

石羊河下游民勤湖区土壤特性的空间分异研究^①

张 凯^{1,2,3}, 冯 起², 吕永清⁴, 张 勃⁴, 李巧珍³, 司建华²

(1 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 兰州 730020; 2 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 兰州 730000; 3 甘肃省定西市气象局, 甘肃定西 743000; 4 西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘 要: 通过野外试验和室内分析, 对石羊河下游民勤湖区土壤盐分、pH 值和养分的空间分异进行了研究。结果表明: 土壤电导率和 pH 值、速效钾含量都是荒漠区最大, 绿洲区最小, 而碱解氮和速效磷含量则是绿洲区最大, 荒漠区最小。垂直方向上, 土壤电导率和 pH 值变化略显复杂。研究区土壤养分表现为“丰氮、富钾、贫磷”的总体特征; 在水平和垂直方向上, 土壤电导率和氮、磷、钾都属于中等变异, pH 值属于弱变异; 土壤电导率值除了表层与 60 cm 土层表现为中等自相关, 其余的都呈纯金块效应, 说明研究区土壤的电导率值很容易受到随机因素的影响; 土壤 pH 值属于中等或强自相关性, 各层的块金值不大, 说明 pH 值主要受自然因素的影响; 土壤养分指标中, 碱解氮与速效钾属中等或强自相关性, 速效磷则表现为纯金块效应, 完全受随机因素影响。

关键词: 土壤; 盐分; pH 值与养分; 空间分异; 民勤湖区

中图分类号: X171.1

土壤作为地表植物生长的基质, 有着极其重要的地理意义, 它是植被生长中水、热、气、肥供给的重要媒介, 是自然状态下植物生长和发育的重要保障。由于受气候、生物、母质、地形、成土时间以及人类活动等诸多因素的影响, 土壤具有复杂性和高度的时空变异性^[1], 不论在大尺度上还是在小尺度上, 土壤的空间变异性均存在^[2]。主要表现为同一质地的土壤在同一平面或不同深度上并不完全均质, 存在明显的差异性和多样性。土壤空间变异性是土壤重要的自然属性之一^[3]。作为土壤特性的重要方面, 土壤盐分是影响干旱、半干旱区农业生产发展和植被生长的重要因素^[4]; 土壤养分是构成土壤肥力的物质基础^[5], 是植物生长的必要条件, 也是衡量土壤质量好坏的重要指标^[6]; 土壤 pH 值是土壤肥力的重要影响因子之一^[7]。因此, 研究土壤盐分、pH 值和养分的空间变异性, 分析它们的变异规律和变化动态, 能更好理解空间作用对土壤作物关系的重要性, 为土壤的合理利用、改造、防治以及农业可持续发展和生态环境的改善提供一定的科学依据, 为研究生物植被变化、土地评价等提供理论基础^[8]。对于土壤特性空间变异特征及变异规律的分析, 地统计学被证明是最为有效的方法之一^[9]。

近年来, 基于地统计学方法, 许多学者在土壤特性的空间变异性方面开展了大量的工作^[10-16], 并取得了一些有意义的研究成果。

石羊河流域深居干旱内陆, 气候干旱, 由于中上游地区的大量用水, 进入下游的水量日趋减少, 导致下游地区地下水位下降, 沙化土地、盐渍化土地面积不断扩大, 天然植被大面积衰退、死亡, 大量耕地被废弃, 生态日趋恶化, 近年来绿洲退化, 沙进人退的局面愈演愈烈^[17]。为了保护石羊河下游民勤绿洲的生态环境, 实现绿洲的可持续发展, 研究民勤绿洲荒漠带的土壤盐分、pH 值和养分的空间分布特征无疑是一项重要的基础工作。这将为该地区土地资源的合理开发利用提供决策参考, 有助于认识绿洲荒漠带土壤盐分、pH 值和养分运动与空间分异的形成机理, 为民勤绿洲的生态恢复重建提供理论依据。

1 研究区概况

民勤绿洲位于石羊河下游, 地理位置为 102°45′ ~ 103°55′ E, 38°20′ ~ 39°10′ N, 南靠武威盆地, 西、北、东三面被巴丹吉林沙漠与腾格里沙漠包围, 土地面积约 1.6×10⁴ km² (图 1)。根据在绿洲中的位置、作物种

①基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(3ZS061-A25-009)、国家公益性行业(气象)科研专项(GYHY201106029, GYHY200806021)和国家重点基础研究发展计划项目(2012CB955304)资助。

作者简介: 张凯(1976—), 男, 甘肃甘谷人, 副研究员, 博士研究生, 主要从事干旱区水土资源等方面的研究。E-mail: lanzhouzhk@163.com

植方式以及输水渠系配置的不同将民勤绿洲分成湖区、坝区及泉山区3个灌区。其中湖区包括西渠、中渠、东湖、收成及红沙梁5个乡(镇),总土地面积953 km²。属典型的干旱荒漠气候,年平均降水量为110 mm,而蒸发量为2 657 mm。天然植被稀疏,主要有白刺、怪柳、盐爪爪等。人工植被以二白杨为主,还有沙枣、极少数白榆等。种植作物主要有小麦、玉米,此外还有瓜类、棉花、茴香等。地带性土壤为风沙土、灰棕漠土、草甸土和草甸沼泽土^[18]。由于水资源的短缺和沙漠化的发展,大片良田被风沙吞噬、盐碱化和荒漠化十分严重。“十地九沙,非灌不殖”是该地区最显著的特点。



图1 研究区示意图

Fig. 1 The sketch map of the study area

2 研究方法

2.1 野外样品采集

2007年和2008年9—10月份,在湖区中渠镇和东湖镇从绿洲到荒漠共设了I、II、III3条样带进行了采样(图1)。各样带基本选在地形平坦,荒漠绿洲景观明显的区域。由于过渡带宽窄各异,各样带所取样点数也是不同的,3条样带总共27个采样点。在每个样点分别采集0、20、40、60、80、100 cm处土样,所采样品用铝盒装好。在采样同时,用GPS记录下采样点的坐标数据以及采样点周围的地理概况。

2.2 土壤盐分和养分的测定

土壤样品首先在实验室经过15天的自然风干,通过研磨,碾碎,过筛(孔径为1 mm和0.25 mm的土筛),制备成符合要求的实验样品。所有土壤的物理化

学特性分析均按照常规方法进行。土壤盐分的测定采用电导法(DDS-307A电导率仪);用甘汞电极法测定pH(pHS-3C精密pH计)值;水解性氮用碱解法的开氏蒸馏法(KND-04型蒸馏设备);速效磷采用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定(7230G分光光度计);速效钾测定采用醋酸铵浸提-火焰光度计测定。所有土样的称量均用FA1004N电子分析天平^[19]。

2.3 地统计学方法

地统计方法是在传统统计学基础上发展起来的空间分析方法,此方法不仅能够有效揭示属性变量在空间上的分布变异特征,而且能够有效解释空间格局对生态过程与功能的影响^[20]。

地统计学变异函数是研究空间变量分布特征的有效工具^[21]。通过变异函数的主要参数,如块金值(C_0)、结构性方差(C)、总基台值(C_0+C)、变程(a)、分形维数(D)和结构方差与基台值之比($C/(C_0+C)$)等定量分析空间异质性程度、组成、尺度与格局的特征。变异函数通式为^[20]:

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

式中, $r(h)$ 为变异函数; h 为步长,即为了减少各样点组合对的空间距离个数而对其进行分类的样点空间间隔距离; $N(h)$ 为间隔距离为 h 时的样点对数; $z(x_i)$ 和 $z(x_i+h)$ 分别是变量 Z 在空间位置 x_i 和 x_i+h 上的取值。

变异函数、参数及空间异质性定量分解见图2。 C_0 表示随机部分的空间异质性, C 表示系统变异的空间异质性, C_0+C 反映观测变量在研究范围内总的空间变异强度, $C/(C_0+C)$ 反映自相关部分的空间异质性占总空间异质性程度。

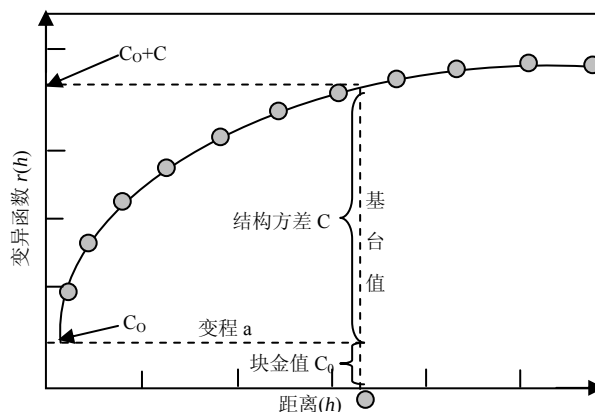


图2 变异函数、参数及空间异质性定量分解图

Fig. 2 The quantitative analysis graph of semi-variant function, parameters and spatial heterogeneity

当定量描述变异特征时,需要通过模型的最优拟合,来建立变异函数的理论模型,并选取标准均方根预测误差(root-mean-square standardize, 简写 RMSS)和标准平均值(mean standardized, 简写 MS)两个指标来衡量模型的拟合程度,其中标准均方根预测误差值越接近 1,标准平均值越接近 0,模型的拟合越好。

3 结果与分析

3.1 土壤盐分、pH 值和养分的空间分异特征

3.1.1 土壤盐分 研究区绿洲-荒漠带土壤可溶性盐分含量的水平分异表现为过渡带和荒漠区大于绿洲,且这种变化特征在 40 cm 以内最为明显(图 3),其原因是绿洲区质地均一,而且灌溉造成淋洗均一。荒漠区表土质地变异性大,地下水情况变异性也大,自然盐分变异也大,过渡带居中。从电导率的平均值来看,绿洲区 0 ~ 100 cm 土层平均土壤含盐量约为 0.24 mS/cm,无盐化现象,而绿洲-荒漠过渡带上为 1.02 mS/cm,荒漠区为 2.02 mS/cm,已属盐化土。从垂直分异情况来看(图 4),绿洲区土壤电导率随深度的增加变化不大,而过渡带和荒漠区的土壤电导率都呈现随深度的增加逐渐变小的趋势,分别由表层的 2.01 mS/cm 和 3.83 mS/cm 减小到底层的 0.5 mS/cm 和 1.2 mS/cm,主要是该地区气候干旱,蒸发强烈,促使土壤中的水流上升强,向下淋溶微弱,地下水的排泄以蒸发为主,促进土壤中的盐分随毛细蒸发富集到表层。

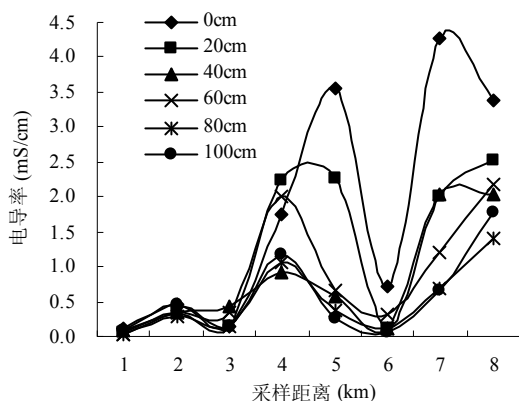


图 3 民勤湖区绿洲荒漠带土壤含盐量的水平变化(绿洲-荒漠)

Fig. 3 The changes of soil salt contents from oasis to desert in Minqin Lake area

3.1.2 土壤 pH 值 从水平方向上来看(图 5),研究区土壤 pH 值都大于 8,都呈现为碱性土壤特征,这与该区的成土母质有关。从平均值来看, pH 值最大

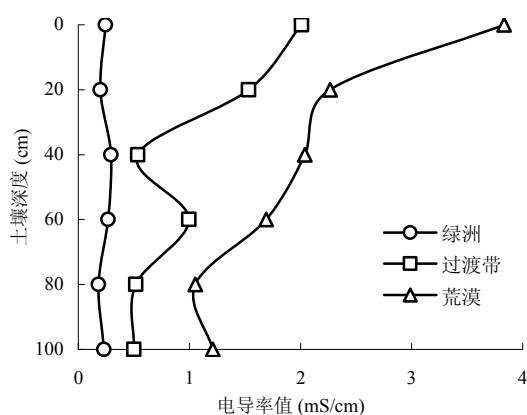


图 4 民勤湖区绿洲荒漠带土壤含盐量的垂直变化

Fig. 4 The changes of soil salt contents from 0 cm to 100 cm in Minqin Lake area

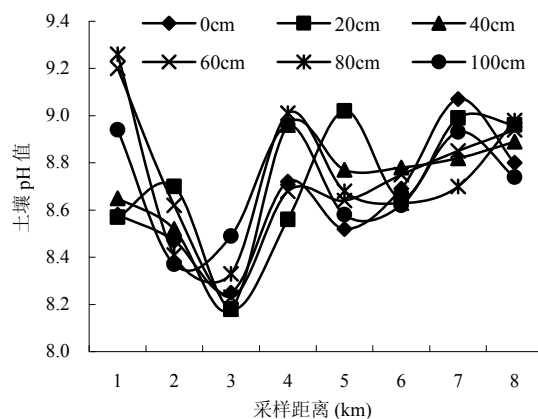


图 5 民勤湖区绿洲荒漠带土壤 pH 值的水平变化(绿洲-荒漠)

Fig. 5 The changes of soil pH values from oasis to desert in Minqin Lake area

的是荒漠,其次为绿洲荒漠过渡带,最小的是绿洲,主要原因还是与绿洲区灌溉造成的盐分淋洗以及酸性肥料的使用有关。

从垂直方向上来看(图 6),在绿洲、过渡带和荒漠区土壤 pH 的变化略显复杂,基本都呈“W”字型变化。绿洲区,表层到 20 cm 深度的 pH 值呈缓慢递增趋势,20 ~ 40 cm 呈递减趋势,40 ~ 60 cm 则又呈递增的趋势,60 cm 为一个小拐点,此后呈微降的趋势,其中绿洲区 60 cm 处 pH 值最大;在过渡带上,从表层至 40 cm 深度呈递增趋势,40 ~ 60 cm 呈递减趋势,60 ~ 80 cm 又呈递增趋势,80 cm 后呈微降的趋势,其中 40 cm 处 pH 值最大;荒漠区的变化趋势基本跟绿洲区一致,其中 20 cm 处 pH 值最大。

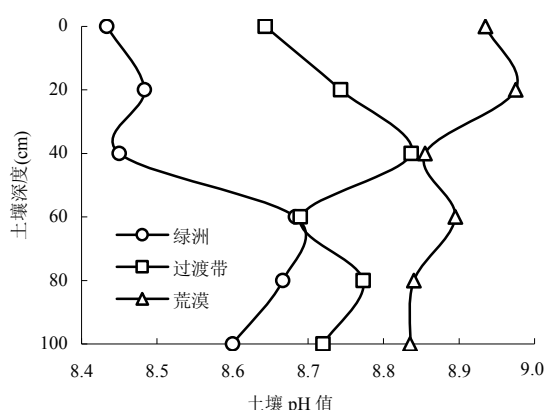


图6 民勤湖区绿洲荒漠带土壤 pH 值的垂直变化

Fig. 6 The vertical changes of soil pH values in Minqin Lake area

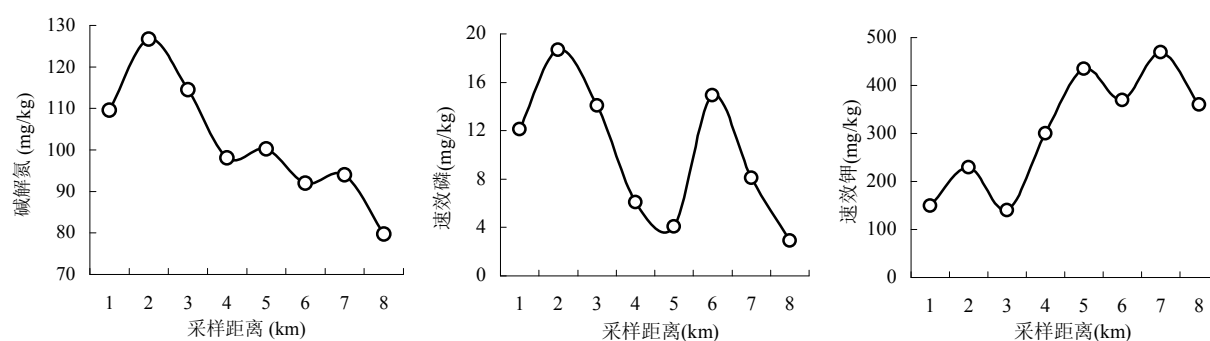


图7 民勤湖区绿洲荒漠带土壤氮磷钾的水平变化 (绿洲-荒漠)

Fig. 7 The changes of N, P, and K from oasis to desert in Minqin Lake area

3.2 土壤盐分、pH 值和养分的统计特征

3.2.1 土壤盐分 据经典统计学方法,将不同景观类型上各层土壤盐分计算结果列于表1。在水平方向上,绿洲区的电导率平均变异系数为62%,过渡带上为93%,荒漠区为69%,过渡带的变异程度要大于绿洲区和荒漠区,但都属于中等变异程度。由于过渡带受绿洲生态系统和荒漠生态系统的双重影响,不论是在生态环境的改变速率上和抵抗外部干扰的能力上,还是在生态系统的稳定性上都显得相对敏感和脆弱。另外,由于绿洲区沉重的人口压力,加重了对过渡带的不合理开发利用,如开荒、过度薪伐、超载放牧等,加剧了过渡带的不稳定性,从而导致过渡带上盐分含量的变异程度要大于绿洲区和荒漠区。在垂直方向上,各土层盐分的变异系数相差较大,变化范围在41%~178%之间,也均表现为中等变异强度。从表1还可看出,研究区3种景观类型的土壤电导率变异系数都随深度的增加呈逐渐变小的趋势,造成这种现象的原因在于区内微地形起伏、土地利用方式差异、灌溉制度以及耕作方式不

3.1.3 土壤养分 图7是绿洲、过渡带和荒漠区土壤氮磷钾养分的分布特征。从总体来看,3种景观下土壤表层(0~20 cm)中氮磷钾含量都呈现出“丰氮、富钾、贫磷”的特征。其中钾、氮、磷含量分别为306.9、101.9和10.1 mg/kg。从水平方向来看,绿洲中3种养分指标中的碱解氮和速效磷的含量平均值都基本高于过渡带和荒漠区,速效钾含量则低于过渡带和荒漠区。该地区土壤中钾的含量普遍丰富,这与北方地区的成土母质多为富含钾长石有关,因此,本区土壤中基本不存在缺失钾肥情况,而土壤中速效磷的贫乏,这就需要在土壤耕作过程中加大磷肥的使用量。

同等因素;随着土壤深度的增加,这些因素对盐分的影响逐渐减弱,表现为盐分的变异系数随深度增加而不断减小。

3.2.2 土壤 pH 值和养分 从3种景观类型 pH 值变化的总体情况来看(表2),各层土壤 pH 值的变异系数非常接近,集中在1%~4%之间,均小于10%,属于弱变异性。就3种土地类型的土壤变异数来细分,又可以看出绿洲区的变异数略大于过渡带和荒漠区,主要是因为绿洲区相对于过渡带和荒漠区受人类活动的影响比较大,包括农作物的种植和耕作施肥等。总的来说,研究区土壤 pH 值相对稳定, pH 值的大小对当地农业及作物生长的研究意义并不是很大。

在土壤表层(0~20 cm)不同养分的变异情况各不相同,其变异系数在28%~82%之间(表2)。从整体来看,研究区碱解氮、速效磷和速效钾的平均变异系数分别为40%、57%和51%。速效磷的变异系数最高,速效钾其次,接下来是碱解氮。3种营养元素变异系数均不高,变化范围不大,属于中等变异,说明各营养元素在土壤中的含量相对稳定。从不同景

表 1 不同景观类型的土壤电导率的统计特征

Table 1 The statistical characteristics of soil conductivity in different landscape types

景观类型	土壤深度 (cm)	最小值 (mS/cm)	最大值 (mS/cm)	平均值 (mS/cm)	标准差 (mS/cm)	偏度	峰度	变异系数 (%)
绿洲	0	0.137	1.083	0.456	0.345	1.34	2.34	76
	20	0.117	0.864	0.429	0.295	0.43	-1.08	69
	40	0.109	0.677	0.423	0.193	-0.57	0.91	46
	60	0.127	0.691	0.412	0.191	-0.04	0.48	46
	80	0.040	0.463	0.233	0.160	0.34	-0.81	68
	100	0.088	0.524	0.299	0.192	0.05	-1.55	64
过渡带	0	0.079	3.871	0.595	1.060	1.30	10.42	178
	20	0.148	2.703	0.747	0.738	1.95	4.10	99
	40	0.068	1.245	0.560	0.417	0.70	-0.90	75
	60	0.124	1.092	0.569	0.318	0.09	-1.40	56
	80	0.114	1.070	0.553	0.354	1.73	2.49	64
	100	0.068	1.182	0.606	0.520	1.11	-0.24	85
荒漠	0	0.066	4.273	1.163	1.245	1.30	0.71	107
	20	0.065	4.561	1.452	1.178	0.71	0.32	81
	40	0.093	2.797	1.202	0.841	0.40	-1.11	70
	60	0.109	2.498	1.109	0.770	0.36	-1.24	69
	80	0.052	1.416	1.003	0.413	-0.10	-2.67	41
	100	0.046	1.764	1.028	0.469	0.85	-0.58	46

表 2 不同景观类型的土壤 pH 值和氮磷钾的统计特征

Table 2 The statistical characteristics of soil pH values and N, P, K in different landscape types

景观类型	项目	土壤深度 (cm)	最小值	最大值	平均值	标准差	偏度	峰度	变异系数 (%)
绿洲	pH 值	0	8.25	8.58	8.43	0.17	-0.50	-1.32	2
		20	8.18	8.70	8.48	0.27	-0.43	-1.20	3
		40	8.18	8.65	8.45	0.24	-0.40	-1.03	3
		60	8.23	9.20	8.68	0.38	0.39	1.08	4
		80	8.33	9.16	8.64	0.37	1.68	0.92	4
		100	8.37	8.94	8.6	0.25	0.87	0.76	3
	碱解氮 (mg/kg)	0 ~ 20	79.7	149.8	109.14	29.52	0.69	-1.71	28
	速效磷 (mg/kg)	0 ~ 20	8.70	18.70	14.14	3.98	-0.32	-1.00	28
	速效钾 (mg/kg)	0 ~ 20	140.00	425.00	273.00	140.87	0.36	-3.09	52
过渡带	pH 值	0	8.52	8.72	8.64	0.11	-0.53	0.40	3
		20	8.60	9.02	8.74	0.24	0.49	0.27	2
		40	8.77	8.96	8.83	0.11	0.57	0.22	1
		60	8.64	8.75	8.69	0.06	0.26	-0.74	1
		80	8.63	9.01	8.77	0.21	0.54	0.30	2
		100	8.58	8.96	8.72	0.21	0.55	0.63	2
	碱解氮 (mg/kg)	0 ~ 20	18.4	83.8	51.99	22.35	-0.45	-1.03	43
	速效磷 (mg/kg)	0 ~ 20	0.90	8.90	4.07	2.66	0.93	-0.40	66
	速效钾 (mg/kg)	0 ~ 20	140.00	840.00	347.50	231.17	1.51	1.21	67
荒漠	pH 值	0	8.36	9.07	8.93	0.27	0.22	-0.63	3
		20	8.57	8.99	8.98	0.17	-0.59	0.55	2
		40	8.46	9.32	8.86	0.31	-0.58	1.30	3
		60	8.49	9.03	8.90	0.20	0.09	0.47	2
		80	8.35	8.98	8.81	0.22	-0.18	0.66	3
		100	8.29	8.93	8.84	0.24	-0.06	0.09	3
	碱解氮 (mg/kg)	0 ~ 20	12.30	126.70	68.77	33.83	-0.22	-1.00	49
	速效磷 (mg/kg)	0 ~ 20	0.10	14.90	4.39	3.60	1.42	2.26	82
	速效钾 (mg/kg)	0 ~ 20	100.00	480.00	301.74	105.17	1.57	3.56	35

观类型来看,碱解氮与速效磷在绿洲区的变异系数最小,而速效钾在荒漠区的变异系数最小;碱解氮与速效磷在荒漠区的变异系数最大,而速效钾在过渡带上的变异系数最大。绿洲区各营养元素的变异相对较小,这是因为该区域氮、磷和钾的施用水平差别不大,耕种措施、种植制度也基本相同。

3.3 土壤盐分、pH 值和养分的地统计特征

对土壤盐分和养分的传统统计分析只能概括其全貌,不能反映局部的变化特征,即只在一定程度上反映总体状况,而不能定量地刻画土壤盐分和养分分布的随机性和结构性、独立性和相关性。为了解决这些问题,必须进一步采用地统计学方法进行空间变异结构的分析和探讨^[22]。

利用地统计学方法对土壤盐分和养分进行了变异分析,表3为变异函数理论模型及相关参数。从表3中可以看出,土壤电导率值各层的最佳理论模型不尽相同,0 cm和60 cm的最佳拟合模型分别为Gaussian与Pentaspheical模型, $C_0/(C_0+C)$ 分别为37.85%和59.87%,说明采样点呈中等空间相关性,所选模型的标准均方根预测误差(RMSS)分别为0.242 7和0.796 5,标准平均值(MS)分别为0.012 4和-0.031 0。其余4层采样(20、40、80和100 cm)都呈Pure nugget effect模型(纯金块效应), $C_0/(C_0+C)$ 分别为100%、99.49%、100%和99.98%,表明这4层中土壤电导率值的随机性很强,所选模型的RMSS分别为0.365 2、0.568 2、1.009 0和0.707 2,MS分别为0.017 7、0.029 4、0.092 6

和-0.104 0。除了表层与60 cm深度表现为中等自相关特征,其余的都呈纯金块效应模型,说明研究区土壤的电导率值很容易受到随机因素的影响,这种随机影响可能来自采样和试验之中。

土壤pH值在各层的最佳理论模型也存在差异。0 cm和40 cm同为Gaussian模型, $C_0/(C_0+C)$ 分别为31.78%和0, RMSS分别为0.935 1和0.960 8,标准平均值MS分别为-0.009 8和-0.056 6;20 cm和100 cm的最佳理论模型为Pentaspheical, $C_0/(C_0+C)$ 分别为57.65%和46.88%, RMSS分别为0.926 0和1.031 0, MS分别为-0.024 4、-0.034 8;60 cm和80 cm的最佳拟合模型为Exponential和Circular, $C_0/(C_0+C)$ 分别为0和42.85%, RMSS分别为1.166、1.187, MS分别为-0.094 6、0.068 4。研究区 $C_0/(C_0+C)$ 比值都小于75%,属于中等或者强自相关性,各层的 C_0 值也不太大,说明pH值主要受自然系统因素的影响,受随机因素的影响较小。

各养分指标中,表层碱解氮的最佳理论模型是Exponential模型, $C_0/(C_0+C)$ 的值为37.57%,属于中度变异,即属于中等相关性。RMSS为0.906 6, MS为0.017 5;速效磷的理论模型为纯金块效应模型, $C_0/(C_0+C)$ 为100%, RMSS为0.968 2, MS为0.004 6,说明此次采样中的速效磷受随机性因素影响较大,没有自相关性,速效磷的地统计特征没有能很好地表现出来;速效钾的最佳理论模型为Tetraspherical模型, $C_0/(C_0+C)$ 为0, RMSS为1.049, MS为0.029 3,属于强相关性。

表3 土壤盐分、pH 值和养分的变异函数理论模型及其参数

Table 3 Parameters and models of semivariogram for soil salt, pH value and nutrients

土壤特性	土壤深度 (cm)	理论模型	a (m)	C_0	C_0+C	$C_0/(C_0+C)$ (%)	RMSS	MS
电导率	0	Gaussian	3 544.1	7.361 0	19.45	37.85	0.242 7	0.012 4
	20	Pure nugget effect	5 166.7	1.694 4	1.69	100.00	0.365 2	0.017 7
	40	Pure nugget effect	5 166.7	0.935 3	0.94	99.49	0.568 2	-0.029 4
	60	Pentaspheical	5 395.0	0.479 0	0.80	59.87	0.796 5	-0.031 0
	80	Pure nugget effect	5 166.7	11.670 0	11.67	100.00	1.009 0	0.092 6
	100	Pure nugget effect	5 166.7	11.718 0	11.72	99.98	0.707 2	-0.104 0
pH值	0	Gaussian	2 595.4	0.035 0	0.11	31.78	0.935 1	-0.009 8
	20	Pentaspheical	1 606.6	0.034 6	0.06	57.65	0.926 0	-0.024 4
	40	Gaussian	926.64	0.005 5	5.48	0.10	0.960 8	-0.056 6
	60	Exponential	3 590	0.000 0	0.08	0.00	1.166 0	-0.094 6
	80	Circular	5 257	4.978 9	11.62	42.85	1.187 0	-0.068 4
	100	Pentaspheical	4 700	0.028 1	0.06	46.88	1.031 0	-0.034 8
碱解氮	0~20	Exponential	4 506.6	0.916 8	2.44	37.57	0.906 6	0.017 5
速效磷	0~20	Pure nugget effect	5 166.7	3.251 9	3.25	100.00	0.968 2	0.004 6
速效钾	0~20	Tetraspherical	3 035.1	0.069 8	13.47	0.52	1.049 0	0.029 3

4 结论

(1) 研究区土壤电导率过渡带和荒漠区大于绿洲区。绿洲区土壤电导率随深度的增加变化不大, 而过渡带和荒漠区表现为随深度增加逐渐变小的趋势; 荒漠区 pH 值最大, 其次为过渡带, 绿洲区最小。垂直方向上, 绿洲区、过渡带和荒漠区土壤 pH 变化略显复杂; 绿洲区、过渡带和荒漠区土壤中氮磷钾含量都呈现出“丰氮、富钾、贫磷”的特征。绿洲中碱解氮和速效磷含量的平均值都基本高于过渡带和荒漠区, 速效钾含量则低于过渡带和荒漠区。

(2) 过渡带土壤电导率的变异程度要大于绿洲区和荒漠区, 但都属于中等变异程度。土壤电导率变异系数表现为随深度增加呈逐渐变小的趋势; 各层土壤 pH 值的变异系数非常接近, 属于弱变异。绿洲区 pH 值的变异数略大于过渡带和荒漠区; 3 种养分指标中速效磷的变异系数最高, 速效钾其次, 下来是碱解氮, 但三者变异系数均不高, 属于中等变异, 绿洲区各营养元素的变异相对较小。

(3) 土壤电导率值除了表层与 60 cm 深度表现为中等自相关特征, 其余各层都呈纯金块效应, 说明研究区土壤的电导率值很容易受到随机因素的影响; 土壤 pH 值 $C_0/(C_0+C)$ 比值都小于 75%, 属于中等或者强自相关性, 各层的 C_0 值也不太大, 说明 pH 值主要受自然系统因素的影响, 受随机因素的影响较小; 土壤养分指标中, 碱解氮与速效钾的 $C_0/(C_0+C)$ 比值都小于 75%, 属中等或强自相关性, 速效磷则表现为纯金块效应, 完全受随机因素影响。

总之, 地统计学方法在分析土壤特性的空间分异方面具有较强的优越性, 是一种比较实用的方法, 在石羊河流域下游地区水土资源的合理开发利用中有着广泛的应用前景。本文基于地统计学原理, 对石羊河下游民勤湖区土壤盐分、pH 值和养分的空间分异规律进行了初步研究, 该结果对如何进行绿洲荒漠过渡带的开发、利用及保护在理论上具有一定的指导意义, 当然从根本上讲协调人类活动是干旱区生态恢复的首要任务^[23]。

参考文献:

- [1] 盛建东, 杨玉玲, 陈冰, 武红旗. 土壤总盐、pH 及总碱度空间变异特征研究. 土壤, 2005, 37(1): 69-73
- [2] 李亮亮, 依艳丽, 凌国鑫, 王魁. 地统计学在土壤空间变异研究中的应用. 土壤通报, 2005, 36 (2): 265-268
- [3] 高婷婷, 丁建丽, 哈学萍, 张飞, 王飞. 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. 生态学报, 2010, 30(10): 2 695-2 705
- [4] 麦麦提吐尔逊·艾则孜, 海米提·依米提, 艾尼瓦尔·买买提, 王庆峰. 天山西部伊犁河流域土壤盐分特征. 环境科学研究, 2010, 23(6): 774-781
- [5] 石瑞香, 杨小唤, 王立新. 伊犁新垦区土壤养分特征与土地开垦的方向探讨. 资源科学, 2009, 31(12): 2 016-2 023
- [6] 王艳华, 董元杰, 张民, 邱现奎, 胡国庆. 鲁中山区小流域坡面侵蚀土壤养分空间分异特征研究. 土壤, 2011, 43(2): 179-183
- [7] 高富, 沙丽清, 许建初. 西庄河流域土地利用方式对土壤肥力影响的研究. 土壤与环境, 2000, 9(3): 223-226
- [8] 陈亚新, 史海滨, 魏占民. 土壤水盐信息空间变异的预测理论与条件模拟. 北京: 科学出版社, 2005: 8-12
- [9] 宋莎, 李廷轩, 王永东, 张锡洲. 县域农田土壤有机质空间变异及其影响因素分析. 土壤, 2011, 43(1): 44-49
- [10] 姚荣江, 杨劲松, 姜龙. 黄河三角洲土壤盐分空间变异性与合理采样数研究. 水土保持学报, 2006, 20(6): 89-94
- [11] 尹业彪, 李霞, 郭玉川, 董新光. 孔雀河畔土壤盐分空间变异及格局分析. 新疆农业大学学报, 2010, 33(3): 244-249
- [12] 贾艳红, 赵传燕, 南忠仁, 万研新. 黑河下游地下水波动带土壤盐份空间变异性研究. 土壤学报, 2008, 45(3): 420-430
- [13] 张敏, 贺鹏飞, 陈伟强. 基于GIS和地统计学的土壤养分空间变异分析. 东北农业大学学报, 2006, 29(2): 65-70
- [14] 史利江, 郑丽波, 柳云龙. 农田土壤养分空间变异特征研究. 河南农业大学学报, 2008, 42(1): 51-56
- [15] 杨艳丽, 史学正, 于东升, 王洪杰, 徐茂, 王果. 区域尺度土壤养分空间变异及其影响因素研究. 地理科学, 2008, 28(6): 788-792
- [16] 刘阳, 盛建东, 蒋平安. 区域土壤养分空间变异研究——以新疆生产建设兵团农一师16团为例. 新疆农业大学学报, 2006, 29(2): 65-70
- [17] 李丹, 张勃, 戴声佩, 吕永清, 周文昊. 民勤绿洲耕地荒地退耕还林地土壤肥力及物理特性比较研究. 土壤, 2011, 43(3): 398-405
- [18] 张凯, 冯起, 吕永清, 张勃, 司建华. 民勤绿洲荒漠带土壤水分的空间分异研究. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1 149-1 155
- [19] 中国科学院南京土壤所. 土壤理化分析. 上海: 上海科学技术出版社, 1978: 196-211
- [20] 王政权. 地统计学及在生态学中的应用. 北京: 科学出版社, 1999: 74-96
- [21] 赵彦锋, 史学正, 黄标, 于东升, 王洪杰. 工业型城乡交错区农业土壤Zn的空间分异及其影响因子探讨——以无锡市为例. 土壤, 2006, 38(1): 29-35
- [22] 杨劲松, 姚荣江, 刘广明, 孔祥勇, 张芳. 黄河三角洲地区土

- 壤盐分的空间变异性及其CoKriging估值. 干旱区研究, 2006, 23(3): 439-445
- [23] 张勃, 孟宝, 郝建秀, 丁文晖. 干旱区绿洲—荒漠带土壤水盐异质性及生态环境效应研究. 中国沙漠, 2006, 26(1): 81-84

Study on Spatial Variations of Soil Properties in Minqin Lake Area of Shiyang River Lower Reaches

ZHANG Kai^{1,2,3}, FENG Qi², LV Yong-qing⁴, ZHANG Bo⁴, LI Qiao-zhen³, SI Jian-hua²

(1 Key Laboratory of Arid Climatic Changing and Reducing Disaster of Gansu Province, Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 2 Cold and Arid Region Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China; 3 Meteorological Bureau of Dingxi City, Dingxi, Gansu 743000, China; 4 Department of Geographic and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: Based on field tests and laboratory analyses, spatial variations of soil salt, pH value and nutrients in Minqin Lake area of Shiyang River lower reaches were studied. The results showed that the maximum of soil conductivity, soil pH value and available potassium were located in desert region and the minimum in oasis, while the maximum of available nitrogen and available phosphorus were located in oasis and the minimum in desert. The changes of soil conductivity and soil pH value were slightly complicated from the top to deeper layer. Soil nutrients in the study area were of abundant nitrogen, rich potassium but poor phosphorus; in horizontal and vertical direction, soil conductivity, N, P, and K all showed medium variation, while soil pH value small variation. Only soil conductivity of the top layer and at 60 cm had medium degrees of autocorrelation. Soil conductivity of other layers all showed pure nugget effect, showing it was easily affected by random factors. Soil pH value showed medium or strong autocorrelation. The nugget of pH value was small in each soil layer, meaning it was mainly affected by natural factors. Available nitrogen and potassium showed medium or strong autocorrelation. Available phosphorus showed pure nugget effect, meaning it was affected by random factors.

Key words: Soil, Salt, pH value and nutrients, Spatial differentiation, Minqin Lake area