

DOI: 10.5846/stxb201509071844

张兆永, 李菊英, 祖皮艳木·买买提, 叶庆富. 艾比湖流域小尺度农田土壤养分的空间分布和盐渍化风险评价. 生态学报, 2017, 37(3): - .
Zhang Z Y, Li J Y, Zulpiya · Mamat, Ye Q F. Spatial heterogeneity of soil nutrients and salinization risk assessment of a small-scale farmland in Ebinur Basin in northwest China. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(3): - .

艾比湖流域小尺度农田土壤养分的空间分布和盐渍化风险评价

张兆永^{1,2}, 李菊英^{1,*}, 祖皮艳木·买买提^{3,4,5}, 叶庆富⁶

1 深圳大学化学与环境工程学院, 深圳 518060

2 中国科学院新疆生态与地理研究所, 乌鲁木齐 830046

3 新疆自治区地震局, 乌鲁木齐 830000

4 新疆大学资源与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046

5 新疆大学生态学博士后流动站, 乌鲁木齐 830046

6 浙江大学农业与生物技术学院, 杭州 310020

摘要: 为了解绿洲经济迅速发展背景下新疆典型尾间绿洲-艾比湖流域小尺度农田土壤的养分和盐渍化状况, 对该地区典型农田土壤中有有机质、碱解氮、速效磷和速效钾等养分元素的空间分布、影响因素以及盐渍化风险状况进行了评价。结果表明: (1) 农田土壤中有有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的含量均较高。所有土壤样点中总盐分含量属于高度变异, 其他指标属于低度变异。(2) 半方差函数分析表明土壤中碱解氮、速效磷和速效钾含量的空间变异性主要受施肥和灌溉等随机性因素的影响; 而有有机质和总盐分含量的空间变异性则受植被覆盖和土壤质地等结构性因素以及施肥、灌溉等随机性因素的共同影响。(3) 空间分析表明, 总体看农田土壤中有有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量较高区域主要分布在中部和北部, 受施肥、灌溉方式和植被盖度等因素的影响; 而盐分含量较高区域主要分布在研究区南部和边缘区域, 主要受地形、土壤质地和植被盖度的影响。(4) 相关分析表明农田土壤中有有机质、速效钾、速效磷、碱解氮和总盐分含量呈显著的负相关关系。盐渍化风险评估表明土壤中总盐分含量属于低度到中度的盐渍化风险, 不会对主要作物棉花的生长产生危害, 但应改进灌溉方式和种植制度, 同时采用增施有机肥、进行秸秆还田等措施促进棉花作物的稳产、高产。

关键词: 土壤养分和盐分; 空间分布; 盐渍化风险; 艾比湖流域; 新疆绿洲

Spatial heterogeneity of soil nutrients and salinization risk assessment of a small-scale farmland in Ebinur Basin in northwest China

ZHANG Zhaoyong^{1,2}, LI Juying^{1,*}, ZULPIYA · Mamat^{3,4,5}, YE Qingfu⁶

1 College of Chemistry and Environmental Engineering, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China

2 Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, China

3 Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830000, China

4 College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

5 Ecological Postdoctoral Research Station, Xinjiang University, Urumqi 830046, China

6 College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310020, China

Abstract: Our objective was to investigate the soil nutrient and salinization status of small-scale surface farmland within the Ebinur Basin, a typical rump lake basin in Xinjiang, which experienced recent economic success. We analyzed the spatial

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41501541, 21407108); 中国博士后基金(2105M570867)

收稿日期: 2015-09-07; 网络出版日期: 2016-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jyli@szu.edu.cn

distribution and factors influencing soil nutrient composition, as well as conducted a soil salinization environmental risk assessment in the basin. The results indicated that: (1) there were relatively high amounts of OM, AN, RP, and RK in the farmland surface soil. Among these five elements, the total salt content was highly variable, while the contents in the other four elements demonstrated low variation. (2) The semi-variance function analysis showed that the spatial distributions of AN, RP, and RK were mainly influenced by random factors, such as fertilization and irrigation, while the spatial distributions of OM and TS in the Ebinur Basin farmland were influenced by both random factors, such as fertilization and irrigation, and structural elements, such as vegetation coverage and soil texture. (3) The Spatial interpolation analysis revealed that, in general, the areas with high OM, AN, RP, and RK soil content were mainly distributed in the central and northern parts of the research area, and they were mainly influenced by the fertilization method, irrigation method, and the vegetation coverage; while the areas with high TS were mainly distributed in the southern and surrounding parts of the research area, and they were mainly influenced by the topography, soil texture, and the vegetation coverage. (4) The correlation analysis showed that soil OM, RK, RP, and AN have a negative correlation with the total salt content. The salinization risk assessment revealed that the whole area was within a low to moderate range of salinization risk, which will not influence the growth of the main crop, such as cotton, in the research area. However, in the future we should improve the irrigation and cropping system methods by increasing the application of organic manure and returning crop stalks to the field, thereby achieving a stable and high crop yield.

Key Words: Soil nutrients and salt; spatial distribution; soil salinization risks; Ebinur Basin; Xinjiang oases

土壤有机质、氮、磷和钾的含量是指示土壤中肥力的重要指标。在农业生产中土壤有机质、氮、磷和钾的含量是农产品产量和品质的重要限制性因子^[1-4]。土壤中一定的盐分含量是作物生长的必要条件,但超过一定量就会对其生长产生抑制作用,甚至造成减产和绝收,当农田土壤中盐分含量超过 1.0 g/kg 时,作物的生长就会受到明显的抑制^[5]。

小尺度农田土壤中有有机质、氮、磷和钾等养分元素和盐分含量的空间异质性是影响区域农业生产的重要因素^[6-8]。目前有关小尺度农田土壤中养分和盐分含量空间分布和影响因素的研究在国内外广泛开展^[9-11]。Sanderson 等^[12]对美国马里兰州、宾夕法尼亚州和纽约畜牧业集中地区牧场土壤养分空间分布的研究表明畜牧业发展可以在一定程度上促进土壤中养分含量的增加,但畜牧业发展过度集中区域土壤中养分含量过高反而造成土壤的污染;Nourzadeh 等^[13]对伊朗哈马丹省小尺度农田土壤养分和盐分空间部分的研究表明,通过对小尺度土壤中养分和盐分的空间异质性进行研究可以较好的为区域农田土壤管理和作物生产提供指导。

在西北干旱区绿洲马志敏等^[14]对黑河流域绿洲农田土壤养分和盐分空间变异的研究表明土地利用的方式的改变对土壤中养分含量变化有重要的影响,长期耕作可以使得耕地土壤中有有机质含量降低,土壤碱性增强,导致地力退化并有盐碱化风险;张丹等^[15]对 1999—2005 年间新疆耕地土壤有机质、全氮、碱解氮、速效磷和速效钾时空变化的研究表明,近 20 多年来新疆耕地中有机质、速效磷和碱解氮含量总体呈增加的趋势,肥力不断提高,但区域差异明显。

艾比湖流域地处西北内陆(图 1),总面积 5.06×10^4 km²,由于高温少雨、蒸发量大以及风沙大等独特的气候特征,流域土壤保肥力能力弱,再加上农业生产中过量施用化肥、农药以及大水漫灌等不合理的灌溉方式,对农业生产产生极大的影响^[16]。与此同时,自 1950 年代中期以来,艾比湖流域人口的迅速增加、耕地开垦面积也不断扩大,而地表水量则不断减少,导致绿洲农田

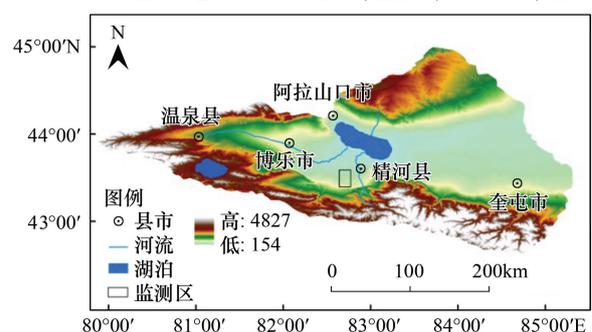


图 1 艾比湖流域位置

Fig.1 Location of the Ebinur Basin

土壤盐渍化状况加剧^[17]。但目前研究多基于较大尺度,采样范围较大、采样点分散、往往对整个流域或者部分区域土壤养分和盐渍化状况进行总体研究而缺乏对小尺度农田土壤养分和盐渍化状况的研究,在此背景下,对小尺度多年耕作农田土壤进行采样研究土壤中养分和盐渍化状况并精确阐述是否会对绿洲农业生产产生影响,具有重要的现实意义。基于此,本研究以艾比湖流域南部小尺度典型农田为研究区(图 2),以土壤中有机质、碱解氮、速效磷、速效钾和总盐分含量为研究对象,采用 GIS 方法,结合采样区土壤质地、植被盖度以及施肥、灌溉等因素阐明研究区农田土壤中养分和盐分含量的空间分布特征、土壤养分和盐分元素的相关关系和盐渍化风险状况,在此基础上提出降低土壤盐渍化风险的措施。研究成果可以为艾比湖流域农田土壤养分保持、盐渍化防治和农业稳产、可持续发展提供科学依据和参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

艾比湖流域地处准噶尔盆地西部(43°38′—45°52′N,79°53′—85°2′E),南、西、北三面环山,行政区划上隶属于博尔塔拉蒙古自治州(简称博州),主要包括温泉县、博乐市、阿拉山口市、精河县和新疆生产建设兵团农五师及其所属 11 个团场(图 2),总人口约 48 万。艾比湖流域总面积 $5.06 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中耕地面积 $3.3 \times 10^2 \text{ km}^2$,约占整个流域 6.5%。艾比湖流域属于典型的温带大陆性气候,干燥少雨,年均降水量仅 100—200 mm,潜在蒸发量却高达 1500—2000 mm^[18]。艾比湖流域农业种植作物主要以棉花和玉米为主,形成了以博乐市为界,东部以棉花、枸杞为主,西部以玉米、大豆等粮食和油料作物为主的种植格局。其中 2014 年整个博尔塔拉蒙古自治州棉花播种面积 1015.4 km²,约占整个新疆棉花总播种面积的 5.1%。艾比湖流域水资源主要来源于山区降水和冰雪融水,多年地表径流量 $37.5 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$,主要河流有奎屯河、精河和博尔塔拉河,多年径流量约 $6 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ 。艾比湖流域植物区系受中亚和蒙古植物区系的影响,有各类植物 385 种,隶属 53 科 191 属。

1.2 样品采集

在室内分析艾比湖流域遥感影像资料的基础上,将研究区设置在艾比湖西南部,精河县南侧的多年耕作农田(图 2, 3),该区域地下水埋深 1.5—3.2 m,矿化度大于 2 g/L。农田耕作年限 15 a 以上,种植作物为棉花,是艾比湖流域典型的农田。农田灌溉方式以滴灌为主,其中在北部靠近山地一少部分地区直接引用机井和河水灌溉。土壤样品的采集时间为 2014 年 7 月份,采样月份天气干燥,没有出现大于 5 mm 的降水天气,采用网格法结合 3S 技术进行采样点布设,共采集 74 个样点土壤样品,间距 600 m,覆盖面积 66.5 km²。实际采样过程中对进行个别样点位置进行调整,最终采样点分布图见图 3,所有样品产自 0—20 cm 土壤表层,每个样点采集 500 g,装入聚乙烯样品袋,多余样品采用四分法舍去。采样同时记录样点编号、取样经纬度、取样日期、土壤质地和颜色等信息。

1.3 测试方法

土壤样品带回实验室,室温风干后、剔除植物残体和石块,然后磨碎过 100 目筛,保存于塑料瓶中,按鲁如坤的《土壤农业化学分析方法》配置待测溶液^[19]:有机质含量(OM)采用重铬酸钾外加热法测定;碱解氮(AN)含量采用碱解扩散法测定;速效磷含量(RP)采用碳酸氢钠浸提、分光光度法测定;速效钾(RK)含量采用乙酸铵浸提、火焰光度法测定;总盐分(TS)含量采用残渣—重

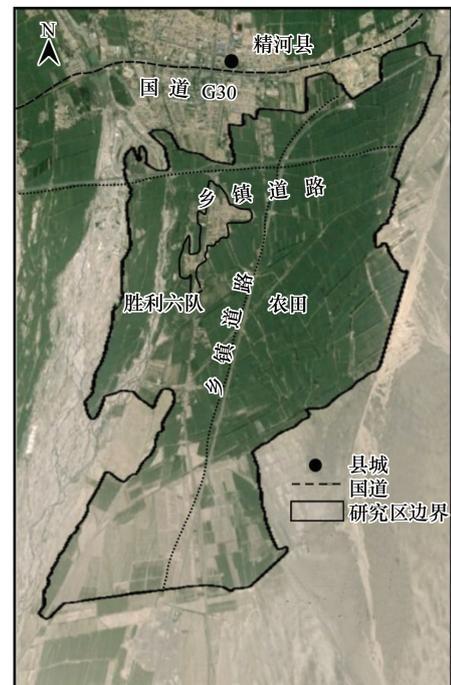


图 2 研究区位置

Fig.2 Location of the research area in Ebinur Basin

量法测定^[19]。

1.4 数据分析处理

采用描述性统计分析方法研究农田土壤中养分和总盐分的含量范围、均值、标准差、变异系数、峰度和偏度。采用地统计分析方法中的普通克里格方法分析土壤中养分和总盐分的空间分布格局;采用指示克里格方法分析土壤盐渍化风险概率。指示克里格方法(Indicator Kriging, IK)是一种非参数估计方法,预测精度超过普通克里格方法,目前该方法广泛应用于地下水及土壤盐渍化状况研究^[20-21]。该方法将区域化变量的研究转化为对其指示函数的研究,可以用来估计超出规定阈值的概率。

在本研究中,土壤中养分和盐分元素的描述性统计分析、K-S 检验和相关分析过程均在 SPSS19.0 软件中完成。土壤合理取样数量的确定中 Cochran 公式计算在 Mat Lab 7.0 软件中进行。土壤中养分元素的普通克里格插值和总盐分盐渍化环境风险变异函数模型的计算和选取采用 GS+9.0 软件进行;计算完成后将求取的模型参数输入到 ArcGIS 10.0 软件中,采用 Geostatistical Analyst 模块进行析,最终得到土壤养分元素和盐渍化环境风险概率的空间分布图。

2 结果与分析

2.1 农田土壤养分和盐分的统计特征

统计学分析结果表明(表 1),研究区农田土壤中有有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的含量范围(平均值)分别为 11.21—21.4(16.89) g/kg、0.041—0.096(0.078) g/kg、0.006—0.034(0.022) g/kg 和 0.06—0.28(0.19) g/kg,属于新疆农田土壤养分含量分级标准中度标准(表 1)^[22],表明研究区土壤中养分元素含量可以满足该地区作物生长需要;从总盐分含量范围和平均值来看,所有样点中二者分别为 0.11—1.98 g/kg 和 1.05 g/kg,平均值超过新疆土壤盐渍化轻度盐渍化范围标准(1.0—2.0 g/kg),达到中度盐渍化标准下限,最大值达到 1.98 g/kg,表明会对农田作物生长产生一定危害;从土壤中养分和总盐分含量的变异系数范围来看,有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的变异系数值分别为 34.15%、27.62%、1.54% 和 27.21%,均属于中等变异(15% < CV < 35%),而总盐分的变异系数为 189.34%,属于高度变异(CV > 36%),表明在不同采样位置土壤中总盐分含量差别较大。从偏度上看,所有样点中所测 5 种元素的平均值大小顺序依次为:总盐 > 有机质 > 速效钾 > 速效磷 > 碱解氮。由于变异函数的计算一般要求数据服从正态分布,否则可能存在比例效应^[23],因此本研究中利用单样本 K-S 检验($P < 0.05$, 2-tailed)对测试数据进行进一步分析。分析表明农田土壤中有有机质、速效钾、速效磷、碱解氮和总盐分的 P 值分别为 0.071、0.167、0.255、0.314 和 0.362,均大于 0.05,可以认定所有土壤样点中 5 种指标均服从正态分布。

2.2 土壤合理取样数量分析

在土壤元素的空间分布研究中为了用有限观测值估计各参数均值(或期望值),并保证足够的可靠性和精度,必须确定合理取样数或观测数目。本研究中以整个取样区域作为一个均匀的整体取样,根据 Cochran 的公式求出在一定置信水平和相对误差下的整个区域所需要的取样数量。通常随着土壤养分和盐分变异的

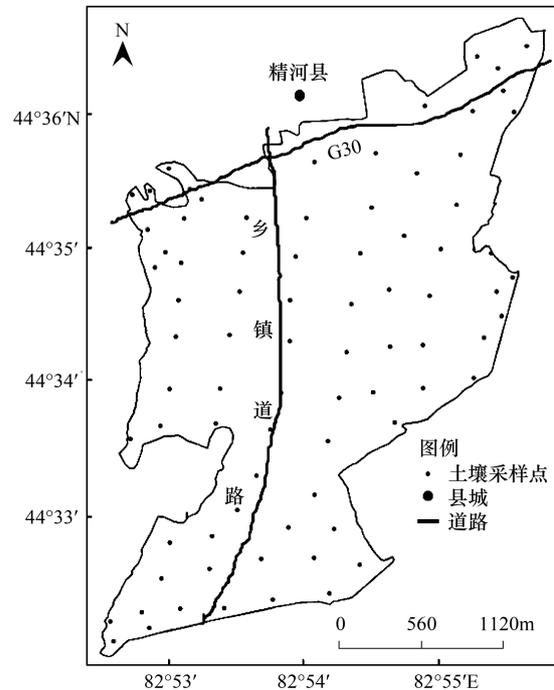


图 3 土壤采样点分布

Fig.3 Location of soil sampling sites in Ebinur Basin

增大,相应要达到一定精确度的取样数量也会增大^[24]。因此,在相同置信水平,相同误差条件下土壤合理取样数目与养分和盐分变异性的的大小呈相同趋势。但随着对置信水平与相对误差要求的降低,合理取样数目也会相应降低。本研究中对 95%置信水平上 5%、10%和 20% 3 个相对误差范围内土壤中养分和盐分元素的合理取样点数目进行了计算。计算结果表明(表 2),在 95% 置信水平下,在采样误差 10%范围内,土壤中四种养分元素和总盐分含量的最优采样数目为 69 个,表明本次采样数目在 3 个计算的误差范围内对土壤中 5 种指标的分析可以达到较好的效果,本研究采样数目合理。

表 1 农田土壤养分和总盐分级标准及描述性统计分析结果

Table 1 Classification criteria and descriptive statistics of nutrient elements and total salt content of farmland

元素 Indicators	描述性统计分析结果 Descriptive statistics analysis results						评价标准 Evaluation criterion			
	范围 Range/ (g/kg)	均值 Mean/ (g/kg)	标准差 Standard deviation/ (g/kg)	变异系数 Coefficient of variation/ %	峰度 Kurtosis	偏度 Skewness	极低 Very low	较低 Low	中度 Medium	较高 Relatively high
有机质 Organic matter	11.21—21.4	16.89	0.25	34.15	38.4	28.2	<12.0	12.0—15.0	15.0—18.0	>18.0
碱解氮 Available nitrogen	0.041—0.096	0.078	0.12	27.62	20.7	12.8	<0.04	0.04—0.06	0.06—0.09	>0.09
速效磷 Rapid available phosphorus	0.006—0.034	0.022	0.12	31.54	24.1	16.5	<0.007	0.007—0.013	0.013—0.03	>0.03
速效钾 Rapidly available potassium	0.06—0.28	0.19	0.09	27.21	28.4	22.5	<0.08	0.08—0.16	0.16—0.21	>0.21
总盐分 Total salt	0.11—1.98	1.05	0.11	189.34	49.3	32.6	<0.2	0.2—1.0	1.0—2.0	>2.0

表 2 土壤合理采样数目

Table 2 The rational sampling analysis of the soil elements

元素 Indicators	95%置信水平 Confidence level of 95%		
	误差 5% Error of 5%	误差 10% Error of 10%	误差 20% Error of 20%
有机质 Organic matter	89	60	30
碱解氮 Alkali-hydrolyzale nitrogen	85	58	28
速效钾 Rapidly available potassium	98	62	32
速效磷 Rapid available phosphorus	101	64	34
总盐分 Total salt	124	69	37

2.3 农田土壤养分和盐分的地统计分析

2.3.1 半方差函数理论模型

半方差函数用来描述区域化变量结构性和随机性这一空间特征,可以有效地揭示属性变量在空间上的分布、变异和相关特征,解释空间格局对生态过程与功能的影响。半方差函数理论模型主要参数中块金常数(C_0)是由试验测量误差和小于最小采样尺度的非连续性变异引起。决定系数(R^2)表示理论模型的拟合精度。基台值(C_0+C)表示系统总的变异性。块金常数和基台值的比值(C_0/C_0+C)代表空间的自相关性,表示系统的空间异质性。当 $C_0/(C_0+C) < 0.25$ 时,表示变量的空间变异以结构性变异为主,具有强烈空间相关性;当 $C_0/(C_0+C) \geq 0.75$ 时,表示其空间变异以随机性因素为主,其较弱空间相关性;当 $0.25 \leq C_0/(C_0+C) < 0.75$ 时,表示受结构性因素和随机性因素的共同影响,为中等程度空间相关^[25]。

半方差函数理论模型的拟合结果表明(图 4、表 3),研究区农田土壤中有有机质、碱解氮、速效磷、速效钾的变异函数理论模型均符合球状模型,总盐分含量符合高斯模型,各分析变量的有效变程均介于 1283—6824 m 之间,所有元素的决定系数(R^2)均大于 0.829,而 RSS 较小,说明本研究中各变量理论模型的选取符合要求,

选取的拟合模型可以较好反映土壤中养分和总盐含量的空间结构特性。有机质和总盐分的块金值/基台值的比值均大于 0.25 而小于 0.75,表明农田土壤中有有机质和总盐分含量的空间分布受区域植被盖度和土壤质地等结构性因素以及农业生产中施肥和灌溉等随机性因素引起的空间变异为主^[26];而农田土壤中碱解氮、速效磷和速效钾含量的块金值/基台值(C_0/C_0+C)均大于 0.75,表明这些元素的空间变异性均以农业生产中施肥和灌溉方式等随机性结构变异为主^[25-26],这也与艾尤尔等^[27]对艾比湖湿地土壤中碱解氮含量的研究结果一致。

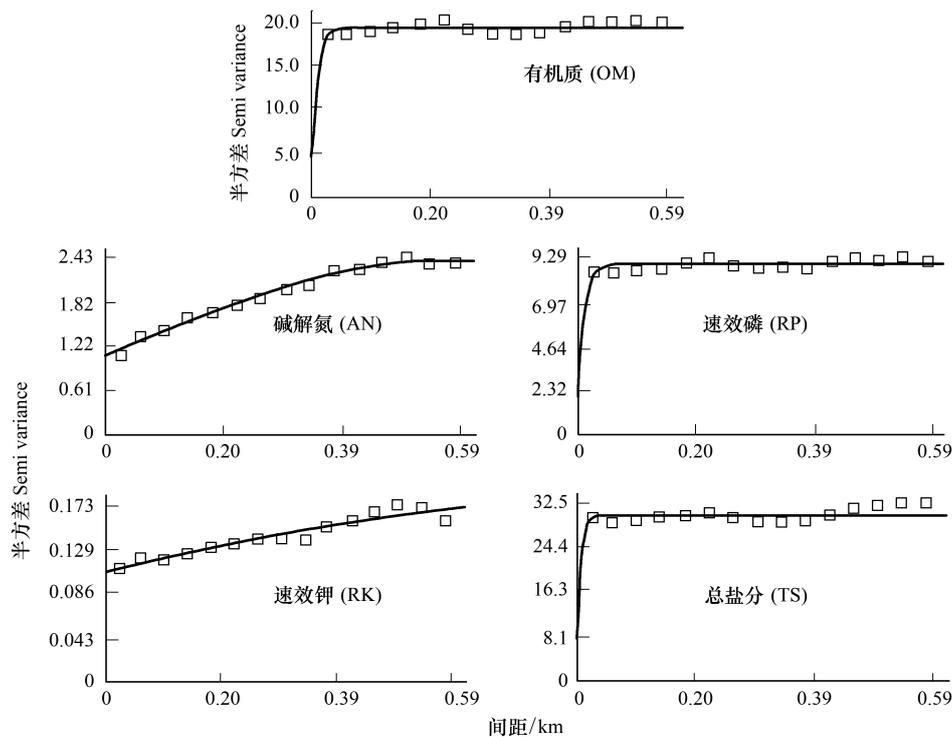


图 4 土壤养分和总盐含量的半方差函数图

Fig.4 Semi-variance grams of soil nutrients and the total salt content

表 3 土壤养分和盐分的半方差函数模型

Table 3 Semivariogram models of nutrients and the total salt contents of the farmland

变量 Variables	理论模型 Theoretical model	块金值 Nugget (C_0)	基台值 Partial Sill (C_0+C)	基底效应 Body effect ($C_0)/(C_0+C$)	有效变程 Effective change range(R/m)	残差平方 Residual square (RSS)	决定系数 Determination coefficient (R^2)
有机质 Organic matter	球状	0.328	0.537	0.610801	2723	0.0001	0.986
碱解氮 Alkali-hydrolyzable nitrogen	球状	0.076	0.692	0.109827	6324	0.0001	0.903
速效磷 Rapid available phosphorus	球状	0.587	0.771	0.761349	5182	0.0001	0.872
速效钾 Rapidly available potassium	球状	0.739	0.865	0.854336	2832	0.0003	0.857
总盐分 Total salt	高斯	0.142	0.939	0.151225	1283	0.0002	0.829

2.3.2 土壤养分和总盐分的空间分布格局及影响因素

地统计学以变异函数为主要工具,研究空间分布上既有随机性又有结构性,或空间相关和依赖的自然现象的科学。克里格法(Kriging)是从变量相关性和变异性出发,在有限区域内对区域化变量的取值进行无偏、最优估计,从插值角度对空间分布的数据求线性最优、无偏内插估计的方法。本研究中采用普通克里格差

值方法,分析土壤中有机质、碱解氮、速效磷、速效钾和总盐分含量的空间分布格局。采用交叉验证法对插值图的精读进行验证^[28],分析结果表明,本研究中农田土壤养分和盐分的插值图精度均较高(表4),插值图的精度符合要求。

分析表明(图5),总体看,研究区农田土壤中有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量较高区域均主要分布在研究区中部和北部靠近城镇附近的农田土壤中(图2),呈现出点状和面状分布(图5);而总盐分含量的较高的地区主要分布在研究区南部以及周边靠近荒漠、山地区域的农田土壤中,主要呈显出面状分布(图2、图5)。

表4 插值精度交互验证参数

Table 4 Interpolation results of soil nutrition and the salt contents by cross-validation analysis

均值误差 Mean error	均方根误差 Root mean square error	平均标准差 Standard deviation of the mean	标准化均方根 Standardized root-mean-square
-0.0006	1.021	1.108	0.9271

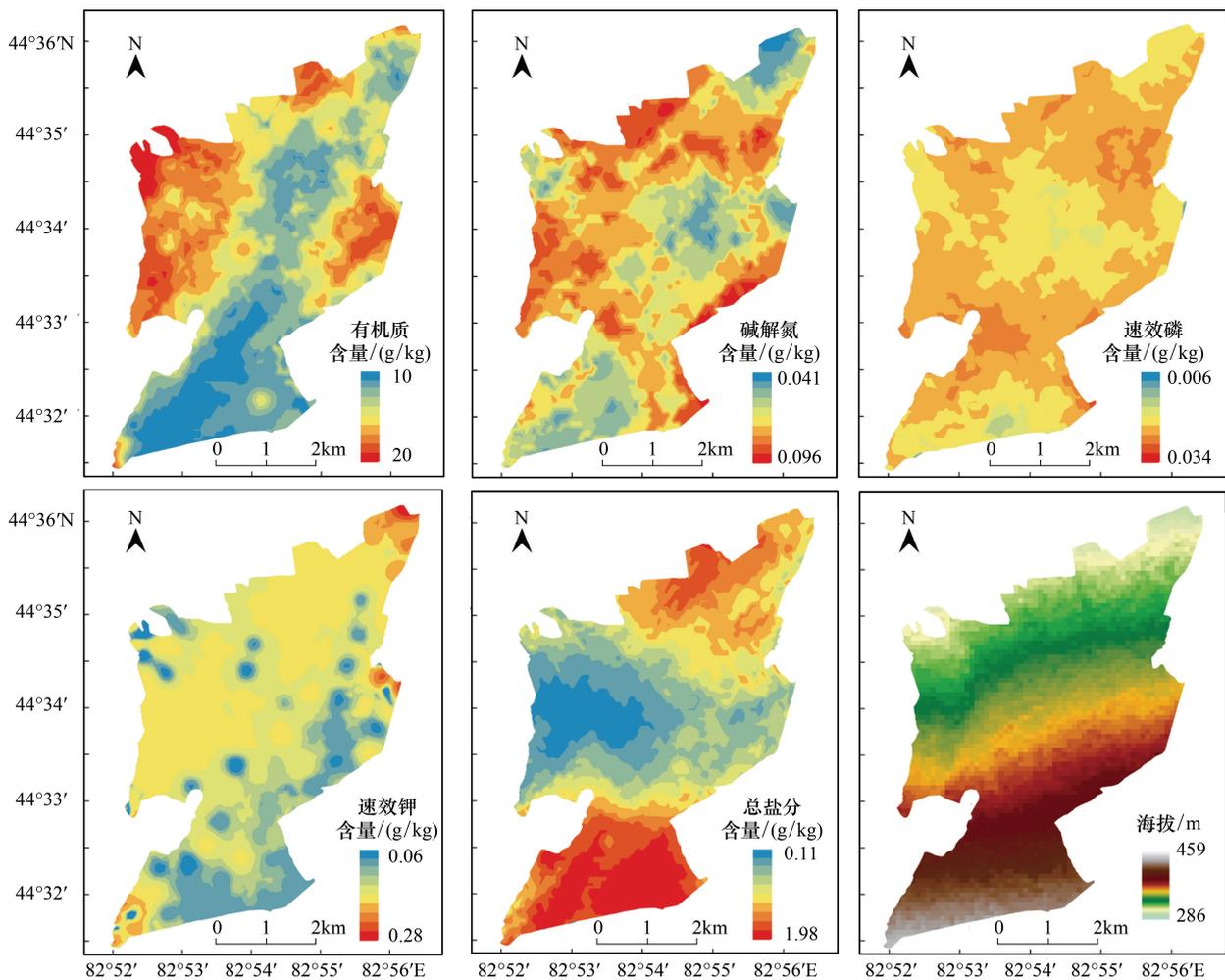


图5 土壤养分和总盐含量的空间分布特征

Fig.5 Spatial distribution characters of nutrients and the total content of the farmland

2.4 土壤养分和盐渍化之间相关性

采用相关分析方法对农田土壤中所有样点中有机质、速效钾、速效磷、碱解氮和总盐分的平均含量的相关性进行分析,以揭示农田土壤中养分元素和盐渍化状况的赋存关系,分析表明(表5),研究区农田土壤中有机

质含量、速效钾和总盐分含量在 $P < 0.01$ 水平上相关系数分别为 -0.877 和 -0.921 , 为极显著负相关, 速效磷和碱解氮含量与总盐分含量在 $P < 0.05$ 水平上相关系数分别为 -0.516 和 -0.579 , 为显著负相关, 分析表明农田土壤中养分元素含量增加可以显著降低盐渍化风险, 从而改善土壤属性, 这也与王勇辉等^[29] 在对艾比湖流域荒漠土壤的研究结果类似。

表 5 农田土壤养分和总盐分含量的相关关系矩阵

Table 5 Correlation matrix between soil nutrition and total salt contents of farmland

元素 Indicators	有机质 Organic matter	速效钾 Rapidly available potassium	速效磷 Rapid available phosphorus	碱解氮 Alkali-hydrolyzale nitrogen	总盐分 Total salt
有机质 Organic matter	1				
速效钾 Rapidly available potassium	0.756 **	1			
速效磷 Rapid available phosphorus	0.781 **	0.574 *	1		
碱解氮 Alkali-hydrolyzale nitrogen	0.574 *	0.671 **	0.653 **	1	
总盐分 Total salt	-0.877 **	-0.921 **	-0.516 *	-0.579 *	1

2.5 农田土壤盐渍化风险评价

以新疆土壤盐渍化标准中的低范围上限和中度盐渍化范围下限(表 1, 1.0 g/kg) 为阈值, 采用指示克里格方法分析研究区农田土壤中总盐分含量的环境风险概率分布格局。分析表明(图 6), 从盐渍化风险整体状况来看, 在研究区绝大多数地区农田土壤为较低和中度的盐渍化风险, 考虑到研究区主要作物为棉花, 而棉花为中、高度耐盐作物, 比一般作物具有较强的耐盐碱性, 是西北干旱区绿洲中重要的耐盐经济作物, 相关研究表明棉花在 2.0 g/kg 左右盐分含量的土壤中可以正常生长。因此从研究区土壤盐渍化风险实际状况看, 不会对该地区主要作物棉花的生长产生危害。

3 讨论

土壤养分与盐分含量是影响干旱区农业生产的重要因素, 决定着农作物产量高低, 对其进行调查分析可以为今后土壤养分资源的综合评价和科学施肥管理提供基础资料。干旱区土层浅薄, 土壤有机质等养分元素

含量少, 新疆干旱区地处西北内陆, 降雨量极少、蒸发量极大, 如何保持土壤肥力, 降低盐渍化风险是绿洲农业生产中面临的重大问题。本研究表明艾比湖流域小尺度典型农田土壤中有有机质、速效钾等养分元素含量较高, 可以满足主要作物棉花正常生长的需要, 这也与张磊等^[30] 对同处天山北坡地区奎屯垦区棉田土壤养分含量的研究结果一致。

结合研究区土壤质地状况、地形因素分析, 北部靠近县城及村镇居民点附近地区, 海拔较低、地形平坦(图 5 f)、土层较厚土壤碎石含量低、粒度小, 农田附近防护林地及荒漠草本等植物为主, 植被覆盖高(图 2), 土壤中腐殖质含量高, 是土壤中有机质、碱解氮、速效磷和速效钾等养分元素含量显著高于南部地区的原因, 同时该区域灌溉方式基本为膜下滴灌, 可以有效降低蒸发等不利因素的影响, 也是土壤中盐分含量较少的重要原因; 而研究区南部和周边地区主要为荒漠、山地等人类活动较少区域、海拔较高(图 5 f)、土层较浅、农田

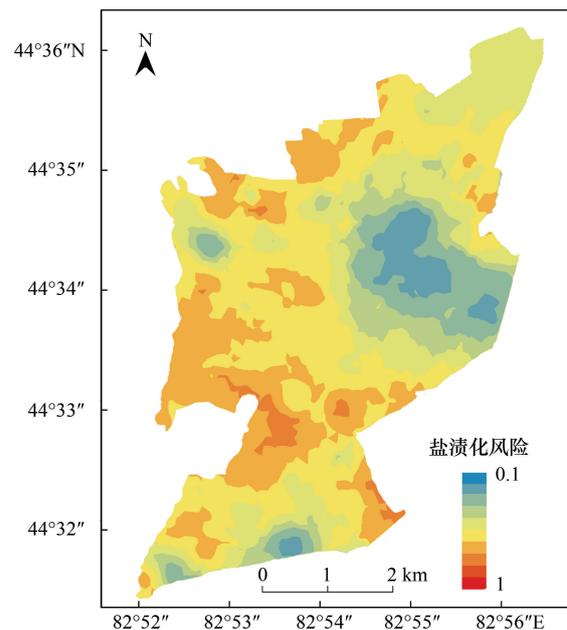


图 6 研究区土壤盐渍化风险概率

Fig.6 Probability of soil salinization risk in the study area

面积分散、土壤碎石含量高、土壤粒度大,附近防护林和草本等植被盖度较低(图 2),导致该地区土壤中腐殖质含量低,同时农业生产中同时存在的大水漫灌的灌溉方式和较高的蒸发作用也是导致该地区土壤中有机质、速效氮和速效磷等养分元素含量较低而盐分含量较高的主要原因,这也与韩丽等^[31]对新疆于田绿洲土壤养分与盐分相关关系的研究类似。

从研究区农田土壤盐渍化风险分布与总盐分含量的分布格局来看,二者呈现出一致的分布格局,均在研究区中部和周边区域具有较高值。结合研究区实际状况和相关文献分析,一方面研究区中、北部地区海拔较低、地形较平坦、土层较厚、灌溉方式先进、土壤中碎石含量少;而南部和周边地区靠近荒漠和山地、海拔高、土层浅、土壤中腐殖质含量少、碎石含量高,灌溉方式以大水漫灌为主,是造成该地区土壤中盐分含量较高和盐渍化风险较重的重要原因,这也与王少丽等^[32]对新疆奎屯垦区灌溉和施肥方式差异引起的土壤盐分动态的研究结果一致。

总体来看研究区土壤盐渍化风险不大,不会对主要作物棉花的生长产生危害,但应对南部靠近荒漠、山地附近区域农田农业生产中灌溉及施肥方式进行改进。结合研究区实际状况来说,实行合理的水肥措施:进行渠道防渗、发展喷灌、微灌和滴管等节水灌溉技术,强化春灌,提高压盐效果;根据研究实际在农田中合理实行苜蓿和草木犀轮种,在农田积肥处理上,增施有机肥,实行棉花秸秆还田,充分利用棉花秸秆富含各种养分和生理活性物质的优势,增加农田土壤中有机质和养分元素含量,保持良好的土壤结构,是促进该地区棉花生产稳定、高产和农民增收的重要举措。

4 结论

(1) 统计学分析结果表明,研究区农田土壤中有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量范围较高,可以满足作物生长需要。从变异系数范围来看,土壤中有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的变异系数均属于中等变异,而总盐分属于高度变异。所有样点中 5 种元素偏度的大小顺序为:总盐>有机质>速效钾>速效磷>碱解氮。

(2) 半方差函数理论模型的拟合结果表明变异函数拟合模型的选取有效,可以较好反映土壤中养分和总盐含量的空间结构特性;分析表明土壤中碱解氮、速效磷和速效钾含量的空间变异性主要受农业生产中施肥、灌溉等随机性结构性因素影响;而有机质和总盐分含量的空间分布受植被覆盖等结构性因素以及农业生产中施肥、灌溉等随机性因素的共同影响。

(3) 空间分析表明,总体看土壤中有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量较高区域主要分布在研究区中部和北部城镇附近土壤中,受地形、植被盖度和施肥等因素的控制;而总盐分较高含量较高区域主要分布在研究区在南部和边缘区域,主要受地形、植被盖度和土壤质地以及灌溉方式等因素的影响。

(4) 相关分析表明,农田土壤中有机质、速效钾、速效磷、碱解氮与总盐分含量具有显著的负相关关系。盐渍化风险评估表明土壤中盐分含量属于低度到中度的风险,主要风险区分布在研究区南部和周边地区,与土壤中总盐分含量分布具有一致性。总体看,研究区土壤中盐分含量和盐渍化风险状况不会对主要作物棉花的生长产生危害,但应改进西部地区灌溉方式、种植结构、增施有机肥,以增加土壤肥力、改善土壤结构促进作物的稳产、高产。

参考文献 (References):

- [1] 谢文军,张衍鹏,张森,李蕊,武兰芳,欧阳竹. 滨海盐渍化土壤理化性质与小麦生产间的关系. 土壤学报, 2015, 52(2): 461-466.
- [2] Wang W, Sardans J, Zeng C, Zhong C, Li Y, Peñuelas J. Responses of soil nutrient concentrations and stoichiometry to different human land uses in a subtropical tidal wetland. *Geoderma*, 2014, 232-234: 459-470.
- [3] 杨阳,刘秉儒. 荒漠草原不同植物根际与非根际土壤养分及微生物量分布特征. 生态学报, 2015, 35(22): 7562-7570.
- [4] Li X Z, Sun Y G, Mander Ü, He Y L. Effects of land use intensity on soil nutrient distribution after reclamation in an estuary landscape. *Landscape Ecology*, 2013, 28(4): 699-707.
- [5] Ouyang W, Xu Y M, Hao F H, Wang X L, Siyang C, Lin C Y. Effect of long-term agricultural cultivation and land use conversion on soil nutrient

- contents in the Sanjiang Plain. *CATENA*, 2013, 104: 243-250.
- [6] 王晶, 吕昭智, 钱翌, 宋菁, 钟晓英. 新疆准噶尔盆地典型荒漠区不同景观植被对土壤养分的影响. *中国沙漠*, 2010, 30(6): 1367-1373.
- [7] Ouyang W, Wei X F, Hao F H. Long-term soil nutrient dynamics comparison under smallholding land and farmland policy in northeast of China. *Science of the Total Environment*, 2013, 450-451: 129-139.
- [8] 陈碧华, 孙丽, 李新峥, 王广印, 李亚灵. 新乡市大棚菜田土壤养分及盐分的演变. *农业工程学报*, 2013, 29(15): 83-90.
- [9] 李鉴霖, 江长胜, 郝庆菊. 缙云山不同土地利用方式土壤有机碳组分特征. *生态学报*, 2015, 35(11): 3733-3742.
- [10] 杨东伟, 章明奎. 水田改果园后土壤性质的变化及其特征. *生态学报*, 2015, 35(11): 3825-3835.
- [11] Zhang Z Y, Abuduwaili J, Yimit H. The occurrence, sources and spatial characteristics of soil salt and assessment of soil salinization risk in Yanqi Basin, Northwest China. *PLoS One*, 2014, 9(9): e106079.
- [12] Sanderson M A, Feldmann C, Schmidt J, Herrmann A, Taube F. Spatial distribution of livestock concentration areas and soil nutrients in pastures. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2010, 65(3): 180-189.
- [13] Nourzadeh M, Mahdian M H, Malakouti M J, Khavazi K. Investigation and prediction spatial variability in chemical properties of agricultural soil using geostatistics. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 2012, 58(5): 461-475.
- [14] 马志敏, 吕一河, 孙飞翔, 王江磊. 黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应. *生态学报*, 2013, 33(19): 6328-6334.
- [15] 张丹, 罗格平, 许文强, 朱磊. 新疆耕地土壤养分时空变化. *干旱区地理*, 2008, 31(2): 254-263.
- [16] 王宏, 塔西甫拉提·特依拜, 谢霞, 樊亚辉, 张飞, 买买提·沙吾提. 新疆艾比湖地区不同土地利用类型的土壤盐渍化敏感性评价. *地理科学进展*, 2011, 30(5): 593-599.
- [17] 张飞, 王娟, 塔西甫拉提·特依拜, 周梅, 王东芳, 李瑞, 李晓航. 1998-2013年新疆艾比湖湖面时空动态变化及其驱动机制. *生态学报*, 2015, 35(9): 2848-2859.
- [18] 杨晓东, 傅德平, 袁月, 杨军, 吕光辉. 新疆艾比湖湿地自然保护区主要植物的种间关系. *干旱区研究*, 2010, 27(2): 249-256.
- [19] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [20] 杨奇勇, 杨劲松, 余世鹏. 禹城市耕地土壤盐分与有机质的指示克里格分析. *生态学报*, 2011, 31(8): 2196-2202.
- [21] 杨奇勇, 杨劲松, 刘广明. 土壤盐分空间异质性的指示克里格阈值研究. *灌溉排水学报*, 2011, 30(3): 72-76.
- [22] 张炎, 王讲利, 付明鑫, 毛端明. 新疆棉田土壤养分评价指标的建立 // 中国科协 2005 年学术年会“新疆现代农业论坛”论文集. 乌鲁木齐: 中国科协, 2005.
- [23] 杨帆, 安丰华, 王志春, 杨洪涛, 赵长巍. 松嫩平原盐渍化水田土壤表观电导率空间变异研究. *中国生态农业学报*, 2015, 23(5): 614-619.
- [24] 严俊霞, 李洪建, 李君剑, 武江星. 山西高原落叶松人工林土壤呼吸的空间异质性. *环境科学*, 2015, 36(5): 1793-1801.
- [25] 王小艳, 冯跃华, 李云, 武彪, 陈山, 李香玲, 王旭, 莫银化, 宋碧. 黔中喀斯特山区村域稻田土壤理化特性的空间变异特征及空间自相关性. *生态学报*, 2015, 35(9): 2926-2936.
- [26] 海南, 赵永存, 田康, 黄标, 孙维侠, 史学正. 不同样点数量对土壤有机质空间变异表达的影响. *土壤学报*, 2015, 52(4): 783-791.
- [27] 艾尤尔·亥热提, 王勇辉, 海米提·依米提. 艾比湖湿地土壤碱解氮的空间变异性分析. *土壤*, 2014, 46(5): 819-824.
- [28] 田野, 郭子祺, 乔彦超, 雷霞, 谢飞. 基于遥感的官厅水库水质监测研究. *生态学报*, 2015, 35(7): 2217-2226.
- [29] 王勇辉, 郭双双, 海米提·依米提. 精河河下游河岸带土壤养分与盐分特征分析. *干旱地区农业研究*, 2013, 31(3): 133-138.
- [30] 张磊, 付明鑫, 曾胜和, 张文辉, 高志建, 王秀鸿. 奎屯垦区棉田土壤养分吸附特征与有效性研究. *安徽农业科学*, 2011, 39(22): 13466-13468.
- [31] 韩丽, 贡璐, 朱美玲. 克里雅河流域于田绿洲土壤养分与盐渍因子相关关系研究. *新疆大学学报: 自然科学版*, 2013, 30(3): 257-261.
- [32] 王少丽, 焦平金, 许迪, 瞿兴业. 新疆旱区浅层土盐分动态及其影响因素. *排灌机械工程学报*, 2013, 31(7): 623-628.