

# 开都河下游灌区土壤盐渍化研究

李新国<sup>1,2</sup>, 李会志<sup>1,2</sup>, 王 影<sup>1,2</sup>, 任云霞<sup>1,2</sup>

(1. 新疆师范大学 地理科学与旅游学院, 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 乌鲁木齐 830054)

**摘 要:** 土壤盐渍化是影响干旱区绿洲生态环境稳定的重要因素。以新疆焉耆盆地开都河下游灌区为例, 基于 GIS 平台, 以两个时期的遥感影像数据作为主要信息源, 对研究区的土壤盐渍化现状、程度与分布特征进行遥感解译和实地调查。研究表明: 近 20 年来研究区的土地盐渍化数量和程度有所减缓。盐渍化土地面积由 1990 年的 1 928.90 km<sup>2</sup> 下降到 2008 年的 1 513.40 km<sup>2</sup>, 盐渍地面积减少了 415.50 km<sup>2</sup>, 平均每年减少 21.87 km<sup>2</sup>, 年减少率为 1.13%; 土壤盐渍化程度有所减缓, 但土壤盐渍化依然对区域的生态环境安全与绿洲经济的可持续发展构成威胁。

**关键词:** 土壤盐渍化; 3S 技术; 绿洲; 开都河下游灌区

中图分类号: S156.4; TP79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2010)06-0111-04

## Study on Soil Salinization in the Downstream of Kaidu River Irrigation Areas, Xinjiang

LI Xin-guo<sup>1,2</sup>, LI Huizhi<sup>1,2</sup>, WANG Ying<sup>1,2</sup>, REN Yun-xia<sup>1,2</sup>

(1. School of Geographic Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054; 2. Xinjiang key laboratory of lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi 830054)

**Abstract:** Soil salinization poses a substantial threat to the eco-environmental stability of the oasis irrigation areas. The downstream of Kaidu River irrigation areas located in the Tarim Basin, Xinjiang as an example, based on GIS platform, taking the remote sensing images in 1990 and in 2008 as the main information, by interpreting the images with combination of the field survey, the status quo, degree and distribution characteristics of the soil salinization are analyzed. Some results are concluded as follows: the saline land has decreased in area and degree in the studied period of 20 years. Area of saline land has decreased from 1 928.90 km<sup>2</sup> in 1990 to 1 513.40 km<sup>2</sup>, and the decreased area is 415.50 km<sup>2</sup>, decreased by 21.87 km<sup>2</sup> per year on average, and the decrease rate is 1.13% per year. The degree is weakened, but the saline land has constituted a serious threat to the ecosystem environment and oasis economic development, thus, more concern should be given to it.

**Key words:** soil salinization; '3S' technology; oasis; the downstream of Kaidu river irrigation areas

土壤盐渍化是干旱区农业发展的主要障碍,亦是影响绿洲生态环境稳定的重要因素,干旱区绿洲的稳定性外受过渡带影响,内受土壤盐渍化影响<sup>[1]</sup>。土壤盐渍化既涉及资源问题和生态环境问题,又与区域农业可持续发展息息相关,同时盐渍地还是一种重要的土地资源,科学合理地开展利用,具有重大的社会经济价值。位于新疆焉耆盆地的开都河下游灌区是典型的人工绿洲区域,由于前期盲目地扩大耕地和长期大量引用地表水进行不合理地灌溉,致使灌区地下水位普遍升高,地下水位埋深由 20 世纪 50 年代开垦

前的 5.0~7.0 m,变为现在的 1.8~2.2 m,灌区土壤盐渍化日趋严重,中重度盐渍化面积占耕地面积的 35.32%,致使部分耕地退化而弃耕<sup>[2-3]</sup>。因此,深入分析人工绿洲区域的土壤盐渍化现状,研究其土壤盐渍化的类型、程度、面积及其空间分布特征,对于人工绿洲区域盐渍化土地的因地制宜地改良和合理利用,保障干旱区绿洲社会经济的可持续发展,具有重要的社会意义与实践价值。

随着 3S 技术在土地资源监测和调查中广泛应用和日臻成熟,将其作为研究方法和技术手段对开都河

收稿日期: 2009-11-02

资助项目: 国家自然科学基金项目(41061025); 新疆维吾尔自治区高校科研计划青年教师科研基金项目(XJEDU2009S69)

作者简介: 李新国(1971-),男,甘肃玉门市人,博士,副教授,主要从事干旱区资源与环境变化及其遥感应用研究。E-mail: lxgonline@yahoo.com.cn

下游灌区土壤盐渍化的变化过程及发展趋势进行定量描述,充分体现 3S 技术在资源监测与调查中数据实时性强、探测面积大、省时、成本低廉等优点。通过对研究区采用两个不同时期的遥感图像解译,结合实地调查,应用统一的确定盐渍化土地面积和程度的标准,得出区域盐渍地的定量化分析结果,可以为该区域合理开发利用盐渍地资源、分区治理农田中重度盐渍地提供科学依据。

## 1 研究区概况

开都河下游灌区位于新疆巴音郭楞蒙古自治州境内,包括和静县、和硕县、博湖县及新疆生产建设兵团 22 团、23 团、24 团、25 团和 223 团,地理位置为  $85^{\circ}42' - 88^{\circ}00' E$ ,  $41^{\circ}35' - 42^{\circ}30' N$ 。开都河发源于天山中部的依连哈比尔尔山和艾尔宾山,主源为扎格斯台河和哈尔尔提沟,河流全长 560 km,流域面积 2.2 万  $km^2$ ,年径流量 34.12 万  $m^3$ ,占进入盆地总径流量的 80% 以上,是惟一能常年补给博斯腾湖的河流。开都河下游段(大山水电站到博斯腾湖入湖口)河流长度为 171 km,分为东支和西支,东支进入博斯腾湖大湖区,西支进入博斯腾湖小湖区,除部分水量注入博斯腾湖外,另有部分水量消耗于农业灌溉。

开都河下游灌区所在的焉耆盆地是南天山褶皱断块山系中的一个半封闭的大型山间盆地,面积 1.361 2 万  $km^2$ 。盆地地面海拔一般在 1 050~1 200 m,地势西高东低、北高南低,总体呈现为四周向盆地倾斜的地貌形态,盆地内流水地貌、风沙地貌、湖泊地貌类型十分发育,自盆地四周高山到博斯腾湖依次为戈壁、平原和湖沼,呈环状分布。盆地内水系顺地势单向发育,从北部或西北部流向盆地的最低处—博斯腾湖,开都河是该盆地中最大的一条河流。焉耆盆地四周山区富含钠盐,山前带的第三纪和侏罗纪岩层富含石膏等可溶性盐,为焉耆盆地开都河下游灌区土壤盐渍化的形成提供了物质条件。

开都河下游灌区地处西北内陆干旱区,气候特征表现为热量充足,日照长,降水稀少,蒸发强烈。年均气温  $8.0 \sim 8.6^{\circ}C$ ,夏季月平均气温  $22.8^{\circ}C$ ,冬季月平均气温  $-9.0^{\circ}C$ ,绝对最高气温  $39.0^{\circ}C$ ,最低气温  $-30.4^{\circ}C$ , $\geq 10^{\circ}C$  的积温  $3\,414.4 \sim 3\,694.1^{\circ}C$ ,无霜期 176~200 d;年平均降水量 50.7~79.9 mm,蒸发量 2 000.5~2 449.7 mm,蒸降比高达 40:1,属于北疆过渡的大陆荒漠性气候<sup>[4]</sup>。

开都河下游灌区内土壤类型主要有草甸土、沼泽土、灌耕土、盐土、棕漠土、风化土等;自然植被多为芨

芨草、芦苇、胡杨等,人工植被以农作物、果林和田间防护林为主。区内地下水资源较为丰富,地下水可开采量为 9.05 亿  $m^3/a$ ,地下水埋深 0.5~7.0 m。农业灌溉区主要分布于冲积平原的中下游,多年平均引地表水量为 11.0 亿  $m^3/a$ ,年开发地下水量约为可开采量的 10%。地下水化学特征具有较强的地带性分异规律,山前的冲积—洪积平原为低矿化的重碳酸型水,过渡到冲积平原的中上部重碳酸—硫酸盐型,滨湖地区则为硫酸盐—氯化物型水;在冲积平原水文网发育的地方,潜水受地表水的淡化作用明显,地下水化学组成复杂<sup>[5]</sup>。

## 2 数据来源和研究方法

遥感数据采用研究区的 Landsat TM 数据与 CBERS-02 卫星 CCD 数据。Landsat TM 数据接收时间为 1990 年 10 月,CBERS-02 卫星 CCD 影像数据接收时间为 2008 年 10 月,均为晴空资料(云量 < 5%)。地理底图采用国家测绘局编制的 1:25 万分幅数字地形图,土地利用图采用焉耆盆地 1:10 万土地利用图,地图采用 2008 年新疆维吾尔自治区 1:50 万政区图,以及研究区其他数据资料,包括 2003 年地下水矿化度分布图与地下水埋深分布图、2007 年土壤调查报告、1998—2007 年气象数据等。

利用遥感图像处理软件 Erdas 8.7 对 Landsat TM 数据与 CBERS-02 卫星 CCD 影像数据进行辐射校正、去霾处理等技术处理后,分别取 4,3,2 波段合成假彩色图像(附图 7 与附图 8)。以土地利用现状图为基础,选取控制点进行二次多项式拟合校正,处理后的两个时期的图像与数字化边界匹配吻合,误差在 1 个像元内。在图像解译之前,结合土壤调查报告及土地利用图等非遥感数据建立各种类型盐渍地的解译标志,即选择一条盐渍地类型丰富的野外调查路线,在沿线选择典型盐渍地样区,并用 GPS 确定各样区位置,依据观察到的盐渍地类型、地物景观、植被状况,结合遥感影像对应点,研究影像上不同程度盐渍化土地的影像特征,建立遥感解译标志(包括影像颜色、灰度、斑块形状、分布位置等),取样并测定地下水矿化度、土壤含盐量。在分析前人的各种分类体系并结合本区域特征的基础上,结合土壤类型与土地利用等非遥感数据,确定盐渍化土地分类系统,本文采用的分类系统为非盐渍化、轻度盐渍化、中度盐渍化、重度盐渍化(含盐土)。

对两个时期遥感影像上盐渍地信息的识别与提取,采用目视解译和计算机自动分类相结合的方法,充分利用遥感数据的光谱信息、空间信息和时间信

息,对目标进行识别。为提高图像解译的准确性和精度,选择有代表性的样点,尤其是判读不清的区域,再到野外定点进行检验与校正,对分类后的图像,对分类错误进行人工纠正。在 GIS 软件 ArcGIS 8.7 的支持下,对解译结果进行处理,得到土地盐渍化现状空间分布图(附图 9 和附图 10),并汇总、统计,建立研究区土地盐渍化空间数据库。

3 结果分析

3.1 盐渍化土地面积明显减少

对研究区两个时期的影像进行遥感解译,得到研究区盐渍地面积变化的对比(表 1)。1990 年,研究区

盐渍地面积 1 928. 90 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 54. 95%,其中重度盐渍地面积 268. 40 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 7. 65%,中度盐渍地面积 515. 90 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 14. 70%,轻度盐渍地面积 1 144. 60 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 42. 61%;2008 年研究区盐渍地面积 1 513. 40 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 43. 11%,其中重度盐渍地面积 187. 40 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 5. 34%,中度盐渍地面积 308. 50km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 8. 79%,轻度盐渍地面积 1 017. 50 km<sup>2</sup>,占研究区总面积的 28. 99%。近 20 年来,研究区盐渍化土地面积减少了 415. 50 km<sup>2</sup>,盐渍化土地面积比例减少 11. 84%。

表 1 开都河下游灌区盐渍化土地解译数据

地类	1990 年		2008 年		1990- 2008 年	
	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	面积/ km <sup>2</sup>	百分比/ %	面积变化/ km <sup>2</sup>	动态度/ %
重度盐渍化	268. 40	7. 65	187. 40	5. 34	- 81. 00	- 1. 59
中度盐渍化	515. 90	14. 70	308. 50	8. 79	- 207. 40	- 2. 12
轻度盐渍化	1144. 60	32. 61	1017. 50	28. 99	- 127. 10	- 0. 58
合 计	1928. 90	54. 95	1513. 40	43. 11	- 415. 50	- 1. 13

注:动态度  $LC=[(U_b-U_a)]\times U_a^{-1}\times T^{-1}\times 100\%$ ,式中:LC——T 年内某种土地利用类型动态度;U<sub>a</sub>,U<sub>b</sub>——研究初期和末期某种土地利用类型的数量。

3.2 土壤盐渍化程度减缓

研究区土地盐渍化的变化还表现在土壤盐渍化程度的减缓。对土壤盐渍化程度的评价主要依据土壤类型、植被类型和盐碱斑占基质面积的比例来判定<sup>[6]</sup>。其中,土壤类型由 2007 年焉耆盆地土壤调查报告资料获得,盐碱斑数量和植被类型可以由遥感影像解译,结合典型样区调查获得,盐渍化土地程度评价指标(表 2)。研究区的盐渍地面积由 1990 年的 1 928 km<sup>2</sup>,下降到 2008 年的 1 513. 40 km<sup>2</sup>,盐渍地面积减少了 415. 50 km<sup>2</sup>,平均每年减少 21. 87 km<sup>2</sup>,动态度- 1. 13%,其中重度盐渍地面积减少 81. 00 km<sup>2</sup>,占盐渍地减少面积的 19. 49%,中度盐渍地面积减少 207. 40 km<sup>2</sup>,占盐渍地减少面积的 49. 92%,轻度盐渍地面积减少 127. 10 km<sup>2</sup>,占盐渍地减少面积的 30. 59%。近 20 年来,研究区土壤盐渍化程度有所减缓,其中中度土壤盐渍化土地减缓幅度最大。

表 2 研究区土壤盐渍化程度评价指标

类 型	轻盐渍化	中度盐渍化	重度盐渍化
土壤类型	碱化草甸土	草甸盐碱土	碱土、盐土
植被类型	农业作物、杂草类	杨树、芦苇	碱蓬、碱蒿
盐碱斑占面积比例/ %	< 15	15~ 30	> 30

3.3 土壤盐渍化类型现状与分布特征

土壤盐渍化类型的分类标准采用《新疆农业技术手册》的土壤盐渍化类型区分表和土壤盐渍化程度分

级标准,对研究区表层 0- 30cm 土壤盐分中 Cl<sup>-</sup> / SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> mol 比值及土壤含盐量进行分类和分级,并分类别和级别进行统计(表 3)。

表 3 2008 年研究区盐渍化分类分级统计特征 %

盐渍化类型	轻盐渍化	中度盐渍化	重度盐渍化	总比例
氯化物型	4. 47	3. 57	3. 57	11. 61
硫酸盐- 氯化物型	2. 68	0. 89	11. 61	15. 18
氯化物- 硫酸盐型	17. 86	10. 71	38. 39	66. 96
硫酸盐型	2. 68	0. 89	2. 68	6. 25

统计结果表明:区内盐渍地类型主要为氯化物-硫酸盐型盐渍化,占 66. 96%,其中重度盐渍化占 38. 39%;其次为硫酸盐- 氯化物型,占 15. 18%,其中重度盐渍化占 11. 61%。根据调查资料<sup>[5]</sup>,研究区土壤盐渍化程度的分布,在水平方向具有分带性,即围绕博斯腾湖呈环带状分布。研究区内中度盐渍地、轻度盐渍地、非盐渍地呈斑块状镶嵌分布,重度盐渍地主要分布在开都河下游排碱干渠两岸和博斯腾湖北岸湖滨区(附图 10)。根据土壤盐渍化程度不同,可以将研究区分成 4 个区域。

(1) 非盐渍化区。靠近戈壁地带,潜水位埋深大于 5 m,矿化度< 1 g/L,主要分布于远离排碱渠和河道的区域和灌排水条件良好的农田。

(2) 轻盐渍化区。广泛分布于远离排碱渠和河道的、地势高的农田区域,潜水位埋深在 3~ 5 m,矿

化度 1~2 g/L, 对某些农作物生长有轻微危害。

(3) 中度盐渍化区。主要分布于地势较低的农田和开都河河口区, 潜水位埋深 1~3 m, 矿化度 2~10 g/L, 对农作物生长有一定危害。

(4) 重度盐渍化区。主要分布于博斯腾湖湖滨区、农田排碱干渠和河道附近, 潜水位埋深 0.5~1 m, 矿化度 15~20 g/L, 甚至达到 30 g/L 以上, 对农作物生长有极大危害, 不适合农作物生长。

## 4 结论与讨论

(1) 开都河下游灌区的土壤盐渍化土地面积减少了 415.50 km<sup>2</sup>, 盐渍化土地面积比例减少 11.84%。

(2) 盐渍化程度亦有所减缓, 盐渍地面积由 1990 年的 1 928 km<sup>2</sup>, 下降到 2008 年的 1 513.40 km<sup>2</sup>, 平均每年减少 21.87 km<sup>2</sup>, 动态度 -1.13%, 其中中度土壤盐渍化土地减缓幅度最大。

(3) 土壤盐渍化土地类型主要为氯化物-硫酸盐型盐渍化, 占 66.96%, 其中重度盐渍化占 38.39%; 其次为硫酸盐-氯化物型, 占 15.18%, 其中重度盐渍化占 11.61%。

(4) 研究区农田内中度盐渍地、轻度盐渍地、非盐渍地呈斑块状镶嵌分布, 重度盐渍地主要分布在开都河下游排碱干渠两岸和博斯腾湖北岸湖滨区。

近 20 年来, 由于区域土壤盐渍化土地的综合治理与水环境保护, 开都河下游灌区的土壤盐渍化土地面积减少, 盐渍化程度有所减缓, 但区域土壤盐渍化依然对区域的生态环境安全与社会经济的可持续发展构成威胁。因此, 区域盐渍地的开发利用和治理必须从系统的观点出发, 将研究区所在盆地的地表引水-地下水开采-灌溉排水-水土环境保护作为一个统一的整体来对待, 保持区域水土资源的可持续利用。

### 参考文献:

- [1] 田长彦, 周宏飞, 刘国庆. 21 世纪新疆土壤盐渍化调控与农业持续发展研究建议[J]. 干旱区地理, 2000, 23(2): 176-181.
- [2] 王玉宝, 李涛, 金英春. 浅析新疆焉耆盆地土壤次生盐渍化治理途径[J]. 水文地质工程地质, 2004(6): 99-101.
- [3] 陈模, 杨绍斌. 焉耆盆地盐渍化土壤的形成与改良[J]. 国土与自然资源研究, 1992(3): 46-49.
- [4] 夏军, 左其亭, 邵民诚. 博斯腾湖水资源可持续利用[M]. 北京: 科学出版社, 2003(2): 21-25.
- [5] 刘延锋, 靳孟贵, 金英春, 等. 新疆焉耆盆地土壤盐渍化特征分析[J]. 水土保持通报, 2004, 24(1): 51-52.
- [6] 白效明. 吉林省生态环境及生态省建设的研究[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2000: 21-23.
- (上接第 110 页)
- [3] 肖波, 赵允格, 邵明安. 陕北水蚀风蚀交错区两种生物结皮对土壤理化性质的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(11): 4662-4670.
- [4] 田大伦, 陈书军. 樟树人工林土壤水文-物理性质特征分析[J]. 中南林学院学报, 2005, 25(2): 1-6.
- [5] Bi H X, Li X Y, Liu X, et al. A case study of spatial heterogeneity of soil moisture in the Loess Plateau, western China: A geo-statistical approach[J]. International Journal of Sediment Research, 2009, 24(1): 63-73.
- [6] 杨弘, 李忠, 裴铁璠, 等. 长白山北坡阔叶红松林和暗针叶林的土壤水分物理性质[J]. 应用生态学报, 2007, 18(2): 272-276.
- [7] Alletto L, Coquet Y. Temporal and spatial variability of soil bulk density and near-saturated hydraulic conductivity under two contrasted tillage management systems[J]. Geoderma, 2009, 152(1/2): 85-94.
- [8] da Costa A, Albuquerque J A, Mafra A L, et al. Soil physical properties in crop-livestock management systems[J]. Revista Brasileira De Ciencia Do Solo, 2009, 33(2): 235-244.
- [9] Hulugalle N R, Jaya R, Luther G C, et al. Physical properties of tsunami-affected soils in Aceh, Indonesia: 2 years after the tsunami[J]. Catena, 2009, 77(3): 224-231.
- [10] Ghazavi M A. Evaluation of a new tillage tool, considering soil physical property, energy requirement and potato yield[J]. Pak. J. Biol. Sci., 2007, 10(22): 4050-4056.
- [11] 刘贤赵, 宿庆, 宋孝玉, 等. 黄土高原长武试区土地利用变化对产水量的影响[J]. 农业现代化研究, 2004, 25(1): 59-63.
- [12] 郝芳华, 陈利群, 刘昌明, 等. 土地利用变化对产流和产沙的影响分析[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 5-8.
- [13] 张晓明. 黄土高原典型流域土地利用/森林植被演变的水文生态响应与尺度转换研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [14] 孙艳红, 张洪江, 程金花, 等. 缙云山不同林地类型土壤特性及其水源涵养功能[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 106-109.
- [15] 王晓燕, 陈洪松, 王克林, 等. 不同利用方式下红壤坡地土壤水分时空动态变化规律研究[J]. 水土保持学报, 2006, 20(2): 110-113.
- [16] Western A W, Zhou S L, Grayson R B, et al. Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes[J]. Journal of Hydrology, 2004, 286: 113-134.

