

# 新疆渭干河流域土壤盐渍化时空变化及成因分析

乔 木<sup>1</sup>,周生斌<sup>1</sup>,卢 磊<sup>3</sup>,闫俊杰<sup>1,2</sup>,宋 鹏<sup>1,2</sup>,徐薇薇<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049;  
3. 伊犁哈萨克自治州林业科学研究院, 新疆伊宁 835000)

**摘 要:**以1985年渭干河流域土壤普查数据、1998年Landsat TM影像和2008年CBERS影像为数据源,通过人机交互解译方式获取3个时期土壤盐渍化分布状况,然后采用GIS空间分析方法对23年来土壤盐渍化时空变化特征进行分析。结果表明:①1985-2008年,总趋势是随着流域灌区和耕地面积的扩大,盐渍化耕地也随之增加,土壤盐渍化耕地面积由 $13.32 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增至 $13.78 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。②流域土壤盐渍化现象普遍,主要分布在绿洲的下部边缘地带,河流中下游、地势平缓低洼等区域,盐渍化耕地在绿洲内部呈条形状分布,在绿洲外围呈片状分布。③河道、渠系和水库渗漏、耕作制度不合理、土地不平整和气候变化等多种因素导致渭干河流域土壤盐渍化扩大,但在局部地区由于生态恢复和改良利用措施,使得土壤盐渍化面积也有缩减。

**关 键 词:**土壤盐渍化;时空变化;驱动力;渭干河流域

土地盐渍化是当今世界土地退化主要问题之一。据统计,全球土壤盐渍化面积达 $9.55 \times 10^8 \text{ hm}^2$ <sup>[1]</sup>。新疆作为中国重要的耕地后备资源区,受地形、气候、水土自然条件以及人为不合理开发利用的影响,生态环境非常脆弱,土壤退化及盐碱化现象严重,据1985年全国第二次土壤普查数据,新疆盐碱地比重大,各类盐渍土总面积可达 $1336.1 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,占全国盐碱土面积的36.8%和西北部6省区(包括内蒙古)的53.31%<sup>[2-3]</sup>。新疆灌区土壤盐渍化危害不仅制约着区域农牧业和经济发展,而且对国家粮食和生态安全造成不利影响。针对这种情况,已有多位学者对新疆的土壤盐渍化特点、类型划分、成因及治理模式进行过大量的试验研究和调查<sup>[4-8]</sup>。然而,对构成新疆绿洲重要组成部分的各流域的土壤盐渍化时空变化及成因仍缺乏足够的研究。因此,本文选取新疆土壤盐渍化严重的渭干河流域,利用1985年第二次土壤普查数据、1998年Landsat TM以及2008年CEBERS遥感数据,采用GIS和RS技术手段,分析了渭干河流域23年来土壤盐渍化时空变化特征,并对其扩展和缩减趋势进行分析,丰富了以流域尺度的土壤盐渍化时空变化研究,为今后区域社会经济可持续发展战略的制定以及生态环境的管理和决策提供科学的参考依据。

## 1 研究区概况

渭干河流域位于新疆天山山脉与塔里木盆地之间,介于 $80^{\circ}37' \sim 83^{\circ}59' \text{ E}$ ,  $41^{\circ}06' \sim 42^{\circ}40' \text{ N}$ 之间。渭干河是塔里木盆地北部水量较大的河流之一,其主流木扎提河由西端进入拜城盆地,汇集了卡普斯浪河、台勒维丘克河、喀拉苏河和克孜勒河而形成渭干河流域,干流河长452 km,全流域面积 $6.79 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,其行政地域包含拜城、新和、库车和沙雅4个县。渭干河流域属典型的大陆性气候,其主要气候特点为降水稀少,蒸发量大,昼夜温差大,日照时间长,多年平均气温 $10.7^{\circ}\text{C}$ <sup>[9]</sup>,降水量51.6 mm,蒸发量1992~2863.4 mm,无霜期209.8~226.4 d,日照2886.7~3031.2 h。整个流域地形复杂多样,北部为天山山脉,是渭干河流域重要的水源地与涵养林区;中部是以秋里塔格山为主的低山和残丘。渭干河出山口后呈辐射状分布,在南部形成扇形的冲积平原<sup>[10]</sup>。由于地形复杂,该流域在水土资源组合良好的区域形成两类人工绿洲,即位于拜城县境内的山间盆地绿洲和位于新和、库车与沙雅县境内的三角洲绿洲。

渭干河流域为典型的绿洲农业区,农作物生长全靠灌溉。在平原区中下部由于地势平坦,地下水

收稿日期:2012-01; 修订日期:2012-05.

基金项目:973计划项目(2009CB421301)。

作者简介:乔木(1957-),男,研究员,研究方向为环境遥感与恢复生态。E-mail: qiaomu@ms.xjb.ac.cn

位较高,在强烈的蒸发作用下,盐分随水运动积累于地表造成土壤盐渍化。在平坦地段地表都有盐斑聚集,开垦后由于灌溉不科学,造成地下水位普遍上升,盐渍化加重<sup>[9]</sup>。据新疆土壤普查办公室的土壤普查资料,在现有耕地中,盐渍化面积已达50%以上,土壤盐渍化成为该地区阻碍绿洲农业生产发展最大问题之一。

2 资料来源与研究方法

2.1 数据源

本文研究的时间跨度为23年,分为1985、1998和2008年3期。数据源包括1985年渭干河流域土壤普查图、1998年30 m分辨率的Landsat TM遥感影像和2008年19.5 m分辨率的CBERS遥感影像。

2.2 土壤盐渍化信息提取

将20世纪80年代中期完成的1:10万渭干河流域土壤图件进行矢量化处理,完成图层的数字化,对其中的各类土壤进行盐渍化类型的专题提取,即将灌区内外盐渍化土壤和非盐渍化土壤图斑提出并进行归并,删除其他不相关的土壤类型,提取生成1985年渭干河流域土壤盐渍化数据。

2.3 基于遥感影像的盐碱地信息提取

按照新疆第二次土壤普查耕地土壤盐渍化盐分含量划分指标<sup>[2]</sup>,依据0~30 cm土层厚度土壤盐分含量,划分为:轻、中、重盐渍化3个等级的盐渍化程度(表1)。

借助RS/GIS,结合盐碱地影像特征和野外实地考察验证,分出重、中、轻度和非土壤盐渍化4个等

级,并进一步基于专家知识建立相应的解译标志(表2)。通过人与计算机对话,对2008年中巴资源卫星CBERS影像进行解译,进行数字化,建立拓扑关系,并利用多次野外实地调查和与当地农户访谈数据,验证核实分类结果,反复对解译结果进行校正,分类精度可达到85%以上,最终生成1998年和2008年渭干河流域土壤盐渍化数据(图2)。

表1 新疆灌区土壤盐渍化程度分级指标<sup>①</sup>  
Tab.1 The classification index of soil salinization soil in irrigated area, Xinjiang

盐分类型	硫酸盐-氯化物	氯化物-硫酸盐	耐盐作物生长情况
	总盐	总盐	
非盐渍化	< 7	< 10	正常,不受抑制
轻度盐渍化	7~9	8~10	一般,稍受抑制
中度盐渍化	9~13	10~15	受抑制,明显减产
重度盐渍化	13~16	15~20	严重抑制、减产

①0~30 cm盐分含量,单位为g/kg。

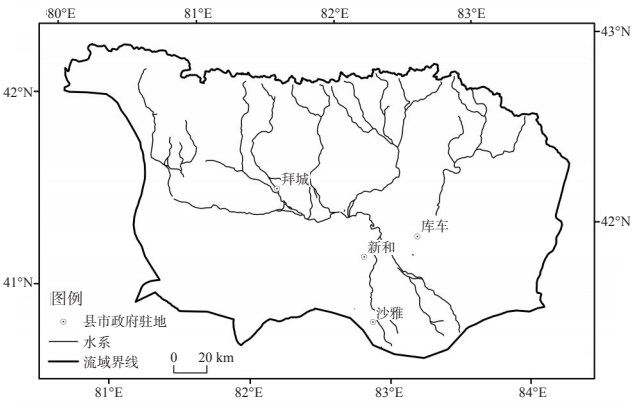


图1 研究区示意图  
Fig.1 Map of the study area

表2 渭干河流域土壤盐渍化分类及遥感影像解译标志

Tab.2 The interpreting symbol of RS and classification of the soil salinization in Weigan River Basin

类型	分布特点	影像特征
非盐渍化	分布于地势较高的洪积扇上部,老绿洲,河流两岸高处。排灌渠系完善,条田、林带、道路规则、整齐。地下水埋深>3 m,地下水矿化度<1 g/L。	作物长势不受拟制,影像色调鲜艳,红色连片,色调均一。
轻度盐渍化	分布地势较为平缓,洪积扇中下部,老绿洲边缘。排灌渠系较完善,条田、林带、道路比较规则、整齐。地下水埋深2.0~3 m,矿化度为1~3 g/L。	作物长势稍受拟制,缺苗面积1/10~1/3,呈现出淡色或淡红色,色调深浅稍有不均匀。少量白色或者淡灰色的亮斑夹杂在红色地块中,占到5%~10%。
中度盐渍化	分布地势平洼,洪积扇下部,新绿洲内,新开耕地。地下水埋深1~2 m,矿化度为3~10 g/L。	作物长势受到中度拟制,缺苗面积1/3~1/2。色调呈红色或浅红色不均匀图斑。浅色调、白色图斑混杂,占到红色面积的10%~25%。
重度盐渍化	分布地势低洼,洪积扇下部,河流下游尾间,新绿洲周边,多为新开耕地。地下水埋深<1.5 m,地下水矿化度10~30 g/L,周围非耕地的土壤盐分重及环境条件差。	作物长势受严重抑制,缺苗面积>1/2,浅红色不均匀状,纹理参差不齐,质地粗糙。白色、灰白色图斑带状、面状夹杂在红色斑块中,占到50%以上。

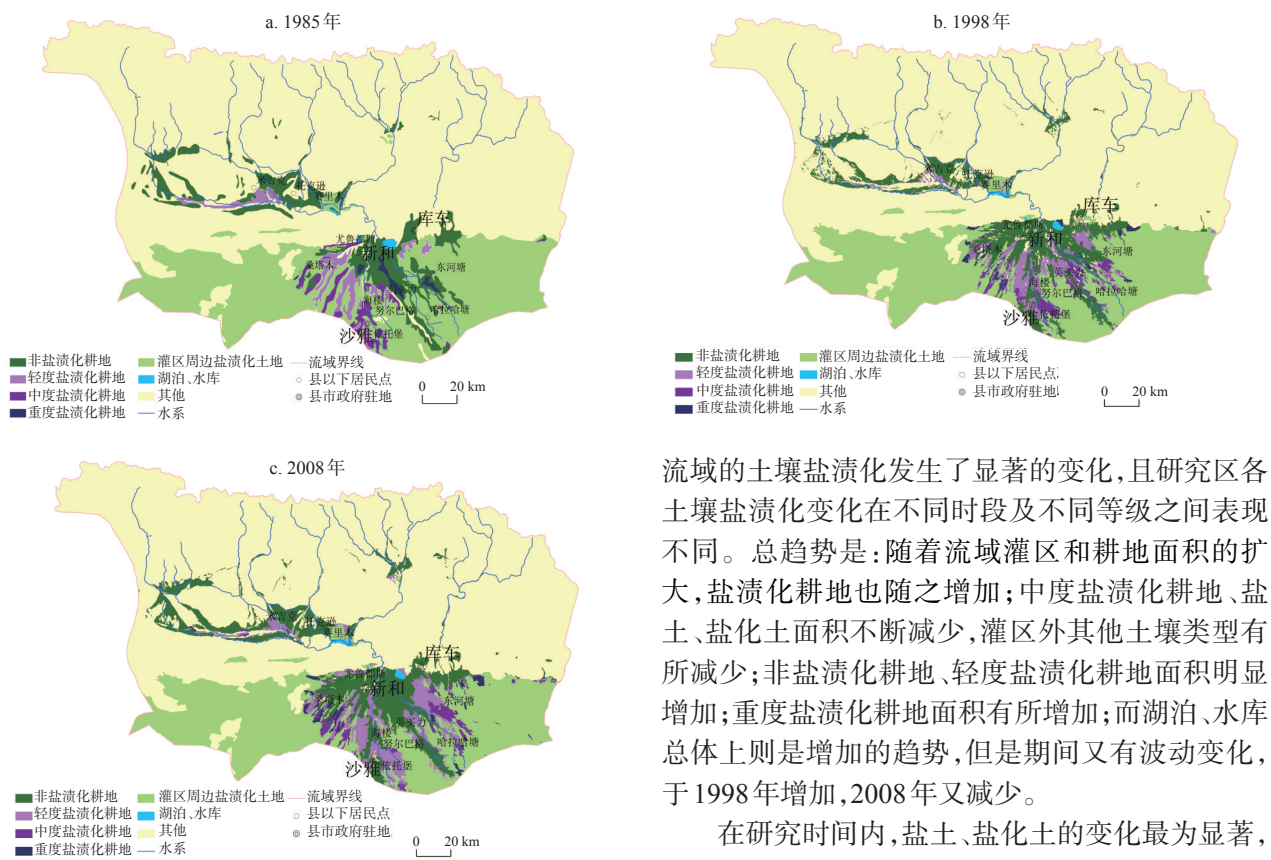


图2 1985、1998、2008年渭干河流域土壤盐渍化分布图  
Fig.2 The distribution of different soil salinization types  
in Weigan River Basin in 1985, 1998 and 2008

### 3 土壤盐渍化时空变化分析

#### 3.1 土壤盐渍化数量的时序变化

根据3期的土壤盐渍化解译属性数据库,统计出不同年份土壤盐渍化的斑块数与面积情况,并制作不同年份的土壤盐渍化面积直方图 and 变化图(图3、图4)。

据图3、图4和表3可以看出,近23年来渭干河

流域的土壤盐渍化发生了显著的变化,且研究区各土壤盐渍化变化在不同时段及不同等级之间表现不同。总趋势是:随着流域灌区和耕地面积的扩大,盐渍化耕地也随之增加;中度盐渍化耕地、盐土、盐化土面积不断减少,灌区外其他土壤类型有所减少;非盐渍化耕地、轻度盐渍化耕地面积明显增加;重度盐渍化耕地面积有所增加;而湖泊、水库总体上则是增加的趋势,但是期间又有波动变化,于1998年增加,2008年又减少。

在研究时间内,盐土、盐化土的变化最为显著,其次为非盐渍化耕地,后为轻度盐渍化耕地和重度盐渍化耕地。轻度盐渍化耕地从1985年的 $6.94\times 10^4\text{ hm}^2$ 增加到2008年的 $9.84\times 10^4\text{ hm}^2$ ,增加了 $2.90\times 10^4\text{ hm}^2$ 。与盐土、盐化土的减少相对应的是非盐渍化耕地、盐渍化耕地特别是轻度盐渍化耕地和重度盐渍化耕地的不断增加,非盐渍化耕地从1985年的 $16.55\times 10^4\text{ hm}^2$ ,增加到2008年的 $20.81\times 10^4\text{ hm}^2$ ,直接增加 $4.26\times 10^4\text{ hm}^2$ ,盐渍化耕地面积从1985年的 $13.32\times 10^4\text{ hm}^2$ 增加到2008年的 $13.78\times 10^4\text{ hm}^2$ ;灌区周边盐渍化土地斑块数量和减少的趋势也比较明显,这一变化特征与人口增加和经济的发展相关联。

表3 渭干河流域不同年代盐渍化土壤面积统计表

Tab.3 Statistics for area of all kinds of soil salinization types in Weigan River Basin

年份	面积统计	非盐渍化耕地	轻度盐渍化耕地	中度盐渍化耕地	重度盐渍化耕地	盐土、盐化土	湖泊、水库	灌区外其他土壤
1985	面积/ $10^4\text{ hm}^2$	16.55	6.94	6.02	0.36	80.80	0.86	270.09
	百分数/%	4.34	1.82	1.58	0.09	21.17	0.23	70.77
1998	面积/ $10^4\text{ hm}^2$	18.60	8.42	4.66	0.47	78.52	0.89	270.06
	百分数/%	4.87	2.21	1.22	0.12	20.58	0.23	70.77
2008	面积/ $10^4\text{ hm}^2$	20.81	9.84	3.30	0.64	76.11	0.88	270.04
	百分数/%	5.45	2.58	0.86	0.17	19.94	0.23	70.76
1985-2008	面积变化/ $10^4\text{ hm}^2$	4.26	2.90	-2.72	0.28	-4.69	0.02	-0.05

3.2 土壤盐渍化转换类型特征

根据分类结果,采用转移矩阵模型<sup>[11-14]</sup>,利用ArcGIS的Zonal Tabulate Area功能和Excel的数理统计功能,将1985、1998和2008年的土地盐渍化分布图进行叠加和统计,获得1985-1998、1998-2008年的土壤盐渍化转移矩阵数据(表4、5)。

通过转化矩阵分析发现,研究区23年间土壤盐渍化等级之间发生了较为复杂的相互转化。耕

地(非盐渍化耕地、盐渍化耕地)和盐土、盐化土是研究区面积变化最多的两种类型,而且,在整个研究时期内呈现出相反的幅度变化方向。这一点从土壤盐渍化转移矩阵表(表4、5)上可以看出:1985-1998年间,轻度盐渍化耕地转为非盐渍化耕地( $2.16\times10^4\text{hm}^2$ ),中度盐渍化耕地转为轻度盐渍化耕地( $2.93\times10^4\text{hm}^2$ ),盐土、盐化土转为中度盐渍化耕地( $1.94\times10^4\text{hm}^2$ )、转为重度盐渍化耕地( $0.30\times10^4$

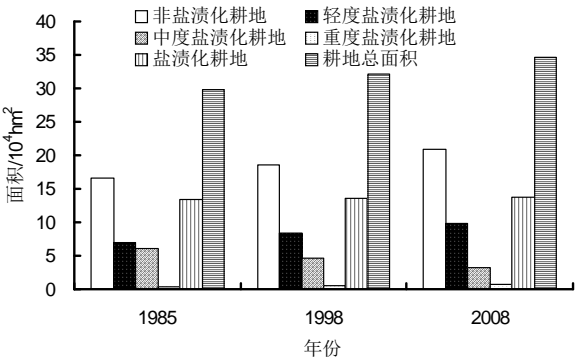


图3 1985-2008年盐渍化耕地面积的变化情况

Fig. 3 Area histogram of different soil salinization land types

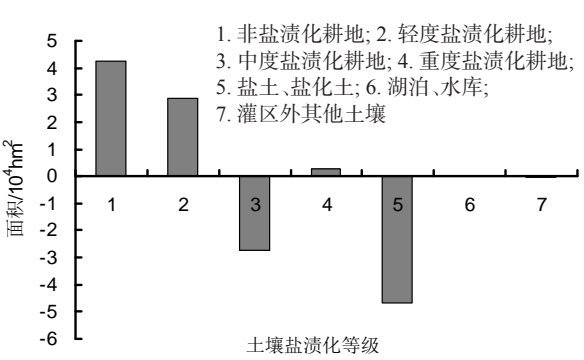


图4 不同年份土壤盐渍化面积增减情况

Fig.4 Area changes of different soil salinization land types

表4 渭干河流域 1985-1998年盐渍化土壤转移矩阵( $10^4\text{hm}^2$ )

Tab.4 Conversion matrix of soil salinization in Weigan River Basin during 1985-1998 ( $10^4\text{hm}^2$ )

	非盐渍化 耕地	轻度盐渍 化耕地	中度盐渍 化耕地	重度盐渍 化耕地	盐土、 盐化土	湖泊 水库	灌区外其他 土壤类型	1998年转 入面积
非盐渍化耕地	15.39	2.16	0.94	0.01	0.01	0.01	0.08	3.21
轻度盐渍化耕地	0.83	4.51	2.93	0.02	0.09	0.03	0.01	3.91
中度盐渍化耕地	0.24	0.19	2.09	0.19	1.94	0.00	0.01	2.57
重度盐渍化耕地	0.03	0.01	0.01	0.12	0.30	0.00	0.00	0.35
盐土、盐化土	0.01	0.01	0.02	0.01	78.44	0.00	0.03	0.08
湖泊、水库	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.81	0.01	0.07
灌区外其他土壤	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	269.95	0.11
1985年转出面积	1.16	2.43	3.93	0.24	2.36	0.05	0.14	

表5 渭干河流域 1998-2008年盐渍化土壤转移矩阵( $10^4\text{hm}^2$ )

Tab.5 Conversion matrix of salinization in Weigan River Basin during 1998-2008 ( $10^4\text{hm}^2$ )

	非盐渍化 耕地	轻度盐渍 化耕地	中度盐渍 化耕地	重度盐渍 化耕地	盐土、盐 化土	湖泊 水库	灌区外其他 土壤类型	2008年转 入面积
非盐渍化耕地	17.63	2.46	0.61	0.06	0.03	0.01	0.01	3.18
轻度盐渍化耕地	0.73	5.86	3.07	0.01	0.11	0.02	0.04	3.98
中度盐渍化耕地	0.18	0.04	0.94	0.23	1.89	0.00	0.02	2.36
重度盐渍化耕地	0.02	0.01	0.02	0.15	0.41	0.01	0.02	0.49
盐土、盐化土	0.02	0.00	0.01	0.01	76.06	0.00	0.01	0.05
湖泊、水库	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.85	0.01	0.03
灌区外其他土壤	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.00	269.95	0.09
1998年转出面积	0.97	2.56	3.72	0.32	2.46	0.04	0.11	



hm<sup>2</sup>),非盐渍化耕地转为轻度盐渍化耕地(0.83×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>)是最主要的转换方式。1998-2008年,轻度盐渍化耕地转为非盐渍化耕地(2.46×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>),盐土、盐化土转为重度盐渍化耕地(0.41×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>)、转为中度盐渍化耕地(1.89×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>)则成为主要的转移方式。

3.3 土壤盐渍化空间变化

渭干河流域土壤盐渍化的空间分布具有明显的区域空间差异性。各类盐渍化耕地主要分布在绿洲外围,且多分布在南部、西南和东南。与1985年相比,1998年轻、中度盐渍地的面积在绿洲内部和外围均有所扩大,且东北部扩大最为明显,其次是东南部。1985年重度盐渍耕地在绿洲内部呈细条形状分布,1998年和2008年重度盐渍化耕地均呈片状分布;与1985年相比,2008年重度盐渍化耕地空间分布表现在绿洲内部明显减少,北部较少变化,相反,西部、东部和东北部重度盐渍化耕地增加明显,其他空间分布变化较少。

4 土壤盐渍化时空变化成因分析

4.1 土壤盐渍化扩张原因分析

4.1.1 防渗率低

表6显示1985-1995年渭干河流域河道、渠系和水库的渗漏量<sup>[15]</sup>。目前,流域主要还是依靠平原水库灌溉,而平原水库除蒸发损失外,渗漏引起库区外围地下水位上升也是造成土壤盐渍化的重要原因,多数平原水库外围地下水埋深仅为0.5~1.0 m。在靠近水库的下游,形成大面积次生盐碱土。渠系渗漏量也不容忽视,年渗漏损失水量达1.23×10<sup>9</sup> m<sup>3</sup>(1995年),这些渗漏水,使地下水位大幅上升,造成渗漏区产生土壤次生盐渍化。

4.1.2 盲目开荒,土地不平整的影响

根据流域内水土资源方面的优势,适度扩大耕地面积是可行的,但在调查时,所到之处几乎都有新垦荒地,有相当一部分特别是新和县西部以及西南部开垦之后没有种就荒弃了,或是种了的保苗率不到50%。调查中还发现,新垦荒地的分布多在灌区边缘,大部分开垦的是重盐碱土。为了快速获得经济效益,种植作物单一,除了粮食作物外,大部分为棉花,而养地作物苜蓿、绿肥几乎见不到,使土地用养失调。有机肥使用量减少,化肥使用量增加,

表6 渭干河流域各县河道、渠系和水库渗漏量(10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>/a)

Tab.6 The leakage of river, canal and reservoir in Weigan River Basin						
县市名称	1985年			1995年		
	河道渗漏	渠系渗漏	水库渗漏	河道渗漏	渠系渗漏	水库渗漏
库车	28743	34090	1464	28743	25150	1384
沙雅	57466	31276	3303	57466	33210	2790
新和	8509	15059	986	8509	12301	866
拜城	0	22567	10	0	16076	0

造成土壤板结,影响土壤蓄水保墒,降低了作物的抗盐性能。而且多数新垦地没有配套的排灌系统,所以就增大了盐渍化耕地的面积和比例。

4.1.3 灌溉和道路网的影响

近年来流域内虽然加大了水利投资,在节水灌溉、防渗渠等方面取得了很大成绩。但不少地区渠道防渗和节水灌溉还比较差,虽开挖了一些骨干排水渠,但大多不配套,更重要的是排水渠坍塌严重,不能及时清淤,起不到降低地下水位作用,甚至有的排水渠淤堵并抬高地下水位。

上述人为因素除了影响流域绿洲灌区地下水位上升以外,同时也影响灌区周围和灌区内部一些荒地或加荒地的地下水位上升,成为干排盐地,导致这些土壤盐分积累增加,变成盐土。

4.1.4 气候的影响

渭干河流域位于中纬度地区,远离海洋,属典型的大陆性暖温带干旱气候,光热资源丰富,降水少,蒸发量大,气温差异显著,日照期长,夏季干热、冬季干冷,无霜期长,风力强<sup>[16]</sup>。干旱的气候条件决定了进入盆地的水分最终以蒸发输出的方式为主,与此相伴随的是,由于流域内排灌体系不完善,水去盐留,部分区域盐分始终处于积累过程中;在局部流动系统和区域流动系统的排泄区,地表水、地下水、土壤水中的含盐量有不断增高的现象。

4.2 土壤盐渍化缩减原因分析

近几十年来,流域农田水利事业有了很大发展,特别是1992年实施中国新疆塔里木农业灌溉排水与环护第一期工程(世界银行贷款项目)以来,灌区内土壤次生盐渍化得到有效控制,水盐逐步趋向平衡<sup>[17]</sup>。图5为新和县测点表土(0 cm)含盐量的年际变化过程:丰产田储盐量年际变化不明显,各年间变化平稳且始终处于含盐量较低的水平;垦荒地的储盐量随耕种年限增加而减少。图6新和、沙雅两县1 m土层含盐量分析结果均表明丰产田盐分含量年际变化不大,而垦荒地1 m土层含盐量随

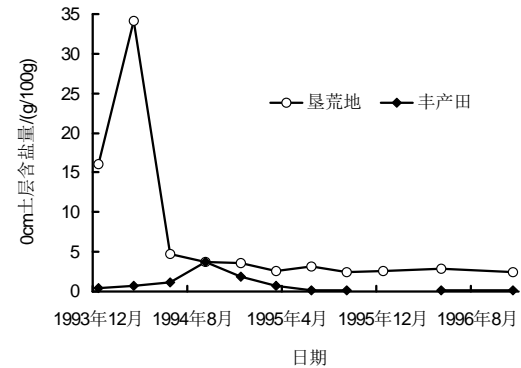


图5 新和县测点表土(0 cm)含盐量变化过程

Fig.5 Salinity change process measurement points (0 cm) in Xinhe county

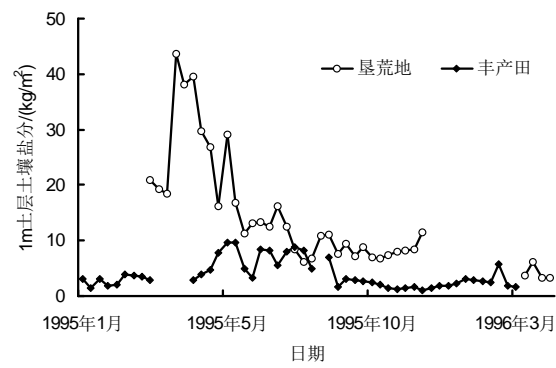


图6 丰产田与垦荒地1 m土层储盐量变化过程<sup>①</sup>

Fig.6 The change process of 1 m soil salt storage in high yield and the reclamation fields

表7 38眼观测井的平均地下水埋深

Tab.7 The average groundwater level of 38 observation wells

年份	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2006
平均埋深/m	2.83	2.75	2.64	2.57	2.63	2.69	2.68	2.79	2.86	3.8

着时间增加明显减少。这表明世行项目实施后,垦荒地的改良取得了良好的效果。

表7列出了1993-2006年渭干河流域38眼观测井的平均地下水埋深。由表可知,1996-2006年,流域内地下水位呈明显的下降趋势。随着世行项目中排水系统的完善和投入运行,使低洼地的积水减少,同时也降低了相应地域的地下水位。

5 结论与讨论

本文基于1985年第二次渭干河流域土壤普查数据、1998年Landsat TM和2008年CBERS遥感影像获取了渭干河流域23年来土壤盐渍化时空分布数据,分析了时空变化趋势及其成因。结论如下:

(1) 1985-2008年间,总趋势是随着流域灌区和耕地面积的扩大,盐渍化耕地也随之增加,土壤盐渍化耕地面积由 $13.32 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 增至 $13.78 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。其中:轻度盐渍耕地的变化程度剧烈,呈剧烈增加态势;中度盐渍化耕地面积减少,主要向轻度盐渍化耕地和非盐渍化耕地转化;重度盐渍化耕地略有增加;盐土、盐化土减少剧烈,主要向中轻度盐渍化耕地和重度盐渍化耕地转化;非盐渍化耕地面积则呈不断增加趋势。

(2) 流域土壤盐渍化现象普遍,主要分布在绿

洲的下部边缘地带,河流中下游、地势平缓低洼等区域,在绿洲内部呈条形状分布,在绿洲外围呈片状分布。1985-1998年绿洲内部和外围土壤盐渍化都发生了较大变化;1998-2008年研究区下部即绿洲外围土壤盐渍化变化较大,其他区域变化较小。

(3) 流域土壤盐渍化时空演变是自然因素和人类社会经济活动共同作用的结果。其中河道、渠系和水库渗漏、耕作制度不合理、土地不平整和气候变化等促进了土壤盐渍化的发生发展,而由于人类进行的生态恢复和改良措施,使老灌区的土壤盐渍化减轻,甚至成为良田。

(4) 进行土地盐渍化信息提取及其动态驱动力分析过程中,充分发挥了RS的图像解译功能和GIS的空间分析功能,提高了土地盐化信息提取及分析的效率 and 准确性,为今后制定土壤盐渍化的改良措施,实现土地资源的可持续利用提供保障。

参考文献

[1] Szaboles L. Salinization of soil and water and its relation to desertification. Desertification Control Bulletin, 1992, 5(21): 32-37.

[2] 乔木, 田长彦, 王新平. 新疆灌区土壤盐渍化及改良治理模式. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2008: 1-25.

[3] 新疆土壤普查办公室. 新疆土壤. 北京: 科学出版社, 1985.

①数据来源:中国新疆塔里木农业灌溉排水与环境保护第一期工程——渭干河子项目报告,1997.

[4] 顾国安. 新疆盐化土壤形成及其防治. 新疆地理, 1984, 7(4): 1-7.

[5] 张累德. 新疆盐碱土改良科学研究实践三十年. 干旱区研究, 1986, 3(1): 1-6.

[6] 樊自立. 中国西北地区耕地土壤盐渍化评估及发展趋势预测. 干旱区地理, 2002, 25(2): 97-102.

[7] 罗家雄. 新疆垦区盐碱地改良. 北京: 水利水电出版社, 1985.

[8] 田长彦, 周宏飞, 刘国庆. 21 世纪新疆盐渍化控制与农业持续发展研究建议. 干旱区地理, 2000, 23(2): 176-181.

[9] 张红旗, 章予舒, 王立新. 渭干河平原绿洲景观演变及其对土壤性状的影响. 资源科学, 2004, 26(5): 18-23.

[10] 满苏尔·沙比提, 陈冬花. 渭干河-库车河三角洲绿洲形成演变和可持续发展研究. 资源科学, 2005, 27(6): 118-124.

[11] 周文佐. 近 10a 黄河三角洲 LUCC 及其驱动因素分析. 农业工程学报, 2010, 26(1): 341-345.

[12] 朱会义, 李秀彬. 基于 RS 和 GIS 的西宁市 LUCC 分析及模拟预测. 农业工程学报, 2009, 25(7): 211-218.

[13] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨. 地理科学进展, 1999, 18(1): 81-87.

[14] 陈红, 吴世新, 冯雪力. 新疆耕地时空变化特征. 地理科学进展, 2010, 29(3): 312-318.

[15] 新疆土壤普查办公室. 新疆土壤. 北京: 科学出版社, 1996: 458-464.

[16] 张新焕, 杨德刚, 刘云同. 基于能值的绿洲种植业系统可持续性 & 敏感性评价: 以新疆渭干河流域为例. 生态学报, 2009, 29(11): 6068-6076.

[17] 赵振勇, 张慧芝, 黄俊芳, 等. 渭干河灌区水盐动态变化及其耦合分析. 干旱区资源 & 环境, 2008, 22(10): 142-146.

Causes and Spatial–Temporal Changes of Soil Salinization  
in Weigan River Basin, Xinjiang

QIAO Mu<sup>1</sup>, ZHOU Shengbin<sup>1</sup>, LU Lei<sup>3</sup>, YAN Junjie<sup>1,2</sup>, SONG Peng<sup>1,2</sup>, XU Weiwei<sup>1,2</sup>  
(1. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China;  
2. Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
3. Yili Kazak Autonomous Prefecture Academy of Forestry, Yining 835000, China)

**Abstract:** Based on the soil data of the year 1985, Landsat TM images of 1998 and CBERS images of 2008, we reconstructed three-period distribution of soil salinization through interactive machine-artificial interpretation. Then the spatial-temporal changes over the past 23 years were analyzed with the support of GIS spatial analysis methods. The results are shown as follows. (1) With the expansion of arable land, salinization of arable land increased, too. Soil salinization land increased from  $13.32\times10^4\text{ hm}^2$  to  $13.78\times10^4\text{ hm}^2$ . (2) Soil salinization is widespread, mainly in the lower edge of the oasis, the river downstream and the low-lying flat terrain areas. Salinized arable land presents a bar-shape distribution inside the oasis and a patch-shape distribution outside the oasis. (3) The expansion of soil salinization of Weigan River Basin was primarily caused by factors such as the increasingly drier climatic changing trend, river, canal and reservoir leakage, irrational farming, and the fact that the land is not flat. However, it has been alleviated by the implementation of ecological restoration and amendment of reclamation.

**Key words:** soil salinization; spatial-temporal changes; driver forces; weigan river basin

本文引用格式:

乔木, 周生斌, 卢磊, 等. 新疆渭干河流域土壤盐渍化时空变化及成因分析. 地理科学进展, 2012, 31(7): 904-910.