

# 克拉玛依农业开发区不同开垦年限土壤盐分变化<sup>①</sup>

张寿雨<sup>1,2,3</sup>, 吴世新<sup>1\*</sup>, 贺可<sup>1,2</sup>, 蒙敏<sup>4</sup>, 田长彦<sup>1</sup>

(1 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830011; 2 中国科学院大学, 北京 100049;

3 江苏省基础地理信息中心, 南京 210013; 4 克拉玛依农业开发区管委会, 新疆克拉玛依 834000)

**摘要:** 利用 1996 年、2006 年和 2016 年 3 次土壤采样数据和遥感影像, 结合统计学和 GIS、RS 技术, 分析了克拉玛依农业开发区不同开垦年限土壤盐分的变化。结果表明: 近 20 a 来研究区土壤盐渍化总体上呈现出减轻的趋势, 但开垦后土壤盐分南重北轻的总体格局未发生变化。研究区总体上按照从北到南的顺序进行开发, 随着开垦年限的增加, 土壤盐分含量总体呈现下降的趋势, 但 2006 年之后开垦区域的盐分变化较为复杂。研究区较早开垦的耕地本底条件较好, 开垦前土壤盐渍化较轻, 开垦后盐渍化减轻程度较大, 农业活动的改良效果较好; 随着开垦年限的减小, 土壤本底条件逐渐变差, 农业改良的效果逐渐降低。经过十多年农业种植后, 南部部分地区的土壤盐分含量较高, 影响作物生长, 主要表现为归一化植被指数(NDVI)出现斑块状低值区。

**关键词:** 克拉玛依; 农业开发区; 土壤盐分; 开垦年限

中图分类号: S156.4 文献标识码: A

土壤盐渍化是干旱半干旱区土地退化的重要表现, 同时也是影响干旱半干旱区农业生产和生态安全的重要因素<sup>[1-2]</sup>。第二次新疆土壤普查数据表明, 盐渍化耕地面积约占耕地总面积的 31.10%<sup>[3]</sup>, 2005 年遥感调查表明, 新疆盐渍化耕地面积占耕地总面积的 32.07%<sup>[4-5]</sup>。新疆已经成为中国重要的粮棉生产基地和国家粮食安全后备基地, 土壤盐渍化严重威胁着新疆的农业安全<sup>[6-7]</sup>。土壤盐渍化的研究主要集中在土壤盐分空间分布和田间尺度水盐运移规律方面<sup>[8-19]</sup>, 对土地开垦种植后土壤盐分的变化和分布规律的研究相对不足<sup>[20]</sup>。现有研究中探讨土壤盐分与开垦年限的关系时, 主要是通过同一时间下比较不同开垦年限的不同耕地地块的盐分<sup>[21-26]</sup>。这种横向比较只能揭示不同耕地土壤盐分的现状, 无法揭示同一耕地土壤盐分的动态变化。

本文在研究克拉玛依农业开发区土壤盐分与开垦年限的关系时, 通过横向和纵向的比较, 既分析了不同区域土壤盐分的现状又分析了同一区域土壤盐分的动态变化; 对比克拉玛依农业区开垦前后土壤盐分的变化特征, 分析近 20 a 来该区域土壤盐渍化的空间分布及时空变化, 探讨以该区域为典型代表的绿洲土壤盐渍化变化规律, 以期为绿洲农业的可持续发

展提供科学依据。

## 1 研究区概况

本文以呼克公路以西的克拉玛依农业综合开发区为研究区域(图 1)。研究区地处准噶尔盆地的西北部边缘古玛纳斯湖的湖积平原上, 东面濒临古尔班通古特沙漠, 北部为荒漠平原。研究区高程为 268~288 m, 坡度为 0.26%; 属于典型的温带大陆性干旱荒漠气候, 干燥少雨, 蒸发强烈, 降水主要集中在冬夏两季, 平均年降水量 108.9 mm, 蒸发量 3 008.9 mm。残余沼泽土是克拉玛依农业开发区的主要土壤类型, 在深度 15 m 范围内的地层岩性以第四纪晚更新世-全新世的河湖相细砂、粉砂、粉土与黏土为主。自 2001 年全面实施农业综合开发以来, 研究区主要依靠水利工程输水管网引用区域外的水源进行灌溉。大量区外水资源的输入以及相对封闭的地形, 使研究区输入的水量无法向外排出, 一直处于有灌无排的状态<sup>[27-28]</sup>。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本文使用的数据包括土壤采样数据和遥感影像。

基金项目: 国家科技基础资源调查专项(2017FY101004)资助。

\* 通讯作者(wushixin@ms.xjb.ac.cn)

作者简介: 张寿雨(1992—), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生, 主要从事资源环境遥感应用研究。E-mail: haozhshy@163.com

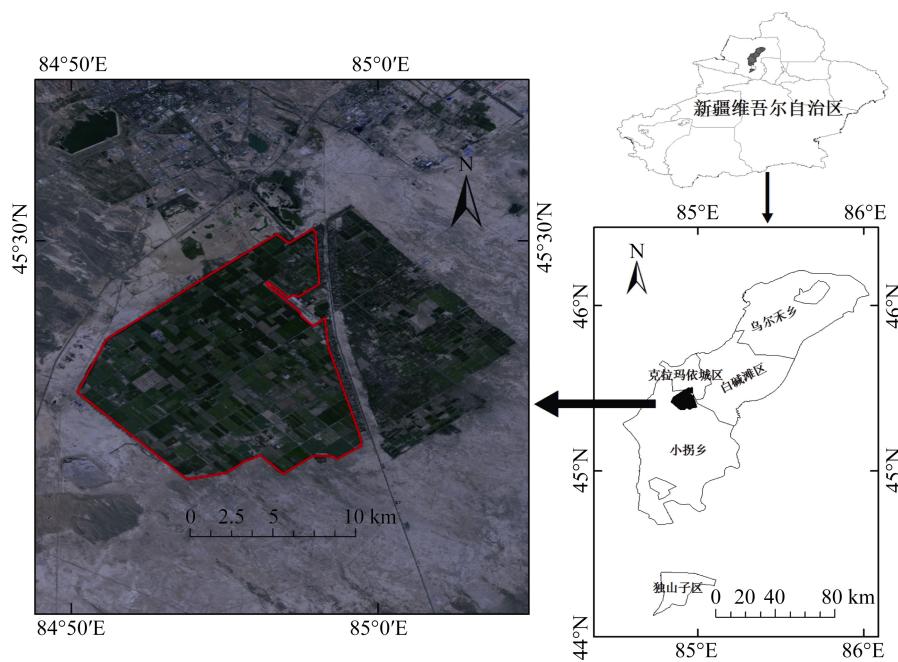


图1 研究区示意图  
Fig. 1 Location of study area

土壤采样数据包括1996年、2006年和2016年3期，土壤采样深度为0~30 cm，样本点数目分别为469、184和149(图2)。2006年采样时间为4月3日至26日，2016年土壤采样时间为2016年6月4日至20日。1996年

和2006年的土壤采样数据由克拉玛依农业综合开发区管委会提供，2016年土壤采样数据由本课题组完成。土样测试项目包括土壤总盐和 $\text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{CO}_3^{2-}$ 、 $\text{HCO}_3^-$ 八大离子的含量。

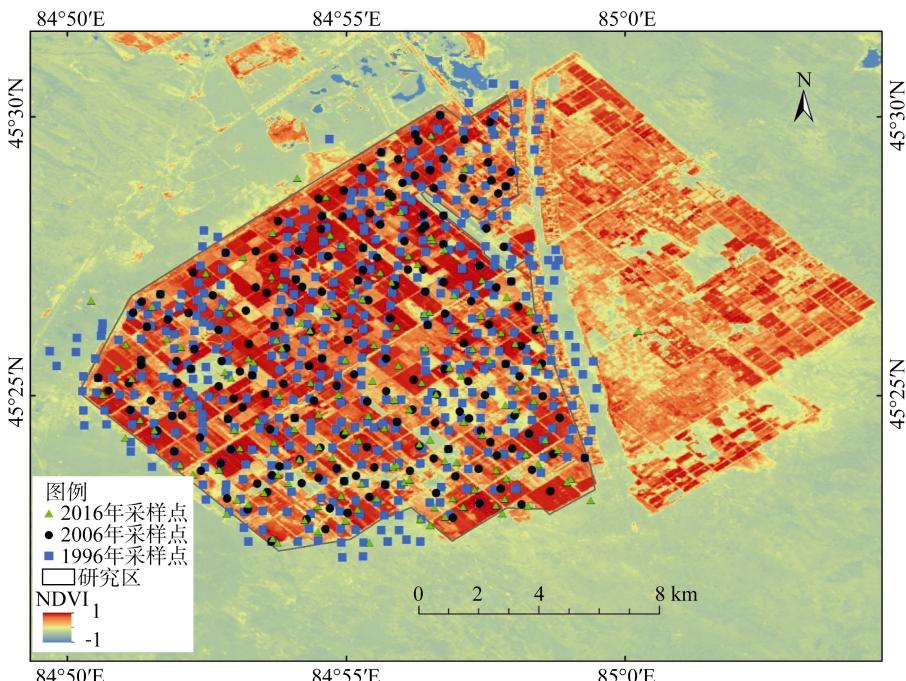


图2 土壤采样点分布  
Fig. 2 Location of soil sampling points

遥感影像数据包括研究区1996—2016年的Landsat影像，轨道号为145028。本文利用Landsat TM、ETM+和OLI影像监测植被长势，提取研究区

的开垦年限。为了达到研究目的，所用影像的获取时间与研究区农作物生长季尽可能一致，对研究区1996—2016年的遥感影像进行筛选后，获得可用影

像共 82 景。

## 2.2 研究方法

本文使用 SPSS 23.0 进行土壤样本的描述性统计分析, 对数据进行正态分布检验, 对不符合正态分布的数据进行对数转换。采用地学统计软件 GS+9.0 计算最优理论变异函数模型, 利用 ArcGIS 10.2 进克里金(Kriging)插值。对 1996—2016 年的遥感影像进行几何校正、辐射定标和大气校正等处理, 然后使用最大值合成法(maximum value composite, MVC)求出年内归一化植被指数(NDVI)最大值, 提取研究区耕地的开垦年限。将采样点数据及其插值结果与开垦年限分布图进行叠置分析, 从点和面两个角度研究开垦年限与土壤盐分的关系。

## 3 结果与分析

### 3.1 研究区土壤盐分特征

如表 1 所示, 不同年份研究区内部和外部、南部和北部土壤总盐含量的均值和中值均存在一定差异。纵向比较, 自 1996 年以来同一分区的均值不断减小, 表明开垦后研究区盐渍化有所减轻。横向比较, 同一时间外部地区的均值大于内部, 南部均值大于北部, 表明开垦前后南部和北部盐渍化均存在差异。土壤盐渍化有所减轻主要是由于农业活动的改良作用, 但不同区域有所差异。

表 1 研究区不同区域盐分特征(g/kg)

Table 1 Characteristics of salinization in different areas of study area

年份	统计值	内部	外部	南部	北部
1996	最大值	33.70	33.66	31.11	33.70
	最小值	0.37	0.72	0.38	0.37
	中值	3.67	5.28	5.75	3.05
	标准差	6.36	7.20	7.42	4.83
	均值	6.28	7.81	8.67	4.59
	变异系数(%)	101	92	86	105
2006	最大值	30.80	—	30.80	13.90
	最小值	0.20	—	0.30	0.20
	中值	2.70	—	4.10	2.30
	标准差	5.26	—	6.77	2.86
	均值	4.65	—	6.67	3.11
	变异系数(%)	113	—	102	92
2016	最大值	22.60	14.00	22.60	8.26
	最小值	0.37	1.95	0.37	0.50
	中值	2.76	4.87	5.92	1.67
	标准差	4.52	3.93	4.97	1.63
	均值	4.63	6.76	6.52	2.02
	变异系数(%)	98	58	76	81

土壤盐渍化空间分布图(图 3)中的细线为克里金插值得出的等值线。1996 年、2006 年和 2016 年的土壤盐渍化程度重的区域等值线较为密集, 等值线密集区为土壤含盐量变化剧烈的地区。3 个年份南部的等值线均较为密集, 表明南部地区土壤盐渍化程度较重且变化较为剧烈。

研究区 1996 年、2006 年和 2016 年土壤盐渍化呈现出明显的南北分异, 总体上南部地区的盐渍化重于北部地区。非盐渍化和轻度盐渍化土壤主要分布于研究区北部; 而中度、重度盐渍化土壤主要分布于研究区南部, 呈东西走向条带状分布。开垦后非盐渍化面积显著增加, 中度盐渍化面积明显下降, 重度盐渍化经历先南移后北移的过程。

### 3.2 不同开垦年限土壤盐分特征

图 4 为研究区开垦年份分布, 研究区基本按照由北向南的顺序开发, 北部地区的开发历史较悠久, 开垦年限较长, 区内由北向南开垦年限呈现逐渐递减的趋势。研究区内不同区域耕地的开垦时间差异较大, 区内最早于 2000 年进行开垦种植, 但面积较小, 首次进行大规模种植是 2001 年, 最后的未开垦区域于 2014 年完成开垦种植, 至此研究区全部开垦完毕。不同时间开垦的耕地面积也存在较大差异, 2001 年、2002 年、2004 年和 2006 年开垦规模相对较大, 开垦面积占研究区总面积的比重分别为 32.10%、10.66%、29.27% 和 11.41%。2006 年之后开垦的规模较小, 开垦面积占总面积的比重不足 9%。

为了将不同开垦年限的土壤盐渍化情况进行横向对比, 分别将 2006 年、2016 年土壤采样点与开垦年限分布图叠置, 获得各个采样点的开垦年限, 将相同开垦年限采样点的土壤总盐含量求均值, 分析不同开垦年限采样点土壤盐渍化的变化特征。由于 2006 年土壤采样时间为 4 月 3 日至 26 日, 在耕种时间之前, 因此此时研究区只有 2000 年至 2005 年开垦的耕地, 2006 年及之后开垦地的区域此时均为未开垦区域。

如图 5 所示, 截至 2006 年, 研究区经过 0~6 a 开垦后, 不同开垦年限采样点土壤总盐含量的变化特征表现为: 随着开垦年限的增长, 研究区土壤总盐总体上呈现降低的趋势。未开垦区域的采样点其总盐含量最高, 较早开垦区域的采样点其总盐含量相对较低, 2003 年开垦种植区域的采样点总盐含量最低。2003 年之后开垦的区域的土壤采样点, 其总盐含量均大于 3 g/kg, 并且变化幅度较大; 2003 年之前开垦的区域的土壤采样点, 其总盐含量均小于 3 g/kg, 且变化幅度较小。

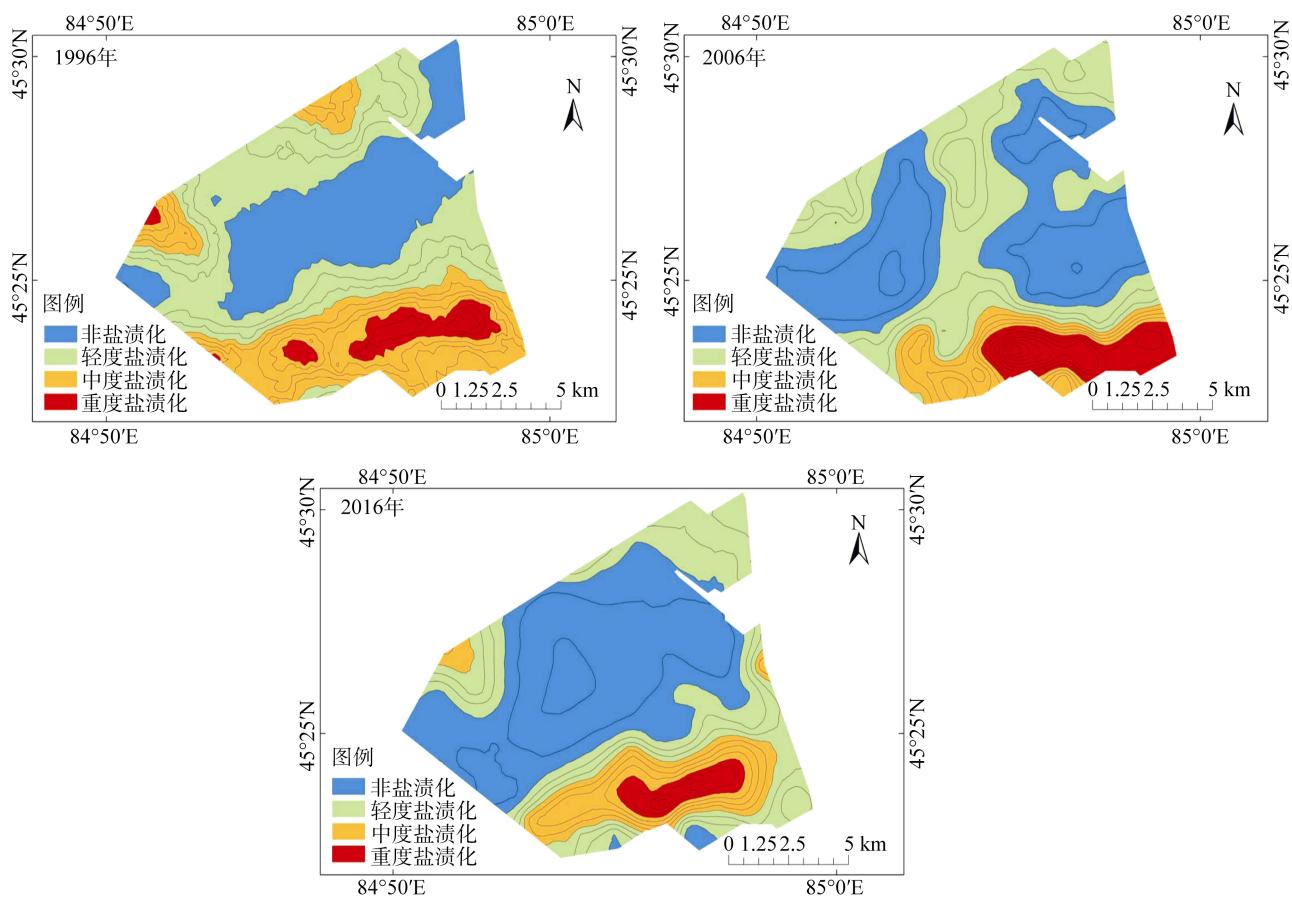


图3 1996—2016年土壤盐渍化空间分布  
Fig. 3 Changes of spatial distribution of soil salinization from 1996 to 2016

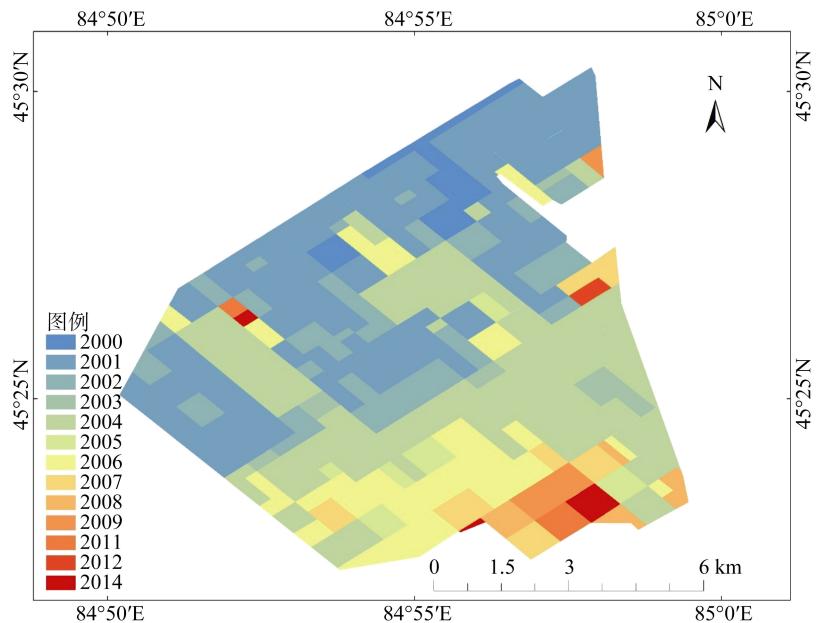


图4 研究区开垦时间分布  
Fig. 4 Distribution of reclamation years in study area

如图6所示,截至2016年,研究区经过3~17 a开垦后,不同开垦年限采样点土壤总盐含量的变化相

对复杂,其变化特征总体上仍然表现为:研究区随着开垦年限的增长,土壤总盐总体上呈现降低的趋势,

但波动性较大。较晚开垦区域的采样点总盐含量相对较高,较早开垦区域的采样点总盐含量相对较低;2002 年开垦种植区域的采样点总盐含量最低,2014 年开垦种植区域的采样点总盐含量最高。2006 年之后开垦的区域的土壤采样点,其总盐含量均大于 3.5 g/kg,并且变化幅度较大,波动性较大;2006 年之前开垦的区域的土壤采样点,其总盐含量随着开垦年限的增加而下降,并且波动性相对较小。

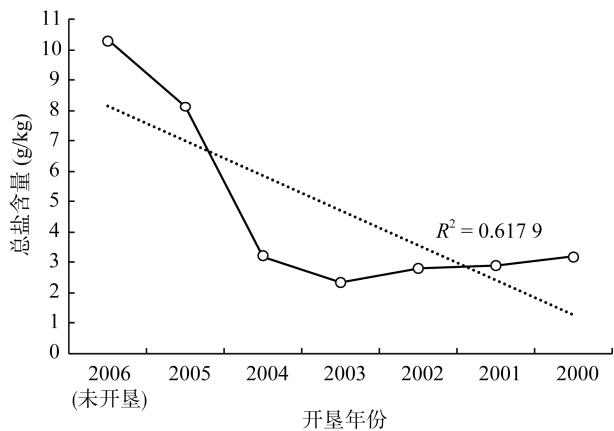


图 5 2006 年不同开垦年限土壤盐分特征

Fig. 5 Salinization in 2006 of soils with different reclamation years

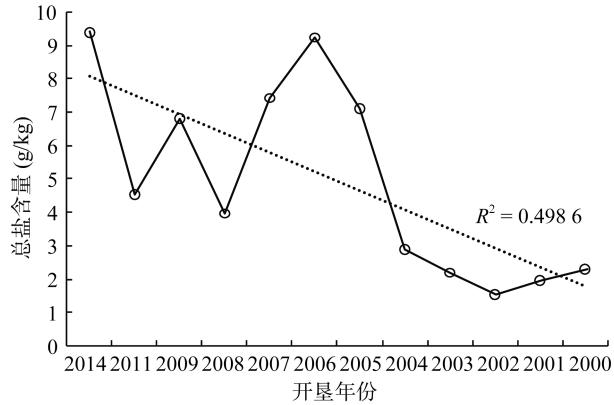


图 6 研究区 2016 年不同开垦年限土壤盐分特征

Fig. 6 Salinization in 2016 of soils with different reclamation years

如图 7 所示,将 1996 年、2006 年和 2016 年 3 期采样数据与研究区开垦年限分布图进行叠置,将相同开垦年限采样点的土壤总盐含量求均值,分析不同开垦年限采样点土壤盐渍化的变化特征。尽管 1996 年和 2006 年采样时,有些区域尚未开垦,但为了便于比较,本文也把采样点对应到具体的开垦年份上,对 3 次采样点均按开垦年份求均值。

研究区 2006 年之前开垦的区域,相同开垦时间下,随着开垦年限的增加,1996 年、2006 年和 2016 年土壤总盐含量不断下降。但不同开垦年限以及不同

时间段的降幅有所差异,其中 2000 年开垦区域下降幅度最大,表明开垦前盐渍化程度越轻的区域在开垦后改良效果越好。2006 年及之后开垦的区域变化较为复杂。

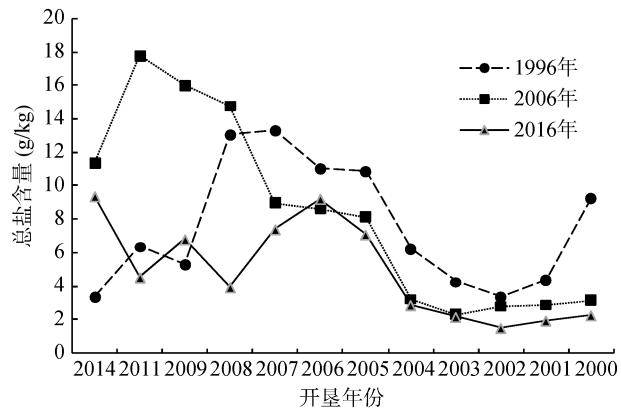


图 7 研究区不同开垦年限土壤盐分特征

Fig. 7 Changes of salinization of soils with different reclamation years

2007 年及之后开垦的区域,在相同开垦时间下,2006 年土壤采样的总盐含量高于开垦前的 1996 年,变化较为复杂。可能是由于这些区域基本位于南部地区且在 2006 年采样时尚未开垦,已开垦区域的盐分在农业灌溉的作用下淋溶流失进入土壤底层,随地下水流动而集聚在此,使这里成为积盐区域。

### 3.3 不同分区土壤盐渍化特征

如图 8 所示,依据不同区域开垦年限的长短,将研究区开垦时间合并为 2000—2002 年、2003—2005 年和 2006—2014 年 3 个时间段,依据 3 个时段开垦主体区域的分布以及下文表达的方便,将研究区 3 个时段开垦的区域分别称为北区、中区和南区 3 个子区域。北区的主体部分于 2000—2002 年间首次进行种植,主要位于北部地区,耕地的开垦年限最长;中区的主体部分于 2003—2005 年间首次进行种植,主要位于中部和东部地区;南区的主体部分于 2006—2014 年间首次进行种植,主要位于南部地区。北区、中区和南区的面积比重分别为 46.13%、33.79% 和 20.28%,从北区至南区面积逐渐减小。

依据研究区耕地的开垦时间确定其开垦年限,1996 年土壤采样时,研究区处于尚未开垦状态。截至 2006 年土壤采样时,北区的开垦年限为 4~6 a;中区的开垦年限为 1~3 a;南区为尚未开垦区域。截至 2016 年土壤采样时,北区的开垦年限为 15~17 a,中区的开垦年限为 12~14 a,南区的开垦年限为 3~11 a。

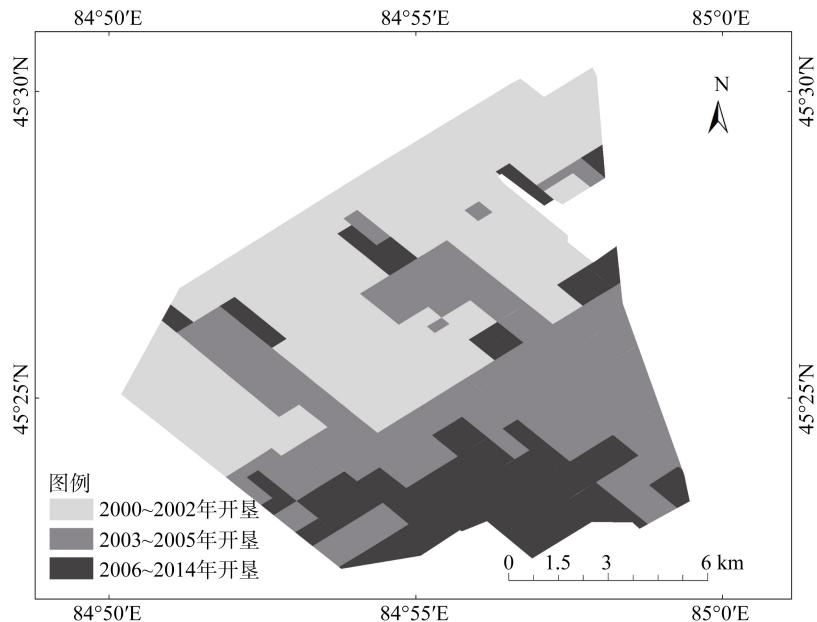


图 8 研究区内不同子区分布图  
Fig. 8 Distribution of different sub-regions with different reclamation time in study area

表 2 ~ 表 4 为不同子区域土壤盐渍化的面积特征,研究区开垦前后土壤盐渍化均以北区最轻,中区次之,南区最重,表明研究区内土壤本底条件存在差异,总体上优先开垦本底条件较好的土地,之后开垦本底条件较差的土地。随着研究区开垦年限的增加,不同子区域的盐渍化总体上均呈现出逐渐减轻的趋势,但不同子区域的变化程度不尽相同,北区盐渍化减轻程度最大,中区次之,南区最小,表明开垦前盐渍化程度越轻的区域在开垦后改良效果越好。

土壤盐渍化在时间和空间上变化十分复杂,不同区域不同类型盐渍化在不同开垦年限的面积变化不尽相同。南区在 2006 年与 1996 年虽然都处于尚未开垦状态,但是这两年的盐渍化具有一定差异。与 1996 年相比,2006 年南区非盐渍化、轻度和重度盐渍化面积增加,中度盐渍化面积减少。这可能是由于 2006 年该区域虽然尚未开垦,但是研究区整体的开垦情况与 1996 年相比已经发生巨大变化,南区受到区内开垦区域的影响所导致。

表 2 研究区内不同子区盐渍化面积特征(%)  
Table 2 Area statistics of salinization in different sub-regions

年份	子区	开垦年限(a)	非盐渍化	轻度盐渍化	中度盐渍化	重度盐渍化	总计
1996	北区	0	43.42	48.69	7.74	0.15	100
	中区	0	22.17	40.84	33.15	3.85	100
	南区	0	6.52	15.34	56.42	21.71	100
2006	北区	4 ~ 6	56.90	43.10	0	0	100
	中区	1 ~ 3	46.37	38.09	10.42	5.12	100
	南区	0	10.61	24.15	31.72	33.52	100
2016	北区	15 ~ 17	76.28	21.98	1.73	0.00	100
	中区	12 ~ 14	37.91	43.50	16.60	1.98	100
	南区	3 ~ 11	15.89	29.83	37.40	16.88	100

### 3.4 研究区土壤盐分与 NDVI

如图 9 所示,2016 年研究区南部 NDVI 出现斑块状低值区,表明这些区域的作物长势较差,可能是由于土壤盐渍化较重所导致。通过对不同阈值进行比较后发现低值区基本为  $NDVI_{MVC} < 0.5$  的区

域。使用 ArcGIS 提取低值区。将  $NDVI_{MVC}$  低值区和 2016 年土壤采样点进行叠置分析,提取分布在  $NDVI_{MVC}$  低值区的 2016 年土壤采样点,发现该区域的土壤采样点的总盐含量普遍较高,总盐含量在 8.00 ~ 22.60 g/kg,均值为 12.41 g/kg,远远大于

2016 年研究区内部和南部地区的均值。

研究区 2016 年 NDVI\_MVC 低值区土壤采样点的总盐含量较高, 在一定程度上表明, 土壤盐渍化已经对农作物生长造成影响。这些区域可能是由于较重的土壤盐渍化导致农作物无法正常生长, 从而造成农

作物长势较差、农田产量较低以及由此引发的弃耕。这些区域的盐渍化可能是由于土壤本底条件造成的, 也可能是由于农业灌溉引起的“盐随水走”所导致。应该重点对这些区域的农田进行修复, 通过控制灌溉量、改善灌溉方式和排盐等措施治理盐渍化。

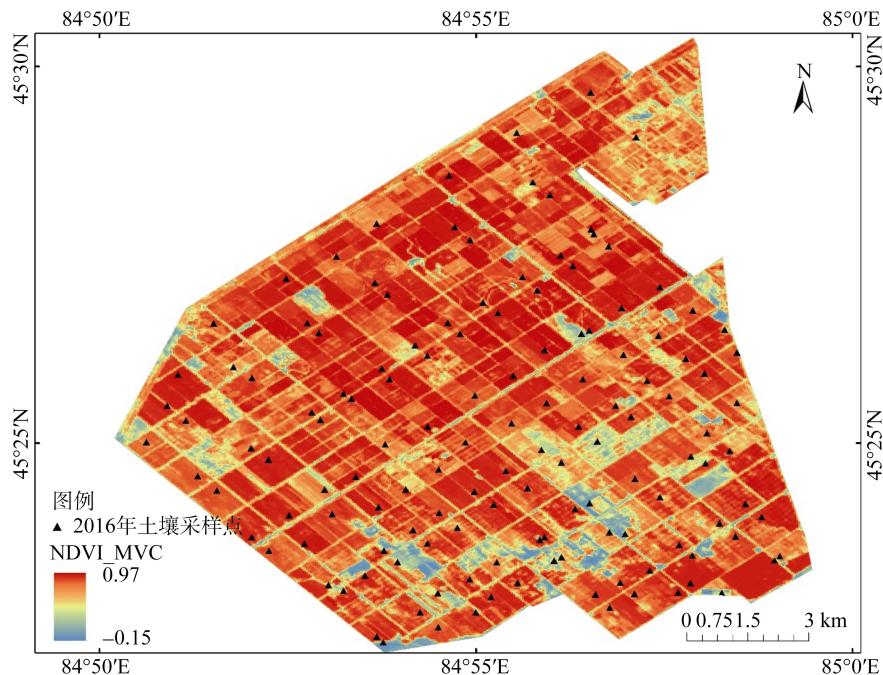


图 9 研究区 2016 年 NDVI 分布  
Fig. 9 Distribution of NDVI in study area in 2016

#### 4 结论

1) 随着开垦年限的增加, 研究区土壤总盐含量总体呈现下降的趋势。2006 年土壤采样时, 经过 0~6 a 开垦后, 土壤总盐含量随着开垦年限的增加而减小, 波动性较小。2016 年土壤采样时, 经过 3~17 a 开垦后, 土壤总盐含量变化较为复杂。开垦年限大于 11 a 的区域, 其总盐含量随着开垦年限变化的波动性较小。开垦年限小于 11 a 的区域土壤总盐含量较高, 且波动性较大, 在 2006 年处于未开垦状态, 主要位于研究区西南部, 表明该区域盐渍化程度较重且变化较为复杂。

2) 研究区土壤盐渍化的本底条件在空间分布上具有一定差异, 并且这种差异在开垦后不同时间始终存在。开垦种植使得研究区盐渍化程度有所下降, 同时也使得不同子区域之间的盐渍化差异有所减小。研究区较早开垦的耕地本底条件较好, 开垦前土壤盐渍化较轻, 开垦后土壤盐渍化减轻程度较大, 农业活动的改良效果较好; 随着开垦年限的减小, 土壤本底条件逐渐变差, 农业改良的效果逐渐降低。

3) 研究区自 2001 年开垦种植以来, 土壤盐渍化

有所减轻但并未彻底消除, 轻度、中度和重度盐渍化依旧保持一定的面积, 局部地区盐渍化有所加重, 说明部分地区仍然存在着较重的土壤盐渍化问题。随着开垦年限的增加, 区内地下水位不断抬升, 表明研究区除调整种植结构和灌溉制度外, 还需要采取一定的工程措施进行土壤盐渍化的治理。

4) 研究区自 2001 年全面开垦种植, 至 2016 年土壤采样时, 研究区最大开垦年限仅为 17 a, 研究区盐渍化总体呈现下降的趋势。对于内陆干旱区的农业土地开垦后土壤盐渍化的变化, 有待于长时间序列的观测与研究。

#### 参考文献 :

- [1] Metternicht G, Zinck A. Remote sensing of soil salinization impact on land management[M]. CRC Press, 2009: 8-9, 14-15
- [2] Schoups G, Hopmans J W, Yong C A, et al. Sustainability of irrigated agriculture in the San Joaquin Valley, California. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102(43): 15352-15356

- [3] 樊自立, 乔木, 徐海量, 等. 合理开发利用地下水是新疆盐渍化耕地改良的重要途径[J]. 干旱区研究, 2011, 28(5): 737–743
- [4] 李和平, 田长彦, 乔木. 新疆耕地盐渍土遥感信息解译标志及指标探讨[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(2): 218–223
- [5] 王芳芳, 吴世新, 乔木, 等. 基于 3S 技术的新疆耕地盐渍化状况调查与分析[J]. 干旱区研究, 2009, 3(26): 366–371
- [6] 刘纪远, 匡文慧, 张增祥, 等. 20世纪 80 年代末以来中国土地利用变化的基本特征与空间格局[J]. 地理学报, 2014, 69(1): 3–14
- [7] Zhang Z X, Wang X, Zhao X L, et al. 2010 update of National Land Use/Cover Database of China at 1:100000 scale using medium spatial resolution satellite images[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 149: 142–154
- [8] 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
- [9] 李艳华, 丁建丽, 孙永猛, 等. 基于三维特征空间的土壤盐渍化遥感模型[J]. 水土保持研究, 2015, 22(4): 113–117
- [10] 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): 4620–4631
- [11] 管孝艳, 王少丽, 高占义, 等. 盐渍化灌区土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系[J]. 生态学报, 2012, 32(4): 198–206
- [12] 王玉刚, 肖笃宁, 李彦. 流域尺度绿洲土壤盐分的空间异质性[J]. 生态学报, 2007, 27(12): 5262–5270
- [13] 姚荣江, 杨劲松. 黄河三角洲地区浅层地下水与耕层土壤积盐空间分异规律定量分析[J]. 农业工程学报, 2007, 23(8): 45–51
- [14] 孙林, 罗毅, 杨传杰, 等. 不同灌溉量膜下微咸水滴灌土壤盐分分布与积累特征[J]. 土壤学报, 2012, 49(3): 428–436
- [15] 孙林, 罗毅. 膜下滴灌棉田土壤水盐运移简化模型[J]. 农业工程学报, 2012, 28(24): 105–114
- [16] 孙林, 罗毅. 长期滴灌棉田土壤盐分演变趋势预测研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(1): 186–192
- [17] 曹雷, 丁建丽, 玉米提·哈力克, 等. 基于国产高分一号卫星数据的区域土壤盐渍化信息提取与建模[J]. 土壤学报, 2016, 53(6): 1399–1409
- [18] 丁建丽, 姚远, 王飞. 基于三位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
- [19] 王雪梅, 柴仲平, 塔西甫拉提·特依拜, 等. 干旱区土壤盐渍化及其影响因子分析——以渭干河-库车河三角洲绿洲为例[J]. 土壤, 2009, 41(3): 477–482
- [20] 周丽, 王玉刚, 李彦, 等. 盐碱荒地开垦年限对表层土壤盐分的影响[J]. 干旱区地理, 2013, 36(2): 285–291
- [21] 卢响军, 武红旗, 张丽, 等. 不同开垦年限土壤剖面盐分变化[J]. 水土保持学报, 2011, 25(6): 229–232
- [22] 谷海斌, 王泽, 武红旗, 等. 不同开垦年限土壤养分和盐分时空分布特征研究[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(3): 8–15
- [23] 王芳, 肖洪浪, 苏永中, 等. 临泽边缘绿洲区盐化草甸开垦后土壤质量演变[J]. 中国沙漠, 2011, 31(3): 723–728
- [24] 张凤华, 潘旭东, 李玉义. 新疆玛河流域绿洲农田开垦后土壤环境演变分析[J]. 中国农业科学, 2006, 39(2): 331–336
- [25] 张晓东, 刘志刚, 热沙来提·买买提. 不同开垦年限对新疆绿洲农田土壤理化性质的影响[J]. 水土保持研究, 2016, 23(3): 13–18
- [26] 任加国, 郑西来, 许模, 等. 新疆叶尔羌河流域土壤盐渍化特征研究[J]. 土壤, 2005, 37(6): 635–639
- [27] 师长兴, 杜俊, 范小黎. 克拉玛依农业开发区地下水位变化和应对措施探讨[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(8): 127–132
- [28] 陈银磊, 程建军, 马仲民. 克拉玛依农业综合开发区土壤水盐运移特征与影响因素的分析[J]. 石河子大学学报: 自然科学版, 2016, 34(2): 222–231

## Variation of Soil Salinity in Karamay Agricultural Development Area in Different Reclamation Years

ZHANG Shouyu<sup>1, 2, 3</sup>, WU Shixin<sup>1\*</sup>, HE Ke<sup>1, 2</sup>, MENG Min<sup>4</sup>, TIAN Changyan<sup>1</sup>

(1 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi 830011, China; 2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3 Provincial Geomatic Center of Jiangsu, Nanjing 210013, China; 4 Karamay Agricultural Development Zone Management Committee, Karamay, Xinjiang 834000, China)

**Abstract:** Based on soil sampling data and remote sensing images in 1996, 2006 and 2016, the changes of soil salinity in Karamay agricultural development area with different reclamation years were analyzed by using statistic method and GIS and RS techniques. The results showed that: 1) In the past 20 years, soil salinization in the study area showed a general decreasing trend, and the 'severe-south and slight-north' overall pattern of soil salinity did not change in the reclaimed land. 2) The study area was developed from north to south, and soil salt content decreased with the reclamation year, but salinity change in reclaimed area became more complicated since 2006. 3) In the study area, the reclamation conditions are better, soil salinization was lighter before reclamation, and reclamation reduced soil salinity which indicated an improving effect of agricultural activities. Soil background conditions and the improving effect of agricultural activities became better with the increase of reclamation year. 4) Even after 10 years more of agricultural cultivation, some patches with low NDVI in the south, soil salt contents were still high which hindered the crop growth.

**Key words:** Karamay; Agricultural development area; Soil salinity; Reclamation years