

开都河流域下游绿洲土壤盐渍化影响因素分析

阿斯耶姆·图尔迪^{1,2}, 李新国^{1,2}, 靳万贵^{1,2}, 梁东^{1,2}

(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:以开都河流域下游绿洲为例,应用灰色关联度方法分析了 6 种影响因素在土地盐渍化过程的相对影响力大小。结果表明:自然和人为因素共同作用于研究区土壤盐渍化过程。土壤含盐量与土壤盐渍化影响因素之间的关联度排序 0—10 cm 层为:地下水埋深>最近排水渠距离>高程>最近灌溉水渠距离>最近湖岸距离>地下水矿化度; 10—30 cm 层为:地下水埋深>最近湖岸距离>最近排水渠距离>高程>最近灌溉水渠距离>地下水矿化度; 30—50 cm 层:最近灌溉水渠距离>地下水埋深>最近排水渠距离>地下水矿化度>最近湖岸距离>高程。在 3 个不同土层深度上土壤盐渍化影响因素的影响力不同,土壤盐渍化防治需要综合考虑多种影响因素的作用。

关键词:土壤盐渍化; 影响因素; 土壤含盐量; 灰色关联度; 开都河流域下游绿洲

中图分类号: S156.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2014)02-0082-05

Analysis of Affecting Factors of Oasis Soil Salinization in the Lower Reaches of Kaidu River Basin

Asiyemu · Tuerdi^{1,2}, LI Xin-guo^{1,2}, JIN Wan-gui^{1,2}, LIANG Dong^{1,2}

(1. School of Geographic Sciences and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi 830054, China;

2. Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Urumqi 830054, China)

Abstract: Through the spatial factor and experimental data analysis of oasis soil salinization of Kaidu River Basin, taking the downstream oasis as an example, using application of grey correlation degree analysis of each factor in size relative influence of land salinization process, six impact factors were selected. The results showed that the natural and anthropic factors commonly influenced soil salinization. Soil moisture correlation in 0—10 cm layer between the amount of salt and influencing factors ranked in the order of groundwater depth>recent drainage distance>elevation>recent irrigation canals distance>recent lake distance>mineralization of groundwater; for 10—30 cm layer, groundwater depth>recent lake distance>recent drainage distance>elevation>recent irrigation canals distance>mineralization of groundwater; for 30—50 cm, recent irrigation distance>groundwater depth>recent drainage distance>mineralization of groundwater>recent lake distance>elevation. Each one in each soil depth on influence factors is different, soil salinization of land in the area is complex, its governance work required a comprehensive consideration of all factors.

Key words: soil salinization; affecting factor; soil salt content; grey correlation degree; oasis in the lower reaches of Kaidu River

盐渍化是各种营力使盐分在土壤中或地表集聚的过程,是人类共同面临的一个全球性环境问题^[1-2]。土壤盐渍化通常出现在气候干旱、土壤蒸发强度大、地下水位高且含有较多的可溶性盐类的地区。盐渍化是干旱、半干旱地区土壤的一个普遍特征,是一定的气候、地形、水文地质等自然条件共同对水盐运动

产生影响的结果^[3-4]。土壤盐渍化主要分布于我国的西部干旱地区,是制约西部农业发展的主要障碍,也是影响绿洲生态稳定的重要因素。而新疆是典型的干旱区,土壤盐渍化非常严重。近 10 a 来,新疆水土开发和绿洲灌区建设取得了一定的进步,但是干旱的气候、水资源不足和人类活动等条件使得土壤盐渍化

收稿日期: 2013-08-01

修回日期: 2013-08-27

资助项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金项目(2012211A053)

作者简介: 阿斯耶姆·图尔迪(1988—),女(维吾尔族),新疆且末县人,硕士研究生,主要从事干旱区土壤资源变化及其遥感应用研究。
E-mail: asiya.tr@gmail.com

通信作者: 李新国(1971—),男,甘肃玉门人,博士,教授,硕士生导师,主要从事干旱区水土资源变化研究。E-mail: onlinelxg@sina.com

改良受到一定局限^[5]。何祺胜等^[6]对渭干河—库车河三角洲绿洲盐渍化成因进行了分析,认为干旱荒漠气候、含盐母岩和母质、活跃的地表水和地下水的补给是盐渍土形成的动力,人文活动是形成灌区次生盐渍化的重要条件;龚新梅^[7]将传统的野外定位调查数据和同时期 TM 遥感数据相结合,以阜康三工河流域为研究区域,进行土壤盐渍化的遥感分级,分析了该区域的土壤盐渍化的格局分布和动态变化的影响因素;宋长春等^[8]在探讨潜水埋深、矿化度、组成、径流条件等对内陆盐渍化土壤形成的影响基础上,分析了潜水向上迁移速率与水位的关系,提出了潜水埋深及矿化度与土壤盐渍化程度的定量指标。姚荣江等^[9]采用通径分析方法研究了黄河下游三角洲盐渍区表层土壤(0—10 cm)积盐的影响因子及其强度的主次关系。塔西甫拉提等^[10]研究干旱区地带的两个盐渍化典型区域——阿克苏地区的库车县、新和县与沙雅县以及和田地区的于田县为研究区进行了实证分析,通过研究发现,两个同处于塔里木盆地周边地区,由于水文、气候、地形、人类活动等因素差异的存在,导致了盐渍化情况的差异。张同娟等^[11]对长江河口地区土壤盐渍化影响因子做了土壤盐分影响因子分析。以 B. A. 萨乌緬为代表的学者认为对于干旱地带的大多数灌区来说,土壤次生盐渍化的形成和发展是由于不合理的灌溉,用水不当,抬高了地下水位,加之强烈的蒸发引起了土壤盐渍化^[12]。Barrow 等^[13]在研究地下水与盐渍化过程的关系时,表明当地下水位上升到地表以下 1.5~2.5 m 范围时,水分的蒸发蒸腾量加大,导致盐分的上行累积。从国内外研究现状来看,已有多位学者对新疆的土壤盐渍化特点、类型划分、预报、成因及治理模式进行过大量的试验研究和调查^[14-20]。由于土壤盐渍化发生的复杂性,现阶段土壤盐渍化成因研究主要偏重于自然因素的研究^[21]。然而,对土壤盐渍化的自然和人文因素共同作用仍缺乏足够的研究。

分析区域土壤盐渍化发生的自然条件和主导的环境要素是理解土壤盐渍化过程的基础,对于更好地预防和治理土壤盐渍化具有十分重要的作用^[22-23]。研究各种因素影响下土壤盐渍化发生和演变的规律,认识土壤盐渍化过程和各种因素的相互关系,是防治土壤盐渍化的基本环节。我国地域辽阔,自然条件复杂,只有查明不同条件下土壤盐渍化的原因,进行针对性的治理,才能达到有效防治土壤盐渍化的目的,同时也减少经济支出^[24]。虽然,国内许多学者较为详细地介绍和研究了盐渍化的形成和发展,但是由于各地的自然条件,如气候、地形地貌、水文地质、成土

母质和社会经济等的明显差异,对盐渍化土壤的形成、发展和改良利用途径产生不同的影响。因此,通过采用空间分析和灰色关联度分析法,对研究区土壤盐渍化影响因子进行研究,可以掌握影响因子对于盐渍化程度和变化的影响,为制定综合治理盐渍化措施与合理利用土地提供理论依据。

1 研究区概况

开都河下游灌区位于新疆焉耆盆地,行政区域上包括和静县、焉耆县、博湖县及新疆生产建设兵团农二师 22 团、23 团、24 团、25 团、27 团和 223 团,地理位置为 85°42′—88°00′E,41°35′—42°30′N。开都河是唯一能常年补给博斯腾湖的最大一条河流,其下游段(大山口水电站到博斯腾湖入湖口),河流长度为 171 km。下游灌区的地面海拔高度一般为 1 050~1 200 m,地势西北高东南低。研究区属南北疆过渡的大陆荒漠性气候,气候特征表现为热量充足,日照时数长,降水稀少,蒸发强烈,年平均气温 8.0~8.6℃,≥10℃的积温 3 414.4~3 694.1℃,无霜期 176~200 d;年平均降水量 50.7~79.9 mm,蒸发量为 2 000.5~2 449.7 mm;土壤类型主要有棕漠土、草甸土、沼泽土、灌耕潮土、盐土、风沙土等;区内地下水资源较为丰富,地下水可开采量为 9.05 亿 m³/a,地下水位多为 1.0~2.0 m^[25]。地下水化学特征具有较强的地带性分异规律,山前冲积—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为重碳酸—硫酸盐型,滨湖地区则为硫酸盐—氯化物型;在河流水网密集的区域,潜水受地表水的淡化作用明显,地下水化学组成复杂^[26]。

2 数据来源与方法

以遥感影像(2010 年 9 月)、2010 年水系分布图及 2010 年 9 月土壤盐分数据(按 0—10 cm,10—30 cm 和 30—50 cm 层取荒地,盐渍地、耕地和林地 4 种土地利用类型,63 个采样点,共 189 个样品)为数据来源,通过 ArcGIS 9.2 来获取空间因子,结合实验数据采用灰色关联度法对研究区土壤盐渍化影响因子的影响力大小进行分析。

3 结果与分析

3.1 影响因子选取依据

土壤盐渍化的发生与发展与诸多因素有关,其中地下水特征、气候条件等自然条件是重要影响因素^[27]。地形是影响土壤盐渍化的重要因子,地形能造成所谓的“干排盐”。土壤盐渍化与地下水位、地下

水含盐量关系密切,地下水埋藏愈浅,蒸发愈强烈,土壤积盐愈快,地下水含盐量越高,土壤积盐愈重。是干旱区土壤盐渍化分异的基础^[28],因此选高程、地下水埋深和地下水矿化度作为自然影响因子。

水体是发生土壤盐渍化的重要基础,也是保持干旱区生态平衡的重要因子,因此最近湖岸距离是影响土壤盐渍化时空演变影响因素的人为因素;最近灌水渠距离、最近排水渠距离代表人类土地管理因子的元素,也是影响土壤盐渍化时空演变影响因素的人为因素;通过排水渠和灌水渠线划图和遥感分类图叠加,可知离灌水渠和排水渠越近,土壤盐渍化程度一般越小;因此选取最近湖岸距离、最近灌水渠距离、最近排水渠距离作为人文影响因子。

3.2 空间因子提取方法

利用地理信息系统(GIS)的空间分析功能,得到土壤盐渍化影响因子空间分析所需的各种空间变量。各类因子均在 ArcGIS 9.0 支持下提取。其中,距离湖岸、灌水渠和排水渠的远近等人文因素,根据 ALOS 影像(2010 年 9 月)提取湖岸线、参考研究区已有的水

系分布图中提取灌水渠和排水渠图层,在 ArcGIS 9.2 的 spatial analyst 模块中按照点与线之间的最短距离来生成;地下水埋深和地下水矿化度采用克里格空间插值法来获取;采样点的高程根据 GoodyGIS 和 ArcGIS 空间分析来提取。

根据以上分析,共提取 6 种盐渍化影响因子,即最近湖岸距离(X_1)、最近灌水渠距离(X_2)、最近排水渠距离(X_3)、高程(X_4)、地下水埋深(X_5)和地下水矿化度(X_6),土样深度含盐量(X_0)分别为 0—10 cm, 10—30 cm, 30—50 cm 的土壤含盐量。其中 X_2 , X_3 为最近灌溉水渠距离、最近排水渠距离代表人类土地管理因子的元素,也是影响土壤盐渍化时空演变的影响因素之一的人为因素。

通过野外调研的采样点和空间插值分布图的叠加(图 1)可知,地下水埋深越浅,毛细作用越强烈,采样点土壤含盐量越高;地下水矿化度越大,土壤含盐量越高。通过采样点和排灌区矢量化图叠加,离灌水区、排水渠越近,土壤含盐量越低。表明灌溉作为人为因子,降低土壤中的盐分含量,控制土壤盐渍化的作用。

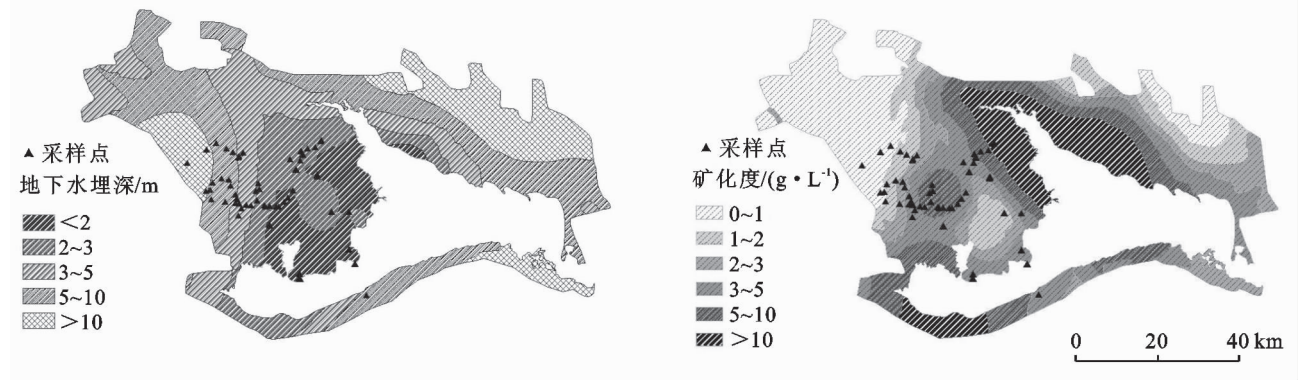


图 1 2010 年地下水埋深、地下水矿化度空间插值分布

3.3 空间影响因子的关联度计算

在现有研究成果和实地调查数据基础上进行土地盐渍化时空演变中各类影响因子的选取。应用灰色关联分析方法对 6 种影响因子在研究区土壤盐渍化时空演变的影响力进行定量分析。

(1) 原始数据变换。评价指标无量纲化,即由于系统中各因素的量纲(或单位)不一定相同,对原始数据需要消除量纲(或单位),转换为可比较的数据序列^[29-30]。由于各子序列对母序列的作用不一,对于正

$$\xi_i(k) = \frac{\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|}{|x_0(k) - x_i(k)| + \rho \max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|} \quad (1)$$

式中: $k=1, 2, 3, \dots, N$; $i=1, 2, \dots, 5$; $\xi_i(k)$ ——数据序列 x_i 与 x_0 在位置 k 处(即某时刻发生变化或未发生变化的位置)的关联系数。这里的 $\min_i \min_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为数据序列某个 x_i 与 x_0 全部 $5 \times N$ 个绝对差中的最小值,用小中取小的方法

向指标: $y_i = x_i/x_0$, 逆向指标: $y_i = 1 - x_i/x_0$, 其中, x_i 为子序列的实际值, x_0 为子序列的最大值。本文采用的是均值化变换:先分别求出转换后的各个序列的平均值,再用平均值去除对应序列中的各个原始数据,所得到的新的数据列,即为均值化序列。

(2) 计算关联系数。经数据变换的母数列记为 X_0 , 子数列记为 X_i , 则母序列 X_0 与子序列 X_i 的关联系数可由下式计算:

得到。类似地, $\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 为数据序列某个 x_i 与 x_0 全部 $7 \times N$ 个绝对差中的最大值,用大中取大的方法得到。 ρ 为分辨系数($\rho \in [0, 1]$),用来制约 $\max_i \max_k |x_0(k) - x_i(k)|$ 的值,以免过大而失真,提高关联系数之间的差异显著性,这里取

ρ 值为 0.5^[20]。

(3) 关联度计算。关联度的分析实质上是对时间序列数据进行几何关系比较,两序列的关联度以两个比较序列各个时期的关联系数之平均值计算。

$$R_i = \overline{\xi_i}(k) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \xi_i(k)$$

(2)

式中: R_i ——子序列 i 与母序列 0 的关联度; N ——比较序列的长度(即数据个数)。

3.4 关联度排序

将 6 种影响因子对土壤含盐量的关联度进行排序,得出各因子在不同土壤层下的关联序(表 1)。

表 1 影响因子的关联度

深度/ cm	子序列					
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
0—10	0.7168	0.7360	0.7500	0.7407	0.7713	0.6542
10—30	0.4906	0.4120	0.4453	0.4177	0.5022	0.3863
30—50	0.4381	0.4957	0.4581	0.4241	0.4935	0.4565

从表 1 可知,0—10 cm 层各因子在不同土壤层下的关联序:地下水埋深>最近排水渠距离>高程>最近灌溉水渠距离>最近湖岸距离>地下水矿化度;10—30 cm 层各因子在不同土壤层下的关联序:地下水埋深>最近湖岸距离>最近排水渠距离 >高程>最近灌溉水渠距离>地下水矿化度;30—50 cm 层各因子在不同土壤层下的关联序:最近灌水渠距离>地下水埋深>最近排水渠距离>地下水矿化度>最近湖岸距离>高程。

3.5 关联度分析

在灰色关联分析中,因子的重要性以关联度表示,关联度越大,则表示因子越重。从图 2 的关联度排序中可知,6 种影响因子对土壤含盐量的关联度随土层深度的不同有明显的变化。

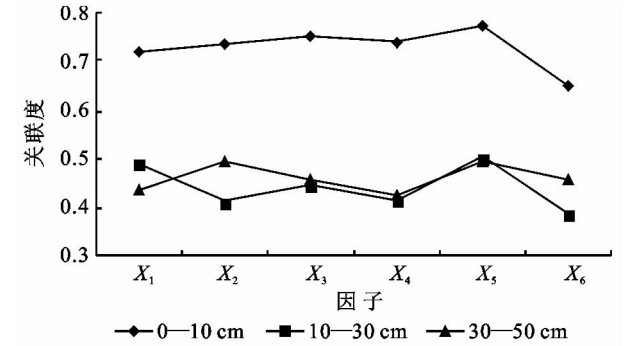


图 2 不同土层下的因子关联度

由图 2 可知,0—10 cm 层各个影响因子的关联度都达到了最高值,最近湖岸距离、最近灌水渠距离、最近排水渠距离、高程、地下水埋深和地下水矿化度在 0—10 cm 层的关联度较大,关联系数均高于 0.654 2,并排在关联序的前列,关联度大于 10—30

cm 和 30—50 cm。0—10 cm 土壤层是土壤盐渍化最容易发生变化的土层,该土壤层下的关联序反映了研究区土壤盐渍化对各个影响因子的敏感程度。说明各个影响因子主要在 0—10 cm 土层上对土壤盐渍化变化产生最大影响,对研究区土壤盐渍化演变起主导作用。其中,地下水埋深和最近排水渠距离影响上层土壤含盐量最为显著,是影响研究区土壤含盐量最为活跃、最直接影响土壤盐渍化的自然和人文因子。地下水埋深越浅,离排灌渠越近,土壤含盐量越高,越容易发生土壤盐渍化。这表明 0—10 cm 层受人类活动干扰,农田的排水灌溉系统对降低土壤含盐量起到了一定作用,离排灌渠的距离越近,土壤改善的效果越显著。

各个影响因子的关联度在每一土层下相差不大,说明各个影响因子对土壤盐渍化变化的影响力相差不多,各个影响因子共同作用于研究区的土地盐渍化过程,研究区土地盐渍化的治理困难较大,需要综合考虑各个影响因子的作用。

10—30 cm 和 30—50 cm 层各个因子与土壤含盐量的关联度不同,与 0—10 cm 层,10—30 cm 层地下水埋深和最近湖岸距离关联度最大,30—50 cm 层最近灌水渠距离和地下水埋深关联度最大。10—30 cm 地下水埋深和最近湖岸距离为关键因子而 30—50 cm 层最近灌水渠距离和地下水埋深为关键因子。相对于表层土壤来说,排灌系统对降低深层土壤含盐量的效果略有下降,这主要是因为区域地下水普遍埋藏较浅,毛细作用强烈,深层土壤更易受地下水化学性质的影响。分析结果表明,地下水埋深、最近灌水渠距离、最近排水渠距离是控制土壤次生盐渍化的关键因素。因此,发展有效的排水灌溉系统、保证灌溉水质是治理区域下层土壤次生盐渍化有效的途径。

综上所述,研究区近期土壤盐渍化变化是人为因素与自然因素共同作用的结果,其中某些因素又是现阶段可以控制的因素,尤其是人为因素。根据对多个影响因子的综合分析,研究区在土地盐渍化防治中重要的是要科学合理地控制人类活动,制定土地开发的合理规模,防止不合理的土地开发引起土壤盐渍化加重的现象。首要考虑要加强地下水埋深的动态监测,保持合理的地下水埋深,其次,要确定合理的灌排比例和灌排措施,防止灌排不当引起的土壤次生盐渍化现象的发生。

4 结论

开都河流域下游绿洲土壤盐渍化变化是人为因素与自然因素共同作用的结果。不同土层土壤盐渍

化影响因子不同。土壤盐渍化影响因子对土壤含盐量的关联度排序 0—10 cm 层为地下水埋深>最近排水渠距离>高程>最近灌溉水渠距离>最近湖岸距离>地下水矿化度,最高关联度值为 0.750 0;10—30 cm 层为地下水埋深>最近湖岸距离>最近排水渠距离>高程>最近灌溉水渠距离>地下水矿化度,最大关联度值为 0.586 7;30—50 cm 层为最近灌水渠距离>地下水埋深>最近排水渠距离>地下水矿化度>最近湖岸距离>高程,最大关联度值为 0.624 0。地下水埋深是影响土壤盐分含盐量最为活跃、最为直接的因素。最近灌水渠距离、最近湖岸距离和最近排水渠距离是影响研究区土壤盐渍化演变的次要因子。

参考文献:

- [1] 翁永玲,宫鹏.土壤盐渍化遥感应用研究进展[J].地理科学,2006,26(3):369-375.
- [2] 陈小兵,杨劲松,胡顺军,等.焉耆盆地水资源开发与土壤次生盐碱化防控研究[J].土壤通报,2007,38(2):233-237.
- [3] Sreenivas K, Venk ataratnam L, Narasim ha Rao P V. Dielectric properties of salt-affected soils[J]. International Journal of Remote Sensing,1995,16(4):641-649.
- [4] 塔西甫拉提·特依拜,张飞,丁建丽,等.干旱区典型绿洲盐渍化土壤空间信息研究[J].干旱区地理,2007,30(4):544-551.
- [5] 王秀妮,张荣群,周德,等.基于 Markov 链的土壤盐渍化动态变化预测[J].农业工程学报,2010,26(2):202-206.
- [6] 何祺胜,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等.塔里木盆地北缘盐渍地遥感调查及成因分析:以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J].自然灾害学报,2007,16(5):24-29.
- [7] 龚新梅.绿洲盐渍化的遥感监测及其环境因素影响分析:以三工河为例[D].乌鲁木齐:新疆大学,2004.
- [8] 宋长春,邓伟.吉林西部地下水特征及其与土壤盐渍化的关系[J].地理科学,2000,20(3):246-250.
- [9] 姚荣江,杨劲松,姜龙.黄河下游三角洲盐渍区表层土壤积盐影响因子及其强度分析[J].土壤通报,2008,39(5):1115-1119.
- [10] 塔西甫拉提·特依拜,张飞,丁建丽,等.干旱区典型绿洲盐渍化土壤空间信息研究[J].干旱区地理,2007,30(4):544-551.
- [11] 张同娟,杨劲松,刘广明,等.基于灰色关联度法河口地区土壤盐分影响因子分析[J].土壤通报,2010,41(4):793-796.
- [12] B. A. 柯夫达.盐碱土的发生与演变[M].席承藩,译.北京:科学出版社,1957.
- [13] Barrow D L. Study on the relation of groundwater and salinity pocess; Field verification of the threshold model approach[M]. Hilgardia,1991.
- [14] 张景德.新疆盐碱土改良科学研究实践三十年[J].干旱区研究,1986,3(1):1-6.
- [15] 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[J].干旱区地理,2002,25(2):97-102.
- [16] 何祺胜,塔西甫拉提·特依拜,丁建丽,等.塔里木盆地北缘盐渍地遥感调查及成因分析:以渭干河—库车河三角洲绿洲为例[J].自然灾害学报,2007,16(5):24-29.
- [17] 姚荣江,杨劲松,姜龙.黄河下游三角洲盐渍区表层土壤积盐影响因子及其强度分析[J].土壤通报,2008,39(5):1115-1119.
- [18] 胡顺军,艾尼瓦尔·吾买尔,田长彦,等.渭干河平原绿洲灌区合理灌排比探讨[J].水土保持学报,2001,15(1):23-26.
- [19] 李凤全,卞建民,张殿发.半干旱地区土壤盐渍化预报研究:以吉林省西部洮儿河流域为例[J].水土保持通报,2000,20(2):1-4.
- [20] 李凤全,吴樟荣.半干旱地区土地盐渍化预警研究:以吉林省西部土地盐渍化预警为例[J].水土保持通报,2002,22(1):57-59.
- [21] 史晓霞,李京,陈云浩,等.基于 CA 模型的土地盐渍化时空演变模拟与预测[J].农业工程学报,2007,23(1):6-12.
- [22] 范晓梅,刘高焕,唐志鹏,等.黄河三角洲土壤盐渍化影响因素分析[J].水土保持学报,2010,24(1):139-144.
- [23] 罗先香,邓伟.松嫩平原西部土壤盐渍化动态敏感性分析与预测[J].水土保持学报,2000,14(3):36-40.
- [24] 关元秀,刘高焕.区域土壤盐渍化遥感监测研究综述[J].遥感技术与应用,2001,16(1):40-44.
- [25] 李新国,李会志,王影,等.开都河下游灌区土壤盐渍化研究[J].水土保持研究,2010,17(6):111-114.
- [26] 李新国,樊自立,李会志,等.开都河下游灌区土壤盐渍化动态变化研究[J].水土保持研究,2011,18(3):64-67.
- [27] 石元春,李保国.区域水盐运动监测预报[M].石家庄:河北科学技术出版社,1991.
- [28] 杨诗秀,雷志栋,沈言俐,等.叶尔羌平原绿洲盐均衡及旱排的初步分析[J].灌溉排水,1999,18(1):52-56.
- [29] 邓聚龙.灰色系统理论教程[M].武汉:华中理工大学出版社,1990.
- [30] 韩晓,何明,李金林,等.基于灰色关联度的科研项目风险评价方法[J].北京理工大学学报,2002,22(6):778-781.