

于田绿洲不同季节表层土壤盐渍化程度的空间变异特征

宋 玉^{1,2},塔西甫拉提·特依拜^{1,2},吴雪梅^{1,2},姜红涛^{1,2}
陶兰花^{1,2},周 梅^{1,2},买买提·沙吾提^{1,2}

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

摘 要: 以于田绿洲为对象,运用地统计学和经典统计学的方法,结合实地野外考察数据,对研究区 2012 年春、夏两季表层土壤盐渍化程度的空间变异性进行分析。结果表明:(1) 对研究区 24 个样本点表层土壤含盐量进行描述性统计分析,得出 5 月和 7 月的表层土壤含盐量均值为 $18.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$,判断于田绿洲土壤为重盐土类型。5 月土壤含盐量变异系数为 115.6%,7 月为 109.5%,都属于强空间变异性。(2) 由半方差函数分析得到研究区 5 月和 7 月的块金值和基台值之比均小于 25%,判断表层土壤含盐量的空间分布表现为强相关性,且 5 月的理论模型拟合要优于 7 月的。(3) 对于于田绿洲 2012 年土壤表层含盐量和地下水位埋深进行普通克里格插值看出,春季到夏季有相同的变化趋势,在绿洲内部,地下水位埋深较深,含盐量较低,土壤碱性小;而绿洲外围地区,地下水位埋深较浅,含盐量较高,相应的碱性较高。

关键词: 土壤含盐量;空间变异;地下水位埋深;半方差函数;地统计学;Kriging 插值;于田绿洲
中图分类号: S158.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)06-0171-05

Analysis of seasonal variation of topsoil salinization in Yutian Oasis

SONG Yu^{1,2}, Tashpolat TIYIP^{1,2}, WU Xue-mei^{1,2}, JIANG Hong-tao^{1,2}, TAO Lan-hua^{1,2},
ZHOU Mei^{1,2}, Mamat Sawut^{1,2}

(1. College of Resource and Environment Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China;
2. Key Laboratory of Oasis Ecology (Xinjiang University), Ministry of Education, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

Abstract: Based on the open field measured data, with the aid of the conventional statistics and geo-statistics analysis method, this paper takes Yutian Oasis as study area and analyses the distribution of the topsoil salinization degrees in spring and summer of 2012 in this area. The results reveal that (1) Through statistical parameter analysis, Yutian Oasis belongs to strongly salinized area, where the topsoil salt content averages $18.2\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, the coefficient of variation is between 109.5% ~ 115.6%, belonging to the strong spatial variability. (2) By the judge of semivariogram analysis, the surface spatial distribution of soil salinity shows a strong correlation. (3) Through Kriging method analysis, the conclusion shows that in the oasis, the soil surface salinity from spring to summer has the same tendency; Inside the oasis, as the underground water is deeply buried, the salt content is lower, and the soil alkaline is small; While in the surrounding area of the oasis, as the depth of underground water is shallow, the salt content is higher, and the soil alkaline is simultaneously higher.

Keywords: topsoil salinity; spatial variability; depth of under ground water; semi-variance; geostatistical analysis; Kriging interpolation; Yutian Oasis

土壤盐渍化是在一定的自然环境和人文因素的条件
条件下形成和发展的,主要受气候、地形、地质、水文
及生物诸多因素的影响,已经严重制约了农业发
展^[1-3],其中地统计学是研究土壤盐分空间分布和

收稿日期:2014-04-25
基金项目:国家自然科学基金(U1138303);教育部长江学者和创新团队(IRT1180)
作者简介:宋 玉(1987—),女,新疆塔城市,硕士,主要研究方向为干旱区资源遥感定量研究。E-mil:Songyu327@126.com。
通信作者:塔西甫拉提·特依拜,男(维吾尔族),教授,博士生导师,E-mail: tash@xju.edu.cn。

变异最有效的方法之一^[4],能反映出盐渍化程度,了解其空间分异规律,从而有助于人们更好地管理和防治土壤盐渍化,保护土地质量,提高农业产量^[5-10]。近几年国内外很多专家学者就土壤特性的空间变异研究做了很多重要工作,如王军等^[11]对黄土丘陵小流域土壤水分的空间变异特征进行了深入研究。王淑娟等^[12]基于 GPS 和 GIS 对田间土壤特性进行了空间变异性的分析。管孝艳等^[13]研究了灌区内的土壤盐分的时空变异特征及其与地下水埋深的关系。冉启洋等^[14]分析了塔里木河上游绿洲土壤表层盐分特征。Ali V Bilgili^[15]运用多种 Kriging 插值方法实现土壤盐分的空间评估。为了保护于田绿洲,实现可持续发展,开展对土壤盐分空间异质性研究是一项极其重要的工作。本文通过大量野外实地调查与 3S 技术相结合,研究分析了土壤含盐量的空间分布规律,为于田绿洲生态安全变化及生态安全的管理提供理论基础。

1 研究区概况

研究区地处东经 81°09′~82°51′,北纬 35°14′~39°29′之间(如图 1 所示,174 页彩图),位于塔里木盆地南缘克里雅河流域,昆仑山中段北麓,北为塔克拉玛干大沙漠,中部为冲积平原地带,地势南高北低,水资源来自于地下水和地表水,其中最主要的河流是克里雅河。气候属暖温带大陆性干旱气候,四季分明。昼夜温差大,光照丰富,年平均气温为 12.4℃;降水稀少,约为 44.7 mm,蒸发量大,约为 2 498 mm,属极度干旱地区;在春季多出现风沙和浮尘等灾害天气^[16-19]。于田绿洲总面积为 20.5 万 km²,由于蒸发量很大,盐渍化程度十分严重,盐渍化土地所占面积为 0.5 万 km²。

2 研究方法

2.1 数据来源

本研究利用 2011 年 8 月 TM 遥感卫星影像数据作为参考图,卫星影像数据的分辨率为 30 m。

采样点选取的标准参考当地土质、盐渍化程度以及空间分布的均匀性等。土壤样本采集时间分别为 2012 年 4 月 24 日—5 月 10 日和 2012 年 7 月 10 日—20 日。每个采样点均用 GPS 精确定位,记录点位的经纬度、土壤质地、地表状况和植被类型,并用数码相机进行景观拍照。经海米提·依米提等^[20]的研究发现,于田地区盐渍化属于典型的表聚型,所以本文只对表层土壤(0~10 cm)样本进行采样分析,

在研究区定位采样点 24 个,采样方法按五点梅花状采样,对于每个采样单元取 5 个土样,共 120 个土样。将所取土样带回实验室自然风干后,碾磨、过 1 mm 孔径筛后备用,配制 5:1 水土比浸提液,使用电导仪测定浸提液 25℃时的电导率,并参考《土壤农业化学分析方法》一书,测定样品的全盐量,最后取每个采样单元 5 个土样的平均值,作为测定值。

2.2 地统计学分析方法

地统计学是以区域化变量理论为基础,以半方差函数为主要工具,此方法能够有效揭示土壤含盐量在空间上的分布变异特征^[21-22],半方差函数的通式为:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

式中, h 代表步长,即为分隔两样点的矢量。以 h 为间隔距离的样点对数用 $N(h)$ 表示。 $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别代表区域化变量 Z 在 x_i 和 $x_i + h$ 处的空间位置取值。

3 结果与分析

3.1 土壤含盐量统计特征值分析

对研究区 24 个样本点表层土壤含盐量进行描述性统计分析,如表 1 所示。本文参照刘国华等^[23]对盐渍化土壤等级的划分标准,土壤含盐量小于 5.0 g·kg⁻¹ 为非盐渍化,土壤含盐量在 5.0~10.0 g·kg⁻¹ 之间为轻度盐渍化,土壤含盐量在 10.0~15.0 g·kg⁻¹ 之间为中度盐渍化,土壤含盐量在 15.0~20.0 g·kg⁻¹ 为重度盐渍化,土壤含盐量大于 20.0 g·kg⁻¹ 为盐土。研究区 24 个点中两个月的土壤含盐量的均值为 18.2 g·kg⁻¹,其中 5 月份土壤含盐量的均值为 14.6 g·kg⁻¹,7 月为 21.8 g·kg⁻¹,可判断该研究区土壤为重度盐渍化,且 7 月土壤含盐量大于 5 月的。这是由于人为不合理的灌溉(大水漫灌,只灌不排)导致的土壤次生盐渍化以及太阳辐射强度、降水、蒸发等气候条件的影响。5 月为春季,太阳辐射强度小,蒸发量也小,该季节正处于春灌时期,人为灌溉对土壤含盐量的淋洗作用很大,导致表层的含盐量下降,而 7 月太阳辐射强度大,天气炎热干燥,降水量小,蒸发量大,强烈的蒸发作用远远大于人为灌溉对土壤含盐量的淋洗作用,这使得表层土壤含水量减小,盐分从下层聚集到土壤表层使表层土壤含盐量增加。当进行变异函数的计算时,数据一般要求符合正态分布,否则该方法无效^[24]。本研究采用单样本 $K-S$ 检验。其 P 值分别为 0.157、

0.295,两者都大于 0.05,表明该样本服从正态分布。变异系数可反映离散程度。若 $CV < 10\%$,说明其为弱变异性;若 $10\% \leq CV \leq 100\%$ 时,说明其为中等变异性;若 $CV > 100\%$ 时,说明其为强变异性。该研究

区 5 月土壤含盐量变异系数为 115.6%,7 月为 109.5%,可判断该研究区土壤的含盐量为强变异性,两者差别较小,说明土壤含盐量变化相对稳定。

表 1 于田绿洲表层土壤盐分描述性统计
Table 1 Statistical parameters of the topsoil salt content in Yutian Oasis

采样时间 Sampling time	样本数 Sample number	平均值 Average /(g·kg ⁻¹)	中值 Median /(g·kg ⁻¹)	最大值 Max. /(g·kg ⁻¹)	最小值 Min. /(g·kg ⁻¹)	方差 Variance	标准差 Standard deviation	变异系数/% Variation coefficient	偏态系数 Skewness coefficient	峰度系数 Kurtosis coefficient	K - SP
2012 - 05(春季 Spring)	24	14.6	6.37	58.8	2.17	285.017	16.882	115.6	1.695	2.190	0.157
2012 - 07(夏季 Summer)	24	21.8	18.81	105.8	1.65	570.282	23.881	109.5	2.041	5.696	0.295

3.2 土壤含盐量半方差函数分析

为了分析典型样点间表层土壤含盐量的空间分布的关系,采用地统计学软件 GS + Version 9.0 软件建立半方差函数模型,模型的选择是遵循决定系数较大、残差较小的原则,得到其具体参数如表 2 所示,半方差函数模型如图 2 所示。

从表 2 可看出,两个月份土壤含盐量的块金值 C_0 均为正值,表明存在着短距离差异、采样误差、随机和固有变异所引起的各种正基底效应^[4]。块金值

和基台值之比反映变量空间相关性的程度。若比值小于 25%时,说明为强空间相关性;若比值在 25% ~ 75%之间,说明为中等的空间相关性;若比值大于 75%时,说明为弱空间相关性。根据本研究区 5 月和 7 月的块金值和基台值之比均小于 25%,可见表层土壤含盐量的空间分布表现为强相关性。理论模型拟合效果的优度取决于决定系数 R^2 , R^2 的值越大,表示拟合的精度越高。

表 2 表层土壤含盐量半方差函数模型参数
Table 2 Parameters of Variogram model of the topsoil salt content

时间 Time	理论模型 理论模型 Theoretical model	块金方差 C_0	基台值 $C_0 + C$	变程 a	块/基 $C_0/(C_0 + C)$	决定系数 R^2	分维度 D
2012 - 05(春季 Spring)	高斯 Gauss	1.000	319.40	0.07	0.003	0.687	1.682
2012 - 07(夏季 Summer)	高斯 Gauss	1.000	674.00	0.07	0.001	0.574	0.835

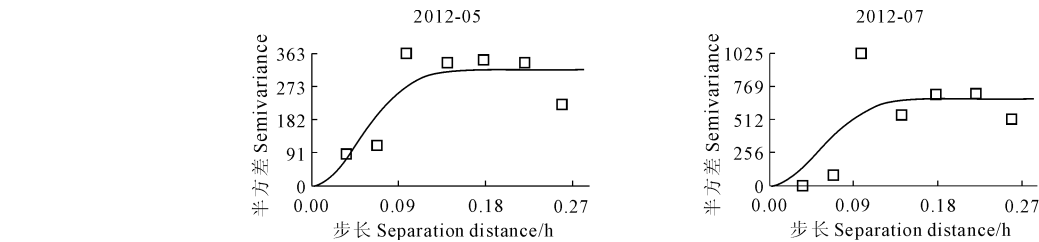


图 2 表层土壤含盐量半方差函数图

Fig.2 The semivariogram modal of the topsoil salt content

从图 2 看出半方差函数模型拟合效果较好,且 5 月的决定系数比 7 月的大,即春季的比夏季的高,说明春季的拟合状态比夏季的好。分维度 D 反映空间异质性的程度,春季的分维度 D 为 1.682,夏季的为 0.835,说明春季随机性因素的影响比夏季的要大。

3.4 空间插值分析

克里金插值是以空间自相关为基础,利用原始数据和半方差函数的结构性,对区域化的变量的未

知采样点进行无偏估计的插值方法^[25]。通过对表层土壤含盐量进行普通克里格插值,并分析土壤含盐量的空间分布状况^[26-28],如图 3 所示。主要表现为:两月份土壤含盐量较高的值主要集中在研究区北部、西北部、西南部地区,而较低的值主要集中在东部、南部、东北和东南部地区。其中无论春季还是夏季,绿洲外围的土壤含盐量都高于绿洲内部的土壤含盐量,分析造成这一现象的可能原因是受地下水位埋深和土壤 pH 值的影响。

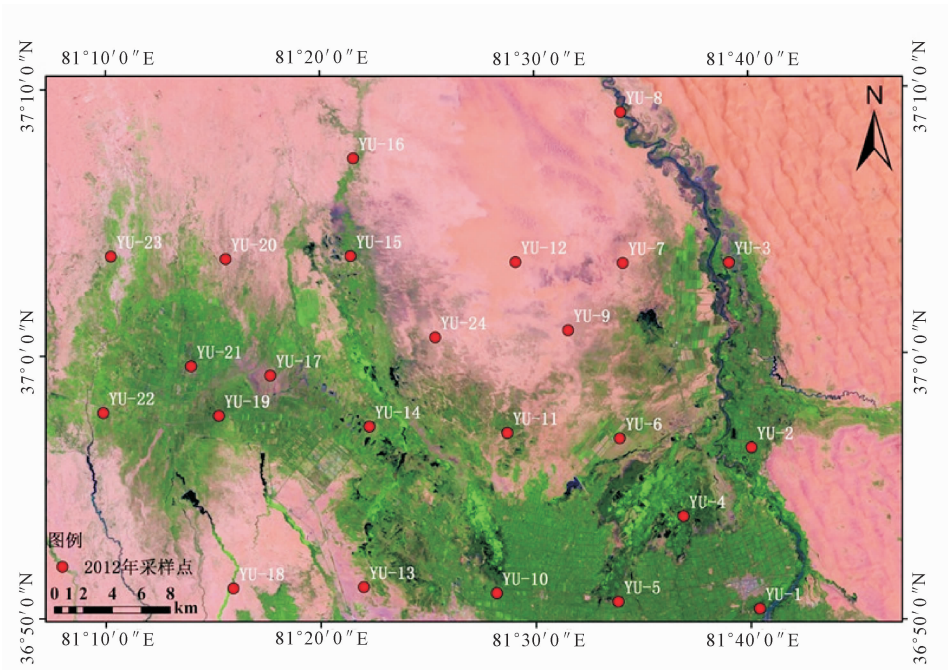


图 1 研究区示意图

Fig.1 Map of study area

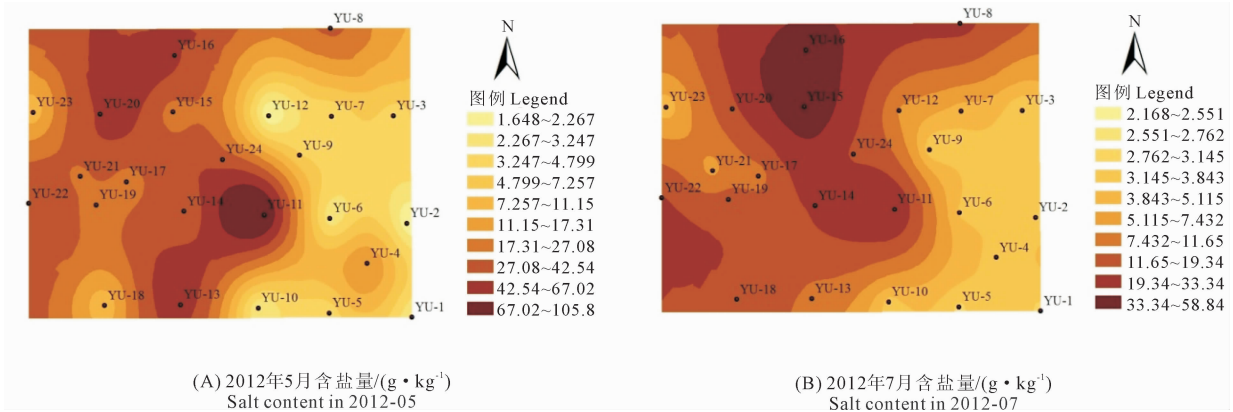


图 3 表层土壤含盐量空间插值图

Fig.3 Spatial interpolation prediction map of the topsoil salt content

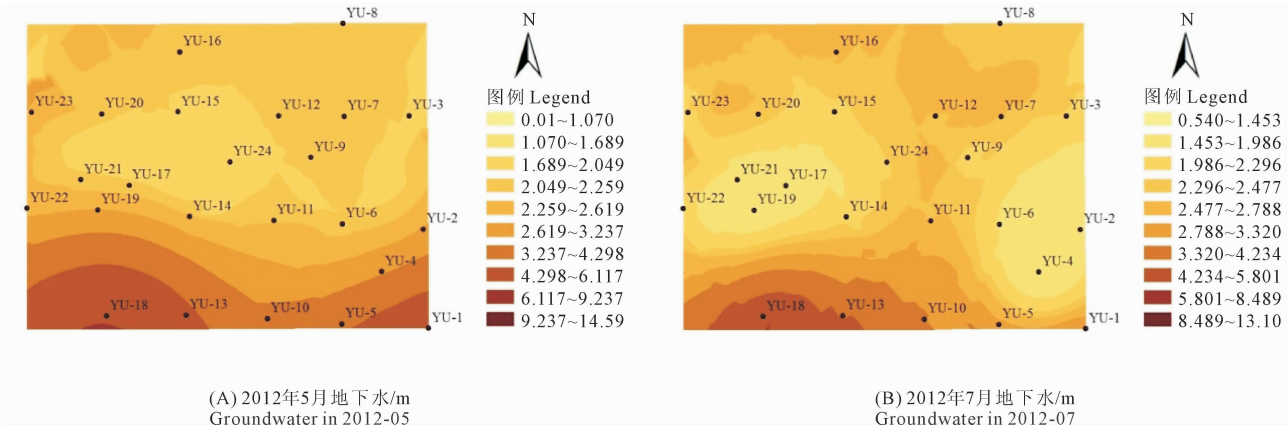


图 4 地下水空间插值图

Fig.4 Spatial interpolation prediction map of the groundwater

表层土壤含盐量的空间分布受到地下水埋深、地下水矿化度以及地下水埋深的临界深度的影响很大,但发生土壤盐渍化的决定性条件是地下水埋深^[29],而地下水埋深的临界深度受水文地质、土壤、植物、灌溉季节以及人为等多方面因素的影响^[30],因此只从地下水埋深角度探讨于田绿洲表层土壤盐渍化问题。本文先对该研究区5月和7月两季节的地下水位埋深数据进行 $K-S$ 检验,且服从正态分布,再建立半方差函数模型,得出5月和7月两季节的块金值和基台值之比均为0.1%,且都小于25%,说明地下水位埋深的空间分布表现为强相关性。然后再对地下水位埋深进行了空间插值(如图4所示)。从图4中可看出两个月之间的地下水埋深变化趋势差异不大,在绿洲外围土壤含盐量高的区域,大部分地下水位的埋深都较浅,而绿洲内部地下水位的埋深相对都较深。这是由于地下水位埋深愈浅,在蒸发量大的情况下,土壤盐分就会通过蒸发由地下水被带到土壤表层,土壤含盐量就会增加,引起土壤盐化^[23]。

该研究区春夏两季节的土壤 pH 平均值分别为7.80和7.97,夏季的土壤 pH 平均值大于春季的,说明在不同季节里土壤盐分组成发生了变化,特别是夏季的土壤碱性高于春季,因为碱性盐分溶解度与温度密切相关。由此可推断出土壤的 pH 值与土壤盐分组成之间存在着密切关系。两季节中在绿洲内部设的采样点共15个,土壤 pH 平均值分别为7.38和7.85,绿洲外围共设9个测得土壤 pH 平均值分别为7.9和8.16。由此可知,于田绿洲2012年土壤表层含盐量从春季到夏季有相同的变化趋势:在绿洲内部,地下水位埋深较深,含盐量较低,土壤碱性小;而绿洲外围地区,地下水位埋深较浅,含盐量较高,相应的碱性较高。

4 结 论

本研究在地统计学方法基础上,对表层土壤含盐量的空间异质性进行定量的研究,可得结论以下:

1) 由描述性统计分析和 $K-S$ 检验得出两月份土壤含盐量均服从正态分布,且研究区24个点中两个月份的土壤含盐量均值为 $18.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,由此可判断研究区土壤为重度盐渍化,其中7月份的土壤含盐量高于5月份的。两月份的变异系数在109.5%~115.6%之间,属于强空间变异性。

2) 由半方差函数分析判断表层土壤含盐量的空间分布表现为强相关性。春季的理论模型拟合要优于夏季的。

3) 通过对土壤含盐量和地下水位埋深的空间插值以及土壤 pH 值的分析得出,该研究区春夏两季节绿洲外围的土壤含盐量都要明显高于绿洲内部。而在绿洲内部,地下水位埋深较深,含盐量较低,土壤碱性较小;在绿洲外围地区,地下水位埋深较浅,含盐量较高,土壤碱性也就越高。

参 考 文 献:

- [1] 杨红梅,徐海量,樊自立,等.塔里木河下游表层土壤盐分空间变异和格局分析[J].中国沙漠,2010,30(3):564-570.
- [2] 李小刚,樊胜祖.以水盐平衡理论为指导防治景泰灌区土壤次生盐渍化[J].甘肃农业大学学报,1999,34(1):6-11.
- [3] 王燕,赵学勇,赵哈林,等.干旱绿洲农田盐渍化对土壤理化特性和农艺特征的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(3):184-193.
- [4] 姚荣江,杨劲松,刘广明,等.黄河三角洲地区典型地块地下水特征的空间变异性研究[J].土壤通报,2006,37(6):1071-1075.
- [5] 李亮亮,依艳丽,凌国鑫,等.地统计学在土壤空间变异研究中的应用[J].土壤通报,2015,36(2):265-268.
- [6] 姚荣江,杨劲松,姜龙,等.基于聚类分析的土壤盐渍坡面特征及其空间分布研究[J].土壤学报,2008,45(1):56-65.
- [7] 李明辉,彭少麟,申卫军,等.丘塘景观土壤养分的空间异质[J].生态学报,2004,24(9):1839-1845.
- [8] 刘付程,史学正,于东升,等.太湖湖域典型地区土壤全氮含量的空间异质特征[J].地理研究,2004,23(1):63-70.
- [9] 李晓燕,张树文,王宗明,等.吉林省德惠市土壤特性空间变异特征与格局[J].地理学报,2004,56(6):989-997.
- [10] 霍东民,孙家炳,刘高焕,等.3S技术在黄河三角洲土壤盐分分析样点采集中的应用[J].遥感信息,2001,(2):35-37.
- [11] 王军,傅伯杰,邱扬,等.黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征——半变异函数[J].地理学报,2000,55(4):428-438.
- [12] 张淑娟,何勇,方慧,等.基于GPS和GIS的田间土壤特性空间变异性的研究[J].农业工程学报,2003,19(2):33-44.
- [13] 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位埋深的关系[J].生态学报,2012,23(4):1202-1210.
- [14] 冉启洋,贡璐,韩丽,等.塔里木河上游绿洲土壤表层盐分特征[J].中国沙漠,2013,33(4):1098-1103.
- [15] Ali V Bilgili. Spatial assessment of soil salinity in the Harran Plain using multiple kriging techniques[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2013,185(1):777-795.
- [16] 蔡明科,许义和,杨婷,等.不同截取水平下咸阳市干旱特征[J].干旱区研究,2010,27(6):898-904.
- [17] 徐维新,古松,苏文将,等.1971—2010年三江源地区干湿状况变化的空间特征[J].干旱区地理,2012,35(1):46-55.
- [18] 王国友,塔西甫拉提·特依拜,谭灵芝,等.新疆于田绿洲—荒漠交错带土地利用变化的社会驱动力研究[J].中国沙漠,2006,26(2):259-263.
- [19] 塔西甫拉提·特依拜,赵睿,丁建丽,等.干旱区绿洲LUCC马尔柯夫过程分析——以新疆于田绿洲为例[J].干旱区地理,2006,29(4):548-556.

[6] 李久生. 喷灌均匀系数对土壤水分空间分布及作物产量影响的研究现状[J]. 农业工程学报, 1998, 14(3): 132-137.

[7] 桑以琳. 土壤学与农作学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.

[8] 王 迪, 李久生, 饶敏杰. 玉米冠层对喷灌水量再分配影响的田间试验研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(7): 43-47.

[9] Haynes L J. Ground rainfall under vegetative canopy of crops[J]. Journal of the American Society of Agronomy, 1940, 32(3): 176-184.

[10] 马 波, 吴发启, 马 璠, 等. 叶面积和降雨强度对大豆茎秆流的影响[J]. 中国水土保持科学, 2008, 6(6): 58-62.

[11] Li Jiusheng, Rao Minjie. Sprinkler water distribution as affected by winter wheat canopy[J]. Irrigation Science, 2000, 20(1): 23-35.

[12] 杜尧东, 王 建, 刘作新, 等. 春小麦田喷灌的水量分布及小气候效应[J]. 应用生态学报, 2001, 12(3): 398-400.

[13] Saffigna G P, Tanner B C, Keeney R D. Non-uniform infiltration under potato canopies caused by interception, stemflow, and hilling[J]. Agronomy Journal, 1976, 68(2): 337-342.

[14] Ayars E J, Hutmacher B R, Schoneman A R, et al. Influence of cotton canopy on sprinkler irrigation uniformity[J]. Transactions of the ASABE, 1991, 34(3): 890-896.

[15] Bui E N, Box J E Jr. Stemflow, rain throughfall, and erosion under canopies of corn and sorghum[J]. Soil Science Society of America Journal, 1992, 56(1): 242-247.

[16] 郝芝建, 范兴科, 冯 浩, 等. 玉米冠层对喷灌水量的再分配[J]. 中国农学通报, 2008, 24(5): 456-460.

[17] 林代杰, 郑子成, 张锡洲, 等. 玉米植株对降雨再分配过程的影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(12): 2608-2615.

[18] Quinn W N, Laflen M J. Characteristics of raindrop throughfall under corn canopy[J]. Transactions of the ASABE, 1983, 26(5): 1445-1450.

[19] 李王成, 黄修桥, 龚时宏, 等. 玉米冠层对喷灌水量空间分布的影响[J]. 农业工程学报, 2003, 19(3): 59-62.

[20] 郝芝建, 范兴科, 吴普特, 等. 喷灌条件下夏玉米冠层对水量截留试验研究[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(1): 25-27.

[21] van Dijk A I J M, Bruijnzeel A L. Modelling rainfall interception by vegetation of variable density using an analytical model. Part 2. Model validation for a tropical upland mixed cropping system[J]. Journal of Hydrology, 2001, 247(3): 239-262.

[22] 王 迪, 李久生, 饶敏杰. 喷灌冬小麦冠层截留试验研究[J]. 中国农业科学, 2006, 39(9): 1859-1864.

[23] 刘海军, 康跃虎, 王改庆. 作物冠层对喷灌水分分布影响的研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(2): 137-142.

[24] Glover J, Gwynne M D. Light rainfall and plant survival in Africa I. maize[J]. Journal of Ecology, 1962, 50(1): 111-118.

[25] van Elewijck L. Stemflow on maize: a stemflow equation and the influence of rainfall intensity on stemflow amount[J]. Soil Technology, 1989, 2(1): 41-48.

[26] 王庆改, 康跃虎, 刘海军. 冬小麦冠层截留及其消散过程[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(1): 3-8.

[27] 刘战东, 高 阳, 巩文军, 等. 冬小麦冠层降雨截留过程及其模拟研究[J]. 水土保持研究, 2012, 19(4): 53-58.

[28] Kang Yaohu, Wang Qinggai, Liu Haijun. Winter wheat canopy interception and its influence factors under sprinkler irrigation[J]. Agricultural Water Management, 2005, 74(3): 189-199.

(上接第 175 页)

[20] 海米提·依米提, 热比娅·吐尔逊, 胡小韦, 等. 新疆于田绿洲盐渍化土壤盐分动态变化特征研究[J]. 水土保持研究, 2008, 15(3): 100-104.

[21] 张金池, 李东海, 林 杰, 等. 基于小流域尺度的土壤可蚀性 K 值空间变异[J]. 生态学报, 2008, 28(5): 2199-2206.

[22] 熊亚兰, 魏朝富. 坡面土壤水分特性的空间变异及其水库贮量[J]. 水土保持学报, 2005, 19(1): 136-199.

[23] 刘国华, 海米提·依米提, 王庆峰, 等. 于田绿洲土壤盐分特征分析[J]. 水土保持研究, 2009, 16(3): 260-263.

[24] 胡小韦. 于田绿洲土壤盐渍化与地下水环境变化的关系研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2008.

[25] 梅志雄, 黎 夏. 基于地统计分析的房价空间分布差异研究——以东莞市 2006 年普通住宅价格为例[J]. 华南师范大学学报(自然科学版), 2007, (4): 120-126.

[26] 李晓晖, 袁 峰, 贾 蔡, 等. 基于反距离加权和克里格插值的 $S-A$ 多重分型滤波对比研究[J]. 测绘科学, 2012, 37(3): 87-89.

[27] Wang Qian, Ding Ning, Sun Yingjun. Comparison between sequential gaussian simulation and kriging interpolation on soil heavy metal pollution[J]. Agricultural Science & Technology, 2012, 12(3): 561-564.

[28] 彭 彬, 周艳莲, 高 苹, 等. 气温插值中不同空间插值方法的适用性分析——以江苏省为例[J]. 地球信息科学学报, 2011, 13(4): 539-548.

[29] 阮本清, 许凤冉, 蒋任飞. 基于球状模型参数的地下水水位空间变异特性及其演化规律分析[J]. 水利学报, 2008, 39(5): 573-579.

[30] 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): 1202-1209.