI</i>	1									
	<i>Albedo</i>	-0.283	1								
	<i>Bright</i>	-0.017	0.937**	1							
	<i>Green</i>	-0.971**	0.17	-0.127	1						
	<i>NDVI</i>	-0.439	0.283	0.017	0.971**	1					
	<i>Wet</i>	-0.379	-0.371	-0.659	0.541	0.379	1				
	<i>B</i>	0.808*	0.293	0.495	-0.859**	-0.808*	-0.509	1			
	<i>R</i>	0.766*	0.368	0.615	-0.85**	-0.766*	-0.698	0.959	1		
	<i>SWIR1</i>	0.093	0.751*	0.921**	-0.266	-0.093	-0.888**	0.465	0.645	1	
	$I_{Fe_2O_3}$	0.042	-0.949**	-0.906**	0.048	-0.042	0.32	-0.531	-0.546	-0.677	1
中度盐渍土	<i>NDSI</i>	1									
	<i>Albedo</i>	0.229	1								
	<i>Bright</i>	0.611	0.901**	1							
	<i>Green</i>	-0.992**	-0.199	-0.587	1						
	<i>NDVI</i>	-0.326	-0.229	-0.611	0.992**	1					
	<i>Wet</i>	-0.928**	-0.288	-0.669	0.932**	0.928**	1				
	<i>B</i>	0.883**	0.619	0.863**	-0.88**	-0.883**	-0.83*	1			
	<i>R</i>	0.937**	0.54	0.838*	-0.929**	-0.937**	-0.901**	0.977**	1		
	<i>SWIR1</i>	0.821*	0.651	0.911**	-0.81*	-0.821*	-0.911**	0.905**	0.934**	1	
	$I_{Fe_2O_3}$	-0.355	-0.983**	-0.929**	0.329	0.355	0.365	-0.729*	-0.644	-0.701*	1
重度盐渍土	<i>NDSI</i>	1									
	<i>Albedo</i>	0.565	1								
	<i>Bright</i>	0.699	0.979**	1							
	<i>Green</i>	-0.993**	-0.607	-0.738*	1						
	<i>NDVI</i>	-0.338	-0.565	-0.699	0.993**	1					
	<i>Wet</i>	-0.851**	-0.678	-0.809*	0.881**	0.851**	1				
	<i>B</i>	0.866**	0.886**	0.937**	-0.89**	-0.866**	-0.812*	1			
	<i>R</i>	0.89**	0.874**	0.944**	-0.915**	-0.89**	-0.878**	0.986**	1		
	<i>SWIR1</i>	0.777*	0.901**	0.968**	-0.816**	-0.777*	-0.928**	0.918**	0.952**	1	
	$I_{Fe_2O_3}$	-0.618	-0.993**	-0.976**	0.655	0.618	0.671	-0.922**	-0.899**	-0.892**	1

注 \*和\*\*分别表示在 $P<0.05$ 和 $P<0.01$ 水平下显著。

表3 主成分的载荷矩阵和特征向量

变量	载荷矩阵						特征向量					
	轻度盐渍化		中度盐渍化		重度盐渍化		轻度盐渍化		中度盐渍化		重度盐渍化	
	主成分1	主成分2										
<i>NDSI</i>	0.669	-0.735	0.907	-0.405	0.892	-0.439	0.282	-0.393	0.325	-0.288	0.304	-0.413
<i>Albedo</i>	0.485	0.851	0.606	0.795	0.870	0.491	0.204	0.455	0.217	0.565	0.297	0.461
<i>Bright</i>	0.725	0.687	0.884	0.458	0.946	0.321	0.305	0.368	0.317	0.326	0.323	0.302
<i>Green</i>	-0.773	0.629	-0.897	0.431	-0.917	0.392	-0.326	0.337	-0.322	0.306	-0.313	0.368
<i>NDVI</i>	-0.669	0.735	-0.907	0.405	-0.892	0.439	-0.282	0.393	-0.325	0.288	-0.304	0.413
<i>Wet</i>	-0.778	-0.134	-0.904	0.330	-0.903	0.193	-0.328	-0.071	-0.324	0.234	-0.308	0.182
<i>B</i>	0.920	-0.243	0.979	0.037	0.982	0.056	0.387	-0.130	0.351	0.026	0.335	0.053
<i>R</i>	0.983	-0.144	0.992	-0.076	0.997	0.008	0.414	-0.077	0.356	-0.054	0.340	0.008
<i>SWIR1</i>	0.762	0.534	0.965	0.082	0.965	0.141	0.321	0.285	0.346	0.058	0.329	0.133
$I_{Fe_2O_3}$	-0.622	-0.665	-0.696	-0.708	-0.891	-0.434	-0.262	-0.355	-0.250	-0.503	-0.304	-0.408

主成分的载荷矩阵如表3所示,其中主成分1、2累计贡献率都达到80%,因此选取2个主成分进行分析。从表3可以看出,①轻度盐渍化土壤第一主成分中*NDSI*、*Albedo*、*Bright*、*Green*、*NDVI*、*Wet*、*B*、*R*、*SWIR1*、 $I_{Fe_2O_3}$ 的载荷数分别为0.669、0.485、0.725、-0.773、-0.669、-0.778、0.920、0.983、0.762、-0.622,其中*B*、*R*在第一主成分上有较高载荷,说明轻度盐渍化土壤第一主成分与这2个指标相关性较强;轻度盐渍化土壤第二主成分中*NDSI*、*Albedo*、*Bright*、*Green*、*NDVI*、*Wet*、*B*、*R*、*SWIR1*、 $I_{Fe_2O_3}$ 的载荷数分别为-0.735、0.851、0.687、0.629、0.735、-0.134、-0.243、-0.144、0.534、-0.665,其中*Albedo*、*NDVI*在第二主成分上有较高载荷,说明轻度盐渍化土壤第二主成分与*Albedo*、*NDVI*有较强的相关性。②中度盐渍化土壤第一主成分中除*Albedo*和 $I_{Fe_2O_3}$ 外,另外8个指标载荷系数绝对值都较大;而第二主成分中*Albedo*载荷数较高,*B*、*R*、*SWIR1*载荷数分别为0.037、-0.076、0.082,表明这3个指标在第二主成分中的载荷较低。③重度盐渍化土壤第一主成分中10个指标载荷系数绝对值都较大;而第二主成分中*B*、*R*载荷系数接近0,说明重度盐渍化土壤只对第一主成分有载荷。

主成分的特征向量代表主成分反映指标信息的多少以及各指标与相应主成分的相关性大小<sup>[39]</sup>。由表3可知,①在轻度盐渍土的第一主成分中, $R$ 的特征向量值相对较高, $B$ 次之, $Green$ 、 $NDVI$ 、 $Wet$ 的特征向量是负值,说明 $B$ 、 $R$ 与轻度盐渍土的第一主成分呈正相关,且相关性较好,而 $Green$ 、 $NDVI$ 、 $Wet$ 与轻度盐渍土的第一主成分负相关;在第二主成分中,特征向量值呈现出 $Albedo$ 较高, $NDSI$ 最低为负,说明 $Albedo$ 与轻度盐渍土的第二主成分正相关,而 $NDSI$ 与其呈相关性较高的负相关。②在中度盐渍化的第一主成分中, $B$ 、 $R$ 、 $SWIR1$ 的特征向量较高,分别为0.351、0.356、0.346, $Green$ 、 $NDVI$ 、 $Wet$ 的特征向量为负且其绝对值较大,有负影响;在第二主成分中, $Albedo$ 的特征向量相对较高, $I_{Fe_2O_3}$ 的特征向量值较大且为负。③在重度盐渍化的第一主成分中, $R$ 特征向量值较高,为0.340,其次是 $B$ ,为0.335, $Green$ 、 $NDVI$ 、 $Wet$ 、 $I_{Fe_2O_3}$ 的特征向量值分别为-0.313、-0.304、-0.308、-0.304;在第二主成分中, $Albedo$ 的特征向量相对较高,其次是 $NDVI$ 指标, $NDSI$ 和 $I_{Fe_2O_3}$ 的特征向量值为负,且绝对值较大。

根据表2、表3可得主成分的函数表达式,结果见表4。

表4 主成分的函数表达式

类型	主成分原始变量的线性组合
轻度盐渍化	$Y_1=0.282X_1+0.204X_2+0.305X_3-0.326X_4-0.282X_5-0.328X_6+0.387X_7+0.414X_8+0.321X_9-0.262X_{10}$
	$Y_2=(-0.393)X_1+0.455X_2+0.368X_3+0.337X_4+0.393X_5-0.071X_6-0.130X_7-0.077X_8+0.285X_9-0.355X_{10}$
	$Y_{总}=0.6199Y_1+0.3801Y_2$
中度盐渍化	$Y_1=0.325X_1+0.217X_2+0.317X_3-0.322X_4-0.325X_5-0.324X_6+0.351X_7+0.356X_8+0.346X_9-0.250X_{10}$
	$Y_2=(-0.288)X_1+0.565X_2+0.326X_3+0.306X_4+0.288X_5+0.324X_6+0.026X_7-0.054X_8+0.058X_9-0.503X_{10}$
	$Y_{总}=0.7971Y_1+0.2029Y_2$
重度盐渍化	$Y_1=0.304X_1+0.297X_2+0.323X_3-0.313X_4-0.304X_5-0.308X_6+0.335X_7+0.340X_8+0.329X_9-0.304X_{10}$
	$Y_2=-0.413X_1+0.461X_2+0.302X_3+0.368X_4+0.413X_5+0.182X_6+0.053X_7+0.008X_8+0.133X_9-0.408X_{10}$
	$Y_{总}=0.8836Y_1+0.1164Y_2$

## 2.2 土壤盐渍化的划分

根据主成分分析结果,利用ERDAS和ArcMap软件将各变量运算成栅格数据,构建轻度、中度和重度盐渍化土壤主成分的函数表达栅格图,结合野外采集样点的土壤盐分数据,对应提取160个监测点的栅格属性值并构建拟合关系,而后依据实测划分出的盐渍化等级(表1),确定盐渍化程度的栅格判断阈值,最终通过判别建模和叠加分析制作了研究区盐渍化土壤类型划分图(图2)。从图2可以看出,玛纳斯河流域各个灌区都有不同程度的盐渍化土壤,石河子灌区、金沟河灌区和安集海灌区的南部基本上不存在盐渍化现象;重度盐渍化区域主要分布在玛纳斯河流域冲积洪积扇源的潜水溢出带,包括安集海灌区中部、金沟河灌区中部和北部,玛纳斯河流域的尾间湖西北部的136团也有部分区域分布着重度盐渍化土壤。中度盐渍化土壤的分布与重度盐渍化土壤有较好的一致性,大部分在重度盐渍化土壤的附近;由于农田长期灌溉等原因,莫索湾灌区靠近沙漠边缘区域盐渍化程度要高于中部地区。轻度盐渍化土壤主要分布在下野地灌区的中部,莫索湾灌区的西南部,122团、133团和132团的北部区域。

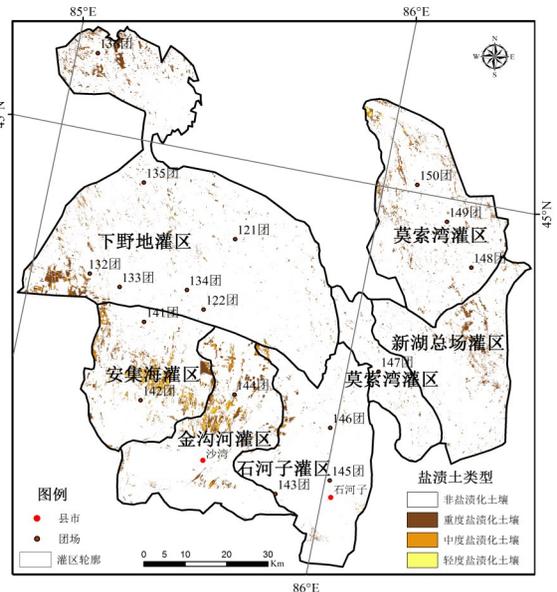


图2 研究区盐渍化土壤类型划分

## 2.3 土壤盐渍化划分的评价

将除建模外的57个采样点作为盐渍化程度判别准确度的样本,结果如表5所示。从表5可以看出,轻度盐渍化判别精度为68.97%,中度盐渍化为76.47%,重度盐渍化达83.83%。其中轻度盐渍化土壤中有6.21%判定为中度盐渍化土壤,3.45%判定为重度盐渍化土壤,21.37%判定为非盐渍化土壤,非盐渍化土壤所占比例较大,准确度相对较低。重度盐渍化土壤判别准确率最高,反映出土壤盐分高的区域与周边土壤光谱特征有较明显的差异,通过土壤反射光谱特征能够很好地进行区分。总体来看,利用10个盐渍化土壤评价指

标,借助主成分分析对土壤盐渍化程度和划分的平均精度为76.42%,表明所建立的主成分因子线性组合和盐渍化程度判断阈值,在盐渍化评价中取得了较好的效果。

表5 基于遥感影像的盐渍化程度判别准确度

盐渍化程度	样本个数	准确度/%			
		轻度盐渍化	中度盐渍化	重度盐渍化	非盐渍化
轻度盐渍化	29	68.97	6.21	3.45	21.37
中度盐渍化	17	11.76	76.47	5.88	5.89
重度盐渍化	11	0	16.17	83.83	0

### 3 讨论

玛纳斯河流域常年气候炎热,蒸发作用强烈,当地下水埋藏较浅时,土壤底层的盐分会随水上移到表层<sup>[41]</sup>,并随着地下水的上升蒸发,盐分在土壤表层积累。有学者利用 Landsat 影像对石河子农区土壤含盐量进行反演,构建了重度盐渍化“一带一区”的空间分布格局<sup>[16]</sup>,本研究的盐渍化程度分级中重度盐渍化区域主要位于潜水溢出带,该区域地下水位较浅,因此土壤表层盐分的积累现象比较明显,这与前人研究的分布区域<sup>[42]</sup>基本一致。

目前已有较多关于综合运用遥感指标进行土壤盐分反演的研究<sup>[14,16]</sup>。如利用土壤亮度指数、土壤湿度指数、土壤盐盖度指数和土壤辐射水平指数反演土壤盐分,估测精度达到66%<sup>[16]</sup>;采用主成分分析方法,由植被指数、盐分指数、土壤湿度和地表反照率构建了土壤盐渍化生态指数SSEI<sup>[40]</sup>。利用遥感影像对土壤盐渍化程度划分关键在于不同等级阈值的确定,遥感影像阈值分类法是利用不同波段对地物敏感性不同的特性,进而依据特征波段的分界值获取目标地物,最终完成遥感影像地物分类<sup>[43]</sup>。以往对土壤盐渍化等级划分中阈值的确定主要是依据某些特定指数,利用土壤含盐量与NDVI建立的回归拟合方程,根据盐渍化等级划分依据,其分类精度并不理想<sup>[44]</sup>;通过计算地物的均值和标准差分割阈值,根据均值、标准差与其他地物的区别可粗略分割某地物目标<sup>[45]</sup>;采用人机交互的方法对研究区不同地类进行划分,发现轻度盐渍土亮度较高,利用盐分指数SI可提取轻度盐渍土,归一化盐分指数NDSI可大致区分中度、重度盐渍土<sup>[46]</sup>。由于土壤光谱特征的复杂性和受植被覆盖影响,简单依靠光谱指数往往很难准确区分不同程度盐渍化土壤,本研究在实测获取不同程度盐渍化土壤分布的基础上,采用主成分分析方法分别构建了轻度、中度和重度盐渍化土壤的栅格表达,通过构建栅格属性与土壤含盐量的拟合关系,确定了轻度、中度和重度盐渍化土壤的分类阈值,经外部数据检验分类结果判读精度为76.42%,重度盐渍化土壤的判读精度高达83.83%,说明本方法建立的不同程度盐渍化土壤分类模型具有较高的估测精度。

### 4 结论

1)玛纳斯河流域各个农灌区都有不同程度的盐渍化土壤,重度盐渍化土壤主要集中在安集海灌区中部、金沟河灌区中部和北部以及玛纳斯河流域的尾间湖西北部的136团,中度盐渍化土壤大多在重度盐渍土附近,有较好的一致性。

2)利用未参与阈值确定的外部样本对分类结果进行检验,其中轻度盐渍化土壤判别准确率为68.97%,中度盐渍化为76.47%,重度盐渍化达83.83%,轻度盐渍化土壤判读为非盐渍化土壤的比例为21.37%,平均判读精度为76.42%。

#### 参考文献:

- [1] 杨奇勇,杨劲松.基于GIS的土壤盐分空间变异及盐分监测样点合理布设研究[J].灌溉排水学报,2011,30(2):10-14.
- [2] 朱庭芸.灌区土壤盐渍化防治[M].北京:农业出版社,1992:32-38.
- [3] SREENIVAS K, VENKATARATNAM L, RAO P V N. Dielectric Properties of Salt-Affected Soils[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(4): 641-649.
- [4] 苏里坦,阿不都·沙拉木,宋郁东.膜下滴灌水量对土壤水盐运移及再分布的影响[J].干旱区研究,2011,28(1):79-84.
- [5] 刘恒,钟华平,顾颖.西北干旱内陆河区水资源利用与绿洲演变规律研究以石羊河流域下游民勤盆地为例[J].水科学进展,2001(3):378-384.
- [6] 虎胆·吐马尔白,赵永成,马合木江·艾合买提,等.北疆常年膜下滴灌棉田土壤盐分积累特征研究[J].灌溉排水学报,2016,35(1):1-5.
- [7] 吴亚坤,刘广明,杨劲松,等.基于反距离权重插值的土壤盐分三维分布解析方法[J].农业工程学报,2013,29(3):100-106.

- [ 8 ] 宋江辉,朱永琪,陈建华,等. 基于电磁感应仪的土壤盐渍化剖面特征解译研究[J]. 土壤通报, 2017, 48(3): 552-559.
- [ 9 ] MEETERNICHT G I, ZINCK J A. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 85(1):1-20.
- [10] 罗冲,王玲,彭丽,等. 基于遥感指数和PLSR的玛纳斯河流域绿洲盐分的定量分析[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 2016, 34(6): 779-784.
- [11] 陈红艳,赵庚星,陈敬春,等. 基于改进植被指数的黄河口区盐渍土盐分遥感反演[J]. 农业工程学报, 2015, 31(5): 107-112.
- [12] WANG Fei, CHEN Xi, LUO Geping, et al. Detecting soil salinity with arid fraction integrated index and salinity index in feature space using Landsat TM imagery[J]. Journal of Arid Land, 2013, 5(3): 340-353.
- [13] 王飞,丁建丽,伍漫春. 基于NDVI-SI特征空间的土壤盐渍化遥感模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 168-173.
- [14] 丁建丽,姚远,王飞. 基于三维光谱特征空间的干旱区土壤盐渍化遥感定量研究[J]. 土壤学报, 2013, 50(5): 853-861.
- [15] 哈学萍,丁建丽,塔西甫拉提·特依拜,等. 基于SI-Albedo特征空间的干旱区盐渍化土壤信息提取研究:以克里雅河流域绿洲为例[J]. 土壤学报, 2009, 46(3): 381-390.
- [16] 陈实,高超,徐斌,等. 新疆石河子农区土壤含盐量定量反演及其空间格局分析[J]. 地理研究, 2014, 33(11): 2 135-2 144.
- [17] METTERNICHT G, ZINCK A. Remote Sensing of Soil Salinization: Impact on Land Management[J]. Composites, 2009, 18(3):264.
- [18] YOUSSEF A M, PRADHAN B, SABBAN A A, et al. Coupling of remote sensing data aided with field investigations for geological hazards assessment in Jazan area, Kingdom of Saudi Arabia[J]. Environmental Earth Sciences, 2012, 65(1):119-130.
- [19] 扶卿华,倪绍祥,王世新,等. 土壤盐分含量的遥感反演研究[J]. 农业工程学报, 2007, 23(1): 48-54.
- [20] 丁建丽,姚远,王飞. 干旱区土壤盐渍化特征空间建模[J]. 生态学报, 2014, 34(16): 4 620-4 631.
- [21] 辛明亮,吕廷波,何新林,等. 基于ROC曲线的玛纳斯河灌区土壤盐分空间分析[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(12): 45-50.
- [22] 王泽,颜于川,蒋平安,等. 不同因子对玛纳斯河流域农田土壤水分的影响[J]. 新疆农业科学, 2013, 50(10): 1 879-1 886.
- [23] 赖先齐. 绿洲盐渍化弃耕地生态重建研究[M]. 北京:中国农业出版社, 2007: 9-20.
- [24] 刘广明,吕真真,杨劲松,等. 典型绿洲区土壤盐分的空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 100-107.
- [25] LIANG S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I: Algorithms[J]. Remote Sensing of Environment, 2001, 76(2): 213-238.
- [26] 张俊华,贾科利. 基于水稻冠层NDVI的土壤盐碱化信息预测研究[J]. 水土保持通报, 2011, 31(6): 113-116.
- [27] RAO B, SHARMA R, SANKAR T. Spectral behavior of salt-affected soils[J]. International Journal of Remote Sensing, 1995, 16(12): 2 125-2 136.
- [28] KHAN N M, RASTOSKUEV V V, SATO Y, et al. Assessment of hydrosaline land degradation by using a simple approach of remote sensing indicators [J]. Agricultural Water Management, 2005, 77(1/3):96-109.
- [29] KAUTH R J, THOMAS G S. The tasselled cap-a graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by landsat[C]// LARS Symposia. Proceedings of the Symposium of Machine Processing of Remotely Sensed Data. Indiana: The Laboratory for Applications of Remote Sensing, 1976: 41-51.
- [30] 罗开盛,陶福禄. 融合面向对象与缨帽变换的湿地覆被类别遥感提取方法[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 198-203.
- [31] 杭睿翔. 广西沿海红树林信息遥感检测技术研究[D]. 桂林:广西师范大学, 2016.
- [32] 彭望球,李天杰. TM数据的Kauth-Thomas变换在盐渍土分析中的作用:以阳高盆地为例[J]. 环境遥感, 1989(3): 183-190.
- [33] 苏琦,杨凤海,王明亮,等. 基于K-T变换的NDVI提取方法研究[J]. 测绘与空间地理信息, 2010, 33(1): 150-152.
- [34] 何挺,王静,程焯,等. 土壤氧化铁光谱特征研究[J]. 地理与地理信息科学, 2006, 22(2): 30-34.
- [35] DIRMEER P A, SHUKLA J. Albedo as a Modulator of Climate Response to Tropical Deforestation[J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1994, 99(D10): 20 863-20 877.
- [36] WIVEDI R S, RAO B R M. The Selection of the Best Possible Landsat TM Band Combination for Delineating Salt-Affected Soils[J]. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13(11): 2 051-2 058.
- [37] 吐尔逊·艾山,吐热尼古丽·阿木提. 塔里木盆地北部典型绿洲土壤盐渍化类型[J]. 黑龙江农业科学, 2017(4): 24-30.
- [38] 罗家雄. 新疆垦区盐碱地改良[M]. 北京:水利电力出版社, 1985.
- [39] 何斌,王全九,吴迪,等. 基于主成分分析和层次分析法相结合的陕西省农业干旱风险评估[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 219-227.
- [40] 张雅莉. 艾比湖流域土壤盐渍化地区生态环境遥感监测研究[D]. 乌鲁木齐:新疆大学, 2017.
- [41] 李小林,张力娜. 基于灰色关联分析的直觉模糊多属性Web服务选择[J]. 河南师范大学学报(自然科学版), 2015, 43(6):152-157.
- [42] 李玮,王立,姜涛. 地下水浅埋区盐碱地滴灌条件下土壤盐分运移研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007(5): 130-135.
- [43] 杨诺尔. 遥感影像分类方法的研究[J]. 科技创新导报, 2014, 11(18): 29-30.
- [44] 张慧,李毅,邓宏伟,等. 基于遥感影像的新疆玛纳斯河流域土壤盐渍化分类[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(3): 153-158.
- [45] 马瀚青,杨小唤. 伊犁新垦区土壤盐碱化遥感信息的提取[J]. 资源科学, 2009, 31(12): 2 065-2 071.
- [46] 袁泽,丁建丽. 干旱区耕地土壤盐渍化信息提取研究[J]. 中国农村水利水电, 2015(11): 92-97.

(下转第83页)

## Calculating the Spatiotemporal Changes in Requirement of Winter Wheat for Irrigation in the People's Victory Canal Irrigation District

CHANG Di<sup>1,2</sup>, HUANG Zhongdong<sup>1,3</sup>, HAN Yang<sup>1,2</sup>, LIANG Zhijie<sup>1,3</sup>, QI Xuebin<sup>1,3\*</sup>

(1. Farmland Irrigation Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Xinxiang 453002, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;

3. Key Laboratory of High-efficient and Safe Utilization of Agriculture Water Resources of CAAS, Xinxiang 453002, China)

**Abstract:** **【Objective】** The purpose of this paper was to calculate the spatiotemporal changes in the requirement of winter wheat for irrigation in the people's Victory Canal Irrigation District of Henan Province, as well as its consequent impact on cultivation areas of the wheat and sensitivity to precipitation and evapotranspiration. **【Method】** We first used the object-oriented change detection method to extract the cultivation area of the wheat in the irrigation district, and then, based on a soil moisture dynamic stochastic model, calculated the requirement of the wheat for irrigation. In the meantime, the main factors that affected the irrigation water requirement were also analyzed. **【Result】** The requirement of the wheat for irrigation in the district changed with time, with the average annual requirement for irrigation varying from 175 to 238 mm. In contrast, the spatial distribution of the demand for irrigation was stable, with the requirement in central region lower than that in the west and the east regions. The requirement of the wheat for irrigation was most sensitive to potential evapotranspiration, followed by daily precipitation frequency, cultivation areas and average daily precipitation. **【Conclusion】** The spatial and temporal variation of irrigation water requirement of winter wheat is relatively large, which is mainly affected by crop water requirement.

**Key words:** People's Victory Canal Irrigation; winter wheat; irrigation requirement; object-oriented classification; spatiotemporal distribution.

责任编辑:赵宇龙

---

(上接第75页)

## Using Remote Sensing to Evaluate Soil Salinization Distribution Over the Irrigation Areas in the Manas River Basin

SHI Xiaoyan, LI Weidi, YU Lu, WANG Haijiang\*, SONG Jianghui, ZHU Yongqi

(Department of Resources and Environmental Sciences, College of Agronomy, Shihezi University, Shihezi 832000, China)

**Abstract:** **【Objective】** Remote sensing has been increasingly used in agronomic management and in this paper, we studied the feasibility of using it to estimate saline soil distribution in an irrigation area. **【Method】** We took Manas River basin in Xinjiang as an example. Landsat 8 OLI remote sensing data was used to analyze the relationship between *NDSI* (Normalized Difference Soil Index), Surface Albedo Index (*Albedo*), *Bright*, *Green*, Normalized Difference Vegetation Index (*NDVI*), Wet, Blue Band (*B*), Red Band (*R*), Middle Infrared Band (*SWIR1*) and Indexes of Ferric Oxide ( $I_{Fe_2O_3}$ ), based on the principal analysis method. The results were then used to construct functional relationship between these indices for soils with different salinization degree. The threshold of soil salinity was determined comparing real salinity measurements and the raster map for soils with different salinization degree, from which the maps of salinized soil were created. **【Result】** Comparing the measured data from soil samples and those calculated from the RS data revealed that the accuracy of the estimated soil salinity was approximately 76.42%, of which the accuracy for slightly salinized soil was 68.97%, moderate salinized soil was 76.47%, and severe salinized soil was 83.83%. **【Conclusion】** Combining RS data with measured soil salt content can improve the estimation of salinized soil in large river basins.

**Key words:** soil; salinization; remote sense; principle analysis; evaluate

责任编辑:刘春成