

压砂地土壤盐分空间变异规律

唐学芬¹, 赵文举¹, 李宗礼^{1,2}, 郁文¹

(1. 兰州理工大学 能源与动力工程学院, 甘肃 兰州 730050; 2. 水利部 水利水电规划设计总院, 北京 100120)

摘要: [目的] 研究不同种植年限压砂地及裸地不同土层土壤盐分的空间变异特征, 为西北干旱地区土壤盐渍化改良和利用提供理论依据。[方法] 以甘肃省景泰县压砂地及裸地不同土层土壤盐分数据为基础, 运用经典统计学和地统计学相结合的方法, 分析土壤盐分统计特征值, 半方差模拟模型及其拟合参数和等值线分布图。[结果] 压砂地土壤盐分均值明显低于裸地, 且裸地 > 老砂地 > 新砂地 > 中砂地, 裸地与压砂地各层土壤盐分的均值差异较大, 且土层 IV (30—50 cm) > 土层 III (20—30 cm) > 土层 II (10—20 cm) > 土层 I (0—10 cm); 裸地 II, III, IV 层, 中砂地各层土壤盐分属于弱变异性, 其他各地型各土层土壤盐分都属于中等变异性。裸地 I, III 层, 新砂地 III 层, 中砂地 I 层, 老砂地 I, II, III 层土壤盐分半方差函数最佳理论模型为指数模型, 裸地 II 层为线性模型, 其他各地型各土层均为球状模型。裸地 II 层土壤盐分具有弱空间相关性, 其余各土层土壤盐分均具有强相关性。试验区土壤盐分北部高于南部, 且各土层土壤盐分在一定范围内存在空间上的变异性 and 相关性。[结论] 土壤表层压砂能有效减小土壤盐分表聚, 抑制土壤次生盐渍化, 不同种植年限压砂地不同土层土壤盐分在一定范围内存在空间上的变异性 and 相关性。

关键词: 压砂地; 土壤盐分; 地统计学; 空间变异性

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)03-0018-06

中图分类号: S156.4

文献参数: 唐学芬, 赵文举, 李宗礼, 等. 压砂地土壤盐分空间变异规律[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 18-23. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2016.03.005

Variation Pattern of Soil Salinity of Gravel-sand Mulched Field

TANG Xuefen¹, ZHAO Wenju¹, LI Zongli^{1,2}, YU Wen¹

(1. School of Energy and Power Engineering, Lanzhou University of Technology,

Lanzhou, Gansu 730050, China; 2. General Institute for Water Resources and

Hydropower Planning and Design, Ministry of Water Resources, Beijing 100120, China)

Abstract: [Objective] We studied the variation pattern of soil salinity at different layer of GSM (gravel-sand mulched field) and CK in order to provide basis for improvement and utilization of soil salinization in the northwest arid area in China. [Methods] Based on the statistics at different layer of GSM and CK, classical statistics and geo-statistics were used to analyze the statistical characteristic value, semi-variance simulation model and its fitting parameters, and the isocline distribution map of soil salinity in Jingtai County of Gansu Province. [Results] Mean soil salinity of GSM was lower than that of CK, and the result showed: CK > OGM (old gravel-sand mulched field) > NGM (new gravel-sand mulched field) > MGM (middle gravel-sand mulched field). There were significant differences in soil salinity among different layers of GSM and CK, and the result showed: layer IV (30—50 cm) > layer III (20—30 cm) > layer II (10—20 cm) > layer I (0—10 cm). The variations of soil salinity in layer II, III, IV (CK) and MGM were weak, while variations in other layers were moderate. The best semi-variance theory model of layer II (CK) was linear model, the optimal model for layer I, III (CK), layer III (NGM), layer I (MGM) and layer I, II, III (OGM) was exponential model, while the best model for other layers was spherical model. The spatial auto-correlation of soil salinity at layer II (CK) was lower, while it was high at other layers. The soil salinity in northern area was higher than that in southern area.

收稿日期: 2015-07-03

修回日期: 2015-10-09

资助项目: 国家自然科学基金项目“压砂地土壤水分时空变异理论与模型研究”(51269008); 兰州理工大学红柳青年教师培养计划资助项目(Q201310)

第一作者: 唐学芬(1991—), 女(汉族), 甘肃省永靖县人, 硕士研究生, 研究方向为农业水土工程。E-mail: tang1202@163.com。

通讯作者: 赵文举(1981—), 男(汉族), 甘肃省永昌县人, 博士, 副教授, 主要从事农业水土工程方面的研究。E-mail: wenjuzhao@126.com。

[Conclusion] Gravel sand on soil surface can reduce soil salt accumulation and control soil secondary salinization, and there is spatial variability and correlation exists in soil salinity among different layer of GSM and CK.

Keywords: gravel-sand mulched field; soil salinity; geo-statistics; spatial variability

土壤表层压砂能有效地改善土壤环境、减少水分蒸发、增加雨水入渗、蓄水保墒、增温保温^[1]。土壤作为历史自然体,受气候、生物、母质、地形、成土时间等諸多成土因素的影响,具有复杂性和高度的时空变异性,不论在大尺度还是在小尺度上,土壤的空间变异性均存在^[2]。自然界土壤分布极为复杂,同一质地的土壤在同一平面或不同深度上并不完全均质,其它土壤特性参数在各点的值也不相同,这种土壤特征在空间分布上的非均一性,称为土壤特性的空间变异性。土壤空间变异性的研究方法由最初的经典统计学方法已经发展到了时序分析方法、地统计学方法、随机模拟方法、分形和分维方法。20世纪70年代, Burgess等^[3]将地统计学的方法引入土壤科学研究领域^[4],克服了经典的 Fisher 统计理论在研究土壤性质空间变异性规律方面的不足。地统计学已被证明是分析土壤特性空间分布特征及其规律的有效方法之一。

自20世纪80年代以来,国内外已有很多利用地统计学理论对土壤盐渍化程度的空间变异以及区域水、盐空间分布动态变化的研究。国内学者赵成义等^[5]通过研究田块尺度下土壤水分和盐分的空间变异性,得出土壤水分和盐分在一定范围内存在空间相关性。胡克林等^[6]通过对一块麦田内的98个观测点取样分析,测定了2个时期的土壤水分和盐分含量,发现两个时期的水分和盐分在一定范围内均存在空间相关性。国外学者 M Sylla 等^[7]研究了非洲西部水稻农业生态系统在不同尺度上的土壤盐分空间变异性,研究结果表明地统计学可表明影响盐分空间变异性的复杂因素。Mohammadi J 等^[8]运用地统计学克里格法研究了土壤盐分空间变异性,得出地统计学工具可计算土壤盐分分布。盐碱化是干旱区土壤的一个普遍特征,土壤盐渍化问题是制约干旱区农业生产发展的主要障碍,也是影响绿洲生态环境稳定的重要因素^[9]。土壤盐分的分异状态在一定程度上反映了土壤耕作层内的盐渍化程度和状态,了解其分异对于指导人们根据土壤盐分空间规律和变化动态进行灌溉和排水及制订防治土壤盐渍化措施,保证土地质量,提高农业产量具有重要意义。目前,国内外学者利用地统计学理论对土壤盐渍化程度的空间变异以及水盐空间分布开展了大量的研究,但是针对西北干旱区压砂地土壤特性空间变异研究较少。为此,本文采用半方差函数分析景泰地区压砂地土壤盐分的空

间变异性,旨在为西北干旱地区土壤盐渍化改良和利用提供一定的理论依据。

1 试验区概况

研究区位于甘肃省景泰县兰州理工大学试验基地附近,地处西部河西走廊东端,甘、蒙、宁3省(区)交界处,黄土高原与腾格里沙漠的过渡地带。土壤类型主要为洪积灰棕荒漠土和灰钙土。景泰县地处季风区与非季风区过渡地带,有降水稀少且集中,年内分配和地区分布不均,年际变化大的特点,年均降水量185 mm,多集中在7—9这3个月,占全年降水量的61.4%,年均蒸发量3 038 mm,是降水量的16倍。光热资源丰富,年日照时约为2 725 h,日照百分率62%,太阳年平均辐射约147.8 kcal/cm²,年 ≥ 0 °C的活动积温3 614.8 °C, ≥ 10 °C的有效积温3 038 °C,无霜期141 d,年均温度8.2 °C,极端最高气温36.6 °C,极端最低气温-27.3 °C。

2 材料与方 法

2.1 土壤采样与分析

为了研究景泰地区压砂地土壤盐分空间分布特征,选取不同种植年限且为休耕土地的压砂地,用GPS定位在样地中心的空地作土壤剖面,确定土壤样点。压砂地砂石层厚度均为10 cm,样地取样面积为32 m \times 32 m,矩形取样,测点尺寸为1 m \times 1 m,每1 m²内取一点,测点中心距为4 m,共64个取样点,均为单点采样。分别对0—10,10—20,20—30和30—50 cm土层进行分层采样。土壤样品的取样方法为土钻取样法,所用工具为土钻,样品的采集重量为60~70 g。为提高以后根据土壤样点数据分析成图的精度,样点必须比较均匀地分布在全工作区域内。现场调查和取样在2013年5—8月和2014年5—8月进行。

土壤电导率与土壤含盐量密切相关,野外土壤盐分测定多采用测量电导率来表征土壤含盐特征^[10]。对所采集的土壤样品进行风干,过2 mm筛备用,所有的土样均制备5:1水土比浸提液并测定其电导率。测定方法是电导仪法。

2.2 研究方法

半方差函数,也称空间变异函数,是用来描述区域化变量结构性和随机性并存这一空间特征而提出的,是描述土壤特性空间变异结构的一个函数。半方

差函数的重要参数包括:块金系数(Nugget)、基台值(sill)、变程(range),主要用来表示区域化变量在一定尺度上的空间变异和相关程度。

半方差函数 $\gamma(h)$ 的计算式:

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

式中: $\gamma(h)$ ——半方差值; h ——样本间距; $N(h)$ ——间距为 h 的样本对数; $Z(x_i+h)$, $Z(x_i)$ —— x_i+h , x_i 处的测定值。

压砂地的划分为以种植年限为基准:新砂地

(NGM)种植年限不足 10 a,中砂地(MGM)种植年限为 25~30 a,老砂地(OGM)种植年限为 45~60 a 的压砂地^[11],裸地(CK)为对照组。

3 结果与分析

3.1 土壤盐分的统计特征分布

对土壤盐分数据进行统计特征分析是建立土壤盐分变异模型的前提和基础,因此对压砂地与裸地各土层土壤盐分数据按经典统计方法进行初步的特征值计算,其统计特征值见表 1。

表 1 土壤盐分统计特征值

地型	土层深度/cm	样本数	最大值/ (g·kg ⁻¹)	最小值/ (g·kg ⁻¹)	均值/ (g·kg ⁻¹)	标准差	变异系数/ %	偏度	峰度	K-S
裸地 (CK)	0—10(I)	64	7.09	0.76	2.52	0.421	16.71	1.595	3.389	0.000
	10—20(II)	64	8.29	3.16	5.25	0.374	7.12	1.010	1.585	0.005
	20—30(III)	64	10.27	3.04	5.64	0.343	6.08	1.307	6.483	0.000
	30—50(IV)	64	9.94	4.48	7.29	0.346	4.75	0.523	0.829	0.034
新砂地 (NGM)	0—10(I)	64	1.15	0.13	0.34	0.052	15.29	2.194	8.866	0.008
	10—20(II)	64	2.29	0.16	0.43	0.110	25.58	3.625	16.601	0.000
	20—30(III)	64	3.22	0.13	0.57	0.166	29.12	3.376	13.878	0.000
	30—50(IV)	64	4.30	0.19	0.93	0.252	27.09	2.420	7.116	0.000
中砂地 (MGM)	0—10(I)	64	0.61	0.19	0.32	0.023	7.19	1.323	3.654	0.000
	10—20(II)	64	0.55	0.19	0.34	0.022	6.47	0.735	1.414	0.013
	20—30(III)	64	0.49	0.22	0.35	0.022	6.29	0.558	-0.082	0.005
	30—50(IV)	64	0.55	0.22	0.37	0.033	8.92	2.228	9.261	0.000
老砂地 (OGM)	0—10(I)	64	3.46	0.52	1.54	0.194	12.59	1.106	2.054	0.015
	10—20(II)	64	3.94	1.06	2.23	0.228	10.22	0.536	-0.333	0.022
	20—30(III)	64	4.81	1.06	2.83	0.291	10.28	0.440	-0.148	0.200
	30—50(IV)	64	4.78	1.72	3.64	0.600	16.48	3.368	15.170	0.200

由表 1 可得,压砂地与裸地各土层盐分的特征数值均表现出明显的差异性。新砂地和中砂地土壤盐分均值小于 1.0 g/kg,属于非盐化土;老砂地 I 层土壤盐分均值介于 1.0~2.0 g/kg,属于轻度盐化;裸地 I 层、老砂地 II, III, IV 层土壤盐分均值在 2.0~4.0 g/kg 之间,属于中度盐化;裸地 II, III, IV 层土壤盐分均值在 5.23~7.30 g/kg 之间,都大于 4.0 g/kg,总体上属于重度盐化类型。压砂地土壤盐分均值明显低于裸地,且裸地>老砂地>新砂地>中砂地,说明压砂地具有明显的抑盐作用,许强等^[12]研究认为在连续种植 4~5 a 后压砂地的有机质、全氮、速氮等养分达到最高后不断下降,含盐量降低。老砂地土壤盐分较新砂地和中砂地大,原因在于随着种植年限的增加,压砂地退化程度加重,较多的土粒混入砂层中,保墒作用逐渐减弱,致使土壤水分流失严重,土壤表层返盐量增大,土壤易发生盐碱化。裸地与压砂地各层土壤盐分的均值差异较大,且土层 IV>土层 III>土层 II>土层 I,说明各层土壤盐分平均含量在垂直方向

上变异较强。裸地 II, III, IV 层,中砂地各层土壤盐分变异系数<10%,属于弱变异性,其他各地型各土层土壤盐分的变异系数都在 10%~100%之间,属于中等变异性;各地型土壤盐分偏度均为正值,各数据都呈正偏态分布;裸地 II, IV 层,中砂地 II, III 层,老砂地 I, II, III 层土壤盐分峰度小于 3 呈低峰态分布外,其余数据正态分布性不好。变异函数的计算一般要求数据符合正态分布,否则可能存在比例效应^[13]。通过 K-S 检验发现,除老砂地 III, IV 层土壤盐分服从正态分布外,其他均为非正态分布。因此,要对非正态分布的数据进行对数转换,以消除插值过程中可能存在的正比例效应。

3.2 土壤盐分空间变异特征分析

压砂地与裸地各层土壤盐分表现出了空间等方向性。采用 GS⁺9.0 软件分别对各地型各土层土壤盐分进行分析,其半方差模拟模型及其拟合参数见表 2。以新砂地为例,地统计学分析的半方差函数及其模型拟合结果如图 1 所示。

表 2 土壤盐分半方差函数模型参数

地型	土层深度/cm	理论模型	块金值 (C_0)	基台值 (C_0+C)	变程(a)	块金效应值 (C_0/C_0+C)	决定系数 (R^2)
裸地 (CK)	0—10(I)	指数	0.035 0	0.849 0	7.86	0.041	0.882
	10—20(II)	线性	0.043 5	0.043 5	16.88	1.000	0.692
	20—30(III)	指数	0.002 2	0.030 6	9.00	0.072	0.979
	30—50(IV)	球状	0.000 3	0.018 9	6.57	0.016	0.584
新砂地 (NGM)	0—10(I)	球状	0.004 4	0.057 7	9.83	0.076	0.952
	10—20(II)	球状	0.029 1	0.128 2	11.55	0.227	0.998
	20—30(III)	指数	0.014 8	0.188 6	12.06	0.078	0.989
	30—50(IV)	球状	0.063 6	0.270 2	12.35	0.235	0.994
中砂地 (MGM)	0—10(I)	指数	0.000 8	0.014 9	7.83	0.054	0.981
	10—20(II)	球状	0.000 5	0.014 3	7.13	0.035	0.955
	20—30(III)	球状	0.000 7	0.014 3	8.76	0.049	0.987
	30—50(IV)	球状	0.003 1	0.025 7	6.44	0.121	0.594
老砂地 (OGM)	0—10(I)	指数	0.015 4	0.149 8	35.76	0.103	0.990
	10—20(II)	指数	0.000 3	0.097 8	22.26	0.003	0.961
	20—30(III)	指数	0.000 1	0.097 2	16.11	0.001	0.867
	30—50(IV)	球状	0.010 0	0.133 0	9.20	0.075	0.861

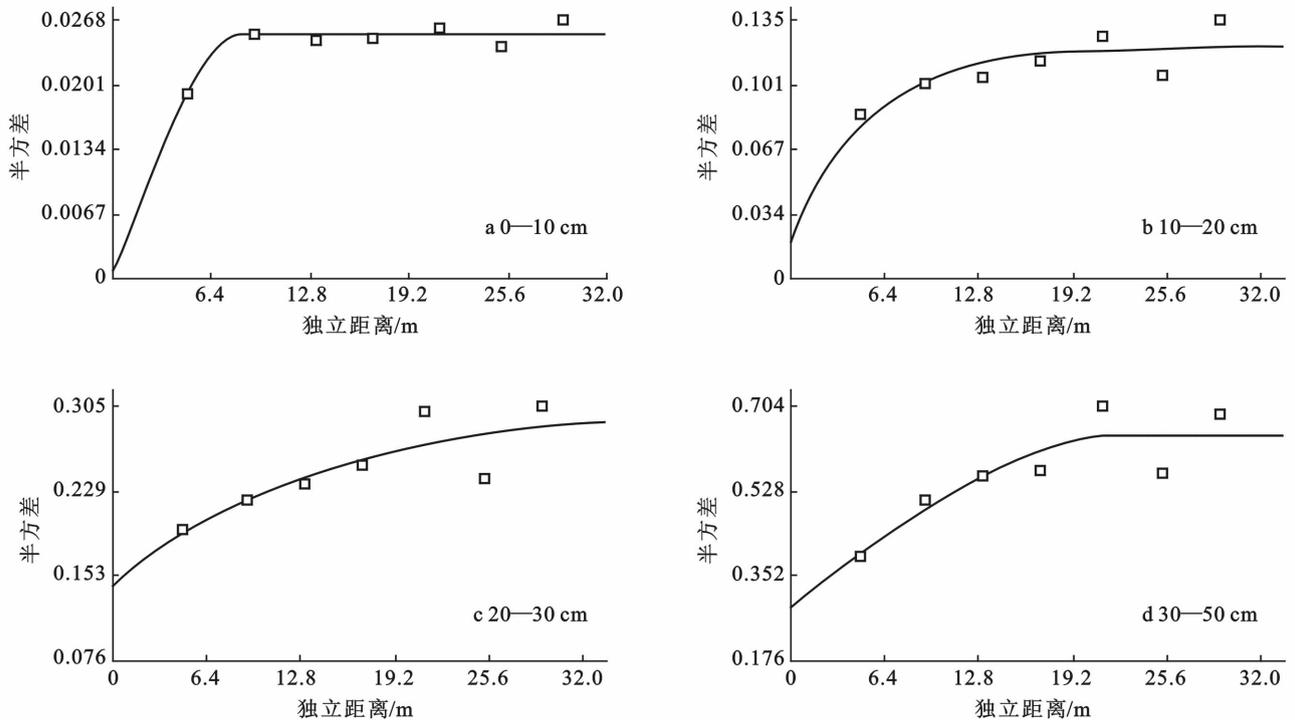


图 1 新砂地各土层土壤盐分半方差

由表 2 可得,裸地 I, III 层土壤盐分半方差函数最佳理论模型为指数模型, II 层为线性模型, IV 层为球状模型,各层变程为 6.57~16.88 m;新砂地 I, II, IV 层土壤盐分半方差函数最佳理论模型为球状模型, III 层为指数模型,各层变程为 9.83~12.35 m;中砂地第 I 层土壤盐分半方差函数最佳理论模型为指数模型,其余各层均为球状模型,各层变程为 6.44~8.76 m;老砂地 I, II, III 层土壤盐分半方差函数最佳理论模型为指数模型, IV 层为球状模型,各层变程为 9.20~35.76 m。各模型决定系数在 0.584~0.998,

说明理论模型能很好的反应土壤盐分含量的空间结构特征。按照区域化变量空间相关程度的分级标准^[4],裸地第 II 层块金效应值大于 0.75,土壤盐分具有弱空间相关性,其余各层土壤盐分块金效应值均小于 0.25,土壤盐分具有强相关性。

3.3 土壤盐分空间分布特征分析

为准确直观地描述压砂地与裸地各层土壤盐分在空间上的分布,在获得土壤盐分的半方差函数模型后,以新砂地及老砂地为例,利用 Suffer 8.0 软件进行 Kriging 插值,并绘制空间分布及等值线图(如图 2 所示)。

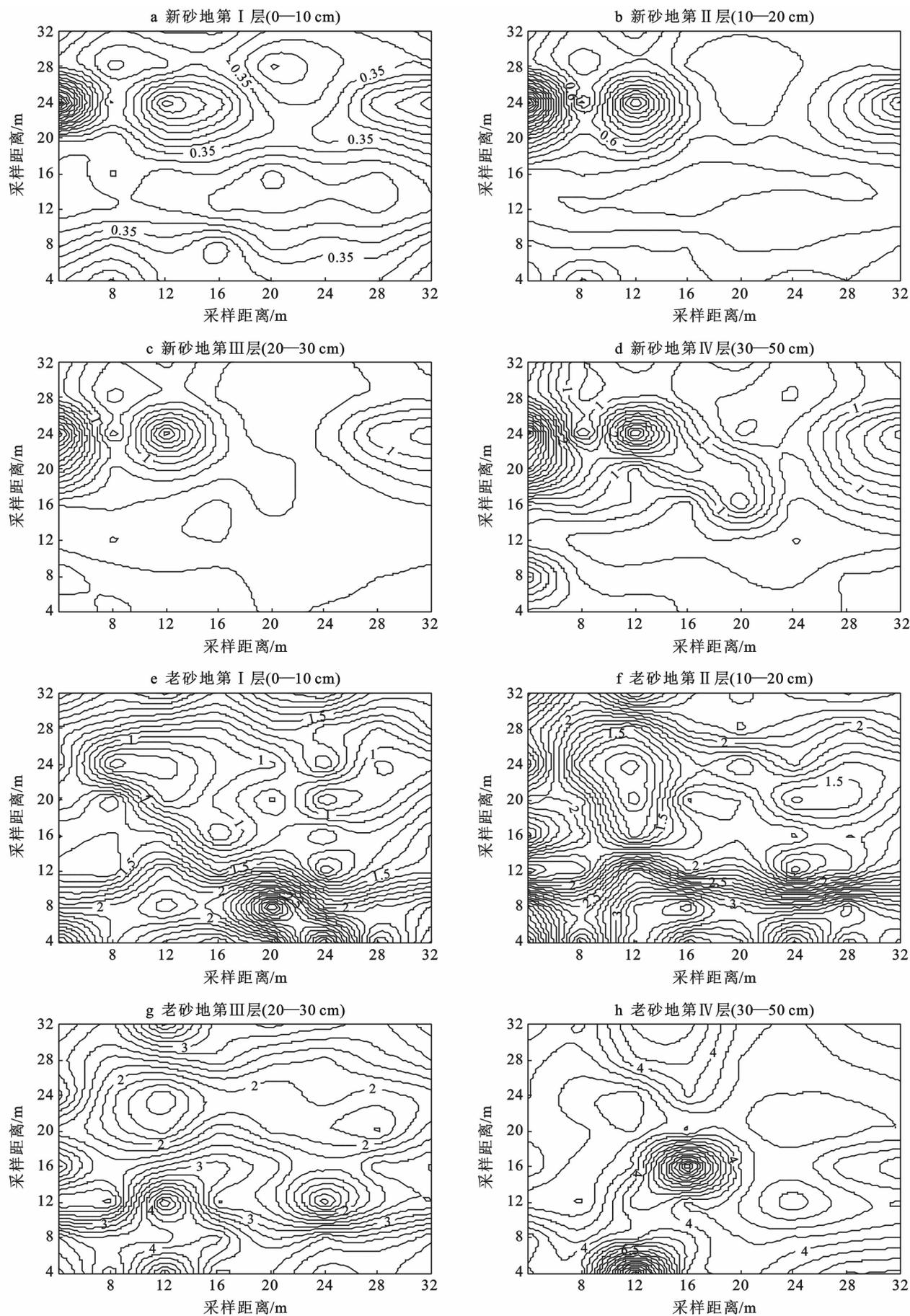


图 2 新砂地及老砂地各土层土壤盐分分布

由图2可知,新砂地各土层土壤盐分均呈现出条状带和斑块状格局。第I层的土壤盐分在0.13~1.15 g/kg之间变化,第II层的土壤盐分在0.16~2.29 g/kg之间变化,第III层的土壤盐分在0.13~3.22 g/kg之间变化,第IV层的土壤盐分在0.19%~4.30%之间变化;从整体上看,试验区土壤盐分北部高于南部,且各层土壤盐分分布在空间上存在着较强的相关性。从局部上看,第I层,第II层,第III层土壤盐分具有相似的空间分布规律,在西北部和东北部较大;第IV层土壤盐分与I,II,III层相比,分布较均匀,且各土层土壤盐分在一定范围内存在空间上的变异性和相关性。从疏密程度看,各层土壤盐分空间变异性第IV层>第III层>第II层>第I层。老砂地第I层土壤盐分介于0.52~3.46 g/kg,第II层土壤盐分介于1.03~3.94 g/kg,第III层土壤盐分介于1.06~5.17 g/kg,第IV层土壤盐分介于1.57~13.27 g/kg。老砂地土壤盐分整体上南部高于北部,与新砂地相反,这与随着种植年限的增加土壤盐分迁移有关。

4 讨论与结论

(1) 经典统计分析表明,裸地与压砂地各土层盐分的特征参数值均表现出明显的差异性。新砂地和中砂地属于非盐化土;老砂地I层属于轻度盐化;裸地I层、老砂地II,III,IV层属于中度盐化;裸地II,III,IV层属于重度盐化类型。压砂地土壤盐分均值明显低于裸地,说明压砂地具有明显的抑盐作用。裸地与压砂地各层土壤盐分的均值差异较大,各层土壤盐分平均含量在垂直方向上变异较强。裸地II,III,IV层,中砂地各层土壤盐分属于弱变异性,其他各地型各土层土壤盐分的变异系数都属于中等变异性,且变异性均比较低。

(2) 地统计学分析表明,裸地I,III层土壤盐分半方差函数最佳理论模型为指数模型,II层为线性模型,IV层为球状模型;新砂地I,II,IV层土壤盐分半方差函数最佳理论模型为球状模型,III层为指数模型;中砂地第I层土壤盐分半方差函数最佳理论模型为指数模型,其余各层均为球状模型;老砂地I,II,III层土壤盐分半方差函数最佳理论模型为指数模型,IV层为球状模型。裸地第II层土壤盐分具有弱空间相关性,其余各层土壤盐分具有强相关性。

(3) 对新砂地及老砂地运用Surfer 8.0绘制土壤含水量等值线分布图,从Kriging插值的结果可知,新砂地试验区土壤盐分北部高于南部,老砂地土壤盐分整体上南部高于北部,与新砂地相反,各层土

壤盐分分布在空间上存在着较强的相关性。新砂地第I,II,III层土壤盐分具有相似的空间分布规律,在西北部和东北部较大;第IV层土壤盐分与I,II,III层相比,分布较均匀,且各土层土壤盐分在一定范围内存在空间上的变异性和相关性。

[参 考 文 献]

- [1] 王平,谢成俊,陈娟.不同种植年限砂田水盐变化与砂田退化初探[J].水土保持通报,2012,32(2):251-254.
- [2] 刘继龙,马孝义,付强,等.不同土层土壤特性空间变异性关系的联合多重分形研究[J].农业机械学报,2012,43(5):37-42.
- [3] Burgess T M, Webster R. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties: The semivariogram and punctual Kriging[J]. Journal of Soil Science, 1980, 31(2):315-341.
- [4] Webster R. Quantitative spatial analysis of soil in the field[M] // Advances in Soil Science. Springer New York, 1985:1-70.
- [5] 赵成义,王玉潮,李子良,等.田块尺度下土壤水分和盐分的空间变异性[J].干旱区研究,2003,20(4):252-256.
- [6] 胡克林,李保国,陈德立,等.农田土壤水分和盐分的空间变异性及其协同克立格估值[J].水科学进展,2001,12(4):460-466.
- [7] Sylla M, Stein A, van Breemen N, et al. Spatial variability of soil salinity at different scales in the mangrove rice agro-ecosystem in West Africa [J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1995,54(1):1-15.
- [8] Mohammadi J. Study of the spatial variability of soil salinity in Ramhormoz Area (Khuzestan) using geostatistical theory 1: Kriging[J]. JWSS-Isfahan University of Technology, 1999,2(4):49-64.
- [9] Li Jianguo, Pu Lijie, Han Mingfang, et al. Soil salinization research in China: Advance and prospects[J]. Journal of Geographical Science, 2014,24(5):943-960.
- [10] 姚荣江,杨劲松,韩建均.海涂围垦区土壤盐分空间变异模拟的比较研究[J].土壤学报,2012,49(2):275-281.
- [11] Li Xiaoyan. Gravel-sand mulch for soil and water conservation in the semiarid region of Northwest China [J]. Catena, 2003,52(2):105-127.
- [12] 许强,吴宏亮,康建宏,等.旱区砂田肥力演变特征研究[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):37-41.
- [13] 杨劲松,姚荣江,刘光明,等.黄河三角洲地区突然盐分的空间变异性及其CoKriging估值[J].干旱区研究,2006,23(3):439-445.
- [14] 余冬立,邵明安,俞双恩.黄土区农草混合利用坡面土壤水分空间变异性[J].农业机械学报,2010,41(7):57-63.