

不同灌溉方式和作物类型对西北干旱区耕地土壤盐渍化的影响

亓沛沛^{1,2}, 冉圣宏^{1*}, 张 凯^{1,2}

(1.中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101; 2.中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要:土壤盐渍化是西北干旱区耕地发展的主要限制因素之一。近 10 年来,新疆石河子垦区耕地的灌溉方式和作物类型都发生了很大的变化,并对耕地土壤的盐渍化产生了影响。为此,基于不同作物类型、不同灌溉方式下典型耕地地块的实验数据,采用配对 T 检验、曼-惠特尼 U 检验等统计分析方法,研究了垦区灌溉方式和作物类型对耕层土壤盐分的影响。结果表明:(1)漫灌相对于滴灌来说,会降低土壤耕层的总含盐量,但是却使得耕层表层盐分积聚;漫灌条件下盐分在水平方向分布比较均匀,而滴灌条件下其分布离散程度较高。(2)作物类型对土壤耕层总含盐量及盐分在耕层土壤中的水平和垂直分布影响均不显著,短期的作物改种(棉地改为玉米地)对土壤耕层盐分含量没有明显影响。

关键词:土壤盐渍化;灌溉方式;作物类型;石河子垦区

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2012)04-0780-06

Effects of Different Irrigation Modes and Crop Types on Soil Salinization in Shihezi Reclamation Area, China

QI Pei-pe^{1,2}, RAN Sheng-hong^{1*}, ZHANG Kai^{1,2}

(1.Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China; 2.Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Soil salinization is one of limiting factors on the development of arid farmland in the northwestern China. During the past 10 years, the irrigation modes and crop types of Shihezi, a typical arid irrigation area, has changed significantly, which has had a great influence on the soil salinization of farmland. Base on the experiment data of farmland topsoil salt on different irrigation modes and crop types, this article analyzed the effects of irrigation modes and crop types on the soil salt content and its distribution in different tilth layer, using statistical analysis techniques such as T test and Mann-Whitney U test. The results showed that: (1) Firstly, the irrigation mode had relatively more impacts on the soil salt content and its distribution in plow-layer than the crop type. (2) Secondly, the flood irrigation mode could reduce the total salinity of tilth soil but would cause salt accumulation in topsoil surface. On the other hand, in different tilth layers (0~10 cm and 10~20 cm), soil salt distribution was relatively more even in the horizontal direction under the condition of flood irrigation, while under the drop irrigation situation, the soil salt presented a discrete distribution. (3) Lastly, different crop types had no significant effects on both total salinity of tilth soil and the salt horizontal and vertical distributions in different tilth layers. Moreover, a short term crop replant (from cotton to corn) had no observable effects on the tilth soil salinity.

Keywords: soil salinization; irrigation mode; crop type; Shihezi reclamation area

土壤盐渍化是西北干旱区耕地发展的主要限制因素之一^[1-3]。新疆地处典型的干旱地区,耕地面积巨

大,其耕地的盐渍化一直受到学界和决策者的关注。据中国科学院遥感调查结果,2006 年新疆灌区耕地总面积为 398.78 万 hm^2 ,其中盐渍化面积为 127.90 万 hm^2 ,占灌区耕地面积总数的 32.07%,新疆灌区耕地盐渍化已经威胁到新疆绿洲的生态安全和社会经济的可持续发展^[4-6]。

盐渍地的形成是特定的气候、母质和水文地质等自然条件以及人为活动的结果^[7]。石河子垦区的干旱

收稿日期:2011-09-27

基金项目:国家重点基础研究发展计划(2009CB421307);国家自然科学基金(41171083);国家重点基础研究发展计划(2010CB950900)

作者简介:亓沛沛(1988—),女,山东济南人,硕士研究生,主要从事土地利用变化及其环境效应研究。E-mail:jnqipeipei@163.com

* 通讯作者:冉圣宏 E-mail:ransh@igsnrr.ac.cn

气候带来的高蒸发力、垦区的含盐风化壳、地下水径流不畅、以及水资源的过度开发、不适宜的灌溉方式等人为活动都会对土壤盐渍化产生影响^[8-9]。本文着重研究石河子垦区的灌溉方式以及作物类型的不同对土壤耕层盐渍化产生的影响,包括滴灌条件下棉花和玉米的种植对土壤耕层盐分含量及分布的影响,以及滴灌和漫灌对棉花条田中土壤耕层盐分含量及分布的影响,以期干旱区耕地的适度开发、建立干旱区灌区合理的灌溉制度、防止耕地土壤盐渍化提供科学依据。

1 数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

选取新疆石河子垦区为研究区(图 1),石河子垦区地处天山北麓中段,古尔班通古特沙漠南缘,属典型的大陆性干旱气候,年降水量 180~270 mm,年蒸发量 1 000~1 500 mm。石河子垦区由石河子乡和下野地灌区、安集海灌区、莫索湾灌区组成,灌溉水主要来源为降雨及天山融雪汇集的玛纳斯河水和地下水。

水资源短缺与土壤盐渍化一直是西北干旱区农业经济发展的主要限制因素,研究区在 1996 年开始推广滴灌技术,到 1999 年在全垦区大范围推广,现今已基本普及。先进灌溉方式的普及在一定程度上缓解了水资源短缺问题,但是其对土壤中盐分含量及分布也会产生一定的影响。同时,追求经济利益的最大化也使得棉花种植面积逐年增加,目前已经超过作物总面积的 80%,耕地作物结构趋于单一。本文将重点分

析灌溉方式与作物类型对研究区耕地土壤盐渍化的影响,包括对土壤耕层总盐含量及盐分在土壤耕层中的水平和垂直分布的影响。

1.2 数据来源

在本研究中,所采用的数据主要有田间采样的土壤含盐量实验分析数据以及农户调查数据,其中实验分析数据是在垦区选取典型地块进行采样及实验室分析所获得的耕层土壤盐分数据,为了尽量减少气候、地貌、土壤类型等自然因素对土壤盐渍化的影响,样地的选取遵循以下原则:首先,典型地块的气候类型、地质地貌类型等自然条件保持一致或近似;其次,所选取典型地块的土壤类型相同,保证地块土壤渗透率基本一致;第三,作物类型不同的地块其灌溉方式是相同的,灌溉方式不同的地块其作物类型是相同的。以此为原则,在 2010 年 10—11 月通过实地调查、农户访谈以及试采样的土壤分析等,在新疆石河子市石河子总场选取了 3 块典型地块(图 2),分别为滴灌玉米地、滴灌棉花地以及漫灌棉花地,3 块样地均在停灌后 3 个月取样,土壤类型均为灌耕灰漠土,地貌类型为冲积扇前缘。其中滴灌棉花地自 2000 年至今一直滴灌种植棉花,滴灌频次为 8 次,总用水量为 $4\,650\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$;漫灌棉花地自 2000 年至今一直使用典型漫灌,漫灌频次为 4 次,总用水量为 $6\,000\text{ m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$;滴灌玉米地自 2000 年至今一直使用滴灌,灌溉频次与用水量与滴灌棉花地一致,2008 年之前种植棉花,2008 年至今种植玉米,即已连续 3 年种植玉米。

耕层土壤盐分含量对作物生长影响最大,本次取

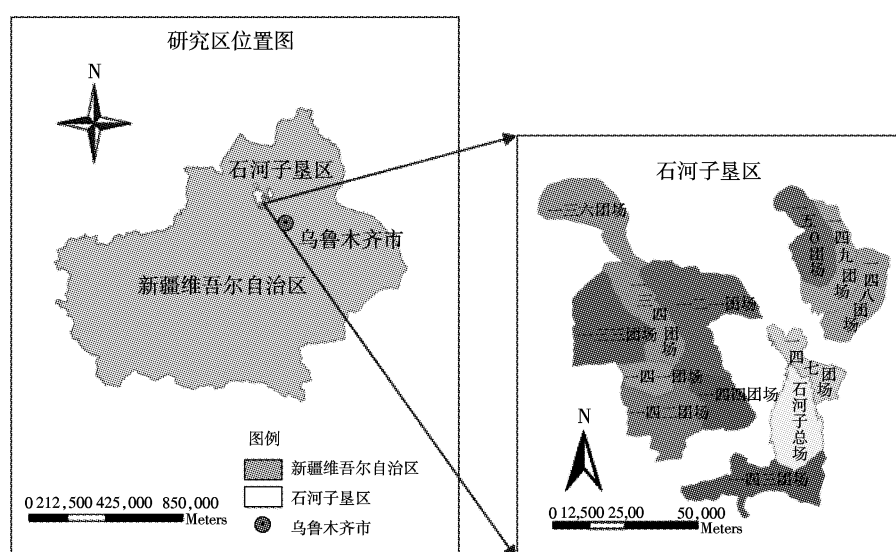


图 1 研究区位置图

Figure 1 Location of the study area

样集中于耕层土壤,垦区农田土壤的耕层为 0~20 cm,利用 GPS 定位在 3 个典型样地各取 40 个土壤样本,总共取样 120 个。3 个样地的样点分布情况见图 2。每个样本取 3 个土样混合,每个土样取 0~10 cm (耕层表层)和 10~20 cm (耕层根层)两层,鉴于地块与地块之间的形状差异以及地块内部土样的差异,取样方法选取典型的蛇形取样法,根据地块大小及形状选取不同的方式。将取回的土样自然风干,然后将土样研磨,过 1 mm 筛子,称取 10 g 土样待测。将待测土样加蒸馏水后过滤,对滤液进行标准试剂处理后用 TFC 智能普及型土肥测试仪,测量土样的土壤含盐量。

农户调查数据则主要包括当地的作物结构历史、灌溉方式历史以及人为投入状况(包括年灌溉和施肥的状况)等资料。

1.3 研究方法

为了研究灌溉方式和作物类型变化后土壤中含盐量是否有明显变化,将根据实验室分析得到的不同深度土壤含盐量数据,采用统计分析方法,检验不同土壤样本的含盐量是否有显著差别。其中,相同灌溉方式和作物类型不同深度土壤含盐量具有相关性,而配对样本 T-检验(Paired-Sample T test)用于检验两个相关的样本是否来自具有相同均值的总体,这等于检验两组测量值的平均水平有无显著差异,因此采用配对样 T-检验来判断不同深度土壤含盐量是否有明显差别。不同样地的土壤含盐量是独立的,即这些样本相互之间没有影响,因此采用两独立样本的曼-惠特尼 U(Mann-Whitney U)检验方法来推断样本来自的两个总体的分布等是否存在显著差异,即通过计

算曼-惠特尼 U 统计量来判断不同样地的土壤含盐量是否存在统计学意义上的显著差距,该方法是最强的非参数检验之一。

因此,本文采用统计软件 SPSS17.0 对 3 个样地的土壤盐分数据进行以下分析:①分别对 3 块样地耕层表层和根层的实验数据进行两配对样本 T 检验,研究每块样地表层和根层含盐量的差异;②对滴灌棉花地和漫灌棉花地含盐量进行两独立样本的 Mann-Whitney U 检验,研究不同样地中土壤盐分的差异,获得灌溉方式对土壤盐分的影响;③采用 Mann-Whitney U 检验对滴灌棉花地和滴灌玉米地的实验数据进行分析,获得不同作物类型对土壤盐分的影响。

2 研究结果与分析

根据对 120 个土壤样本的实验分析得到不同灌溉方式和作物类型的土壤含盐量,见图 3。在 3 类样地中,各含盐量从高到低的排序分别为:玉米地滴灌耕层表层>棉花地滴灌耕层根层>玉米地滴灌耕层根层>棉花地滴灌耕层表层>棉花地漫灌耕层表层>棉花地漫灌耕层根层。为了进一步分析这种差别是否具有统计学意义上的显著差别,下面分别对不同灌溉方式和不同作物类型耕层土壤含盐量进行独立样本的曼-惠特尼 U(Mann-Whitney U)检验,对相同灌溉方式和作物类型土壤样本耕层表层与根层含盐量进行配对样本 T-检验。

2.1 灌溉方式对土壤中盐分含量及分布的影响

分别对滴灌棉花地和漫灌棉花地的表层与根层含盐量以及平均含盐量进行两独立样本的曼-惠特尼

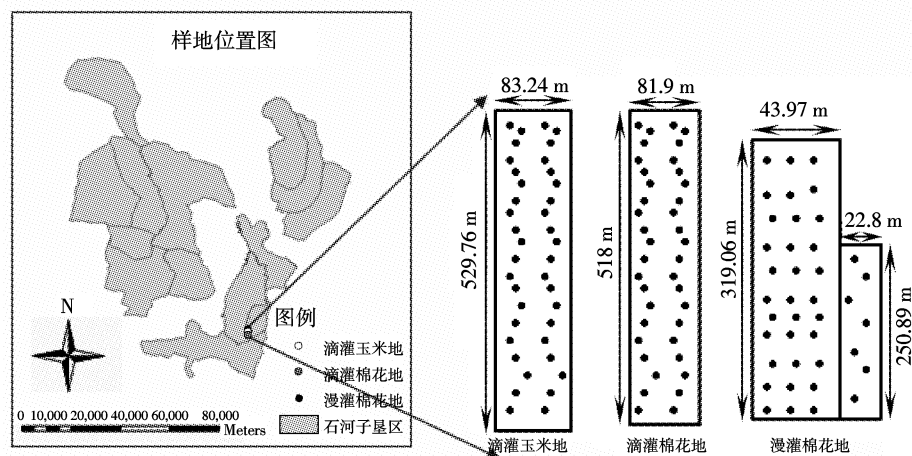


图 2 样点分布图

Figure 2 Distribution pattern of soil sample points

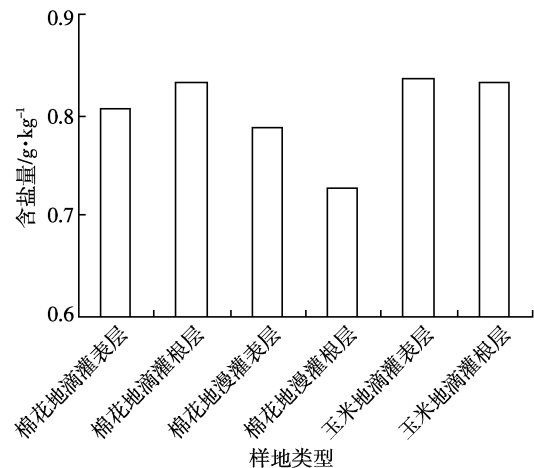


图 3 不同灌溉方式与作物类型的土壤含盐量比较
Figure 3 Comparison of soil salinity from Different types of irrigation methods and crop

U 检验, 研究灌溉方式对盐分含量及分布的影响;同时,对滴灌棉花地和漫灌棉花地的表层与根层含盐量进行两配对样本 T 检验,分析不同灌溉方式下耕层土壤表层与根层盐分分布的差异。结果见表 1 和表 2。

灌溉方式不同,水分在土壤中的运移特征就不同。漫灌的特征是少次多量,而滴灌则是多次少量,从灌溉强度来说,漫灌明显高于滴灌,漫灌条件下水盐的运移速率也就高于滴灌。从两块样地表层与根层含盐量的平均值来看,滴灌地块的含盐量要比漫灌地块的含盐量高,漫灌棉花地地表层含盐量大于根层含盐量,而滴灌棉花地块其表层含盐量则小于根层含盐量;而且,从标准差的大小可以看出,漫灌地块其盐分在水平方向上的分布相对比较均匀,而滴灌地块其盐分在水平方向上分布的离散程度比较高,滴灌条件下盐分在水平方向的分布与距离滴管的远近有关系。但对不同灌溉方式下土壤含盐量的曼-惠特尼 U 检验结果表明,不同灌溉方式下棉地土壤平均含盐量、耕层表层(0~10 cm)含盐量、耕层根层(10~20 cm)含盐量的差别并不明显,即不同灌溉方式下地块含盐量之间均没有显著的差异(显著性水平 5%);滴灌与漫灌方式下的棉田耕层根层(10~20 cm)含盐量也仅在 10%(>0.078)的显著性水平下有所差别,见表 1。

表 2 不同灌溉方式对土壤不同耕层中盐分含量的影响
Table 2 The impacts of different irrigation modes on soil salt distribution

相关样地类型	土层	平均值/g·kg ⁻¹	标准差/g·kg ⁻¹	置信区间上限	置信区间下限	显著性水平
滴灌棉花地	0~10 cm	0.806	0.300	0.052	-0.104	0.501
	10~20 cm	0.833	0.244			
漫灌棉花地	0~10 cm	0.789	0.169	0.105	0.015	0.010
	10~20 cm	0.729	0.132			

表 1 不同灌溉方式对土壤中盐分含量的影响 Table 1 The impacts of different irrigation modes on the soil salt content					
独立样地类型	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	显著性水平	
滴灌-漫灌棉地 平均含盐量	742.500	1 562.500	-0.554	0.579	
滴灌-漫灌棉地 表层含盐量	741.500	1 561.500	-0.565	0.572	
滴灌-漫灌棉地 根层含盐量	618.500	1 438.500	-1.764	0.078	

进一步研究了不同灌溉方式对土壤中不同耕层盐分含量的影响。两配对样本 T 检验的分析结果表明(表 2),滴灌棉花地表层盐分含量平均值小于根层盐分含量,但显著性水平为 0.5(大于置信水平 0.05),而且置信区间跨 0,说明滴灌棉花地其盐分在耕层表层和根层的分布差异不明显。而漫灌棉花地表层盐分含量要大于根层盐分含量,显著性水平为 0.01,小于置信水平 0.05,说明漫灌棉花地中表层盐分含量与根层盐分含量之间的差异具有显著的统计学意义。因此,可以认为灌溉方式对盐分在垂直方向分布的影响明显,漫灌条件下容易出现盐分在耕层表层(0~10 cm)积聚的现象。

上述结论再次验证了漫灌条件下水盐运移速率要高于膜下滴灌,再加上垦区的高蒸发力,漫灌条件下耕层表层(0~10 cm)出现了盐分积聚的现象,但是其耕层的总含盐量仍然低于滴灌(不过这种差异在统计学意义上并不显著)。同时,膜下滴灌虽然总含盐量较高,但是覆膜阻隔了土壤水分的蒸发,膜下滴灌条件下盐分在耕层的分布比较均匀,并未出现表层积聚现象,也就是说干旱区棉田覆膜可以预防盐分的表聚。

2.2 作物类型对土壤中盐分含量及分布的影响

类似地,采用曼-惠特尼 U 检验方法对滴灌条件下不同作物类型土壤中平均盐分含量及不同深度耕层含盐量进行了比较研究,结果见表 3。对两地块的耕层表层与根层含盐量及平均含盐量进行两独立样本的曼-惠特尼 U 检验,结果表明两地块耕层表层、根层及平均含盐量的差别都不大,其显著性水平分别

表 3 滴灌条件下棉田与玉米地土壤中盐分含量比较
Table 3 Comparison of salt content in soil of cotton land and corn land under drop irrigation

独立样地类型	Mann-Whitney U	Wilcoxon W	Z	显著性水平
滴灌棉花-玉米平均含盐量	797.000	1 617.000	-0.029	0.977
滴灌棉花-玉米上层含盐量	799.000	1 619.000	-0.010	0.992
滴灌棉花-玉米下层含盐量	795.500	1 615.500	-0.044	0.965

为 0.977、0.992 和 0.965,均远大于置信水平 5%,因此不论是耕层表层盐分、根层盐分还是耕层的平均含盐量,棉田与玉米地之间均没有显著的差异,即作物类型对耕层表层与根层盐分及耕层平均含盐量都没有显著的影响,3 年的作物类型变化(2008—2010 年由棉花改种玉米)对土壤盐分含量没有明显影响。

进一步地分别对滴灌棉花地和滴灌玉米地的耕层表层与根层含盐量进行两配对样本 T 检验,分析不同作物类型下耕层土壤耕层表层与根层盐分的差异(表 4)。滴灌玉米地表层含盐量虽大于根层含盐量,但其差异非常小,其显著性水平远远大于置信水平(取 $\alpha=0.05$),且置信区间跨 0,说明对于滴灌玉米地来说,盐分在耕层表层与根层的分布差异并不明显。滴灌棉花地与玉米地相比,表层盐分含量小于根层盐分含量,但是其差异也不显著。因此,总体而言,作物类型对盐分在垂直方向上的分布影响并不显著。

从分析结果可以看出,作物类型相对于灌溉方式来说,对土壤耕层盐分含量与分布的影响很小,但可以看出,棉花地耕层表层与玉米地耕层表层盐分含量还是有细微的差异,而这种差异可能由于种植年限比较短而在统计学意义上表现的并不明显。对于作物-土壤系统来说,作物的类型与土壤中水盐的运移存在密切的关系,有待以后进一步深入探讨。

3 讨论

近几十年来,人们依靠节水灌溉等现代技术和现代理念促成土地资源的重新分布,使得绿洲区气候趋向相对湿度提高、降雨量增加、气温年较差降低、蒸发量减少的方向变化^[11-14],气候改变的同时也改变了盐碱地的驱动因子。本研究中所涉及的灌溉方式和作物类

型变化是对土壤中盐分影响最显著的人为因素,因此其数据积累和研究结论具有非常重要的意义。

石河子垦区属于典型的干旱大陆性气候,在人为作用影响下,土壤盐渍化现象严重。受比较效益驱使,本区作物结构趋于单一,且农药、化肥和地膜的使用量比较大,导致病虫害加重、土壤瘠薄、污染严重等一系列环境问题。垦区耕地质量下降,对垦区的生态环境建设产生了重要的影响。为了减少实验过程中人为失误对结果造成的影响,确保实验数据的可信度,本研究还在每块样地所采土样中随机选取 10 个样本测量其电导率,与所得盐分数据进行校正,进一步减少了人为因素对实验结果的影响。

但与实验室样地不同的是,不能自由控制作物的种植年限,而所选样地中滴灌玉米地其玉米只种植 3 年,而之前却一直种植棉花,这些因素必然会对研究结论造成一定的影响。而且,针对石河子垦区来说,存在多种不同的土壤类型,本文所选土壤类型为灌耕灰漠土,同一灌溉方式或作物类型在不同的土壤类型下对土壤盐分的影响也可能会有差异,这有待以后进一步探讨;同时,土壤中盐分的含量与分布受灌溉方式的影响,同时也受到灌溉频次与灌溉水量的影响,对于同一灌溉方式,改变其灌溉频次与用水量,也会对土壤中盐分的运移产生影响,针对不同土壤类型和作物类型,恰当的灌溉方式、灌溉频次与灌溉用水量的选取对预防土壤盐渍化意义重大。

4 结论

通过以上分析,可以认为灌溉方式的变化对土壤中盐分含量及分布有明显影响,而短期的作物结构改变不足以明显影响耕地层的盐分含量。具体可得出以

表 4 不同作物类型对土壤中盐分含量及分布的影响分析
Table 4 Analytical result of the effect of crop pattern on soil salt content and distribution

相关样地类型	土层	平均值/g·kg ⁻¹	标准差/g·kg ⁻¹	置信区间上限	置信区间下限	显著性水平
滴灌棉花地	0~10 cm	0.806	0.300	0.052	-0.104	0.501
	10~20 cm	0.833	0.244			
滴灌玉米地	0~10 cm	0.838	0.455	0.091	-0.078	0.882
	10~20 cm	0.831	0.283			

下结论。

(1)灌溉方式不仅影响土壤中的总含盐量,更重要的是会对盐分在水平和垂直方向上的分布产生明显影响。漫灌地块土壤中的总含盐量要比滴灌地块土壤的总含盐量低,尤其是漫灌条件下会使根层含盐量明显降低,但是其耕层表层与根层含盐量差异很显著,出现表层盐分积聚的现象;此外,漫灌地块中盐分在水平方向上分布比较均匀,而滴灌条件下盐分在水平方向上分布离散度较高。

(2)作物类型不同对土壤中盐分在水平和垂直方向上的分布影响也不显著,因此短期的轮作制度并不会对干旱区耕地盐渍化过程产生明显影响。

(3)灌溉方式对土壤盐渍化产生比较明显的影响,这种影响不仅包括土壤中的盐分含量,而且还会影响盐分在水平和垂直方向上的分布。漫灌条件下土壤盐分虽然会出现表层盐分积聚,但是其盐分总量却并不比滴灌条件下含量高。因此,在干旱区耕地利用时,在选择灌溉方式时要特别考虑不同方式对盐分含量及盐分分布的双重影响。

参考文献:

- [1] 李秀彬.全球环境变化研究的核心领域:土地利用/土地覆被变化的国际研究动向[J].地理学报, 1996, 51(6):553-558.
LI Xiu-bin. A review of the international researches on land use/cover change[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1996, 51(6):553-558.
- [2] 鲁春霞, 于云江, 关有志. 甘肃省土壤盐渍化及其对生态环境的损害评估[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(1):99-102.
LU Chun-xia, YU Yun-jiang, GUAN You-zhi. Soil salinization in Gansu Province and its economic loss evaluation of eco-environmental damages[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2001, 10(1):99-102.
- [3] 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[J]. 自然灾害学报, 2009, 18(4):55-62.
ZHANG Fei, Tashpolat·Tiyip, DING Jian-li, et al. Soil solinization in arid area and its economicloss evaluation of eco-environmental damages: A case of Shaya Country in Xinjiang [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2009, 18(4):55-62.
- [4] 谷海斌, 盛建东, 武红旗, 等. 灌区尺度土壤盐渍化调查与评价[J]. 新疆农业大学学报, 2010, 33(2):95-100.
GU Hai-bin, SHENG Jian-dong, WU Hong-qi, et al. Survey and evaluation on soil salinization of irrigation area scale: A case study of irrigation area in Shihezi and Manas[J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2010, 33(2):95-100.
- [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, 26(3):366-371.
WANG Fang-fang, WU Shi-xin, QIAO Mu, et al. Investigation and analysis on the salinization degree of cultivated land in Xinjiang based on 3S technology[J]. *Arid Zone Research*, 2009, 26(3):366-371.
- [6] 李义玲, 乔木, 吴世新, 等. 基于3S技术的新疆绿洲耕地盐渍化现状调查及治理对策研究[J]. 新疆农业科学, 2008, 45(4):642-649.
LI Yi-ling, QIAO Mu, WU Shi-xin, et al. A study on status investigation and control countermeasures of salinization of cultivated land in Xinjing oasis based on 3S technolog [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2008, 45(4):642-649.
- [7] 王水献, 董新光, 刘丰, 等. 层次分析法在新疆平原灌区土壤盐渍化研究中的应用[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(4):111-116.
WANG Shui-xian, DONG Xin-guang, LIU Feng, et al. Application of analytic hierarchy process on the soil salinization in irrigation areas of Xinjiang Plain[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(4):111-116.
- [8] 魏云杰, 许模. 新疆土壤盐渍化成因及其防治对策研究[J]. 地球与环境, 2005, 33:593-597.
WEI Yun-jie, XU Mo. Study on soil salinization and countermeasures of its prevention in Xinjiang[J]. *Earth and Environment*, 2005, 33:593-597.
- [9] 刘春卿, 杨劲松, 陈小兵, 等. 新疆玛纳斯河流域灌溉水质与土壤盐渍化状况分析[J]. 土壤, 2008, 40(2):288-292.
LIU Chun-qing, YANG Jing-song, CHEN Xiao-bing, et al. Quality of irrigation water and soil salinity of the Manas River Valley in Xinjiang [J]. *Soils*, 2008, 40(2):288-292.
- [10] 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[J]. 地理学报, 2003, 58(5):643-650.
ZHU Hui-yi, LI Xiu-bin. Discussion on the index method of regional land use change[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5):643-650.
- [11] 韩春光, 丁建丽, 蒲云锦, 等. 干旱区绿洲41年温度和降水变化趋势及分析[J]. 干旱区资源与环境, 2008, 22(11):50-54.
HAN Chun-guang, DING Jian-li, PU Yun-jin, et al. The change characteristics of the temperatures and precipitation in Shihezi, Xinjiang in the recent 41 years[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2008, 22(11):50-54.
- [12] 杨发相, 马虹, 穆桂金, 等. 新疆玛纳斯河地区绿洲的形成与演变研究[J]. 干旱区研究, 2003, 20(4):276-280.
YANG Fa-xiang, MA Hong, MU Gui-jin, et al. Formation and evolution of the oases in the Manas River Watershed, Xinjiang [J]. *Arid Zone Research*, 2003, 20(4):276-280.
- [13] 曲耀光, 马世敏, 曲玮. 西北干旱区水资源转化与开发利用模型[J]. 中国沙漠, 1998, 18(4):299-307.
QU Yao-guang, MA Shi-min, QU Wei. Water resources transformation and development and use model in the arid area of northwest China[J]. *Journal of Desert Research*, 1998, 18(4):299-307.
- [14] 樊华, 卞玮, 雍会, 等. 新疆玛纳斯河流域绿洲生态环境可持续发展的综合评价:以石河子绿洲为例[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(9):25-28.
FAN Hua, BIAN Wei, YONG Hui, et al. The synthetical assessment of eco-environment in oasis of Manas River Valley: A case study in the Shihezi City Oasis[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2007, 21(9):25-28.