

# 干旱区典型绿洲土地利用/覆被变化及其对土壤盐渍化的效应研究——以新疆沙雅县为例

孙 倩<sup>1,2</sup>, 塔西甫拉提·特依拜<sup>1,2</sup>, 丁建丽<sup>1,2</sup>, 张 飞<sup>1,2</sup>, 买买提·沙吾提<sup>1,2</sup>, 韩桂红<sup>1,2</sup>

(1. 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学绿洲生态教育部重点实验室, 乌鲁木齐 830046)

**摘 要:**本研究选用了1989年、1998年以及2009年 Landsat TM/ETM+影像, 利用3S技术, 深入剖析了盐渍地的分布与变化状况, 结合研究区20年水盐动态变化, 分析了盐渍土土壤的含水量、含盐量、pH值、TDS以及7大化学成分的分布现状, 并基于土地利用/覆被变化的研究, 研究了土地利用/覆被变化与土壤盐渍化效应的影响。分析结果表明: ①20年间, 研究区土地利用/覆被类型有很大的变化, 综合土地利用动态度仅为0.476%, 中轻度盐渍地和重度盐渍地恶化速率呈现先增加后减少的趋势, 盐渍化进程有所遏制, 但依然无法扭转逐步恶化的趋势。②研究区土壤呈碱性, 土壤盐渍化的危害主要是NaCl, 其次是MgCl<sub>2</sub>以及Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; 各采样点不同深度的含水量大小存在明显差异, 但变化趋势基本相似, 其中表层土壤的含水量与其他深度土层含水量的区别显著; 不同深度的土层, 盐渍土的类型也有着较大的差异性。③20年间, 耕地转化为中轻度盐渍地和重度盐渍地的面积分别占原耕地面积的3.484%和0.418%, 水体、沙漠、其他与中轻度盐渍地、重度盐渍地的相互转化均非常微弱, 中轻度盐渍地与重度盐渍地之间的相互转化频繁。

**关 键 词:**干旱区; 土地利用/覆被; 盐渍化; 含水量; 含盐量; 新疆沙雅县

## 1 引言

土地利用/覆被变化(LUCC)研究已成为国内外研究的热点问题之一, 也是全球变化研究工作的重要组成部分<sup>[1-5]</sup>。土壤盐渍化问题是干旱区农业发展的主要障碍, 也是影响绿洲生态环境稳定的重要因素<sup>[6]</sup>。通常在气候干旱、土壤蒸发强度大、地下水位高且含有较多可溶性盐类的地区容易出现土壤的盐渍化现象。典型区域案例研究不仅将人类所面临的现实生态环境问题与基础研究结合起来, 也是参与全球环境变化研究的具体途径<sup>[7]</sup>。土地利用变化对土壤养分、土壤盐分、土壤侵蚀、土壤水分和土地生产力等均有明显的影响<sup>[8]</sup>。许多学者从不同的角度研究了土地利用/覆被变化以及土壤盐渍化效应。Abd El-Kawy等<sup>[9]</sup>以埃及尼罗河三角洲西部为研究区, 研究了1984-2009年24年的土地利用/土地覆盖变化情况, 提出了土地退化的证据, 并且对此提出了改良的意见建议。Onur等<sup>[10]</sup>利用遥感和

地理信息系统技术, 研究了土耳其典型农业区的土地利用/土地覆盖近30年的变化。Berberoglu等<sup>[11]</sup>介绍了图像差分, 图像配给, 图像回归和变化矢量分析(CVA)等不同的变化检测技术, 从而有效的检测和评估了在地中海的环境下土地利用/覆盖的变化。李晓军和李取生<sup>[12]</sup>利用1986年、1996年和2000年的遥感图像数据, 对松嫩平原西部典型盐渍化区大安市的土地利用变化转换矩阵和空间格局指数进行计算, 分析探讨了监测期间土地利用变化和分布特征及其对盐渍化的影响。顾雪峰等<sup>[13]</sup>利用1987年和1998年两期土地利用现状图, 1988-1998年水文资料和2000年、2001年地下水合土壤水、盐含量的检测资料, 分析了三工河流域水盐的时空动态变化对流域土地利用的影响。王宏等<sup>[14]</sup>选择生态环境脆弱的艾比湖地区为研究对象, 以2007年Landsat TM影像资料为基础, 采用SVM分类方法, 进行土地利用类型分类和土壤盐渍化分类, 并基于此进行了不同土地利用类型的土壤盐渍

收稿日期: 2012-01; 修订日期: 2012-03.

基金项目: 国家自然科学基金项目(40961025, 40901163); 资源与环境信息系统国家重点实验室开放课题项目(2010kf0003sa)。

作者简介: 孙倩(1986-), 女, 新疆沙湾县人, 博士研究生, 主要研究方向为干旱区资源环境与RS应用。

E-mail: sq061@163.com

通讯作者: 塔西甫拉提·特依拜(1958-), 男, 维吾尔族, 教授。E-mail: tash@xju.edu.cn

化敏感性评价的研究。

本文主要利用3S技术,基于土地利用/覆被变化的研究,探讨了盐渍地的分布与变化状况,结合研究区20年水盐动态变化,分析了盐渍土土壤的含水量、pH值、矿化度以及7大化学成分( $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $Cl^-$ 和 $SO_4^{2-}$ )的分布现状,并深入剖析了中轻度盐渍地、重度盐渍地与其他各类地物之间的相互转化和相互作用关系,进而研究了土地利用/覆被变化与土壤盐渍化效应的影响。

## 2 研究区概况及研究方法

### 2.1 研究区概况

沙雅县地处 $39^{\circ}31' \sim 41^{\circ}25'N$ ,  $81^{\circ}45' \sim 84^{\circ}47'E$ ,位于我区天山中段以南,塔克拉玛干大沙漠的北缘,塔里木河中游,海拔946~1050 m。沙雅县东与巴音郭勒蒙古自治州的尉犁、且末两县相接壤,南部在塔克拉玛干沙漠腹地与和田地区的民丰、于田、策勒三县为邻,西部与阿克苏接壤,东北部与库车县相邻,西北部与新和县为邻。沙雅县土地总面积31955.15 km<sup>2</sup>,塔里木河自西向东在本县中部偏北横贯全县,将本县分为南北两部分,北部为渭干河冲积扇下游平原区,总面积约为6240 km<sup>2</sup>(包括塔里木河谷平原南岸)约占全县总面积的19.5%,塔里木河以南为沙漠区,属塔克拉玛干在沙漠的一部分,面积为25732 km<sup>2</sup>,约占全县总面积的80.5%。在塔里木河北岸建有结然力克平原水库,该水库从塔里木河引水,引水渠长45 km,水库面积 $0.53 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,放水渠长38 km,年引水量 $1.2 \times 10^8 \sim 1.3 \times 10^8$  m<sup>3</sup>,灌溉面积为 $0.3 \times 10^4$  hm<sup>2</sup>,在引水渠、放水渠及水库周边因强烈渗漏造成大面积的土地盐碱化<sup>[15]</sup>。

### 2.2 本底资料

该研究本底资料有:①研究区1989年9月25日、1998年10月4日以及2009年10月2日美国陆地卫星Landsat TM/ETM+影像,其分辨率均为30 m;②新疆沙雅县1:1420 000地图;③沙雅县2010年10月野外实测的多个土壤剖面的不同土层的pH值、总含盐量、矿化度、电导率、七大离子( $Mg^{2+}$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Ca^{2+}$ 、 $HCO_3^-$ 、 $Cl^-$ 和 $SO_4^{2-}$ )等实测数据;④沙雅县20年来的统计资料(气象、水文、人口、土壤、社会经济等)。

### 2.3 研究方法

首先,利用3S技术对遥感影像进行分类。选取的遥感影像成像时间均在9月下旬到10月上旬

之间,时间非常接近,各类地物的特征均较为相似,基于此所进行的一系列土地利用/覆被研究有较好的可比性。其次,运用ENVI软件,采用7、4、1波段组合,使影像颜色接近地物实际颜色,将3期影像的地物分为耕地(A)、林地(B)、中轻度盐渍地(C)、重度盐渍地(D)、沙漠(E)、水体(F)和其他(G)(包括戈壁、未利用地等)共7类,采用了监督分类法中的最大似然法进行分类。最后,根据分类结果,分析研究区20年间土地利用/覆被变化的动态度以及综合利用动态度变化,以及各类地物之间的相互转化。

根据研究需要,2010年10月在研究区采集土壤样品。将所有用铝盒装样的盐渍土土壤样品进行高温烘干称重,计算出盐渍土土样的含水量;对采集的盐渍土土壤样品经自然风干、碾碎、过1 mm孔径筛子,土样均配置土水比1:5的浸提液,经过充分振动和浸泡使土壤盐分充分溶解,从而进行土壤盐分及其组分、pH值、电导率、矿化度等的测定。其中,pH值采用LP115pHMeter酸度计法测定; $CO_3^{2-}$ 和 $HCO_3^-$ 采用双指示剂中和法测定, $Cl^-$ 采用 $AgNO_3$ 滴定法测定, $SO_4^{2-}$ 采用EDTA间接滴定法测定, $Ca^{2+}$ 和 $Mg^{2+}$ 采用EDTA络合滴定法测定, $Na^+$ 和 $K^+$ 采用差减法测定;全含盐量、电导率、矿化度等采用Orion 115A+仪器测定,且测定方法严格参照《土壤农业化学分析方法》<sup>[16]</sup>。结合研究区20年间的水盐动态响应,分析盐渍化现状。

将土地利用/覆被的时空动态变化和盐渍化现状相互结合,剖析了中轻度盐渍地、重度盐渍地与耕地、林地、沙漠、水体和其他等地物之间的相互转化和相互作用关系,从而进一步对土地利用/覆被的变化及其对盐渍化效应进行了深入分析。

## 3 分析与讨论

### 3.1 土地利用/覆被动态变化分析

不同地类遥感解译标志非常重要,需要详细辨识各类地物的不同纹理、颜色等诸多特征,本研究针对裸地建立如下解译标志,如表1所示。

研究中采用了监督分类方法中较为典型且应用最广的最大似然分类法进行分类,3期影像分类后总精度分类的总精度总精度分别是93.5740%、96.9241%和92.5510%;而分类后Kappa Coefficient分别是0.9047、0.9579和0.8571,均符合该研究精度要求。分类后影像如图1所示。

动态度只定量的表示研究期间各地类的变化

表1 土地分类体系及遥感判读标志表  
Tab.1 Landscape classification system

编号	类别名称	含义	解释标志	图示
A	耕地	菜地,农田	几何特征明显,形状规则,呈现绿色	
B	林地	生长各种林木的土地	没有明显的集合特征,色调多为暗绿或浅绿	
C	中轻度盐渍地	分布地势较为平缓,冲积扇中下部,土壤的盐分较高且环境条件较差	影像色调深浅稍有不均匀表现,夹杂少量浅色碎斑	
D	重度盐渍地	远离绿洲的严重盐渍化的土地,周围非耕地土壤盐分很高且环境条件差	色调为深白色,有土地龟裂特征	
E	沙漠	广泛分布于沙雅县南部,远离绿洲	黄色具有流动感的沙体	
F	水体	河流、湖泊,水库,等	色调多为蓝、黑色	
G	其他	戈壁,粘土,沙土,等	夹杂在绿洲边沿具有流动感的灰色土地,淡紫色具有反光特征的土地等	

(增加或减少)幅度或快慢,是一个相对值,仅代表在某一特定时间内某一土地利用类型的相对变化速度。计算公式如下:

$$k=\frac{U_b-U_a}{U_a}\times\frac{1}{T}\times100\%$$
 (1)

式中:  $k$  为研究时段区域某一种土地利用类型变化率;  $U_a$ 、 $U_b$  分别表示研究时段开始与结束时该土地利用类型的面积;  $T$  为研究时段<sup>[17]</sup>。

综合土地利用动态指数综合的考虑了研究时段内土地利用类型间的转移,着眼于变化的过程而非变化的结果,其意义在于反映区域土地利用变化的剧烈程度,便于在不同空间尺度上找出土地利用变化的热点区域。综合土地利用动态度的运算公式如下:

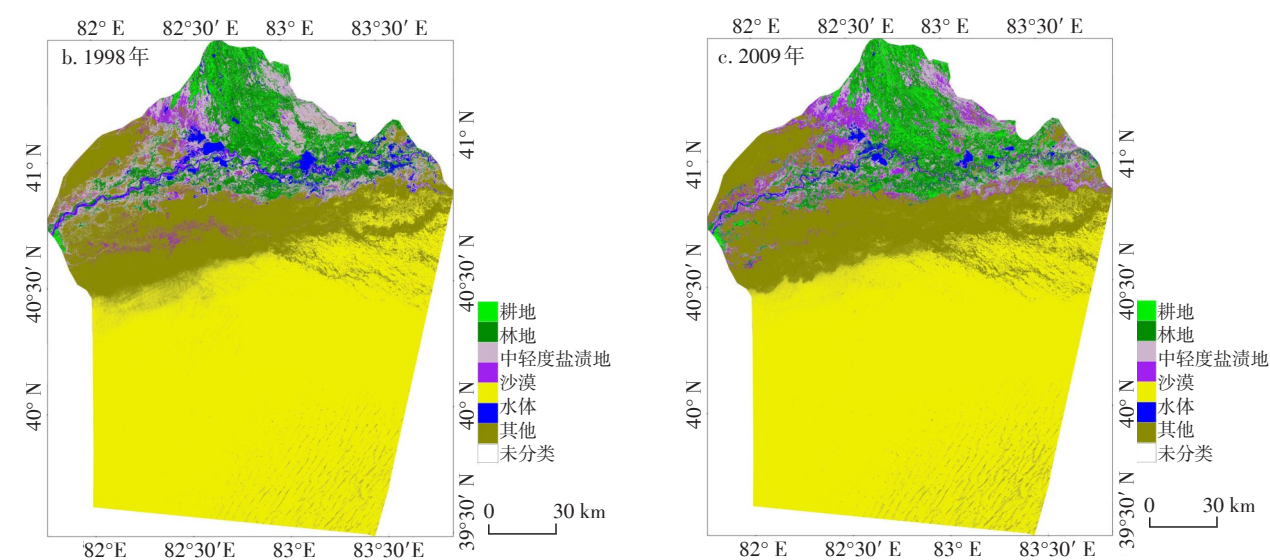


图1 分类后影像  
Fig.1 The classified images of the study area

$$LC=\frac{\sum_{i=1}^n\Delta LU_{i-j}}{2\sum_{i=1}^nLU_i}\times\frac{1}{T}\times100\% \quad (2)$$

式中： $\Delta LU_i$  为监测起始时间  $i$  类土地利用类型面积； $\Delta LU_{i-j}$  为监测时段  $i$  类土地利用类型转为非  $i$  类 ( $j$  类,  $j=1, \cdots, n$ ) 土地利用类型面积的绝对值； $T$  为监测步长。当  $T$  设定为年时,  $LC$  的值就是该研究区的土地利用年变化率<sup>[18]</sup>。

1989-2009 年研究区不同地物类型的面积均有所变化。根据公式计算, 沙雅县在研究时段之间的综合土地利用动态度以及各类地物类型的动态度, 如表 2 所示。

1989-1998 年, 研究区土地利用变化速度较快, 综合土地利用动态度达 1.009%。其中, 重度盐渍地的动态度最大, 为 43.9%; 中轻度盐渍地的动态度相对较小, 为 7.79%。导致这一现象的主要原因在于沙雅县在 9 年期间, 灌溉技术落后, 化肥和农药使用不合理, 水盐运移过程中, 大量盐分随蒸发而在土壤表面结晶。1998-2009 年, 研究区土地利用变化速度较前 9 年有所减慢, 综合土地利用动态度仅为 0.828%。其中, 重度盐渍地的动态度虽然依然为正, 但较 9 年前其动态度明显降低, 并且中轻度盐渍地面积减少, 足以说明在这 11 年间, 土壤盐渍化情况由于受到政府部门的重视, 采取了改善灌溉技术、重视土壤盐渍化的改良, 推广滴灌技术, 在一定程度上减轻了土壤的盐渍化。

20 年之间, 研究区综合土地利用动态度仅为 0.476%, 且呈现逐年降低趋势, 土地利用/覆被类型随着时间的推移变化由剧烈逐步驱于平衡状态, 土地资源的利用也逐步从盲目过渡到理性。耕地面积稳步增加, 说明新疆沙雅县在 20 年的发展过程中, 始终依靠农业发展经济, 工业化进程缓慢。林

地持续略有所减少, 说明人们对森林的保护意识依然有待提高, 政府更应该加大对森林资源的保护力度。沙漠和其他的动态度始终很小, 面积变化微弱, 也证明了目前人类很难开发和利用沙漠、戈壁、粘土的土地资源。而水体的面积先增加后减少, 很大程度取决于自然情况, 而人为的因素较少, 为此, 需要加大水利设施建设, 合理利用水资源。中轻度盐渍地和重度盐渍地恶化速率呈现先增加后减少的趋势, 虽然盐渍化进程有所遏制, 盐渍化情况有所改善, 但依然没有彻底扭转盐渍化恶化且重度盐渍地持续增加的趋势。

3.2 土地利用/覆被转移分析

运用 ERDAS 9.2 进行 3 期影像的转移, 并在 ArcGIS 9.2 环境下进行叠加分析, 分别得到 1989-1998 年以及 1998-2009 年各类地物的转移图(图 2、图 3), 分析 20 年间各类地物之间的转化情况。

为了能够实现各期影像不同地物类型的转移运算, 就需要对各期影像进行差值运算。对任意两期土地覆盖类型图  $A_{i \times j}^k$  和  $A_{j \times j}^{k+1}$ , 按照式(3)的地图代数方法运算, 得出:

$$C_{i \times j}=A_{i \times j}^k \times 10+A_{j \times j}^{k+1}$$

(适用于土地利用类型<10 时) (3)

由  $k$  时期到  $k+1$  时期的土地覆被变化图  $C_{i \times j}$  表现了土地覆被类型。

据此可以求得各种覆被类型相互转化的数量关系的原始转移矩阵, 据原始转移矩阵可以求得两个时期之间每种覆被类型的转化率, 从而求出各土地覆被类型间面积转换矩阵<sup>[19]</sup>。如式(4):

$$P_j=\sum_{j=1}^nA_j/\sum_{i=1}^n\sum_{j=1}^nA_{ij}$$

(4)

将 3 期影像的分类结果在 ENVI 4.5 下进行转移分析, 得到各类地物的面积转移矩阵和面积比

表 2 1989-1998 年、1998-2009 年新疆沙雅县土地利用变化表 (hm<sup>2</sup>)  
Tab.2 Changes of land use from 1989 to 1998 and 1998 to 2009 (hm<sup>2</sup>)

	A	B	C	D	E	F	G
1989 年	26356.50	285820.20	123409.89	13819.41	1572709.95	32874.21	718392.60
1998 年	40472.37	225976.95	216058.86	68446.71	1568808.90	57184.02	596434.95
增加量	14115.87	-59843.25	92648.97	54627.30	-3901.05	24309.81	-121957.65
动态度 K/%	5.96	-2.32	7.79	43.9	-0.03	8.21	-1.89
	A	B	C	D	E	F	G
1998 年	40472.37	225976.95	216058.86	68446.71	1568808.90	57184.02	596434.95
2009 年	74583.90	219701.97	153511.20	110528.64	1563029.55	30136.59	621890.91
增加量	34111.53	-6274.98	-62547.66	42081.93	-5779.35	-27047.43	25455.96
动态度 K/%	7.66	-0.25	-2.63	5.6	-0.03	-4.3	0.4

率,结合图2、图3,进一步分析沙雅县 1989-2009 年 20 年间的土地利用/覆被的转移情况。

(1) 1989-1998 年,各类地物转化明显。林地转化为中轻度盐渍地的面积占原林地面积的 22.19%,即 63412.83  $\text{hm}^2$ ,但中轻度盐渍地转化为林

地的仅占原中轻度盐渍地的 14.516%,即 17913.78  $\text{hm}^2$ ,说明在此期间林地破坏情况较为严峻,土壤盐渍化趋于严重;同时,17512.65  $\text{hm}^2$ 的中轻度盐渍地转化为重度盐渍地,而仅有 4410.45  $\text{hm}^2$ 的重度盐渍地转化为中轻度盐渍地,也进一步说明盐渍化程度

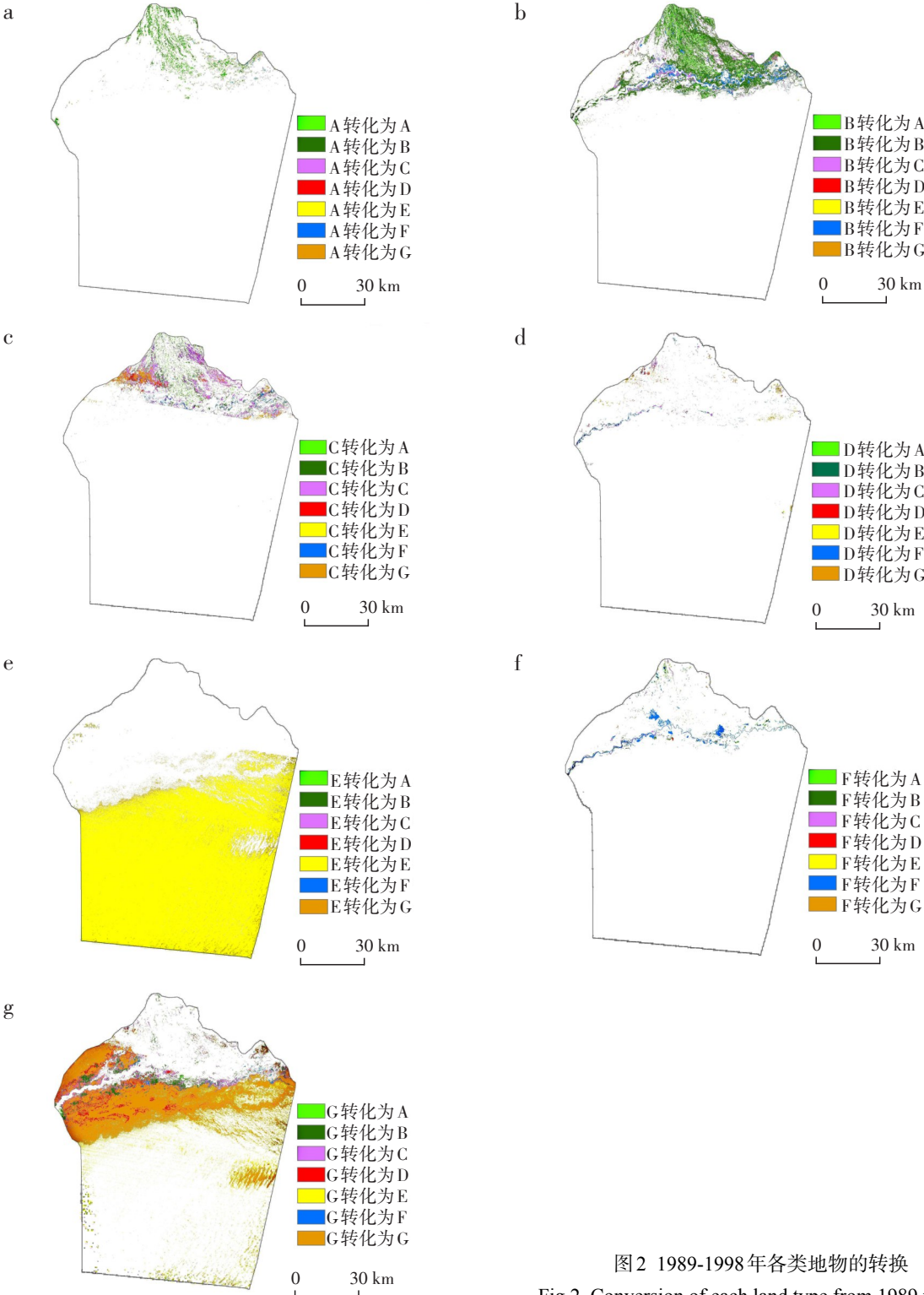


图2 1989-1998年各类地物的转换  
Fig.2 Conversion of each land type from 1989 to 1998

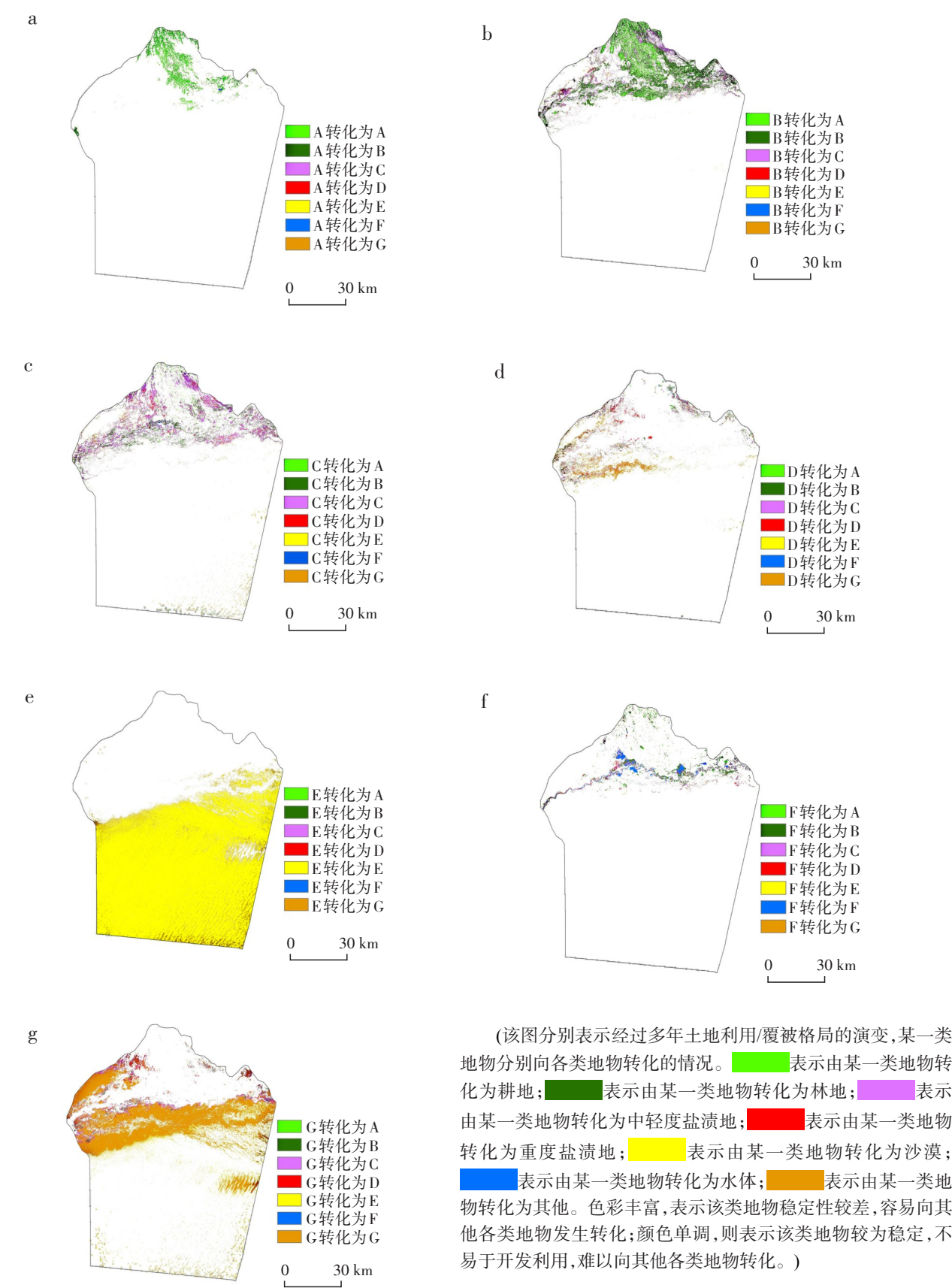


图3 1998-2009年各类地物的转换

Fig.3 Each land type conversion from 1998 to 2009

在9年间加剧;沙漠、其他与各类地物之间的转化均很微弱,由其沙漠向耕地、林地以及水体的转化比率为0,由此更进一步的证明沙漠在9年间无法得以利用和改善。

(2) 1998-2009年11年间,各类地物转化不十分显著。除沙漠以外各类地物均向耕地转化,但转化比率均不明显;林地转化为轻度盐渍地的比率相对较高,占原林地面积的18.16%,林地向其他各类地物转化均不明显;各类盐渍地之间的转化较为频繁,但总体来说,11年间盐渍化情况有所改善,重度盐渍地中有15.318%转化为中轻度,同时7.727%转化为林地,也促进了盐渍地的改善;水体中18.277%转化为中轻度盐渍地,水体部分发生干涸和断流,使得水体减少;沙漠与各类地物之间的相互转化均很微弱,但其他向沙漠转化的面积占原面积的10.724%,说明沙雅县沙漠化依旧严重。

(3) 1989-2009年,历时20年,各类地物转化频繁。耕地向盐渍地、沙漠、水体、其他的转化均较微弱;中轻度盐渍地向林地转化较为显著,从这个角度说明林地得到保护,政府在一定程度上为改善盐渍化,通过增加林地面积,优化生态环境,但土壤的盐渍化趋势并没有得到明显的改善,中轻度盐渍地与重度盐渍地的相互转化显著;沙漠只向重度盐渍地和其他用地极其微弱转化;水体除了没有向重度盐渍地转化外,向其他五类地物均有不同程度的转化,充分证明水体的变化非常容易受到人为因素、自然因素等综合作用的影响。

3.3 盐渍化现状分析

盐渍土是指盐土和碱土以及各种盐化、碱化土壤的统称。其中盐土是指土壤中可溶盐含量达到了对植物的生长有显著危害的土类。碱土则指的是含有危害植物生长和改变土壤性质的多量交换性钠的土类,又称之为钠质土。盐渍化土壤是含盐量处于动态的、逐步恶化的过程中的土壤。中国的盐渍土,相当于美国土壤分类中的盐化、碱化土类,或者相当于联合国分类中的盐土、碱土单元<sup>[20]</sup>。本研究以TM/ETM+遥感影像数据为参考图,根据研究区的实地考察情况,使采样点尽可能遍及研究区

各种不同程度盐渍化土地的范围,均匀布设了53个采样点,土层剖面的深度分别是0~10 cm、10~30 cm以及30~50 cm,总计159个土壤样品进行深入分析。其盐离子含量和含水量的平均值如表3所示。

从表3中可知,土壤pH平均值为7.75,按酸碱分级标准<sup>[21]</sup>,可知研究区土壤呈碱性。根据盐土分类方法,当Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>毫克当量比值大于2时为氯化物盐土<sup>[22]</sup>,可知,研究区采样点0~10 cm、10~30 cm以及30~50cm土层中Cl<sup>-</sup>/SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>毫克当量比值分别为18.79、2.48和2.08,即土壤中的盐类主要为氯化物。土壤中起控制作用的阴离子是氯离子、硫酸根离子和碳酸氢根离子,阳离子是钠、钙、镁、钾离子。除HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>变化趋势不明显且波动范围较小以外,其他所有离子的变化规律均一致,即随着土层深度增加,盐离子含量呈显著减少趋势。由于盐分有着上下运动的规律,可知研究区土壤以氯化物最为活跃,硫酸盐次之,而碳酸氢盐相对较为稳定。

在研究区盐渍地(中轻度盐渍地和重度盐渍地)选取了7个具有代表意义、典型的土壤剖面采样点,共选取土壤样品21个,通过对不同盐渍程度、不同深度土壤样品的含水量及其土壤盐分组分、pH值、电导率、矿化度等的测定,分析盐渍地土壤盐渍化现状。轻度、中度盐渍地的植被覆盖度明显高于重度盐渍地,且部分轻度盐渍地分布在植被与裸地的交错带。采样点基本情况如表4所示。

3.3.1 盐渍土含水量对比分析

从轻度盐渍地、中度盐渍地到重度盐渍地,土壤含水量差异较大,且不同深度含水量也存在较明显的差异。盐渍土土样的含水量如表5所示。

盐渍地土壤的含水量变化显著,0~10 cm深度的各土样含水量显著区别于其他深度,且含水量较低,而10~30 cm和30~50 cm深度的盐渍土含水量较高。虽然各采样点不同深度的含水量大小存在明显差异,但是变化趋势基本相似,突出体现为最表层土壤的含水量与其他深度土层含水量的区别。整体来看,10~50 cm的含水量大于0~10 cm的含水量,但是P6点是个例外,即该点最表层土壤含水量最大,30~50 cm深度时含水量略小,10~30 cm

表3 盐离子含量和含水量的平均值 (mg/100g)

Tab.3 The mean value of salt content and soil moisture content (mg/100g)

土壤层次 /cm	含水量 /%	pH值	含盐量 /%	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
0~10	0.069397	7.88	28.27	73.79	9770	350	208.32	520	9810	0.38
10~30	0.153436	7.67	3.45	71.10	1040	60	110.43	420	1370	0.18
30~50	0.167811	7.69	2.64	75.31	770	50	72.38	370	1080	0.14

表4 监测点基本情况表  
Tab.4 The condition of investigation plots

监测点	名称	高程/m	经纬度	群落类型	植被盖/%
P1	轻度盐渍地	972	41°0'32.87"N 82°0'30.74"E	柽柳群落	约15
P2	轻度盐渍地	950	41°5'1.81"N 82°5'24.38"E	柽柳-盐节木群落	约15
P3	中度盐渍地	970	40°7'8.46"N 82°7'54.86"E	骆驼刺群落	约5
P4	中度盐渍地	952	41°6'55.49"N 82°7'38.09"E	盐节木-黑刺群落	约5
P5	中度盐渍地	973	41°3'8.96"N 82°3'2.50"E	盐节木-盐穗木群落	约5
P6	重度盐渍地	989	41°0'0.24"N 82°5'59.56"E	稀疏的盐节木-盐穗木群落	0~1
P7	重度盐渍地	992	40°7'21.44"N 82°6'30.52"E	稀疏的骆驼刺-黑刺群落	0~1

表5 不同层次盐渍土土壤含水量变化表  
Tab.5 Soil moisture content in different layers

采样时间	深度/cm	土壤含水量/%						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
2010年10月	0~10	0.216	5.738	0.569	1.072	1.404	19.284	0.787
	10~30	21.127	17.325	16.206	26.294	5.573	4.928	17.578
	30~50	29.969	17.638	13.985	25.664	2.128	15.217	25.096

深度时含水量最大。导致不同土层盐渍土土壤含水量存在很大差异的原因有:①土壤表层的含水量大小与灌溉引流等人为因素,以及降水等自然因素密切相关;②降水能够湿润一定深的土层,却无法无限深入土层之中;最表层的土壤水分蒸发最快,也会导致不同土层深度的盐渍土含水量差异很大;③土壤的盐渍化程度不同,含水量大小也就存在很大的差异;④植物的生长需要从土壤中获取水分,植物根系的深度、蒸腾作用的强度、耐盐保水的能力、覆盖度和数量等因素均对盐渍土含水量大小也有影响。

3.3.2 盐渍土盐分对比分析

“盐随水来,盐随水去,水去盐留”,水资源的运动影响了盐分的分布。将21个不同程度的盐渍土土样进行试验分析,不同土层深度,其pH值、含盐量、矿化度、电导率以及七大离子的含量均可以测定(表6)。

由表6可知,研究区土壤盐渍化的化学成分主要是Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。化学成分中阳离子以Na<sup>+</sup>为主,其次是Mg<sup>2+</sup>;阴离子则以Cl<sup>-</sup>为主,其次是SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。因此可以判断,研究区土壤盐渍化的危害主要是NaCl、MgCl<sub>2</sub>以及Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>的危害导致。但是,不同深度的土层,盐渍土的类型也有着较大的差异性:

(1) 0~10 cm,所有土样的pH值均很高,除了P6点以外,其余各采样点的pH值均高于7.5,甚至P1点pH值高达8.42。只有P1、P3点盐渍土中NaCl和

MgCl<sub>2</sub>的含量均很高,产生的盐渍化危害并重,其中P1点电导率最大,含盐量最大。所有采样点盐渍土的危害主要源于NaCl;P4点镁盐含量明显高于其他各点。该土层的含盐量明显高于其他深度的土层,原因是研究区干旱少雨,蒸发量大,溶于地下水和土壤水中的可溶性盐随毛管水上升到地表,水分蒸发后盐分积累在土壤表层,使土壤发生盐渍化,并且土壤的含盐量均很高。

(2) 10~30 cm,由于盐分不断积累于地表,所以导致该土层的土样pH值明显低于表层土壤,电导率明显降低,矿化度更是急剧降低。P4点盐渍土中镁盐和钠盐含量均较高;P6和P7点的盐渍土在该土层中的含盐量明显较低;P3点电导率在该土层中最大,因为部分耐旱耐盐植物根系可深入到该土层中,植物的蒸腾作用会牵引土层中的水分进入植物细胞内,由此导致地下水减少,含盐浓度增加,也就直接导致电导率增加。其余各采样点的盐渍化危害均归因于NaCl和Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>。

(3) 30~50 cm,土样pH值、矿化度、电导率均明显小于表层土,但是与10~30 cm深度土样差异并不十分显著。所有采样点所含盐类均以NaCl为主,其中P5点的含盐量非常少。由于土壤的盐渍化会对植物的根系等产生损伤,不利于植物的生长,所以在含盐量很少的区域,适合例如柽柳等根系发达的耐旱植物生长。

总之,各种盐渍成分的含量的差异,体现了盐渍地的盐渍化程度和趋势。重度盐渍地采样点在

表 6 不同层次土壤盐分统计特征参数表

Tab.6 Statistical feature parameters of soil salinity in different layers

深度 /cm	特征参数	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
0~10	pH 值	8.42	8.12	7.51	8.1	7.98	7.41	7.93
	含盐量/(g/kg)	131.50	61.6	96.78	83.2	10.80	10.2	94.4
	矿化度/(g/L)	167.005	77.860	127.734	105.191	13.066	12.616	1.174
	电导率/(ms/cm)	184.5	105	147.4	123.6	16.59	14.98	131.1
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /(mg/100g)	68	54	95	96	82	79	122
	Cl <sup>-</sup> /(mg/100g)	56036	907	42896	22857	6053	4822	24194
	Ca <sup>2+</sup> /(mg/100g)	462	256	15	1424	23	0	840
	Mg <sup>2+</sup> /(mg/100g)	120	80	163	461	2	145	1661
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /(mg/100g)	760	621	608	853	63	422	618
	Na <sup>+</sup> /(mg/100g)	56282	1246	43420	21921	6173	5177	22432
	K <sup>+</sup> /(mg/100g)	0.35	0.34	0.20	0.05	0.20	0.05	1.65
	pH 值	7.24	7.3	7.5	7.3	7.39	7.85	7.46
	含盐量/(g/kg)	8.90	3.6	9.00	5.8	4.10	2.5	2.4
	矿化度/(g/L)	11.124	4.458	12.663	7.356	5.593	3.192	3.433
10~30	电导率/(ms/cm)	13.26	5.95	16.74	9.25	7.84	4.88	3.92
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /(mg/100g)	45	86	84	59	68	86	77
	Cl <sup>-</sup> /(mg/100g)	2755	17421	3730	1611	1102	933	610
	Ca <sup>2+</sup> /(mg/100g)	124	1170	46	194	11	17	10
	Mg <sup>2+</sup> /(mg/100g)	206	217	19	365	131	7	146
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /(mg/100g)	653	775	609	747	675	27	585
	Na <sup>+</sup> /(mg/100g)	3123	16895	4357	1858	1703	1022	1116
	K <sup>+</sup> /(mg/100g)	0.22	0.34	0.16	0.29	0.24	0.04	0.20
	pH 值	7.28	7.4	7.22	7.46	8.03	7.85	7.9
	含盐量/(g/kg)	9.10	3.1	3.80	3.4	0.60	2.8	2.9
	矿化度/(g/L)	11.824	4.036	5.050	5.422	0.930	3.917	3.409
	电导率/(ms/cm)	16.76	4.93	6.28	5.36	1.161	4.37	4.88
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /(mg/100g)	73	73	82	68	84	102	95
	Cl <sup>-</sup> /(mg/100g)	2798	822	1153	1144	424	1060	1628
30~50	Ca <sup>2+</sup> /(mg/100g)	16	22	20	79	16	24	28
	Mg <sup>2+</sup> /(mg/100g)	215	81	56	67	2	15	69
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /(mg/100g)	731	531	622	537	23	317	549
	Na <sup>+</sup> /(mg/100g)	3371	1323	1780	1603	514	1440	2174
	K <sup>+</sup> /(mg/100g)	0.26	0.32	0.12	0.22	0.05	0.36	0.21

0~10 cm 以及 30~50 cm,土壤中Na<sup>+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的含量均对土壤盐渍化危害的主要成分的判定起主导多用,其中对 30~50 cm 土层尤为突出。中轻度盐渍地和重度盐渍地,其盐分含量也存在差异性。鉴于此,合理的利用有机肥,能够使得不易于植被生长的重度盐渍地,通过土壤胶体对盐分的选择性交换、吸附作用,因此降低盐渍化程度,改善盐渍地土壤肥力。

在 20 年间,研究区对地表盐分含量较大的荒

漠植被和耐盐耐旱植被地区,经过多年的水土开发利用,通过开渠引水、洗盐排水、植树造林、水旱轮作、增施有机肥等诸多途径,不仅改善了干旱区绿洲的生态格局,也影响了研究区的水分和盐分的重新分布。

沙雅县属于渭干河灌区范围内,降水量稀少,不形成地表径流,地表水仅是从总干渠引进。20 年间沙雅县降水量统计规律表明,研究区的降水量年际变化率极大,总体呈现不规则的缓慢的下降趋

势。但同时蒸发量却呈增长趋势,且增长率比较明显,尽管蒸发量的变化幅度较大,但基本保持波动中继续增长的趋势。蒸发量的增长趋势与温度的升高趋势基本保持一致,即随温度的继续升高蒸发量也呈现逐年增长趋势<sup>[23-27]</sup>。近年来,灌区的地表水年引入量为 $19.92 \times 10^8 \text{ m}^3 \sim 27.82 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,年排出的地表水量为 $1.65 \times 10^8 \text{ m}^3 \sim 4.90 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,地下水流量为 $0.08 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。灌区的引入水量与排出水量的差值则形成了灌区的实际耗水量。2000年沙雅县引水量为 $7.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,排水量为 $0.89 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;2003年引水量为 $8.06 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,排水量为 $1.11 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;2007年引水量为 $7.92 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,排水量为 $0.53 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

在干旱内陆盆地,各种以水为载体的盐分只能积聚于盆地之中,缺乏参与全球水文大循环的能力,大陆盐化是不可逆转的<sup>[28]</sup>。多年来,沙雅县排盐量也随着地表水、地下水等的动态变化而发生变化。灌区盐分的排出主要通过灌区排水实现。随着灌排系统的完善,从1994年起,灌区年引入的总盐量开始小于排出的总盐量。1997年沙雅县排盐量为 $36.51 \times 10^4 \text{ t}$ ,并持续增长到1999年的 $78.33 \times 10^4 \text{ t}$ ,之后有所减少,2001年减至 $45.71 \times 10^4 \text{ t}$ 。对整个渭干河灌区,引入盐量大于排出盐量,积盐量均为负值。由此绿洲附近处于脱盐的过程,而越远离绿洲,积盐现象就愈加严重。

### 3.4 土地利用/覆被变化及其对盐渍化的效应分析

#### 3.4.1 盐渍地与耕地、林地之间的变化关系

20年间,耕地转化为中轻度盐渍地和重度盐渍地的面积分别为 $918.27 \text{ hm}^2$ 和 $110.07 \text{ hm}^2$ ,相应于占原耕地面积的3.484%和0.418%;林地转化为中轻度盐渍地和重度盐渍地的面积分别为 $68168.43 \text{ hm}^2$ 和 $11795.04 \text{ hm}^2$ ,相应于占原林地面积的23.850%和4.127%;同时,中轻度盐渍地转化为耕地和林地的面积分别为 $9140.22 \text{ hm}^2$ 和 $20750.76 \text{ hm}^2$ ,相应于占原中轻度盐渍地面积的7.406%和16.815%;重度盐渍地转化为耕地和林地的面积分别为 $188.19 \text{ hm}^2$ 和 $1541.43 \text{ hm}^2$ ,相应于占原重度盐渍地面积的1.362%和11.154%。林地面积转化却明显减少,主要是由于人们盲目追求农业生产的利益,淡化了对林地保护的意识,滥砍滥伐,使得林地面积锐减。土壤的盐渍化导致土壤的结构板结、通透性变差、土壤肥力减弱等,盐渍土无法为耕地、林地等植被的生长提供有利的生长条件,从而对耕地、林地造成不良影响,降低了农业生产力。耕地

增加速度缓慢,林地面积持续减少,加之与盐渍化的矛盾日益突出,也加快了土壤的盐渍化进程。

#### 3.4.2 中轻度盐渍地和重度盐渍地之间的变化关系

20年间,中轻度盐渍地与重度盐渍地之间相互转化频繁。中轻度盐渍地转化为重度盐渍地的面积为 $39607.2 \text{ hm}^2$ ;占原面积的32.094%,重度盐渍地转化为中轻度盐渍地的面积为 $3007.53 \text{ hm}^2$ ,占原面积的21.763%。由此表明,盐渍化情况依然十分严重。盐渍地的自然条件较差、生态环境脆弱,而经济因素驱使人们盲目开荒;落后的土地管理方式更加剧了盐渍化的进程。研究区地处塔里木河流域平原绿洲区中游,来自上游的可溶性盐物质不断积累,导致土壤盐渍化的加重。

#### 3.4.3 盐渍地与水体之间的变化关系

20年间,水体转化为轻度盐渍地和重度盐渍地的面积为 $8.28 \text{ hm}^2$ 和 $62.64 \text{ hm}^2$ ,仅占原水体面积的0.001%和0.004%;中轻度盐渍地和重度盐渍地转化为水体的面积为 $3123.09 \text{ hm}^2$ 和 $1423.44 \text{ hm}^2$ ,占原面积的2.531%和10.300%。水体减少,主要由于当地水利设施陈旧,引起河流径流干涸。不合理的灌溉技术通常导致地下水位上升,将地下水中的矿物带入土体,加之研究区是塔里木河流域平原绿洲区的水盐的汇集中心,气候干旱,蒸发强烈,降水稀少,地下水埋深浅,致使土壤中盐分含量不断增加。

#### 3.4.4 盐渍地与未利用地之间的变化关系

沙漠和其他(包括戈壁、粘土等)均属于未利用地。20年间,沙漠、其他与中轻度盐渍地、重度盐渍地的相互转化均非常微弱。但总体来看,沙漠、其他用地向各类盐渍地转化的面积为 $85012.65 \text{ hm}^2$ ,各类盐渍地向沙漠、其他的转化面积为 $13608.45 \text{ hm}^2$ 。显然,前者远大于后者的转化面积,沙漠和其他用地难以得到合理的开发和利用,这表明:沙漠化现状很难得到改善,而且沙漠化进程又加重了土壤盐渍化现象。

## 4 结论

本文应用Landsat TM/ETM+影像,基于对研究区1989-2009年20年的土地利用/覆被的时空变化进行定量分析,结合新疆沙雅县20年来水盐资料,分析了2010年盐渍土不同深度土壤的水盐分布现状,通过对中轻度盐渍地、重度盐渍地与其余各类地物的相互转化分析,揭示了研究区土地利用/覆被变化及其对土壤盐渍化的效应。得出以下结论:

(1) 经研究区的影像分类分析发现,1989-2009年的20年间,新疆沙雅县土地利用/覆被类型有很大的变化,并且,各土地覆盖类型间面积转换频繁。尤其是轻度盐渍地和重度盐渍地之间的相互转化较为剧烈,土壤盐渍化现状令人堪忧。

(2) 通过动态度分析,结果表明,20年之间,研究区综合土地利用动态度仅为0.476%,中轻度盐渍地和重度盐渍地在前9年后11年间,恶化速率呈现先增加后减少的趋势,尽管盐渍化进程有所遏制,盐渍化略情况有所改善,但是,依然无法扭转研究区盐渍化逐步恶化且重度盐渍地持续增加的趋势。

(3) 结合20年来研究区水盐动态响应,分析了2010年10月盐渍土水盐分布现状,发现不同深度的盐渍土土壤含水量存在很大差异,尤其最表层土壤含水量明显区别于深层土壤。灌溉、降水、蒸发、土壤盐渍化程度、地表植被生长状况等均会影响土壤含水量大小。研究区土壤盐渍化的危害主要是NaCl,其次是MgCl<sub>2</sub>和Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>,但不同深度的土层,盐渍土的盐分含量也存在差异性。

(4) 在中轻度盐渍地、重度盐渍地与耕地、林地、沙漠、水体、戈壁等之间相互转化和相互作用中,森林砍伐、植被破坏、水资源匮乏,来自塔里木河上游的可溶性盐物质不断地积累,促进了研究区土壤的盐渍化进程,综合因素造成土壤盐渍化的加剧的现状。

自然界本身引起生态环境变化在一定程度上带有循环性,亦即正逆交替过程,而人类活动的无序和消极影响一旦大于积极影响作用于环境,将加速向恶化单方面发展<sup>[29]</sup>。新疆土壤盐渍化问题与土地利用的可持续发展密切相关。为了改善土壤盐渍化情况,为当地人民谋求福祉,不仅需要大力治理已经盐渍化的土地,避免盐渍化进程的加剧,而且更要保护脆弱土地资源,防止土地发生新的盐渍化。由于土地利用在很大程度上受到各级政府法律和规划的制约<sup>[30]</sup>,因此政府应提倡通过增加林地面积,防治水土流失,调整农业生产结构,加大河道治理、改善灌溉设施和技术,保护生态环境。同时,要提高对土地的合理利用、土地资源的保护,以及与生态环境和谐共存意识,才能保障相关政策的稳步和顺利实施。

## 参考文献

[1] 周云凯,白秀玲,姜加虎. 1989年至2006年鄱阳湖区土地利用动态变化研究. 资源科学, 2011, 33(6): 1186-1194.

[2] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, et al. Human domination of earth's ecosystems. Science, 1997, 277 (5325): 494-499.

[3] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析. 地理学报, 2009, 64(12): 1411-1420.

[4] 候玉婷,王书功,南卓铜. 基于知识规则的土地利用/土地覆被分类方法:以黑河流域为例. 地理学报, 2011, 66 (4): 549-561.

[5] 张景华,封志明,姜鲁光. 土地利用/土地覆被分类系统研究进展. 资源科学, 2011, 33(6): 1195-1203.

[6] 李会志,李新国,等. 基于遥感技术的开都河下游绿洲区土壤盐渍化动态监测研究. 国土资源遥感, 2010(1): 85-88.

[7] 丁建丽,潘晓玲,朱启疆,等. 极端干旱区绿洲外缘地带植被现状及其恢复可行性研究:以策勒县为例. 生态学报, 2004, 23(1): 1-4.

[8] 陈浮,濮杰,等. 新疆库尔勒市土地利用变化对土壤性状的影响研究. 生态学报, 2001, 21(8): 1290-1295.

[9] Abd El-Kawy O R, Rod J K, Ismail H A, et al. Land use and land cover change detection in the western Nile delta of Egypt using remote sensing data. Applied Geography, 2011, 31(2): 483-494.

[10] Onur I, Maktav D, Sari M., et al. Change detection of land cover and land use using remote sensing and GIS: A case study in Kemer, Turkey. International Journal of Remote Sensing, 2009, 30(7): 1749-1757.

[11] Berberoglu S, Akin A. Assessing different remote sensing techniques to detect land use/cover changes in the eastern Mediterranean. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2009, 11(1): 46-53.

[12] 李晓军,李取生. 松嫩平原西部土地利用变化及其盐渍化效应研究:以大安市为例. 干旱区资源与环境, 2005, 19(3): 88-93.

[13] 顾雪峰,张远东,潘晓玲,等. 水盐动态与土地利用变化相互作用的分析. 地理学报, 2003, 58(6): 845-854.

[14] 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. 地理科学进展, 2011, 30(5): 593-599.

[15] 张飞,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等. 干旱区土壤盐渍化及其对生态环境的损害评估:以新疆沙雅县为例. 自然灾害学报, 2009, 18(4): 55-62.

[16] 鲁如坤,陈怀满,周健民,等. 土壤农业化学分析方法. 北京:中国农业科技出版社, 2000: 80-96.

[17] 朱会义,李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论. 地理学报, 2003, 58(5): 643-650.

[18] 张飞,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等. 干旱区绿洲土地利用/覆被及景观格局变化特征:以新疆精河县为例. 生态学报, 2009, 29(3): 1251-1263.

[19] 丁建丽,塔西甫拉提·特依拜. 3S技术在绿洲土地覆盖

变化研究中的应用研究: 以新疆于田绿洲为例. 生态学杂志, 2005, 44(11): 1277-1282.

- [20] 朱鹤健, 何宜庚. 土壤地理学. 北京: 高等教育出版社, 2003: 189-199.
- [21] 新疆农业厅, 新疆土壤普查办公室. 新疆土壤. 北京: 科学出版社, 1996: 458-464.
- [22] 中国科学院新疆生物土壤沙漠研究所, 新疆土壤与改良利用. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1980: 166.
- [23] 杨义, 张宝军, 丁贞玉, 等. 50年来靖远县气候变化趋势分析. 干旱区研究, 2007, 24(4): 532-536.
- [24] 姜逢清, 朱诚, 胡汝骥. 1960-1997年新疆北部降水序列的趋势探测. 地理科学, 2002, 22(6): 669-672.
- [25] 王翠花, 李雄, 缪启龙. 中国近50年来日最低气温变化

特征研究. 地理科学, 2003, 23(4): 442-448.

- [26] 唐蕴, 王浩, 严登华, 等. 近50年来东北地区降水的时空分异研究. 地理科学, 2005, 25(2): 172-176.
- [27] 何云玲, 张一平, 杨小波. 中国内陆热带地区近40年气候变化特征. 地理科学, 2007, 27(4): 499-505.
- [28] 董新光, 姜卉芳, 邓铭江, 等. 内陆盆地的盐分布与平衡分析研究. 水科学进展, 2005, 16(5): 638-642.
- [29] 任红玲, 廉毅, 高枫婷, 等. 中国东北西部地区荒漠化发展前沿区域的遥感研究. 第四纪研究, 2002, 22(2): 136-143.
- [30] 谈明洪, 李秀彬, 辛良杰, 等. 英国城市绿化带土地利用及其对中国的启示: 以斯佩尔索恩(Spelthorne)区为例. 地理科学进展, 2012, 31(1): 20-25.

## Study on Land Use/Cover Changes and Soil Salinization in Dry Areas: A Case Study of Shaya County in Xinjiang

SUN Qian<sup>1,2</sup>, TASHPOLAT·Tiyip<sup>1,2</sup>, DING Jianli<sup>1,2</sup>, ZHANG Fei<sup>1,2</sup>, MAMAT·Sawut<sup>1,2</sup>, HAN Guihong<sup>1,2</sup>

(1. School of Resources & Environmental Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, China;

2. Key Laboratory of Oasis Ecology of Ministry of Education, Xinjiang University, Urumqi 830046, China)

**Abstract:** This study, taking the typical oasis of Shaya, Xinjiang as an example, used three temporal images combined with field surveys. With the application of remote sensing, GIS and GPS, this paper investigates the distribution and changes of the slight-moderate and heavy saline land, and examines the relationship between the slight-moderate saline land, heavy saline land and other types of landscapes. Combining with the water-salt dynamics in the study area during the last 20 years, it analyzed the distribution of the saline soil moisture content, pH value, degree of mineralization and the chemical composition, and conducted a study on land use/cover changes and salinization effects in the dry area. The conclusions can be drawn as follows. (1) From 1989 to 2009, various types of land use/cover changes significantly affected the study area and there was frequent conversion of one type into another, with comprehensive land use degree being 0.476% in the study area. Between the former nine years and the latter eleven years, the rate of deterioration of slight-moderate and heavy saline land showed a decreasing trend after the first increase. Although the salinization was mitigated, it was still unable to reverse the gradual salinization in the study area and the heavy saline land continued to increase. (2) The soil in the study area was alkaline, and the major soluble ions were  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ , and  $\text{SO}_4^{2-}$ . It is reported that soil alkalization was caused mainly by  $\text{NaCl}$ , followed by  $\text{MgCl}_2$  and  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . The soil moisture content at a 0~10 cm depth was low, while that at depths of 10~30 cm and 30~50 cm was higher. Although soil moisture content of the sampling points at different depths were different, but the trends were similar. Different depths of soil and types of saline soil also had a large difference, and the most surface soil salinity was different between different depths. (3) During the 20 years, the area conversion of farmland to slight-moderate and heavy saline land accounted for 3.484% and 0.418%, respectively. The transformation between water body, desert, others (gobi, sand and clay, etc.) and saline land (slight-moderate and heavy saline land) was very weak. The conversion of slight-moderate and heavy saline land to each other was frequent.

**Key words:** dry area; land use/cover change (LUCC); salinization; moisture content; salt content; Shaya County in Xinjiang

本文引用格式:

孙倩, 塔西甫拉提·特依拜, 丁建丽, 等. 干旱区典型绿洲土地利用/覆被变化及其对土壤盐渍化的效应研究: 以新疆沙雅县为例. 地理科学进展, 2012, 31(9): 1212-1223.