

宁夏压砂地土壤全盐量和 pH 值的空间变异分析

潘佳颖, 王建宇, 王超

(宁夏大学 资源环境学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:以宁夏境内压砂地为研究对象,研究了不同土层压砂地土壤全盐量和 pH 值的空间变异性。结果表明:描述性统计分析,在垂直方向上,pH 值随土壤深度的增加而下降,每层土样 pH 值的变异系数变化均 $<10\%$,属弱变异性;全盐量随着土样深度的增加而增加,变异系数均 $>100\%$,属强空间变异性。各层 pH 值理论分布模型均为高斯模型,且具有中等程度的空间相关性,反映出压砂地土壤 pH 值的空间变异是随机性因素和结构性因素共同作用的结果;0~20、20~40 cm 全盐理论分布模型为高斯模型,40~60 cm 属球状模型,具有强烈的空间相关性,说明其变异主要是由结构性因素引起。Kriging 插值分析表明研究区土壤全盐量和 pH 值在水平空间分布总体呈环状,pH 值由西北向东南方向逐渐降低,全盐量由西北向东南方向递增。

关键词:空间变异分析;土壤全盐量;地统计学;压砂地

中图分类号:S 151.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)03-0157-06

砂田是我国西北地区劳动人民在恶劣的自然条件下,经过长期生产实践创新出的一种独特的保护性耕作方法^[5]。砂田是在土壤表层覆盖 10~20 cm 厚的鹅卵石、砾石、粗砂和细沙的混合物或单体,具有明显的蓄水、保墒、增温保温、减蒸、抗蚀作用^[2-3],因此可为作物提供较好的生长环境。我国的砂田分布在西北地区的甘肃、宁夏、新疆、青海等地,宁夏砂田主要分布在中卫市沙坡头区环香山地区、中宁县鸣沙、白马山区,海原县关桥、高崖山区等地,是典型的资源型缺水和水质型缺水地区,农业生产以自然降雨利用为主^[4]。但近年来补水成为增加作物产量的主要措施。

地统计学是分析土壤空间分布特征及变异规律最有效的方法之一^[5],不仅考虑了土壤特性在空间上的相关性,还揭示了土壤特性在空间距离上的变异性^[6]。目前,对土壤空间变异性问题的研究主要集中在土壤物理特性、养分、盐分、重金属等方面。管孝艳等^[7]对盐渍化

灌区土壤盐分进行时空变异特征研究,得出土壤盐分随地下水埋深的增大而减小;李婷等^[8]在研究成都平原土壤 pH 值的时空分布特征时,总结了 pH 值变化的影响因素;张源沛等^[9]研究银川平原盐分及盐渍土的空间分布,得出银川平原表层土壤属于中度和轻度盐化土类型,银南部分地区土壤属重度盐渍土。此外还有部分学者就全盐量和 pH 值的空间变异做了研究^[10-12]。但研究干旱区土壤盐碱化程度的空间变异相对较少,特别是压砂地这种特殊地类的盐碱化空间变异的研究报道更少。因此,该研究以中卫市、海原县、中宁县和沙坡头区有压砂地的乡镇为研究区,利用 SPSS 19.0、GS+ 和 Arc GIS 等软件定量研究压砂地土壤全盐量和 pH 值的空间变异特征,以期掌握压砂地土壤全盐量和 pH 值的空间分布规律,为持续合理的利用压砂地土壤提供理论参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

中卫市地处宁夏中部干旱带,东经 $104^{\circ}17' \sim 106^{\circ}10'$,北纬 $36^{\circ}06' \sim 37^{\circ}50'$,辖沙坡头区、海兴开发区和中宁、海原 2 县,共 40 个乡镇 442 个行政村。北临引黄灌区,东连毛乌素沙地,南部紧靠黄土高原,西接腾格里沙漠。土壤以灰钙土和风沙土为主,结构松散沙性大,有机质含量低。年均降水量为 179.6 mm,蒸发量为 1 829.6 mm,且降水时空分布不均匀,干旱少雨、多风,蒸

第一作者简介:潘佳颖(1991-),女,宁夏银川人,硕士研究生,研究方向为自然地理。E-mail: pjj924197957@qq.com.

责任作者:王建宇(1970-),女,硕士,研究员,现主要从事干旱区特色产业发展与生态关系等研究工作。E-mail: w305y517@nxu.edu.cn.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41161085)。

收稿日期:2015-09-24

发强烈,植被类型以草原和荒漠草原为主,植被覆盖度低^[13],仅有旱生灌木、半灌木、耐旱的蒿属和禾本科草类生长。水土流失严重,生态环境极度恶劣。黄河从中部自西向东转北流过,清水河向北流经海原、中宁等县,在中卫的泉眼山西侧注入黄河,其余河流为季节性河流,大部分为苦咸水和高氟水。该地区光热资源丰富,年日照时间长,昼夜温差大,除种植玉米、小麦、水稻、枸杞外,特色产业硒砂瓜已带动中卫市干旱山区农民走向了致富的道路。

1.2 试验方法

在宁夏压砂地野外调查的基础上,根据土地利用方式、地形、种植区域和面积,遵循随机、全面、可比性的原则在压砂地分布区 17 个乡镇、74 个行政村布设样点 146 个,压砂地面积大的村布设 3~4 个,具体样点位置见图 1。依据 GPS 定位,于 2014 年 3 月中旬分别采集每个样点 0~20 cm、20~40 cm、40~60 cm 3 层的原状土样 438 个。带回实验室放置自然风干后,检出动植物残体及石块,用木棍研磨,过 0.850 mm 筛,取出适量备用。

1.3 项目测定

pH 值测定采用 pH 计法^[14](水土比为 1:2.5),每个土样水平测定 3 次,在误差范围内,取平均值。用电导仪测定土壤电导率(水土比为 5:1),根据测得的电导率,依据宁夏农业勘察设计院“全盐量-电导率关系表”查得相应全盐量。

1.4 数据分析

采用 SPSS 19.0 软件对原始数据进行处理及分析,K-S 法检测数据是否属于正态分布。用地统计软件 GS+ 对全盐量和 pH 值进行半方差分析,并用适合的半方差模型进行拟合。通过 ArcGIS 中的 Geostatistic analysis 模块中的 Kriging 插值,判断研究区土壤全盐量和 pH 值空间分布。

表 1

土壤 pH 值和全盐量的描述统计结果

Table 1

Descriptive statistics of soil pH value and total salt content

项目 Item	土样深度 Soil depth/cm	样点数 Sample	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 S. D.	偏度 Skew	峰度 Kurt	变异系数 C. V. /%
pH 值 pH value	0~20	146	8.05	9.43	8.943 0	0.210 0	-1.345	3.270	2.35
	20~40	146	8.03	9.79	8.972 0	0.279 9	-0.357	1.711	3.12
	40~60	146	7.94	10.15	9.009 1	0.380 8	0.181	0.837	4.23
全盐量 Total salt content/(g·kg ⁻¹)	0~20	146	0.13	5.56	0.425 4	0.538 5	6.564	57.680	126.60
	20~40	146	0.20	5.3	0.692 0	0.857 6	3.261	12.502	123.93
	40~60	146	0.08	6.06	0.871 2	1.033 8	2.863	9.752	118.66

土壤全盐量在取样深度上的变异系数均>100%,属强空间变异性。全盐量是确定土壤盐渍化程度的主要指标^[16]。表层(0~20 cm)土壤全盐量可以表征土壤盐渍化的程度,根据土壤盐化分级标准,可判断出研究区压砂地土壤大部分属于非盐渍化土壤和轻度盐渍化

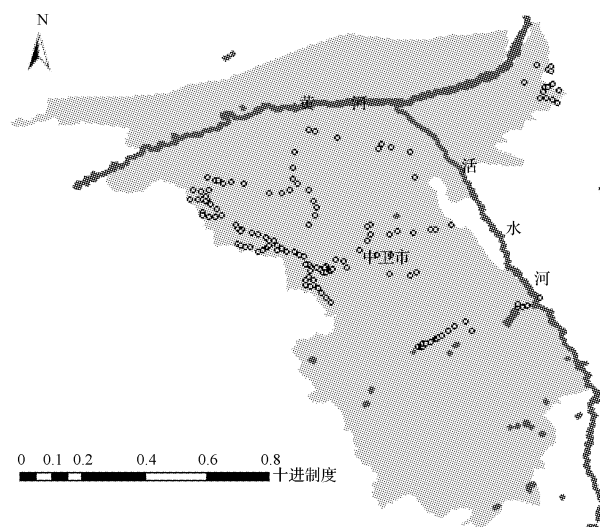


图 1 采样点分布图

Fig. 1 Map of sampling spots distribution

2 结果与分析

2.1 土壤 pH 值和全盐量的描述性统计分析

采用 SPSS 19.0 软件对各样点表层(0~20 cm)、中层(20~40 cm)、下层(40~60 cm)土壤 pH 值和全盐量进行常规统计分析,其中采用单一样本 K-S 检验数据均呈正态分布。表 1 表明,各层土壤 pH 值相差不大,其均值自表层至底层分别为 8.94、8.97、9.01,表明研究区域压砂地土壤偏碱性。但各层变异系数变化很小,均<10%,属弱变异性^[15],说明研究区土壤 pH 值相对稳定。从偏度看,0~20 cm 和 20~40 cm 土壤深度上,pH 值均呈左偏态分布;由峰度值可知,土壤 pH 值分布呈陡峭状态。pH 值最小值均位于喊叫水乡。在 0~20、20~40 cm 的土壤深度,pH 值最大值位于香山乡米粮川村。

土壤,但喊叫水乡的压砂地土壤属于重度盐渍化土壤(4 g/kg<土壤全盐量≤10 g/kg)^[17]。

2.2 土壤 pH 值和全盐量的空间变异地统计学特性分析

由图 2、表 2 可知,模型的决定系数 R^2 均达显著水

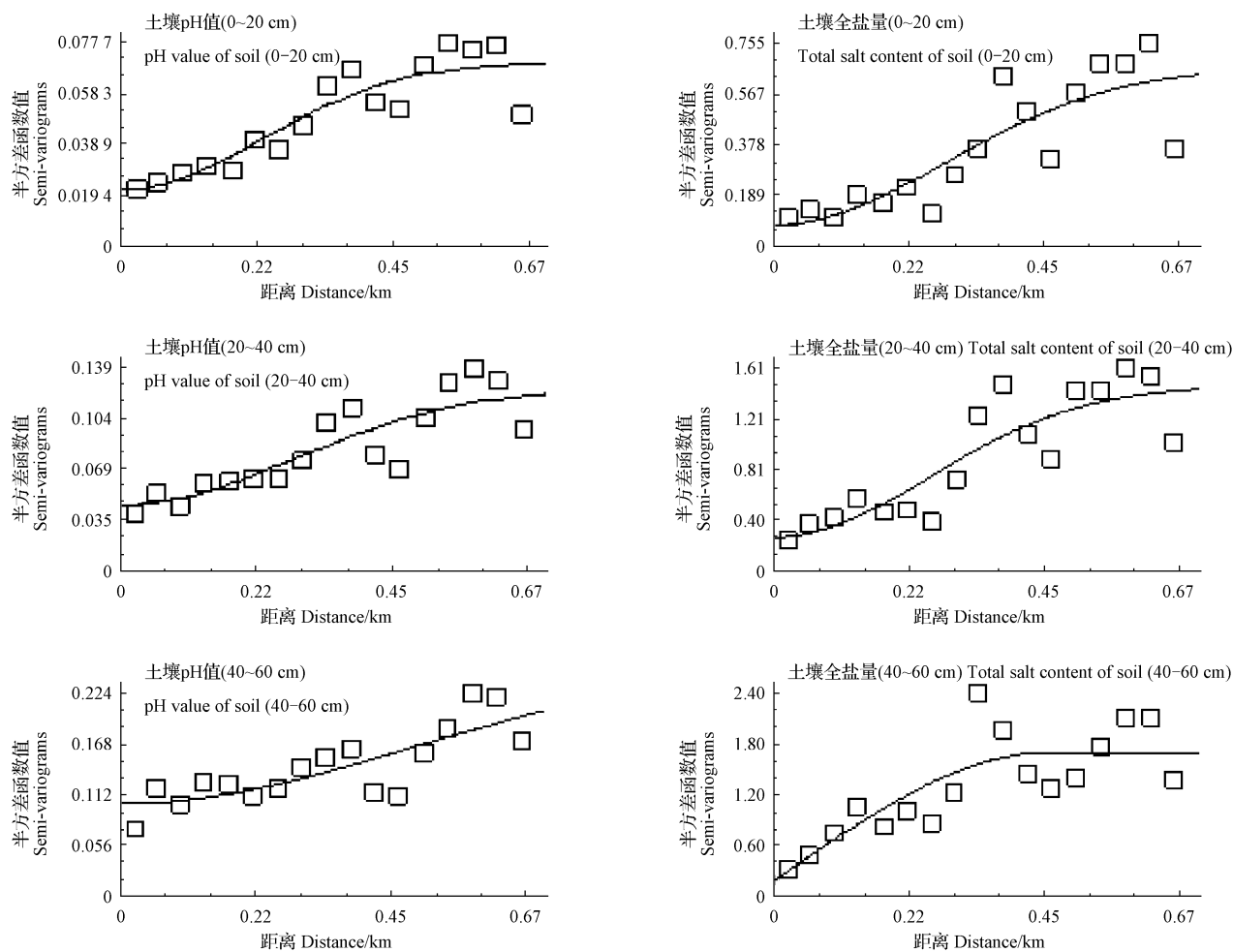


图 2 pH 值、全盐量各层的半方差函数图

Fig. 2 The semi-variogram of pH value and total salt content in different layers

表 2 土壤 pH 值和全盐量的半方差函数理论模型和参数

Table 2 Semi-variance model and its parameters for soil pH value and total salt content

项目 Item	取样深度 Soil depth/cm	理论模型 Theoretical model	块金值(C ₀) Nugget value(C ₀)	基台值(C ₀ +C) Sill value(C ₀ +C)	块金效应 Nugget variance/%	决定系数 R ²	残差 RRS
pH 值 pH value	0~20	高斯	0.021 60	0.070 50	30.64	0.830	1.015E-03
	20~40	高斯	0.045 20	0.125 40	36.04	0.749	3.937E-03
	40~60	高斯	0.102 70	0.256 40	40.05	0.644	9.404E-03
全盐量 Total salt content/(g·kg ⁻¹)	0~20	高斯	0.078 00	0.665 00	11.73	0.738	0.218
	20~40	高斯	0.265 00	1.469 00	18.04	0.774	0.825
	40~60	球状	0.173 00	1.705 00	10.15	0.663	1.93

平,表明高斯半方差理论模型和球状半方差理论模型能较好的揭示压砂地土壤 pH 值和全盐量的空间变异规律。

基台值(C₀+C)表示区域化变量的最大变异,其值越高表示系统总空间变异程度越高^[18]。表 2 表明,pH 值和全盐量的基台值随取样深度的增加而逐渐增大,这与盛建东^[19]等研究相反,研究表明 pH 值随研究深度的增加而逐步减小,最大变异也逐步减小,主要由于其研究区为新开垦土地,人为影响较弱。块金值(C₀)反映的是由分析误差^[20]和随机因素^[18]引起的空间变异性。表

层至下层的 pH 值和全盐量的块金值都较小,表明在最小距离内的空间变异分析过程中引起的误差较小^[21]。块金效应即块金值与基台值之比(C₀/(C₀+C))可以表明变量的空间相关性程度^[22]。由图 2 及 C₀/(C₀+C)比值可知,3 层土样的 pH 值都具有中等程度的空间相关性,反映出压砂地土壤 pH 值的空间变异是由结构性因素和随机性因素共同作用的结果,具体而言,该区范围内结构因素主要体现在土壤类型、土壤质地、地形等的差别,随机性因素主要是人为因素。人为因素具体包括施肥管理、耕作措施、灌水方式、土地利用类型

及种植制度等。全盐量的块金效应值 $<25\%$ ，表明全盐量具有强烈的空间相关性，其变异主要是由结构性因素引起。总体来看，块金效应值均 $<50\%$ ，表明结构性因素对研究区压砂地土壤特征的空间变异起主导作用。

2.3 土壤 pH 值和全盐量的空间插值分析

利用 ArcGIS 中的 Geostatistic analysis 模块，采用 Kriging 方法分别对不同深度土壤的 pH 值、全盐量进行

插值，同时，运用 GS+ 软件中的交叉验证功能对插值结果进行检验，符合以下标准为最优，即 ME 的绝对值最接近于 0，RMSSE 接近于 1，RMSE 值尽可能小，ASE 接近于 RMSE。表 3 表明，在普通克里格和泛克里格插值下，估算的土壤 pH 值和全盐量都较准确^[23]，根据半方差分析的结果，采用普通克里格对 pH 值和全盐量进行插值绘制空间分布图(图 3)。

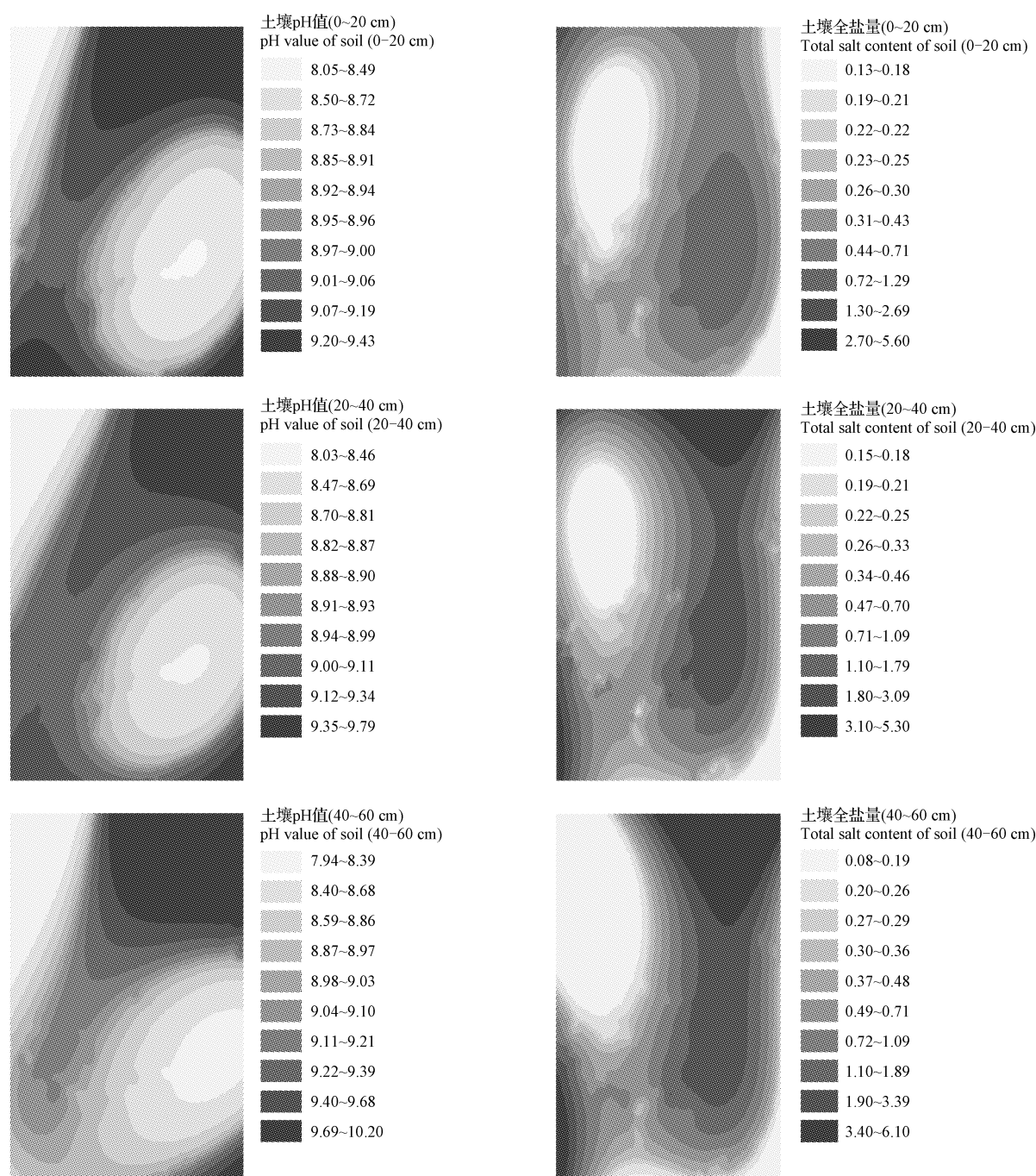


图 3 普通克里格插值的 pH 值和全盐量空间分布图

Fig. 3 Spatial distribution of pH value and total salt content based on Kriging

图 3 表明，研究区土壤 pH 值和全盐量空间分布结构特征明显，不同含量的 pH 值和全盐量差异变化明显，

环状分布规律表现较显著。pH 值在表层、中层和下层的空间分布范围分别为 8.05~9.43、8.03~9.79 和 7.94~

10.20,并由西北向东南方向逐渐减小,且随土壤深度的增加而减小。全盐量在表层、中层和下层的空间分布范围分别为 0.13~5.60 g/kg、0.15~5.30 g/kg、0.08~6.10 g/kg,总体可知,较少区域土壤全盐量大于 4.00 g/kg,

大部分区域的土壤全盐量在 0.08~2.00 g/kg,属非盐渍化土壤和轻度盐渍化土壤^[17]。并随着土壤深度的增加,土壤全盐量表现为递增的趋势,并由西北向东南方向逐渐增加。

表 3 pH 值和全盐量的克里格插值交叉验证参数

Table 3 Cross-validation parameters of Kriging about pH value and total salt content

项目 Item	取样深度 Soil depth/cm	插值方法 Interpolation techniques	平均误差 ME	均方根预测误差 RMSE	平均标准误差 ASE	标准均方根预测误差 RMSSE
pH 值 pH value	0~20	普通克里格	-0.011 8	0.175 0	0.158 1	1.111 3
		简单克里格	-0.010 5	0.191 5	0.202 0	0.888 8
		泛克里格	-0.011 8	0.175 0	0.158 1	1.111 3
	20~40	普通克里格	-0.003 3	0.249 5	0.222 9	1.103 4
		简单克里格	0.014 6	0.275 2	0.275 0	0.994 7
		泛克里格	-0.003 3	0.249 5	0.222 9	1.103 4
	40~60	普通克里格	-0.017 1	0.346 2	0.295 0	1.154 8
		简单克里格	0.019 6	0.356 0	0.366 2	0.958 6
		泛克里格	-0.017 1	0.346 2	0.295 0	1.154 8
	0~20	普通克里格	0.006 3	0.515 0	0.337 4	1.487 8
		简单克里格	0.056 3	0.496 0	0.514 6	0.747 0
		泛克里格	0.006 3	0.515 0	0.337 4	1.487 8
全盐量 Total salt content/(g·kg ⁻¹)	20~40	普通克里格	0.002 6	0.695 6	0.568 2	1.195 0
		简单克里格	0.071 8	0.714 6	0.793 1	0.777 4
		泛克里格	0.002 6	0.695 6	0.568 2	1.195 0
	40~60	普通克里格	0.008 6	0.867 8	0.610 1	1.382 0
		简单克里格	0.066 0	0.870 5	0.955 4	0.752 2
		泛克里格	0.008 6	0.867 8	0.610 1	1.382 0

3 结论与讨论

压砂地土壤(0~60 cm)全盐量随着土壤深度的增加而增大。而大量文献研究^[24-25],全盐量随土壤深度的增加逐渐减少,并随着土壤的加深,盐碱化程度降低。出现此相反的结论,一方面有可能是压砂地砂砾层能够充分地接纳水分,增强了土壤的渗透力和淋溶作用,使土壤盐分下移,另一方面覆砂层切断了土壤的毛细管,使土壤水分蒸发量减少,因而盐分在土壤上层聚积量减少^[26]。胡景田等^[27]研究发现不同土壤深度的压砂地的全盐量明显低于未压砂地,也对该结果有很好的印证。

压砂地土壤(0~60 cm)pH 值随着土壤深度的增加而减小。通过数据调研分析发现,无论 pH 值是大还是小,其 pH 值均高于当地未压砂的土壤背景值,说明压砂地有碱性变化的趋势。根据生产现状,认为与人为补灌措施有关。研究区补灌的水源主要是黄河水、清水河二级支流聚集的坑洼水、中小型水库的库水、井水及季节性河流低洼地汇聚水。地下水矿化度大于 3 g/L,经长期蒸发,盐分聚集在表层。压砂地随着土层深度的增加,砂砾减少,粘粒增加,导水、下渗能力减弱,通过补水,使得表土碱性较高,盐分下移。

全盐量水平方向由西北向东南方向逐渐增加,pH 值逐渐减小,即碱性含量高的地区恰恰是盐分含量较低的地区,孙丽华等^[24]研究乌梁素海流域土壤盐分和 pH

值空间分布时也得出这一结论。白马乡、鸣沙镇、徐套乡、罗山乡、关桥乡、香山乡景庄、香山乡三眼井和兴仁乡区域土壤属于非盐渍化土壤和轻度盐渍化土壤;香山乡的沙滩梁、深井、米粮川村土壤属于中度盐渍化土壤,但喊叫水乡部分的采样点土壤属重盐渍化土壤,可能由于该区域土壤类型单一,属沙壤土类,土壤肥力低,并且砂田分布以坡地为主,土壤侵蚀严重,加之地势条件的影响,使补水补肥受到限制^[28],加重了土壤盐渍化程度。

总之,压砂地土壤盐碱化现象较为严重,是否适应农业生产,应结合压砂地地区的地形、气候、灌溉水来源等因素。通过增施有机肥、实行合理的轮作等措施适当缓解随着种植年限的延长和西瓜连作带来的产量和品质降低等问题。

参考文献

- [1] 王占军,蒋齐,何建龙,等.宁夏环香山地区压砂地土壤肥力特征分析[J].水土保持学报,2010(2):201-204.
- [2] 张娟,吴宏亮,康建宏,等.不同种植模式对新压砂瓜田土壤养分和土壤酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2014(2):107-113.
- [3] 王建宇,王超,王菲,等.基于田间尺度的压砂地土壤肥力评价[J].土壤通报,2015(1):36-41.
- [4] 王海燕,高祥照.宁夏中部干旱带旱作节水农业发展思路的探索[J].中国农业信息,2010(6):22-24.
- [5] 李艳,史舟,徐建明,等.地统计学在土壤科学中的应用及展望[J].水土保持学报,2003,17(1):178-182.

- [6] 贾艳红,赵传燕,南忠仁. 黑河下游地下水波动带土壤盐分空间变异特征分析[J]. 干旱区地理,2008(3):379-388.
- [7] 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(4):198-206.
- [8] 李婷,张世熔,干文芝. 成都平原土壤 pH 的时空分布特征及影响因素研究[J]. 四川农业大学学报,2006(3):313-318.
- [9] 张源沛,胡克林,李保国,等. 银川平原土壤盐分及盐渍土的空间分布格局[J]. 农业工程学报,2009(7):19-24.
- [10] 高婷婷,丁建丽,哈学萍,等. 基于流域尺度的土壤盐分空间变异特征:以渭干河-库车河流域三角洲绿洲为例[J]. 生态学报,2010(10):2695-2705.
- [11] 杨劲松,姚荣江,刘广明,等. 黄河三角洲地区土壤盐分的空间变异性及其 CoKriging 估值[J]. 干旱区研究,2006(3):439-445.
- [12] 虞娜,张玉龙,黄毅,等. 保护地不同灌溉方法表层土壤 pH 小尺度的空间变异[J]. 土壤,2008(5):828-832.
- [13] 王梅梅,朱志玲,吴咏梅. 宁夏中部干旱带土地沙漠化评价[J]. 中国沙漠,2013(2):320-324.
- [14] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业科技出版社,1999:166-187.
- [15] 阳正熙,吴玺虹,彭直兴,等. 地学数据分析教程[M]. 北京:科学出版社,2008.
- [16] 刘广明,杨劲松. 土壤含盐量与土壤电导率及水分含量关系的试验研究[J]. 土壤通报,2001(S1):85-87.
- [17] 王遵亲,祝寿泉,俞仁培. 中国盐渍土[M]. 北京:科学出版社,1993.
- [18] 王政权. 地质统计学及其在生态学中的应用[M]. 北京:科学出版社,1999:150-156.
- [19] 盛建东,杨玉玲,陈冰,等. 土壤总盐、pH 及总碱度空间变异特征研究[J]. 土壤,2005(1):69-73.
- [20] 赵汝东,孙焱鑫,王殿武,等. 北京地区耕地土壤有机质空间变异分析[J]. 土壤通报,2010(3):552-557.
- [21] 喜巧梅. 宁夏荒漠草原区土壤养分空间变异及评价[D]. 银川:宁夏大学,2013.
- [22] 高玉蓉,许红卫,周斌. 稻田土壤养分的空间变异性研究[J]. 土壤通报,2005(6):8-11.
- [23] 宁茂岐,刘洪斌,武伟. 两种取样尺度下土壤重金属空间变异特征研究[J]. 中国生态农业学报,2007(3):86-91.
- [24] 孙丽华,刘华民,王世冬,等. 乌梁素海流域土壤盐分和 pH 值空间分布格局研究[J]. 湖南生态科学学报,2014(3):1-7.
- [25] 贾树海,李娜,周德,等. 宁夏平罗县耕地土壤盐分空间变异及格局分析[J]. 吉林农业,2012(4):92-94.
- [26] 许强,康建宏,吴宏亮,等. 压砂地可持续利用的理论与实践[M]. 银川:阳光出版社,2011.
- [27] 胡景田,马琨,王占军,等. 荒地不同压砂年限对土壤微生物区系、酶活性与土壤理化性状的影响[J]. 水土保持通报,2010(3):53-58.
- [28] 王宾,田军仓. 基于 GIS 的宁夏压砂地生产力评价研究[J]. 节水灌溉,2012(8):69-73.

Spatial Variability Analysis on Total Salt Content and pH Value of Soil on Gravel-mulched Land in Ningxia

PAN Jiaying, WANG Jianyu, WANG Chao

(College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021)

Abstract: The total salt content and pH value of gravel-mulched land in different depths on the spatial variability was studied in this paper. The descriptive statistics showed that: the pH value was decreased and the coefficient of variation of pH value in different layers was $<10\%$ and in a slight spatial variability with the soil depth increased; the total salt content increased and the coefficient of variation was $>100\%$ and in a high spatial variability with soil depth increased. The results showed that the theoretical distribution models of pH value in different layers were Gaussian model with a moderate correlation and it reflected that the spatial variability of pH value on gravel-mulched land soil was jointly affected by random factors and the role of structural factors; the total salt theoretical distribution model was the Gaussian model in 0—20 cm and 20—40 cm, but it was spherical model in 40—60 cm of soil depths and it showed that there were a high spatial correlation and their spatial variability was jointly affected by structural factors. Kriging analyses showed that the total salt content and pH value distribute in annular on the horizontal direction. The soil pH value was decreased gradually from northwest to southeast, but the total salt content increased from northwest to southeast.

Keywords: spatial variability analysis; total salt content of soil; geostatistics; gravel-mulched land