

# 基于 GIS 和 RS 的玛纳斯河流域土壤盐渍化敏感性动态评价<sup>①</sup>

张添佑, 王 玲\*, 韩 燕, 张 梅

(石河子大学理学院, 新疆石河子 832003)

**摘 要:** 土壤盐渍化是威胁干旱区土壤安全的重要敏感机制之一。本研究以土壤盐渍化形成机制的基础数据集为基础, 运用 RS 和 GIS 技术对 1989 年、2000 年和 2015 年的土壤盐渍化敏感性进行评价及动态分析。结果表明: 土壤盐渍化高敏感性主要分布在荒漠区和冲积洪积扇扇缘的泉水溢出带, 极敏感性分布于玛纳斯湖周围和灌区的部分区域; 1989—2000 年中度敏感转化为高度、轻度敏感的面积分别为 3 342.10、1 910.27 km<sup>2</sup>, 高度敏感转化为中度、极敏感性的面积分别为 1 076.64、1 098.33 km<sup>2</sup>。2000—2015 年中度敏感向轻度敏感转化了 1 410.68 km<sup>2</sup>, 高敏感向中度敏感转化了 2 713.74 km<sup>2</sup>; 玛纳斯河流域冲积洪积扇扇缘区域和水库周围土壤盐渍化敏感性较高, 应加强水资源管理和盐渍化治理; 1989 - 2015 年中度敏感性和高度敏感性相互转化较为剧烈, 中度敏感的变化呈“V”形, 减少大于增加; 高度敏感变化呈倒“V”形, 减少大于增加, 极敏感的面积加了 1.9%。土壤盐渍化生态有所改善, 冲积洪积扇扇缘盐渍化改善明显。本研究对区域土壤资源安全保护和持续高效利用有重要意义。

**关键词:** GIS; RS; 土壤盐渍化; 敏感性; 玛纳斯河流域

**中图分类号:** S156.4; X171.4 **文献标识码:** A

目前, 土壤侵蚀的速率在很多区域大大超过了生产速率, 土壤资源将面临巨大的挑战<sup>[1]</sup>。土壤资源安全和合理利用是构建陆地生态系统结构的关键要素, 是推动区域社会经济可持续发展的重要保障<sup>[2]</sup>。随着全球气候变暖和人类活动的不断加剧, 使得土壤盐渍化已成为多国关注的热点生态环境问题<sup>[3]</sup>。气候干旱, 蒸发强度大, 地下水位高且含有较多可溶性盐是土壤盐渍化形成的必要条件<sup>[4]</sup>。在自然环境和人类活动共同影响下, 玛纳斯河流域(以下简称玛河流域)成为受盐渍化影响严重的区域。

生态敏感性是区域生态环境对自然变化和人类活动干扰程度的反映, 对区域生态环境问题发生的难易程度和可能性大小具有指示作用<sup>[5]</sup>。近年来, 国内外学者在生态环境敏感性评价的研究主要侧重区域突出的生态敏感性与基于特定生态过程的敏感性问题两个方面<sup>[6-9]</sup>。土壤盐渍化作为玛河流域生态和环境稳定发展的敏感性问题, 我国研究人员针对该区域盐渍化问题做了大量的相关研究。吕真真等<sup>[10]</sup>对玛河流域土壤盐分特征进行研究, 结果显示剖面土壤盐分呈现底聚分布特征; 李玉义等<sup>[11]</sup>分析了玛河流域不

同地貌类型土壤积盐状况; 杨学涛等<sup>[12]</sup>对玛河流域不同地貌单元弃耕地的土壤盐分差异进行研究, 认为冲积洪积扇扇缘受土壤盐分影响较大; 颜安等<sup>[13]</sup>对玛河流域表层土壤盐分空间变异特征进行研究, 得出土壤盐分主要分布在灌区中部以及北部大部分区域。但在针对玛河流域已有的研究中, 缺乏对土壤盐渍化敏感性的综合评价和动态监测。因此, 为了对区域土壤盐渍化敏感性进行综合评价, 本研究选取土地利用类型、海拔高度、植被、土壤类型 4 个因子对玛河流域土壤盐渍化敏感性进行综合评价及动态变化分析, 以为区域土壤盐渍化近 25 年来治理现状及变化进行综合评估。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

玛河流域地理位置为 43°27' ~ 45°21' N, 85°01' ~ 86°32' E(图 1), 位于亚欧大陆腹地, 天山北麓中段, 准葛尔盆地南缘, 发源于天山北麓中段的冰雪区, 自上游到下游依次冲积形成冲积洪积扇-泉水溢出带-冲积平原-三角洲-湖滨平原, 最后汇流到玛纳斯湖

基金项目: 国家自然科学基金项目(41361073)资助。

\* 通讯作者 (rain\_ling@163.com)

作者简介: 张添佑(1991—), 男, 甘肃靖远人, 硕士研究生, 主要从事定量遥感方面的研究。E-mail: t\_youzhang@163.com

(现已干涸)<sup>[14]</sup>。玛河流域气候属于温带干旱大陆性气候,年平均气温在 $5\sim 7^{\circ}\text{C}$ ,年降水量 $110\sim 200\text{ mm}$ ,年潜在蒸发量 $1\,500\sim 2\,000\text{ mm}$ ,具有气候干燥、蒸发量大、昼夜温差大等显著的大陆性气候特征<sup>[15]</sup>。土壤类型主要有潮土、灰漠土、盐碱土等44种土壤类型<sup>[16]</sup>;灌水主要为冰川融水、降雨形成的地表水以及地下水,在20世纪80年代以前主要以开发利用地表水为主,在这之后地下水资源逐渐被开采利用。随着水利设施的不断完善,经济利益的驱动,耕地不

断向北扩张,2013年灌区耕地面积达到 $6\,532\text{ km}^2$ ;自1996年开始应用滴灌技术以来,灌溉方式从传统的漫灌、沟灌逐渐被更新为滴灌<sup>[17]</sup>。

玛河流域自20世纪50年代开荒以来,屯垦戍边在农业生产方面取得了巨大的成就。由于初期对水资源利用认识的不足,大水漫灌和泡荒洗盐使得地下水位迅速上升,导致土壤严重积盐,生态受到严重威胁。从20世纪八九十年代以来,随着排水系统的健全,在盐渍化土壤治理方面卓有成效。

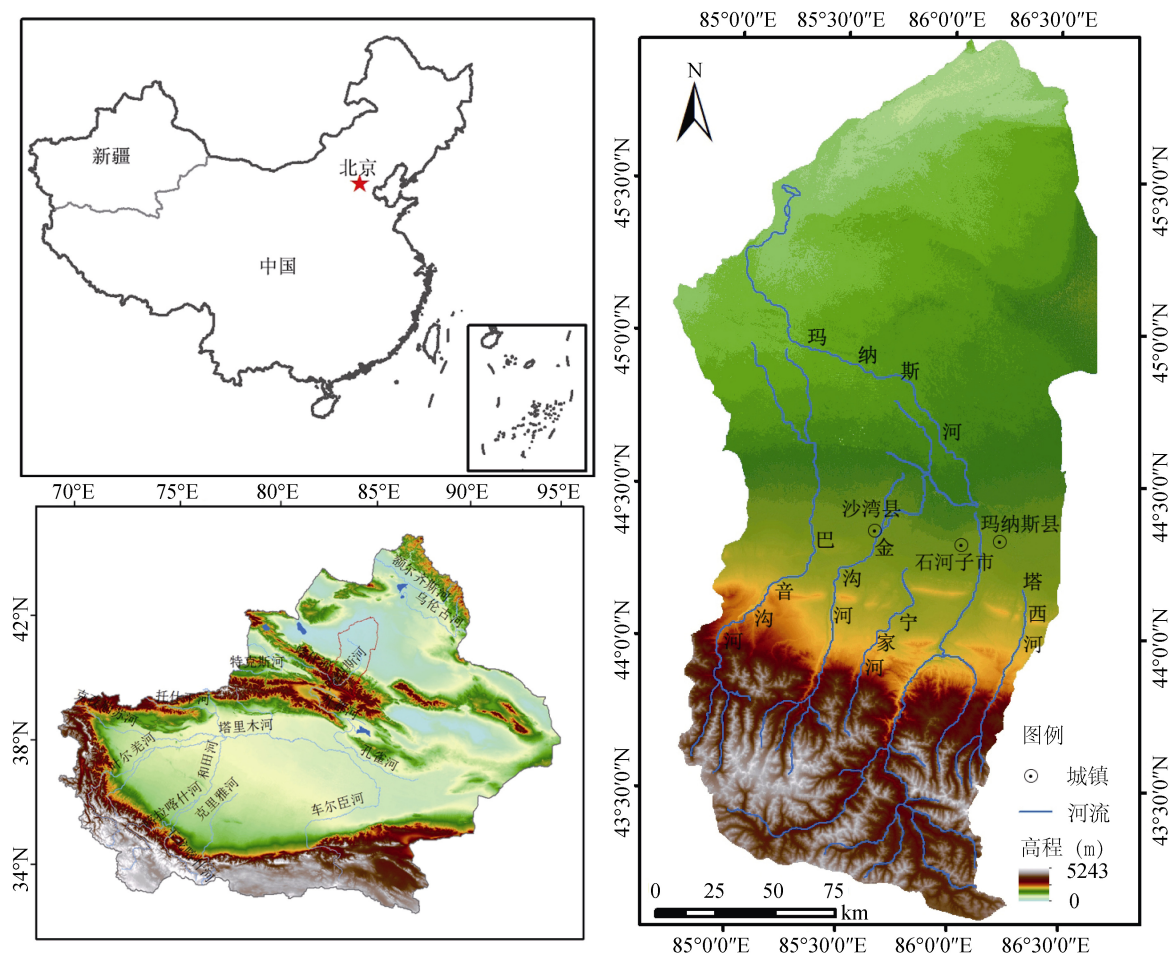


图1 研究区示意图

Fig. 1 Location of studied area

## 1.2 数据准备及处理

**1.2.1 数据准备** 研究所用数据包括: 1989-08-09、2000-08-07、2015-09-10 成像的 Landsat 系列 TM、OLI 影像,行列号为 144/28、144/29、144/30,分辨率为 $30\text{ m}$ ; 玛河流域数字高程模型 DEM 数据,其分辨率为 $30\text{ m}$ ,遥感数据来源于美国地质调查局网站(<http://glovis.usgs.gov/>)和地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>); 玛河流域 $1:10$ 万的土壤类型图; 1989年、2000年、2015年玛河流域 $1:10$ 万

的土地利用类型图。

**1.2.2 土壤盐渍化敏感性指标获取** 玛河流域土壤盐渍化受人类活动和自然环境的双重影响。土地利用变化是指示人类活动剧烈程度的有效因子,海拔高程、土壤类型受控于自然环境,植被覆盖对区域环境变化具有有效的反馈作用。因此,本研究主要选取土地利用类型、土壤类型、海拔高程、植被覆盖作为土壤盐渍化敏感性评价及其动态演变分析的指标(表1)。

表 1 土壤盐渍化敏感性评价因子及分级  
Table 1 Evaluation indices and their classification of soil salinization sensitivity

评价因子	土地利用类型 <sup>[7]</sup>	DEM(m) <sup>[11-12]</sup>	植被指数 <sup>[18-19]</sup>	土壤类型 <sup>[16]</sup>
不敏感	耕地	424	0.8	黑钙土、高山寒漠土、灰褐土、栗钙土、棕钙土、新积土、风沙土
轻度敏感	草地、林地	315 ~ 368	0.6 ~ 0.8	草甸土、灌耕土
中度敏感	水库/坑塘、河流、水田等	286 ~ 315	0.4 ~ 0.6	沼泽土、灰漠土
高度敏感	居住地、工业用地、交通用地	286	0.2 ~ 0.4	灌淤土、潮土
极敏感	未利用地	368 ~ 424	0 ~ 0.2	碱土、盐土

1) 土地利用类型指标。土地利用类型是土壤盐渍化敏感性的重要指标。刘庆生等<sup>[20]</sup>认为土地类型对土壤盐渍化具有重要的指示作用,王宏等<sup>[7]</sup>报道艾比湖区域土地利用类型与土壤盐渍化敏感性之间存在定量关

系。因此,本研究基于遥感影像数据,以 eCognition 软件为平台对影像进行自动分类解译和结合人工检查的方法以得到研究区土地利用分布图<sup>[21]</sup>,并通过等级划分得到土地利用的土壤盐渍化敏感性等级分布图(图 2)。

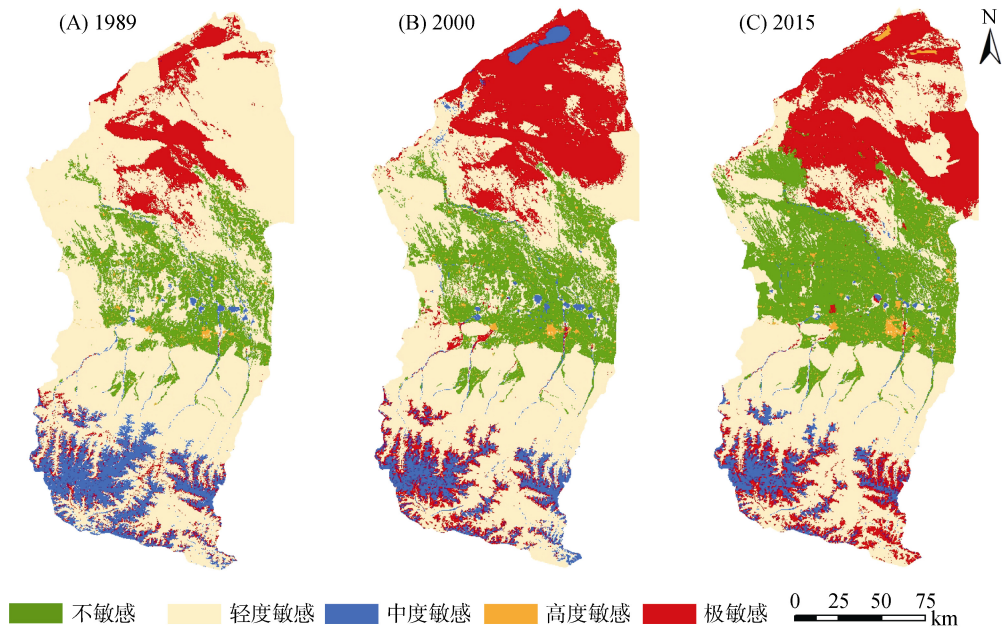


图 2 1989 年、2000 年、2015 年玛河流域土地利用对土壤盐渍化敏感性的等级划分  
Fig. 2 Classification of land use to soil salinization sensitivity in Manasi River Basin in 1989, 2000 and 2015

2) 土壤类型指标。Bouksila 等<sup>[4]</sup>认为土壤母质与土壤含盐量有显著的相关性。本研究通过对玛河流域土壤调查绘制的 1 10 万土壤图的矢量化,获取土壤类型数据;并采用 1998 年绘制的《新疆 1 50 万土壤图》的分类系统<sup>[16]</sup>,参考刘庆生等<sup>[20]</sup>的研究结果,合并划分得到土壤盐渍化不同敏感性等级的土壤类型(图 3)。

3) 植被覆盖指标。已有的研究表明,植被是表征土壤含盐量的有效指标<sup>[22]</sup>。因此,植被指数被选为土壤盐渍化生态敏感性评价的重要指标之一。在植被指数中,归一化植被指数(NDVI)在生态评价中应用最为广泛。本文基于研究区 Landsat 遥感影像数据,以 ENVI5.1 为遥感图像处理平台,计算获取玛河流域 NDVI(图 3),计算公式如下:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad (1)$$

式中:NDVI 为归一化植被指数, $\rho_{NIR}$  为近红外波段, $\rho_R$  为红光波段。

4) 高程指标:玛河流域地形有明显的分异规律,从南向北依次是山地、山前冲洪积扇、扇缘泉水溢出带、冲积平原和三角洲。在已有的研究中,把海拔高程指标按照地貌单元分为 5 个区间,即冲洪积扇中部及以上 MAF( 424 m),冲洪积扇扇缘带 EAF(368 ~ 424 m),冲积平原中部 MAP(315 ~ 368 m),冲积平原下部 BAP(286 ~ 315 m),三角洲区 DEL(0 ~ 286 m),在不同的区间,盐渍化积盐状况不同。

1.2.3 土壤盐渍化敏感性综合性评价 根据玛河流域土壤盐渍化形成及影响因素,如地形、土地利用类型及植被指标对土壤盐渍化形成影响,确定土壤盐渍化敏感性各影响指标的权重,其中,土地利用类型为 0.4,土壤类型为 0.3,海拔高程为 0.2,植被指标



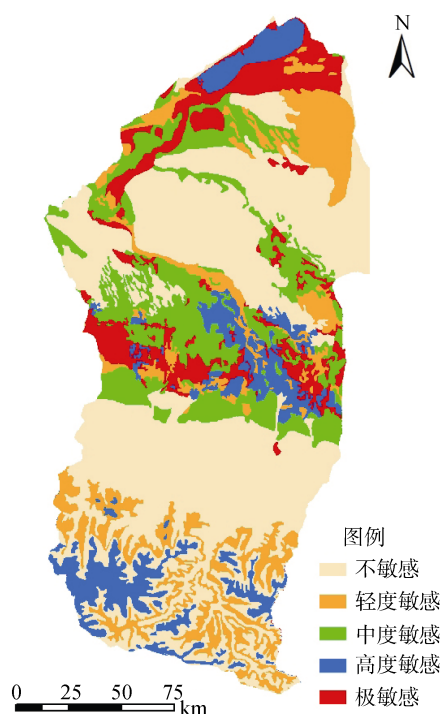


图 3 玛河流域土壤类型对土壤盐渍化敏感性的等级划分  
Fig. 3 Classification of soil types to soil salinization sensitivity in Manasi River Basin

为 0.1。利用 ArcGIS 空间分析模块, 多因子加权求和, 表达式为:

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \cdot A_i \quad (2)$$

式中:  $S$  表示土壤盐渍化敏感性综合评价结果;  $W_i$  表示第  $i$  指标评价因子的权重,  $A_i$  表示第  $i$  个因子的等级值,  $n$  表示评价因子的个数(本研究  $n=4$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 玛河流域土壤盐渍化敏感性时空分布

基于遥感和土壤资料, 依据玛河流域土壤盐渍化敏感性分级方法, 将运算结果采用等间距分为 5 级(不敏感, 轻度敏感, 中度敏感, 高度敏感, 极敏感), 得到 1989 年、2010 年、2015 年土壤盐渍化敏感性分级分布图(图 5), 并对分级结果进行统计分析(表 2)。从图 5 中可以得出, 土壤盐渍化轻度敏感分布于冲积洪积扇以上, 中度敏感分布于玛河流域中游, 高度敏感分布于冲积洪积扇扇缘的泉水溢出带和下游的荒漠区域, 极敏感分布于中游扇缘的部分区域和玛纳斯湖周围的区域。

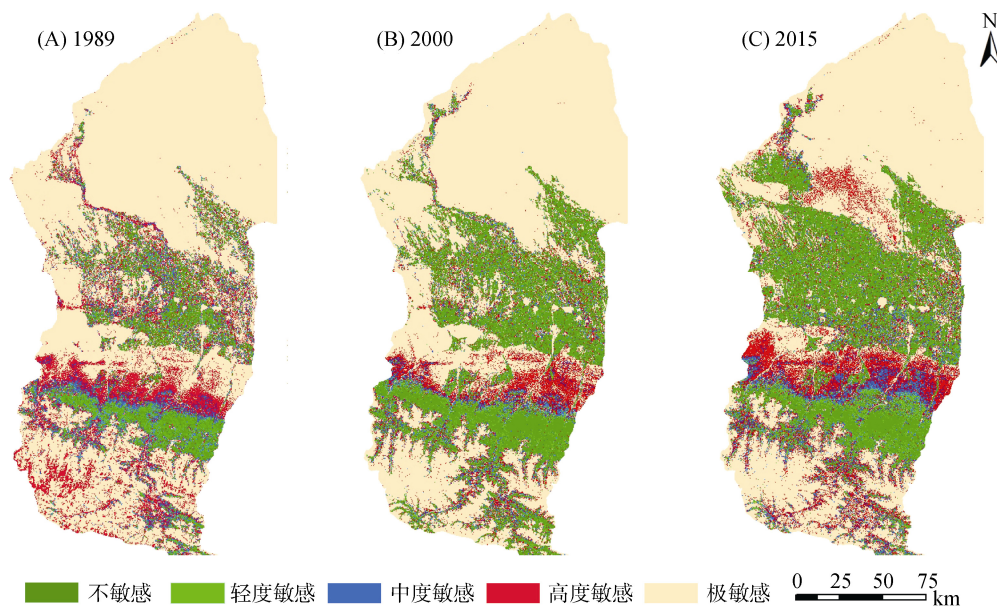


图 4 1989 年、2000 年、2015 年玛河流域 NDVI 对土壤盐渍化敏感性等级划分  
Fig. 4 Classification of NDVI to soil salinization sensitivity in Manasi River Basin in 1989, 2000 and 2015

从表 2 中可以得出: 1989 - 2000 年土壤盐渍化敏感主要以中度为主, 1989 年所占的比例为 46.09%, 2000 年减少到 34.77%, 高度敏感性面积所占的比例从 21.56% 增加到 26.25%, 极敏感性等级所占的比例从 2.50% 增加到 5.46%。2000 - 2015 年土壤盐渍化敏感等级以中度为主, 轻度敏感性与中度敏感性面积分别增加了 1.62% 和 1.19%, 高度敏感性面积减

少了 2.67%, 极重度面积不变。

玛河流域 1989 年、2000 年、2015 年不同程度土壤盐渍化敏感性空间分布有不同程度变化。其中, 轻度敏感面积在不断扩大, 从 1 0047.34 km<sup>2</sup> 增加到 1 1664.51 km<sup>2</sup>, 增加了 4.75%; 中度敏感面积变化呈“V”形, 下降明显, 上升幅度较小; 高度敏感面积变化呈倒“V”形, 先增加后降低; 极敏感面积有所

增加,从 851.42 km<sup>2</sup> 增加到 1858.55 km<sup>2</sup>,增加了 1.9%。从图 5 可以得出:高度敏感性区域主要分布在

玛河流域中游区域,该区域属于泉水溢出带,并且土壤类型对土壤盐渍化敏感性较高。

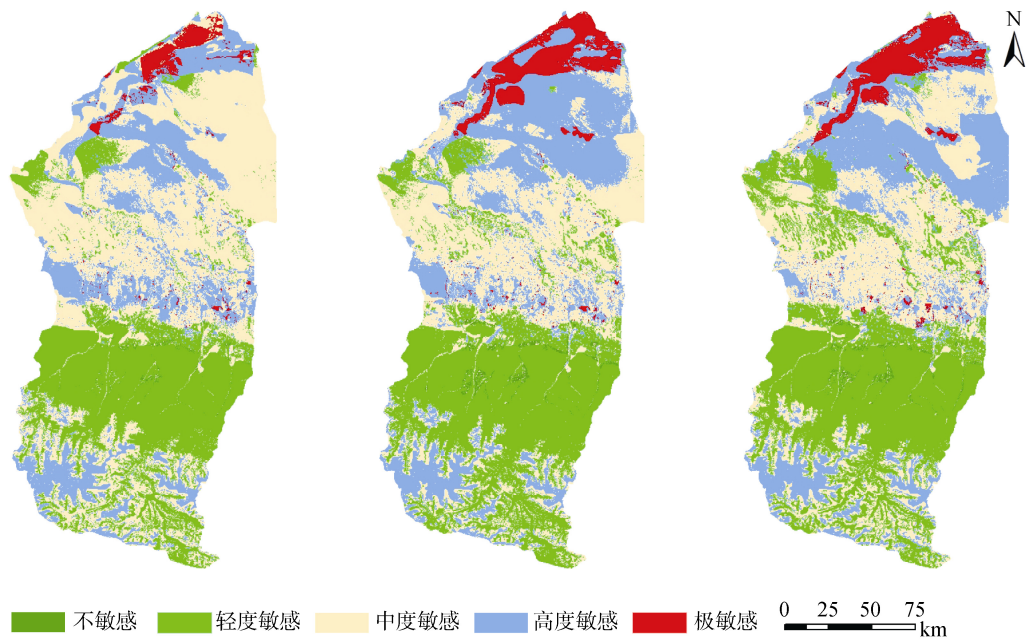


图 5 1989 年、2000 年、2015 年玛河流域土壤盐渍化敏感性等级分布  
Fig. 5 Soil salinization sensitivities in Manasi River basin in 1989, 2000 and 2015

表 2 1989 年、2000 年、2015 年不同土壤盐渍化敏感性类型面积统计  
Table 2 Area statistics of different soil salinization sensitivities in 1989, 2000 and 2015

敏感性等级	1989 年		2000 年		2015 年	
	面积(km <sup>2</sup> )	比例(%)	面积(km <sup>2</sup> )	比例(%)	面积(km <sup>2</sup> )	比例(%)
不敏感	110.87	0.33	295.61	0.87	247.65	0.73
轻度敏感	10 047.34	29.52	11 113.22	32.65	11 664.51	34.27
中度敏感	15 688.01	46.09	11 835.16	34.77	12 240.28	35.96
高度敏感	7 337.39	21.56	8 935.16	26.25	8 024.52	23.58
极敏感	851.42	2.50	1 857.36	5.46	1 859.55	5.46

2.2 玛河流域土壤盐渍化时空动态变化

为了分析不同时间段不同敏感性等级变化特征,采用转移矩阵模型对 1989 年、2000 年、2015 年土壤盐渍化敏感性等级做进一步统计分析,获得 1989 - 2000 年和 2000 - 2015 年不同土壤盐渍化敏感等级的转移矩阵。从表 3 可以得出:1989 - 2000 年中度敏感性与高度敏感性等级变化较多,轻度敏感性较为稳定,由于不敏感、极度敏感本身所占的比例较少,所以变化量不明显;结合图 5 可以得出,1989 - 2000 年中度盐渍化变化为高度敏感性主要分布于玛河流域荒漠区域,转化面积为 3 342.10 km<sup>2</sup>,转化为轻度敏感的主要分布在灌区南缘,这主要是耕地不断向沙漠扩张,植被覆盖度逐渐增加影响的结果;高度敏感性面积向极敏感转化的面积为 1 098.33 km<sup>2</sup>,主要分布于玛纳斯湖周围,以及中游泉水溢出带。

表 3 玛河流域 1989—2000 年土壤盐渍化敏感性等级转移矩阵(km<sup>2</sup>)

Table 3 Transfer matrix of soil salinization sensitivity from 1989 to 2000 in Manasi River basin

敏感性等级	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
不敏感	79.36	210.57	5.38	0.11	0
轻度敏感	28.01	9 075.94	1 910.27	81.56	9.65
中度敏感	3.43	497.22	1 0227.64	1 076.64	21.85
高度敏感	0	251.01	3 342.10	5 077.08	258.57
极敏感	0	10.42	199.29	1 098.33	539.53

从表 4 中可以得出:2000—2015 年转化较多的仍然是中度和高度敏感性等级,轻度敏感等级变化较少,趋于稳定状态,极敏感等级几乎没有发生转化;结合图 5 可以得出:中度敏感等级转化为轻度和高度等级的面积相差不大,但是占得比重相对较多,向轻度敏感性转

化了1 410.68 km<sup>2</sup>,向高度敏感性转化了1 688.58 km<sup>2</sup>。向轻度转化主要分布在灌区与沙漠的交汇处,这与近几十年来玛河流域土地扩张相吻合<sup>[26]</sup>;向高度敏感性转化主要分布在荒漠区,以及中游冲积洪积扇的边缘,也属泉水溢出带,这与水库下渗导致地下水位上升引起盐渍化现象一致。高度敏感向中度敏感转化面积较大,面积为2 713.74 km<sup>2</sup>,分布在荒漠区,结合图2可以得知,这主要由土地利用类型转变引起。

表4 玛河流域2000—2015年土壤盐渍化敏感性等级转移矩阵(km<sup>2</sup>)

Table 4 Transfer matrix of soil salinization sensitivity from 2000 to 2015 in Manasi Rirer basin

敏感性等级	不敏感	轻度敏感	中度敏感	高度敏感	极敏感
不敏感	153.95	92.03	1.44	0	0.23
轻度敏感	136.55	9 976.65	1 410.68	133.74	6.89
中度敏感	5.11	788.64	8 691.58	2 713.74	41.21
高度敏感	0	252.9	1 688.52	5 796.32	286.78
极敏感	0	3	42.94	291.36	1 522.25

### 3 讨论

#### 3.1 气候变化对土壤盐渍化敏感性影响

研究区地理位置及其气候条件是造成土壤盐渍化成为生态敏感性的重要原因。随着全球气候变暖,中低纬度区域土壤盐渍化问题日益突出,尤其干旱区。西北干旱区气温和降水在过去50 a出现过“突变型”升高,降水与气温均处于高位震荡,年降水量与年平均气温均呈现出增加的趋势,总体为暖湿化过程<sup>[23]</sup>。1993年西北干旱区蒸发潜力增加<sup>[24]</sup>,这使得区域土壤盐渍化与生态问题更加不稳定。

#### 3.2 水资源利用及灌溉方式对土壤盐渍化敏感性影响

玛河流域农业生产用水主要来源是地表用水和地下水。在20世纪80年代之前主要以地表水开发为主;随着农业生产的不断扩大,为了提高用水利用率,开始修建引、蓄、输、灌等水利工程,80年代之后开始逐渐开发地下水。1980—2003年总用水量增加了近30倍,地表水供水量维持在75%~80%,地下水供水量比例为19%~25%<sup>[25]</sup>。在1996年之前,灌溉方式主要是大水漫灌和沟灌,这是导致土壤此生盐渍化的主要原因,使得生态敏感性增加;在这之后滴灌技术的引进,在节水方面取得了重要成效。滴灌的普及,水资源优化配置和农业结构的调整,成为维持玛河流域生态可持续发展有力措施<sup>[26]</sup>。然而,罗毅<sup>[17]</sup>通过对不同灌溉方式下的土壤积盐情况进行分析得出,在原有耕地上长期使用滴灌造成土壤积盐,土壤含盐量的增长趋于危害作物生长的临界值,这也

是区域农业发展面临的新的挑战。

### 4 结论

1) 玛河流域土壤盐渍化极敏感性地区主要分布在玛河流域中游部分区域和玛纳斯湖周围区域,在盐土、碱土分布的区域分布明显;高敏感性主要分布在中游的泉水溢出带,属于冲积洪积扇的边缘区域,水库下渗引起的地下水位上升,是滋生盐渍化的发生的重要诱因。

2) 1989—2000年中度敏感性与高度敏感性等级相互转化较多,轻度敏感性较为稳定,中度敏感性转化为高度敏感性面积为3 342.10 km<sup>2</sup>,转化为轻度敏感性的面积为1 910.27 km<sup>2</sup>,高度敏感性转化为中度敏感性的面积为1 076.64 km<sup>2</sup>,转化为极敏感性的面积为1 098.33 km<sup>2</sup>。2000—2015年转化较多是中度和高度敏感性等级,中度敏感性等级向轻度敏感性转化了1 410.68 km<sup>2</sup>;高敏感性向中度敏感性转化面积为2 713.74 km<sup>2</sup>,总体趋势在逐渐变好。

3) 1989—2015年,玛河流域不同土壤盐渍化敏感性等级变化最为剧烈的是轻度、中度、高度敏感性等级。其中,轻度敏感的面积从1 0047.3 km<sup>2</sup>增加到1 1664.5 km<sup>2</sup>,增加了4.75%;中度敏感的面积变化呈“V”形变化;高度敏感的面积变化呈倒“V”形变化,极敏感性的面积从851.42 km<sup>2</sup>增加到1 858.55 km<sup>2</sup>,增加了1.9%。在中游灌区,高敏感性等级的面积在不断缩小,主要集中在泉水溢出带,且轻度敏感性等级的面积向北不断外扩。

#### 参考文献:

- [1] Amundson R, Berhe A A, Hopmans J W, et al. Soil and human security in the 21st century[J]. Science, 2015, 348(6235): 1261071
- [2] 赵其国, 沈仁芳, 滕应. 中国土壤安全“一带一路”发展战略的思考[J]. 生态环境学报, 2016, 25(3): 365-371
- [3] Li J G, Pu L J, Han M F, et al. Soil salinization research in China: Advances and prospects[J]. Journal of Geographical Sciences, 2014, 24(5): 943-960
- [4] Bouksila F, Bahri A, Berndtsson R, et al. Assessment of soil salinization risks under irrigation with brackish water in semiarid Tunisia[J]. Environmental and Experimental Botany, 2013, 92(5): 176-185
- [5] 欧阳志云, 王效科, 苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究[J]. 生态学报, 2000, 20(1): 9-12
- [6] 王娇, 程维明, 祁生林, 等. 基于USLE和GIS的水土流失敏感性空间分析——以河北太行山区为例[J]. 地理研究, 2014, 33(4): 614-624
- [7] 王宏, 塔西甫拉提·特依拜, 谢霞, 等. 新疆艾比湖地区不同土地利用类型的土壤盐渍化敏感性评价[J]. 地理科学进展, 2011, 30(5): 593-599

- [8] Sala O E, Gherardi L A, Peters D P C. Enhanced precipitation variability effects on water losses and ecosystem functioning: differential response of arid and mesic regions[J]. *Climatic Change*, 2015, 131(2): 213–227
- [9] Ryan E M, Ogle K, Zelikova T J, et al. Antecedent moisture and temperature conditions modulate the response of ecosystem respiration to elevated CO<sub>2</sub> and warming[J]. *Global Change Biology*, 2015, 21(7): 2588–2602
- [10] 吕真真, 刘广明, 杨劲松. 新疆玛纳斯河流域土壤盐分特征研究[J]. *土壤学报*, 2013, 50(2): 289–295
- [11] 李玉义, 张凤华, 潘旭东, 等. 新疆玛纳斯河流域不同地貌类型土壤盐分累积变化[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(2): 60–64
- [12] 杨学涛, 李品芳, 侯振安, 等. 玛纳斯河流域不同地貌单元弃耕地土壤盐分差异研究[J]. *土壤学报*, 2012, 49(6): 1241–1246
- [13] 颜安, 蒋平安, 盛建东, 等. 玛纳斯河流域表层土壤盐分空间变异特征研究[J]. *土壤学报*, 2014, 51(2): 410–414
- [14] 王渊刚, 罗格平, 冯异星, 等. 近 50a 玛纳斯河流域土地利用/覆被变化对碳储量的影响[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(6): 994–1006
- [15] 刘金巍, 靳甜甜, 刘国华, 等. 新疆玛纳斯河流域 2000—2010 年土地利用/覆盖变化及影响因素[J]. *生态学报*, 2014, 34(12): 3211–3223
- [16] 禹朴家, 徐海量, 乔木, 等. 玛纳斯河流域土壤类型空间分布格局分析[J]. *土壤学报*, 2010, 47(6): 1050–1059
- [17] 罗毅. 干旱区绿洲滴灌对土壤盐碱化的长期影响[J]. *中国科学:地球科学*, 2014, 44(8): 1679–1688
- [18] 尤南山, 蒙古军. 基于生态敏感性和生态系统服务的黑河中游生态功能区划与生态系统管理[J]. *中国沙漠*, 2017, 37(1): 1–12
- [19] 潘峰, 田长彦, 邵峰, 等. 新疆克拉玛依市生态敏感性研究[J]. *地理学报*, 2011, 66(11): 1497–1507
- [20] 刘庆生, 刘高焕, 赵军. 土壤类型, 质地和土地类型对土壤盐渍化水平的指示[J]. *中国农学通报*, 2008, 24(1): 297–300
- [21] 胡变运, Chen Y L, 徐玥. 基于快速聚类方法的 30 m 分辨率中国土地覆盖遥感制图[J]. *中国科学 D 辑: 地球科学*, 2014, 44(8): 1621–1633
- [22] Dehaan R L, Taylor G R. Field-derived spectra of salinized soils and vegetation as indicators of irrigation-induced soil salinization[J]. *Remote Sensing of Environment*, 2002, 80(3): 406–417
- [23] 王东方, 张凤华, 孙自武, 等. 近 60 年来玛纳斯河流域气候时空变化趋势分析[J]. *干旱地区农业研究*, 2012(5): 235–240
- [24] 陈亚宁, 李稚, 范煜婷, 等. 西北干旱区气候变化对水文水资源影响研究进展[J]. *地理学报*, 2014, 69(9): 1295–1301
- [25] 李玉义, 逢焕成, 张凤华, 等. 新疆玛纳斯河流域节水农作制发展模式[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(6): 52–58

## Sensitivity Evaluation of Soil Salinization in Manasi River Basin Based on GIS and RS

ZHANG Tianyou, WANG Ling\*, HAN Yan, ZHANG Mei

(School of Science, Shihezi University, Shihezi, Xinjiang 832003, China)

**Abstract:** The sensitivity of soil salinization can reflect the interference degree of the regional ecological environment. The dynamic monitoring of soil salinization sensitivity in 1989—2015 was analysed based on Landsat series remote sensing data by GIS and RS technology. The results indicated that: 1) The high sensitivity was mainly distributed in the desert regions and the alluvial fan margin, while the extreme sensitivity was distributed around Manasi Lake and the irrigation area; 2) The areas of moderate sensitivity changed into height and into light sensitivities were 3 342.10 km<sup>2</sup> and 1 910.27 km<sup>2</sup>, respectively, and the areas of high sensitivity into moderate and extreme sensitivities were 1 076.64 km<sup>2</sup> and 1 098.33 km<sup>2</sup> from 1989 to 2000 years, respectively. The area of moderate sensitivity into light sensitivity was 1 410.68 km<sup>2</sup>, and the area of high sensitivity into moderate sensitivity was 2 713.74 km<sup>2</sup>; 3) Soil salinization sensitivity is higher in the alluvial fan margin and the reservoir surrounding of Manasi River Valley, thus the management of water resources and salinization should be strengthened; 4) The changes of moderate sensitivity and high sensitivity into other grades were intense. Moderate sensitivity changed in a “V” pattern, and the decrease was greater than the increase; High sensitivity changed in an inverted “V” pattern, and the decrease was greater than the increase. The area of extreme sensitivity increased by 1.9%. In general, the management of soil salinization achieved certain effects, and the salinization in alluvial fan margin reduced obviously, this study is of significant in maintaining the regional safety and sustainability of soil resources.

**Key words:** GIS; RS; Soil salinization; Sensitivity evaluation; Manasi River Basin