

焉耆盆地农田耕层土壤盐分的空间变异及分布格局

王维维¹, 麦麦提吐尔逊·艾则孜^{1,2}, 艾提业古丽·热西提¹,
艾尼瓦尔·买买提³

(1. 新疆师范大学地理科学与旅游学院, 新疆 乌鲁木齐 830054; 2. 新疆干旱区湖泊环境与资源实验室, 新疆 乌鲁木齐 830054;
3. 新疆大学化学与化工学院, 新疆 乌鲁木齐 830046)

摘 要:从新疆焉耆盆地采集 195 个农田土壤样品,测定土壤中 pH 值、含盐量以及电导率(EC)的含量,采用地统计法和空间自相关法研究了土壤盐分因子的空间异质性及分布格局,并对含盐量进行了风险性评价。结果表明:(1)焉耆盆地农田土壤 pH 值的变异小于 10%,属于弱空间变异,电导率呈强的变异性,变异系数为 1.102,含盐量属于中等变异强度。(2)通过 Kriging 空间插值发现,土壤含盐量和电导率高值区分布于博斯腾湖湖滨低洼地带及静县南部的农田土壤,主要沿河流呈条带状分布;pH 值高值区主要分布在博斯腾湖西南部湖滨湿地北部的农田,且从南到北呈阶梯状分布。(3)研究区土壤 pH 值、电导率和含盐量的 Moran's I 分别介于-0.0494~0.2585、-0.0627~0.1406和-0.0624~0.0702,其中电导率和含盐量的变异范围较窄;土壤 pH 和电导率随空间距离的增加表现出相似的 Moran's I 系数变化趋势。(4)研究区农田土壤以非盐渍化土和轻度盐渍化土为主。土壤含盐量在不同含量水平下的概率分布图对农田土壤盐渍化现状的风险性分析和评价十分有益。

关键词:农田耕层;土壤盐分;空间变异;分布格局;焉耆盆地

中图分类号:S153.6 **文献标志码:**A

Spatial variability and distribution pattern of soil salinity factors
in topsoil of farmland in Yanqi Basin, Xinjiang

WANG Wei-wei¹, Mamattursun · EZIZ^{1,2}, Atiyagul · RIXIT¹, Anwar · MOHAMMAD³

(1. College of Geographical Science and Tourism, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China;
2. Xinjiang Laboratory of Lake Environment and Resources in Arid Zone, Xinjiang Normal University, Urumqi, Xinjiang 830054, China;
3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

Abstract: A total of 195 soil samples from farmlands were collected from Yanqi Basin, Xinjiang and soil pH value, salt content and electrical conductivity (EC) were measured. Geostatistics and spatial autocorrelation method were used to quantitatively analyze the spatial heterogeneity and distribution pattern of soil salinity, and the risk assessment was conducted based on salinity. The results indicated that: (1) pH of farmland soil varied less than 10% in Yanqi Basin, indicating mild spatial variability; electrical conductivity varied vigorously with a variation coefficient of 1.102; the variation in salinity was moderate. (2) Through Kriging spatial interpolation, the soils with high salinity and conductivity values were distributed in the low-lying areas on the lakeshore of Bosten Lake and in the farmland soils in the south of Hejing County, mainly along the river. The high pH value areas were mainly distributed in the farmland in the northern part of the lakeshore wetland southwest of Bosten Lake, and were distributed stepwise from south to north. (3) Moran's I of soil pH, conductivity, and salinity ranged from -0.0494 to 0.2585, -0.0627 to 0.1406, and -0.0624 to 0.0702, respectively and the variation range of conductivity and salinity was narrow. Soil pH and electrical conductivity showed similar Moran's I with increasing spatial distance. (4) The

farmland soil in the study area was dominated by non-salinized soil and mild salinized soil. It is found that the probability distribution of soil salinity at different levels of salt content is very useful for risk analysis and evaluation of soil salinization of farmland.

Keywords: topsoil of farmland; soil salinity factors; spatial variability; distribution pattern; Yanqi Basin

土壤盐分是限制农业发展的主要因素,土壤盐分含量过高不仅影响农业可持续发展,还会导致土壤肥力下降,土地退化,并对区域生态安全构成潜在风险^[1],因而是一个关键性的生态问题^[2]。土壤盐渍化是指易溶性盐分在自然和人为作用下不断在土壤表层累积以至超过某一限度的现象或过程^[3]。当前,盐渍化已成为全球性的问题之一,尤其在干旱半干旱地区极为显著^[4]。由土壤盐渍化引起的土地退化已成为干旱区农业发展的最大障碍^[5],危及绿洲生态的稳定性与环境的安全性。因而,对干旱区农田土壤盐分的研究显得尤为重要^[6]。

根据联合国粮农组织统计,全世界盐渍化土壤面积约 $9.5\times 10^8\text{ hm}^2$,其中中国盐渍土面积约为 $3.6\times 10^7\text{ hm}^2$ ^[7],而新疆又是我国盐碱化土地分布面积最广、土壤积盐最严重的地区,被称为“世界盐碱土的博物馆”^[8]。土壤盐渍化已成为新疆农业发展的最大障碍,也是影响整个绿洲生态安全的因素^[9]。新疆焉耆盆地是天山主脉与其支脉之间的断陷盆地,盆地内有我国最大的内陆淡水湖,湖周围地势低,是上游河水的天然盐分积聚地,加之多年不合理的灌溉方式和耕作方式,使得下游土壤盐渍化现象严重,生态环境和农业发展受到影响^[10]。要了解研究区农田土壤盐渍化的分布情况,就需要获取土壤 pH 值、含盐量或电导率的信息,这是进行盐渍土改良治理必不可少的基础性资料。

国内的一些学者对土壤盐渍化的研究多基于地统计法和空间自相关法,如赵明亮等^[11]利用地统计法和空间自相关法对新疆艾比湖湿地土壤水盐空间变异性进行了分析,陈英等^[12]对秦安县郭嘉镇耕作层土壤养分含量的空间自相关进行分析,邓宝山等^[13]利用地统计法对克里雅绿洲地下水埋深与土壤盐分时空分异及耦合进行了分析,均得到了较好的效果。因此,本论文以焉耆盆地典型农田土壤为样区,以土壤 pH 值、电导率和含盐量作为评价土壤盐渍化程度的主要指标,采用地统计学方法探讨土壤含盐量空间分异特征,结合空间自相关法阐释土壤盐分的关系,了解土壤含盐量的变异性与分布

规律,以期为焉耆盆地土地资源的合理利用、土壤生态系统的保护和提高农作物产量提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

新疆焉耆盆地 ($86^{\circ}10'\sim 86^{\circ}54'\text{ E}$, $41^{\circ}52'\sim 42^{\circ}22'\text{ N}$) 位于塔里木盆地的东北侧,北依天山主脉的依连哈比尔尕山及其支脉科克铁克山、霍拉山中间的蒙尔宾山,南傍库鲁克塔格山,是天山主脉与其支脉之间的中生代断陷盆地,在行政区划上包括新疆维吾尔自治区和硕、和静、焉耆和博湖县(图 1),总面积约 $278\ 045\text{ hm}^2$,是新疆绿洲经济发展的核心示范区之一。研究区气候属于暖温带大陆性干旱荒漠气候,海拔 $1\ 050\sim 1\ 450\text{ m}$,多年平均降水量约 68 mm ,多年平均蒸发量约 $2\ 500\text{ mm}$,多年平均气温约 8.8°C 。因受博斯腾湖水域的调节,冷热变化相对和缓,日照时间长,热量较丰富, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 的年积温约 $3\ 700^{\circ}\text{C}$,农作物生长期为 4–9 月。农作物以辣椒、番茄、小麦、棉花和玉米等为主,是新疆辣椒种植与加工的主要产地^[14],加工辣椒种植面积约 1.8 万 hm^2 ,辣椒的生产与加工已成为当地农民增收的重点产业之一。研究区土壤类型主要为灌耕草甸土、灌耕棕漠土、灌耕沼泽土、灌漠土、灌耕石质土、灌耕风沙土、盐土等。

1.2 样品采集与测定

于 2016 年 5–8 月在焉耆盆地采集表层 ($0\sim 20\text{ cm}$) 耕地土壤样品 195 个。采用 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 内“梅

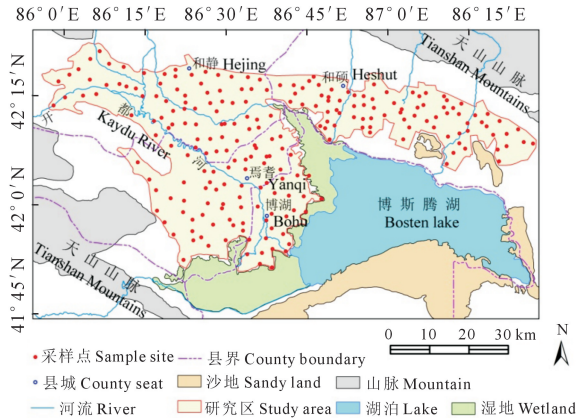


图 1 焉耆盆地位置及采样点分布

Fig.1 The location of the Yanqi Basin and sampling location

花形”布设 5 个子样点,每个子样点采集土壤 200 g 左右,充分混合后室温下风干,剔除沙砾及植物残体等杂物,将其碾碎后,通过 100 目尼龙筛混匀后备用。采集的 195 个土壤样品中包括蔬菜地(辣椒、西红柿、甜菜、南瓜、葱)、小麦地、玉米地、向日葵地和新垦地。称量 20 g 土壤样品与 100 mL 去离子水配制成水土比为 5 : 1 的土壤溶液,使用 Orion 115+A 仪测定土壤含盐量和电导率,pH Meter 酸度计测定 pH 值^[15]。

1.3 数据处理

采用 SPSS 19.0 对数据进行经典统计、Kolmogorov-Smirnov(K-S)检验和数据转化,运用 GS+7.0 进行半方差函数计算和 Moran’s I 系数分析,采用 ArcGIS 10.3 软件绘制空间分布图。

2 结果与分析

2.1 土壤 pH 值、电导率和含盐量特征分析

焉耆盆地农田土壤 pH 值、电导率和含盐量的统计结果见表 1。由表 1 可知,土壤 pH 值介于 7.90~9.50,电导率介于 0.06~3.47 mS · cm⁻¹,含盐量介于 0.60~54.00 g · kg⁻¹之间。K-S 检验表明,土壤 pH 值呈正态分布,电导率和含盐量呈对数分布。对于电导率和含盐量,使用 SPSS 19.0 软件对其数据进行正态分布转换,使其达到进行半方差函数计算及空间插值的要求。所有因子的数据分布与正态曲线相比均为正偏,其中含盐量的偏斜程度最大;电导率和含盐量的峰度系数较大,表明其含量高于均值的采样点较多。

变异系数(Coefficient of Variation, CV)是用以比较不同样本离散程度的指标,当 CV<10%为弱变异性, CV 在 10%~100%之间为中等变异性, CV>

100%为强变异^[16]。研究区土壤 pH 值的变异系数为 0.036,呈现弱变异,表明土壤 pH 值分布均匀;电导率的变异系数达到 1.102,属于强变异,主要受施肥、灌溉、蒸发及地表微地形等干扰因素的影响^[17];含盐量的变异系数为 0.617,呈现中等变异。

2.2 土壤 pH 值、电导率和含盐量的空间变异

由半方差函数理论及计算模型结果可知(表 2,图 2),焉耆盆地农田土壤 pH 值和电导率的理论模型符合指数模型,含盐量符合高斯模型。土壤 pH 值、电导率和含盐量的有效变程(a)存在较大的差异,介于 0.084~5.997 km 之间,其中土壤 pH 值和含盐量的有效变程明显大于电导率,表明电导率的空间格局相对复杂,可能受小尺度随机因素的影响较大。所有元素的决定系数(R²)均大于 0.576,残差(RSS)较小,说明本研究中理论模型的选取符合进行地统计分析的基本要求。

表 2 中 C₀为块金值;C₀+C 为基台值,C₀/(C₀+C)为基底效应,可以表明土壤性质空间相关性的程度。如果 C₀/(C₀+C)小于 25%,表现为强空间相关性;在 25%~75%之间为中等的空间相关性;大于 75%,空间相关性很弱^[18]。研究区土壤电导率的基底效应大于 0.75,表明其空间分布以随机性变异为主;pH 值和含盐量的基底效应介于 0.25~0.75 之间,呈中等的空间相关性,表明其空间分布可能受到较明显的人为、自然因素的共同影响。分维数 D 是描述变异函数曲线曲率大小的量,可作为随机变异的量度,其值越小说明空间依赖性越强。研究区农田土壤盐分因子的分维数从大到小顺序依次为电导率>pH 值>含盐量,尽管分维数相差不大,但仍然可以看出空间异质性程度的不同。

表 1 研究区土壤 pH 值、电导率和含盐量的数据分析

Table 1 Statistical analysis of soil pH, electrical conductivity and soil salinity in the study area

统计值 Statistic	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 St. D	变异系数 CV	偏度 Skewness	峰度 Kurtosis	分布类型 Distribution
pH	7.90	9.50	8.56	0.31	0.036	0.134	-0.33	正态分布 Normal
电导率 EC/(mS · cm ⁻¹)	0.06	3.47	0.49	0.54	1.102	2.29	6.5	对数分布 Logarithmic
含盐量 Salinity/(g · kg ⁻¹)	0.60	54.00	6.18	10.01	0.617	2.91	8.56	对数分布 Logarithmic

表 2 研究区土壤 pH 值、电导率和含盐量的半方差函数类型和模型参数

Table 2 Types and model parameters of semi-variance of soil pH, electrical conductivity and salinity in the study area

统计值 Statistic	最优模型 Best-fitting model	块金值 Nugget C ₀	基台值 Sill C ₀ +C	基底效应 Nugget effect C ₀ /(C ₀ +C)	变程/km Range a	残差 RSS	决定系数 R ²	分维数 D
pH 值	指数模型 Exponential	0.023	0.065	0.648	5.997	7.994×10 ⁻⁵	0.729	1.936
电导率 EC/(mS · cm ⁻¹)	指数模型 Exponential	0.015	0.103	0.854	0.084	3.85×10 ⁻⁴	0.576	1.965
含盐量 Salinity/(g · kg ⁻¹)	高斯模型 Gaussian	0.023	0.081	0.704	1.949	9.82×10 ⁻⁵	0.853	1.895

2.3 土壤 pH 值、电导率和盐分的相关性

由农田土壤 pH 值、电导率及含盐量的相互关系(图 3)可知,土壤 pH 值与电导率呈现相反的趋势,pH 值越大电导率越小,pH 值越小电导率越大。pH 值和电导率呈负的相关性,回归方程为 $y = -0.0099x + 8.6224 (R^2 = 0.1008, n = 195)$ 。从 pH 值和含盐量的变化趋势来看,土壤 pH 值与含盐量呈现相反的趋势,回归方程为 $y = -0.5889x + 5.5325 (R^2 = 0.1156, n = 195)$ 。土壤含盐量和电导率呈正相关性,即随着含盐量的升高电导率也升高,其回归方程为 $y = 0.0427x + 0.2104 (R^2 = 0.7464, n = 195)$ 。

2.4 土壤 pH 值、电导率和含盐量的 Moran's I 系数分析

Moran's I 系数可定量反映变量在空间的依赖程度。自相关系数 I 的范围在 $[-1, 1]$ 之间, $I > 0$ 表示变量在空间上呈正的相关性; $I < 0$ 表示变量在空间上呈负的相关性; $I = 0$ 表示变量在空间上依赖性小或随机变异较大。 Z 表示 Moran's I 转换为标准正态分布的值,当 $Z_{score} > 1.96$ 或 $Z_{score} < -1.96 (a = 0.05)$ 时,表明在空间上存在显著的空间自相关性;当 Z_{score} 位于区间 $[-1.96, 1.96]$ 时,观测值呈独立的随机分布^[19]。

研究区农田土壤 pH 值、电导率及含盐量的 Moran's I 指数分别为 0.1317、-0.0060、-0.0382。土壤 pH 值 Moran's I 系数大于 0,表示在空间上呈正的相关性,即空间相似值之间表现出空间集聚性;电导率和含盐量 Moran's I 系数小于 0,在空间上呈负的相关性,且接近于 0,可认为其在空间上依赖小或随机变异大。土壤 pH 值、电导率及含盐量的 Z 值

依次为 4.7450、-0.0226、-1.3335。pH 值 Z 值大于 1.96,在空间内存在显著的空间自相关性,表示某采样点与周围样点类似,即呈空间集聚;电导率和含盐量位于 -1.96~1.96 之间,表示某采样点与周围样点值差别大,即呈现孤立的随机分布。

利用 GS+平台对研究区农田土壤中 pH 值、电导率和含盐量在不同水平距离尺度下的 Moran's I 空间自相关性界线进行分析(图 4)。由图 4 可知,土壤 pH 值、电导率和含盐量的空间距离在 0.04 km 表现出强的正相关性,但随着距离增大,正相关性减弱,负相关性增强。pH 值和含盐量的空间距离在 0.62 km 时负相关性最强 (I 分别为 -0.0494 和 -0.0624);电导率的空间距离在 0.67 km 时负相关性最强 ($I = -0.0627$)。研究区土壤 pH 值、电导率和含盐量的 Moran's I 分别介于 -0.0494~0.2585、-0.0627~0.1406 和 -0.0624~0.0702,其中电导率和含盐量的变异范围较窄,这说明土壤盐分和电导率的空间变异主要受随机性因素影响。土壤 pH 值和电导率随空间距离的增加表现出相似的 Moran's I 系数变化趋势。

2.5 土壤 pH 值、电导率和含盐量的空间分布特征

通过 ArcGIS 利用 Kriging 空间插值法得到 pH 值、土壤电导率和含盐量的空间分布格局(图 5)。由图 5 可知,土壤 pH 值高值区主要分布在博斯腾湖西南部湖滨湿地北部的农田;土壤电导率高值区主要分布于博斯腾湖沿岸及和静县南部的农田土壤;含盐量高值区主要位于博斯腾湖湖滨低洼区和开都河、黄水沟、清水河、曲惠河和乌拉斯台河下游并呈条带状分布,离河道越近,盐分含量越高。

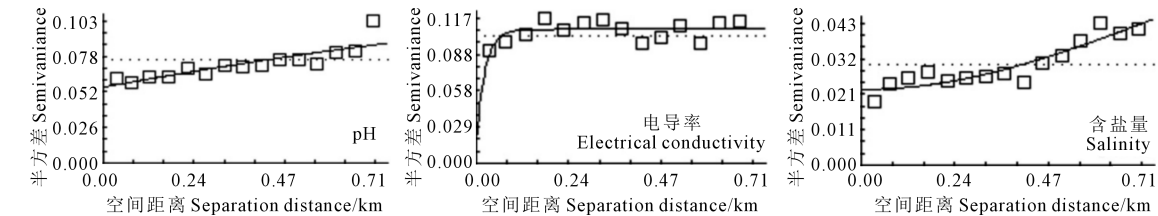


图 2 土壤 pH 值、电导率和含盐量的半方差函数

Fig.2 Semi-variance of soil pH, electrical conductivity and soil salinity

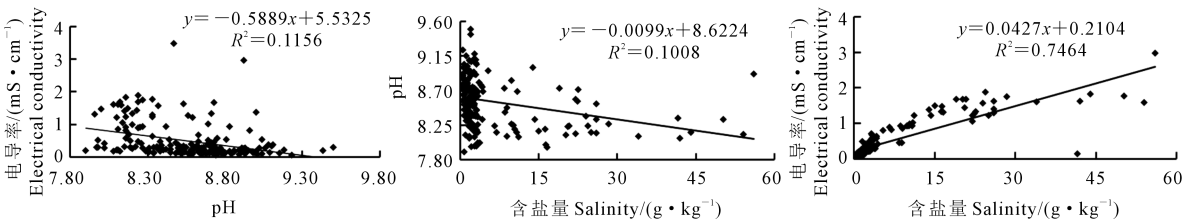


图 3 土壤 pH 值、电导率及含盐量的相互关系

Fig.3 The dependency pertinence of soil pH, electrical conductivity and salinity

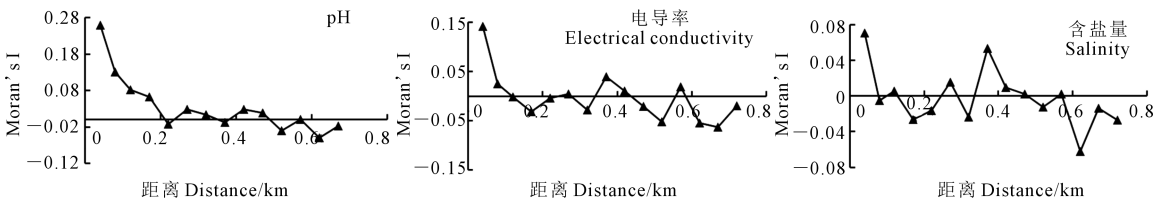


图 4 土壤 pH 值、电导率及含盐量的 Moran's I 系数
Fig.4 Moran's I analysis of soil pH, electrical conductivity and salinity

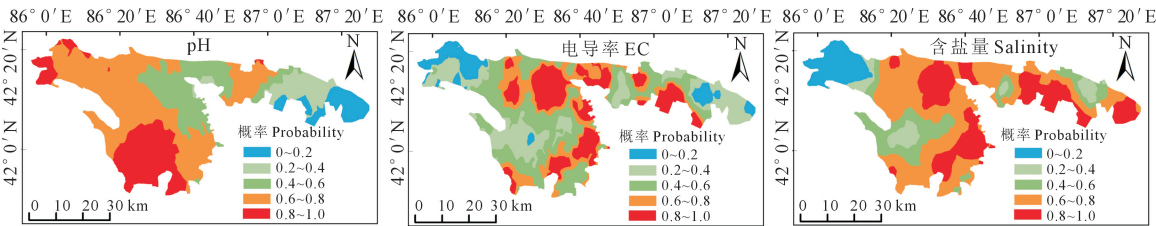


图 5 焉耆盆地土壤 pH 值、电导率和含盐量的空间分布概率

Fig.5 The probability of spatial distribution of soil pH, electrical conductivity and salinity in Yanqi Basin

参照新疆土壤盐碱化分级标准^[20],分析了研究区土壤盐渍化程度(图 6),结果表明焉耆盆地农田土壤以非盐渍化土和轻度盐渍化土为主,主要分布于开都河中上游地区。和静县城南的农田、和硕县城东南的农田及博湖县以东的农田盐渍化程度最高,已达到盐土程度。研究区非盐化土、轻度盐化土、中度盐化土、重度盐化土和盐土面积分别为 139 300.54、59 390.62、16 960.86、22 660.91 hm² 和 39 705.39 hm²。

2.6 土壤盐分的风险性评价

为了进一步了解焉耆盆地农耕表层土壤(0~20 cm)含盐量的空间分布特点,本研究基于 ArcGIS 10.3软件,采用概率 Kriging 空间插值法,对土壤含盐量在不同含量水平下的概率分布做了风险性评价。

农田土壤含盐量的风险性评价如图 7 所示,从整体看,含盐量≤2 g·kg⁻¹的平均概率为 0.3154,其概率区间以 0~0.2 和 0.8~1.0 的分布最广(图 7a),面积分别为 85 816.36、75 518.39 hm²,分别占整个研究区面积的 30.86%和 27.16%;含盐量≤4 g·kg⁻¹的平均概率为 0.5469,空间分布以 0.6~0.8 的概率为主(图 7b),面积为 106 311.32 hm²,占整个研究区面积的 38.24%;含盐量>4 g·kg⁻¹的平均概率为 0.1335,空间分布以 0.4~0.6 和 0.8~1.0 的概率为主(图 7c),面积分别为 96 711.30、78 577.93 hm²,分别占整个研究区面积的 34.78%和 28.26%。这部分田块为含盐量的高值区。因此,进行含盐量的风险性研究,可以从区域大尺度上发现盐分分布的情况,为焉耆盆地农业生态环境管理提供理论支持。

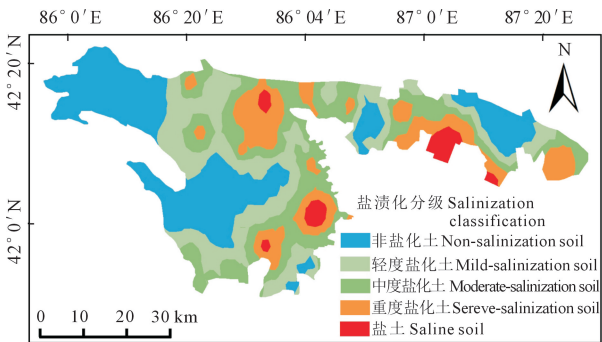


图 6 焉耆盆地土壤盐渍化分级空间分布
Fig.6 Spatial distribution and classification of soil salinization in Yanqi Basin

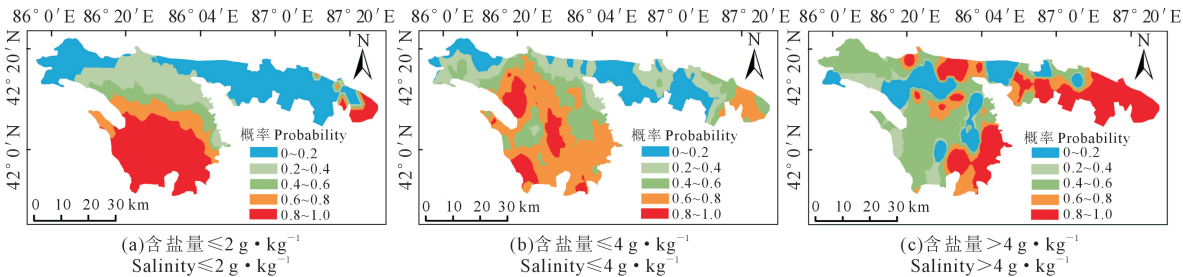


图 7 焉耆盆地不同土壤含盐量水平下的概率分布

Fig.7 Probability distribution of soil salinity at different levels in Yanqi Basin

3 讨 论

以焉耆盆地耕层土壤为研究对象,对该区域内农田土壤 pH 值、电导率和含盐量特征进行分析,pH 值、电导率和含盐量具有一定的空间变异性。土壤 pH 值变异系数小于 10%,呈弱的变异性,这与贡璐等^[21]对塔里木盆地典型绿洲土壤水盐空间特征的研究结论相似,说明 pH 值受人类活动、土地利用和河水灌溉等随机因素的影响小。土壤电导率的变异系数大于 100%,呈强变异;含盐量的变异系数位于 10%~100%之间,呈中等变异。电导率的基地效应大于 0.75,表明其空间变异以灌溉、施肥、种植制度、耕作制度等随机性影响为主;土壤 pH 值和含盐量的基地效应介于 0.25~0.75 之间,表现为中等空间相关性,这说明土壤 pH 值和含盐量是由随机性因素和结构性因素共同影响的结果。康璇等^[22]对渭干河-库车河三角洲土壤 pH 值的空间变异特征中发现土壤 pH 值呈中等的空间相关性,刘广明等^[23]对典型绿洲区土壤盐分空间变异特征研究中发现土壤盐分呈中等的空间相关性,这与本文的研究一致。

通过空间插值得到的焉耆盆地农田土壤盐分因子的分布特征,其中含盐量高值区主要位于博斯腾湖湖滨低洼区和开都河、黄水沟、清水河、曲惠河和乌拉斯台河沿岸,呈条带状分布,与电导率变化趋势呈现一定的相似性。土壤 pH 值高值区主要分布在博斯腾湖西南部湖滨湿地北部的农田,可能与该区地下水埋深较浅且矿化度较大有关,这与麦提吐尔逊·艾则孜等^[24]研究结果一致。土壤 pH 值和含盐量的相关性分析发现,两者呈负相关,这与孟超然等^[25]对干旱区长期膜下滴灌农田耕层土壤盐分变化的研究得出的结论一致,可能与长期大量施用化肥有关。李宗杰等^[26]在研究武威市降水 pH 值和电导率的相互关系时发现,pH 值与电导率呈显著的负相关,这与本文的研究结果一致。以往研究表明^[27-28],土壤电导率与含盐量具有较好的相关性,本研究区域土壤电导率与含盐量的相关性同样显著。

在对研究区土壤中盐分风险性评价时,分布概率图中临界值的确定是一个值得探讨的问题。本研究是借鉴新疆土壤盐碱化程度分级标准,并结合研究区实际的盐分含量分布设定该临界值的。但是,临界值多大才可能危及农业生产?这与土壤性质、生态环境及人类活动有关,对其准确值的确定,还需要进一步研究。

通过对焉耆盆地土壤盐渍化情况分析得知,研

究区土壤盐渍化以非盐渍化土和轻度盐渍化土为主。孔德庸等^[29]在 2009 年研究焉耆盆地盐渍化情况时发现其以盐土和中度盐渍化土为主,说明研究区近些年土壤已由盐土、中度盐渍化土转向非盐渍化土和轻度盐渍化土,其中向非盐渍化土转化的面积最大,土壤盐渍化现象减轻。研究焉耆盆地农田土壤盐分因子空间分布特征,可为灌耕绿洲土地的合理开发利用及土壤盐渍化的防治改良提供理论依据。

4 结 论

1)研究区农田土壤 pH 值介于 7.90~9.50,电导率介于 0.06~3.47 mS·cm⁻¹,含盐量介于 0.60~54.00 g·kg⁻¹之间。研究区土壤 pH 值、电导率和含盐量的变异系数分别为 0.036、1.102、0.617,电导率和含盐量的变异较明显,土壤 pH 值的变异较小。

2)通过半方差函数分析,焉耆盆地农田土壤中 pH 和电导率的理论模型符合指数模型,含盐量符合高斯模型。pH 值的空间变异以结构性变异为主,电导率和含盐量的空间变异以随机性变异为主。土壤 pH 值 Moran's I 系数大于 0,在空间上呈正的相关性,电导率和含盐量 Moran's I 系数小于 0,在空间上呈负的相关性。电导率和含盐量的 Moran's I 系数波动较小,空间自相关均较弱;而 pH 值的 Moran's I 系数波动较大,空间自相关均较强。

3)研究区表层土壤 pH 值高值区主要分布在博斯腾湖西南部湖滨湿地北部的农田,含盐量和电导率高值区分布于博斯腾湖沿岸及和静县南部的农田土壤,并沿河道呈条带状分布,离河道越近,盐分越高;离河道越远,盐分越低。研究区农田土壤以非盐化土和轻度盐化土为主。

参 考 文 献:

- [1] Amezketa E. An integrated methodology for assessing soil salinization, a pre-condition for land desertification[J]. Journal of Arid Environments, 2006, 67(4): 594-606.
- [2] 张飞,李怡博,王东芳,等.精河绿洲盐渍土表层土壤盐分因子的空间变异及分布格局[J].生态与农村环境学报,2018,34(1): 64-73.
- [3] Farifteh J, Farshad A, Georger J. Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modeling, and geophysics[J]. Geoderma, 2006, 130(3-4): 191-206.
- [4] 张芳,熊黑钢,田源,等.区域尺度地形因素对奇台绿洲土壤盐渍化空间分布的影响[J].环境科学研究,2014,24(7): 731-739.
- [5] 阿斯古丽·木萨,阿不都拉·阿不力孜,瓦哈甫·哈力克,等.新疆克里雅绿洲土壤盐分、pH 和盐基离子空间异质性分析[J].土壤, 2017, 49(5): 1007-1014.
- [6] Gries D, Zeng F, Fo Etkz I, et al. Growth and water relations of Tamarix ramosissima and Populus euphratica on Taklamakan desert dunes in relation to depth to a permanent water table[J]. Plant Cell & Environment, 2003, 26(5): 725-736.

[7] Nurmemet I, Ghulam A, Tiyip T, et al. Monitoring soil salinization in Keriya River Basin, northwestern China using passive reflective and active microwave remote sensing data[J]. Remote Sensing, 2015, 7(7): 8803-8829.

[8] 田长彦, 周宏飞. 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): 177-181.

[9] 王水献, 董新光, 刘磊. 新疆焉耆盆地绿洲水盐双梯度下天然植被多样性分异特征[J]. 冰川冻土, 2010, 32(5): 999-1006.

[10] 欧阳正平. 新疆焉耆盆地典型地区土壤水盐运移规律及其数值模拟[D]. 北京: 中国矿业大学, 2008.

[11] 赵明亮, 李艳红, 李发东. 新疆艾比湖湿地土壤水盐空间变异性分析[J]. 湖泊科学, 2016, 28(6): 1328-1337.

[12] 陈英, 冯定邦, 蔡立群, 等. 耕作层土壤养分含量的空间自相关分析—以秦安县郭嘉镇为例[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(1): 66-73.

[13] 邓宝山, 瓦哈甫·哈力克, 党建华, 等. 克里雅绿洲地下水埋深与土壤盐分时空分异及耦合分析[J]. 干旱区地理, 2015, 38(3): 599-607.

[14] 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 阿吉古丽·马木提, 艾尼瓦尔·买买提. 新疆焉耆盆地辣椒地土壤重金属污染及生态风险预警[J]. 生态学报, 2018, 38(3): 1075-1086.

[15] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化性质分析[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 62-93.

[16] 袁波, 傅瓦利, 蓝家程, 等. 菜地土壤铅、镉有效态与生物有效性研究[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 130-134.

[17] 魏义坤, 杨威, 刘静. 关于径向基函数插值方法及其应用[J]. 沈阳大学学报, 2008, 20(1): 7-9.

[18] 杨劲松, 姚荣江. 黄河三角洲地区土壤水盐空间变异特征研究[J]. 地理科学, 2007, 27(3): 348-353.

[19] 霍霄妮, 李红, 孙丹峰, 等. 北京耕作土壤重金属含量的空间自相关分析[J]. 环境科学学报, 2009, 29(6): 1339-1344.

[20] 新疆农业厅, 新疆土壤普查办公室. 新疆土壤[M]. 北京: 科学出版社, 1996: 151-521.

[21] 贡璐, 韩丽, 任曼丽, 等. 塔里木河上游典型绿洲土壤水盐空间分异特征[J]. 水土保持学报, 2012, 26(4): 251-255, 278.

[22] 康璇, 王雪梅, 赵枫. 干旱区绿洲土壤 pH 值与电导率的空间变异研究[J]. 西南农业学报, 2016, 29(2): 2660-2664.

[23] 刘广明, 吕真真, 杨劲松, 等. 典型绿洲区土壤盐分的空间变异特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(16): 100-107.

[24] 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 阿吉古丽·马木提, 艾尼瓦尔·买买提, 等. 博斯腾湖流域绿洲农田土壤重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 地理学报, 2017, 72(9): 1680-1694.

[25] 孟超然, 颜林, 张书捷, 等. 干旱区长期膜下滴灌农田耕层土壤盐分变化[J]. 土壤学报, 2017, 54(6): 1386-1394.

[26] 李宗杰, 宋玲玲, 田青. 武威市降水 pH 值和电导率对沙尘天气的指示意义[J]. 中国沙漠, 2017, 37(3): 546-553.

[27] 刘洋, 常晓燕, 李海妮, 等. 苏北典型滨海滩涂草滩土壤盐度、电导率与含水率的关系[J]. 节水灌溉, 2015, (8): 4-7.

[28] 张瑜斌, 邓爱英, 庄铁诚. 潮间带土壤盐度与电导率的关系[J]. 生态环境, 2003, 12(2): 164-165.

[29] 孔德庸, 盛建东, 武红旗, 等. 新疆焉耆盆地土壤盐分空间变异特征分析研究[J]. 灌溉排水学报, 2009, 28(2): 124-126.

(上接第 171 页)

[14] 张蕾, 延昊, 程路. 2014 年夏季气候对农业生产的影响[J]. 中国农业气象, 2014, 35(5): 600-602.

[15] Zuo S. Intensive cultivation is the soul of the sustainable development of agriculture in China[J]. Agricultural Archaeology, 2003, (3): 50-55.

[16] 姜小凤, 张仁陟, 王玲英, 等. 不同耕作方式对旱地土壤酸解有机总氮的影响[J]. 甘肃农业大学学报, 2006, 41(1): 48-51.

[17] 王育红, 姚宇卿, 吕军杰, 等. 豫西旱坡地高留茬深松对冬小麦生态效应的研究[J]. 中国生态农业学报, 2004, 12(2): 146-148.

[18] Hemmat A, Eskandari I. Conservation tillage practices for winter wheat-fallow farming on a clay loam soil (Calcisols) under temperate continental climate of northwestern Iran[J]. Field Crops Research, 2004, 89(1): 123-133.

[19] Hemmat A, Eskandari I. Tillage system effects upon productivity of a dryland winter wheat-chickpea rotation in the northwest region of Iran[J]. Soil and Tillage Research, 2004, 78(1): 69-81.

[20] 李传友, 何润兵. 深松对土壤蓄水保墒效果影响试验研究[J]. 中国农机化学报, 2013, 34(4): 108-112.

[21] 罗洋, 郑金玉, 郑洪兵, 等. 不同耕层结构对玉米生长发育的影响[J]. 玉米科学, 2014, 22(2): 113-116.

[22] 葛超, 景希强, 徐娥, 等. 不同深松时间与深度条件下土壤物理性状与玉米产量的相关分析[J]. 中国土壤与肥料, 2013(3): 15-18.

[23] 秦红灵, 高旺盛, 马月存, 等. 两年免耕后深松对土壤水分的影响[J]. 中国农业科学, 2008, 41(1): 78-85.

[24] Gupta S C, Larson W E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density[J]. Water Resources Research, 1979, 15(6): 1633-1635.

[25] Arya L M, Paris J F. A physicoempirical model to predict the soil moisture characteristic from particle-size distribution and bulk density data[J]. Soil Science Society of America Journal, 1981, 45(6): 1023-1030.

[26] Dyck M, Malhi S S, Nyborg M, et al. Effects of short-term tillage of a long-term no-till land on crop yield and nutrient uptake in two contrasting soil types[J]. Sustainable Agriculture Research, 2016, 5(3): 32-42.

[27] Chaghazardi H R, Jahansouz M R, Ahmadi A., et al. Effects of tillage management on productivity of wheat and chickpea under cold, rainfed conditions in western Iran[J]. Soil and Tillage Research, 2016, 162: 26-33.

[28] Lampurlanés J, Plaza-Bonilla D, Álvaro-Fuentes J, et al. Long-term analysis of soil water conservation and crop yield under different tillage systems in Mediterranean rainfed conditions[J]. Field Crops Research, 2016, 189: 59-67.

[29] Yang X, Pang H, Li Y, et al. Effects of deep rotary sub-soiling tillage on the physical properties and crop growth of the sticky loamy soil in north China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(16): 3401-3412.

[30] 郭新荣, 谷谔白. 全方位深松部件牵引阻力的分析[J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 1999, 13(4): 31-35.