

赵伶俐,王福平. 宁夏南部黄土丘陵地土壤水分空间变异性分析[J]. 江苏农业科学,2019,47(24):236-240.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.24.055

宁夏南部黄土丘陵地土壤水分空间变异性分析

赵伶俐¹, 王福平²

(1. 北方民族大学电气信息工程学院, 宁夏银川 750021; 2. 北方民族大学创新创业教育中心, 宁夏银川 750021)

摘要:基于不同采样幅度、不同季节测定的土壤水分数据,应用统计学和地统计学方法分析了宁夏南部干旱半干旱区黄土丘陵地土壤水分的空间变异性。结果表明:(1)土壤水分的变异系数与研究区域采样面积的大小有关,采样面积增大,变异系数增大,变异性增大,变异系数增大到一定数值时趋于稳定,不再随着采样面积的增大而无限增大。(2)不同季节土壤水分空间变异性均表现出较强的季节性特征,夏季土壤水变异系数最大,秋季土壤水变异系数最小。表层土壤水分的变异系数大于深层的变异系数。(3)不同季节表征土壤水分空间变异相关程度的参数空间异质比均小于 25%,表现出强烈的空间相关性。土壤水分的空间分布表现为东南部区域的土壤含水量高于西北区域的。表层土壤水分空间分布破碎化程度较高,深层土壤水整体分布相对均匀。

关键词:土壤水分;空间变异性;空间分布;宁夏南部丘陵地

中图分类号: S152.7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)24-0236-05

土壤含水量是土壤特性的动态组成部分,土壤含水量的空间分布受到气候、水文地质、地理等因素的影响,在空间分布上表现出复杂性和不确定性,土壤水分这种随空间分布位置发生变化而变化的性质,称为土壤含水量的空间变异

性^[1]。同时土壤含水量的空间变异性也随研究尺度、季节变化和植被因子等的影响而异。描绘出某地区的土壤含水量空间变异性 and 分布特征,对了解当地土壤湿度、生态环境质量和农业生产等信息是不可或缺的,为土壤水分有效利用、植被合理布局和生态环境可持续发展提供依据。

宁夏南部山区地处黄土高原的西北边缘,地形有丘陵、山地和盆地,气候和水文属于干旱半干旱区,地表植被覆盖稀疏,生态环境脆弱,水土流失严重,干旱少雨缺水,面临着严峻的生态重建问题^[2]。研究该地区土壤水分的空间变异性 and 空间分布特征可为当地的水资源研究、生态重建提供参考。

收稿日期:2018-10-16

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(编号:2018XYZDX04)。

作者简介:赵伶俐(1976—),女,陕西榆林人,硕士,副教授,主要从事节水农业和土壤生态方面研究。E-mail:zhaoll1225@163.com。

足实时性需要。本研究提出了一种基于 AI 和 AL 的改进 PSO + OTSU 算法,在改进超绿图像分割中获得了良好的表现。本研究还提出了一种超绿图像改进策略,通过 G - R 和 G - B 的线性组合得到一幅改良后的灰度图像,从而过滤了大部分背景信息,降低复杂背景对阈值分割精度的影响。试验结果表明,相较于标准 PSO + OTSU 算法,改进 PSO + OTSU 算法在保持较好稳定性的前提下具有分割精度好,分割效率高、健壮性强的特点,能够满足除草机器人苗草实时分离系统的现实需要。在本研究的基础上,进一步研究如何减小算法的错分率、提高稳定性将是今后研究的主要内容。

参考文献:

- [1] 徐少平,刘小平,李春泉,等. 基于区域最大相似度的快速图像分割算法[J]. 光电子·激光,2013,24(5):990-998.
- [2] 李伟涛,彭道黎,吴 见. 基于改进边缘分割算法的幼苗信息提取[J]. 农业机械学报,2014,45(4):259-263,303.
- [3] 龙建武,申铨京,臧 慧,等. 高斯尺度空间下估计背景的自适应阈值分割算法[J]. 自动化学报,2014,40(8):1773-1782.
- [4] 刘桂红,赵 亮,孙劲光,等. 一种改进粒子群优化算法的 Otsu 图像阈值分割方法[J]. 计算机科学,2016,43(3):309-312.
- [5] 王宏文,梁彦彦,王志华. 基于新遗传算法的 Otsu 图像阈值分割方法[J]. 激光技术,2014,38(3):364-367.

- [6] 赵于前,李慧芬,王小芳. 基于模拟退火算法的多阈值图像分割[J]. 计算机应用研究,2010,27(1):380-382.
- [7] 魏晶晶,马 瑜,夏 瑞,等. 基于分数阶粒子群的 Otsu 图像分割算法[J]. 计算机工程与设计,2017,38(12):3284-3290.
- [8] Woebbecke D M, Meyer G E, von Bargen K, et al. Color indices for weed identification under various soil, residue, and lighting conditions[J]. Transactions of the ASAE, 1995, 38(1):259-269.
- [9] 李 南. 基于机器视觉的锄草机器人快速作物识别方法研究[D]. 北京:中国农业大学,2017.
- [10] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 1979, 9(1):62-66.
- [11] Kennedy J. Particle swarm optimization[J]. Encyclopedia of Machine Learning, 2010(4):760-766.
- [12] 赵 莉,董玉民. 基于量子遗传的混合粒子群优化算法[J]. 计算机工程与设计,2014,35(7):2566-2571.
- [13] 南杰琼,王晓东. 改进惯性权值的粒子群优化算法[J]. 西安工程大学学报,2017,31(6):835-840.
- [14] 宣 杰,张 琳,王汝传. 基于改进 PSO 的自适应 FCM 聚类算法[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版),2016,36(6):59-64,73.
- [15] 徐从东,陈 春. 一种自适应动态控制参数的粒子群优化算法[J]. 计算机工程,2013,39(10):203-207.

1 研究区与研究方法

1.1 研究区概况

研究区位于宁夏回族自治区南部山区的固原市原州区、泾源县和中卫市海原县等地的黄土丘陵地,地理位置在 $105^{\circ}58' \sim 106^{\circ}32'E$, $35^{\circ}36' \sim 36^{\circ}38'N$ 之间。气候属干旱和半干旱区,春季干旱气温多变,夏季短暂凉爽,秋季温凉干燥,冬季寒冷漫长。年平均降水量 492.2 mm,大多集中在 6—9 月,年蒸发量 1 753.2 mm。境内水资源贫乏,地表水主要来源于自然降水,地下水主要利用清水河,研究区地形多丘陵山地、缓坡。土壤以黄绵土为主,属于粉质壤土,土地利用类型有农地、撂荒地和草地,自然植被主要以天然牧草、蒿草、柠条等。

土壤含水量数据的采集在宁夏固原市原州区开城镇三十里铺村,在不同土地利用类型和空间位置进行样点选择和布设。在 2017 年 3 月(春)、6 月(夏)和 9 月(秋)无降雨期间,每个月选择坡度、质地、土壤类型一致的样地进行土壤含水量测定,取样深度为 0~15 cm 的表层土样和深度为 15~30 cm 的深剖面土样,利用烘干称重法和土壤水分传感器测定土壤含水量。

1.2 研究方法

利用经典统计学和地统计学方法研究土壤含水量的空间变异性和空间分布特征。

(1)采集土壤含水量样本数据。

(2)计算土壤含水量的统计特征值如平均值、标准差、变异系数等,判断土壤水分的变异性。

(3)对土壤含水量数据进行半方差计算,半方差拟合与最优模型选择。

(4)确定变异函数的重要参数,利用参数分析土壤含水量空间变异相关性的强弱。

(5)进行克里格插值,将空间点数据转化成面数据,给出土壤湿度的空间分布图,分析土壤含水量的空间分布特征。

2 结果与分析

2.1 采样幅度对土壤水分变异性的影响

经典统计学里通常用变异系数(CV)的大小判断研究内容的变异程度,变异系数的计算公式为

$$\text{变异系数} = \text{标准差} / \text{平均值} \times 100\% \quad (1)$$

土壤含水量的变异系数是标准差与平均值的比值,它的大小反映了土壤含水量的空间变异性大小,通常 $CV < 0.01$ 为弱变异性, $0.01 < CV < 1$ 为中等变异性, $CV > 1$ 为强变异性^[3-4]。

表 1 是 2017 年 9 月对土层深度 10~15 cm 采样的土壤含水量统计数据,采样区域在 500~5 000 m² 逐渐增大,在每个幅度中按照间距 5 m×5 m 的网格设采样点。从表 1 可以看出,变异系数在 7%~20% 之间,土壤水分具有中等变异性。数据中还发现,随着采样区域面积的增大,土壤含水量变异系数逐渐增大,这是由于研究区域范围的增大,采样的点数更多,对土壤水分有影响的较多因素(植被、降雨、表面蒸发等因素)体现出来,从而使得其变异系数增大,变异性也增大。在采样面积为 3 500 m² 时,土壤水分的变异系数为 19.277%,而当采样面积从 3 500 m² 增大到 5 000 m² 时,变异系数不再增大而是趋于稳定在 19% 左右。说明变异系数增大到一定数值而趋于稳定,不再随着采样面积的增大而无限增大。

表 1 采样幅度与变异系数的统计特征值

采样面积 (m ²)	采样点数 (个)	深度 (cm)	土壤含水量(%)		
			平均值	标准差	变异系数
500	20	10~15	7.862	0.593	7.543
1 000	40	10~15	7.634	0.685	8.973
1 500	60	10~15	8.172	0.906	11.087
2 000	80	10~15	7.913	0.964	12.182
2 500	100	10~15	8.051	1.175	14.594
3 000	120	10~15	8.374	1.369	16.348
3 500	140	10~15	8.632	1.664	19.277
4 000	160	10~15	8.435	1.658	19.656
5 000	200	10~15	8.583	1.684	19.620

2.2 土壤水分空间变异性的季节性特征

在春季(3 月)、夏季(6 月)、秋季(9 月)对土层深度 10 cm 和 25 cm 采集的土壤含水量统计特征值如表 2 所示。数据是在同一研究区域相同的采样幅度下,按采样时间和采样深度不同测得的。宁夏南部在夏季 6—7 月通常有暴雨,为减少降雨对土壤水分数据的直接影响,夏季土壤水数据于降水后间隔 5 d 采集,数据能够较好地反映土壤水分的季节性特征。

从表 2 中不同季节土壤含水量的平均值可以看出,3 月份宁夏南部地区干旱少雨土壤干层较厚,土壤表层和深层含水量都很低。6 月份固原的降水量开始增多,土壤含水量相

对 3 月份上升,但夏季气温偏高,表层土壤水分蒸发很大,而且植物也需大量消耗水分,所以表层土壤含水量较低,25 cm 深度的土壤水分相对表层较高;9 月植物耗水减少,受降水天气变凉影响,表层和深层的土壤含水量逐渐增加。从变异系数看出,春、夏、秋土壤含水量的变异系数在 7.3%~19.2% 之间,属于中等变异性。但土壤水分空间变异性的季节性特征表现较为明显,夏季土壤水分变异系数最大,秋季土壤水变异系数最小,春季的变异系数介于夏季和秋季之间。另外,同一区域表层土壤水分的变异系数大于深层的,表明表层土壤水分的空间变异性更大。因此,夏季表层土壤水分的空间变异性最大。

表 2 土壤含水量统计特征值

采样时间	深度 (cm)	土壤含水量 (%)					分布类型
		最小值	最大值	平均值	标准差	变异系数	
春季(3 月)	10	3.63	4.38	3.92	0.69	17.6	正态分布
	25	6.05	13.36	8.96	0.85	9.4	正态分布
夏季(6 月)	10	2.91	7.08	4.89	0.94	19.2	正态分布
	25	7.92	20.09	14.73	1.82	12.4	正态分布
秋季(9 月)	10	3.65	7.58	5.03	0.78	15.5	正态分布
	25	13.81	21.26	17.12	1.25	7.3	正态分布

2.3 土壤水分空间变异相关性

在土壤特性空间变异性分析中,经典统计学理论认为,土壤水文性质在空间上是相互独立的,但是,实际上在一定的空间范围内,土壤水文性质间具有相关性。地统计学中通过半方差函数来定量描述土壤水文性质的空间变异结构,即土壤特性空间分布的相关性。区域化变量 $Z(x)$ 在点 x_i 和 $x_i + h$ 处的 2 个随机变量 $Z(x_i)$ 与 $Z(x_i + h)$ 的半方差函数(又称变异函数):

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

表 3 是对土壤含水量数据进行半方差计算,确定半方差函数的参数。其中描述土壤水文性质空间变异特征的重要参数有块金值(C_0)、基台值($C + C_0$)、空间异质比 [$C_0/(C + C_0)$] 和变程等。块金值表示为随机变异,基台值为随机变异和系统结构变异之和,空间异质比是块金值与基台值之比,表示系统变量的空间变异相关程度。当空间异质比 < 25% 时,

表示水文特性具有较强的空间相关性;比值 > 75% 时,土壤水文性质具有弱空间相关性;介于 25% ~ 75% 之间土壤水文性质具有中等空间相关性^[4-5]。

由表 3 可知,3 月 10 cm 和 25 cm 深度土壤水分空间异质比为 3.913% 和 6.013%;6 月份当地雨季到来,受到降水、植物耗水量、地表蒸发等影响,土壤水分的生态过程发生变化,10 cm 和 25 cm 深度土壤水分空间异质比为 11.713% 和 4.800%;9 月份 10 cm 和 25 cm 深度土壤水分的空间异质比为 5.868% 和 6.867%;春、夏、秋季节土壤水分的空间异质比均小于 25%,表明该区域土壤水分具有强烈的空间相关性,不同季节土壤含水量的空间变异相关程度不同。另外,表 3 数据也显示,同一采样时间 10 cm 和 25 cm 深度的土壤水分空间异质比也有较大差异,表明相同区域不同采样深度的土壤含水量均表现出不同的空间变异性,都具有强烈的空间相关性。

表 3 土壤含水量半方差函数参数

采样时间	深度 (cm)	块金值 (C_0)	基台值 ($C + C_0$)	空间异质比 (%)	决定系数 r^2	拟合模型
春季(3 月)	10	0.000 45	0.011 5	3.913	0.578	球状模型
	25	0.046	0.765	6.013	0.463	球状模型
夏季(6 月)	10	0.067	0.572	11.713	0.762	指数模型
	25	0.270	5.625	4.800	0.593	指数模型
秋季(9 月)	10	0.025	0.426	5.868	0.684	指数模型
	25	0.080	1.165	6.867	0.517	指数模型

2.4 土壤水分空间分布

对试验数据半方差拟合选择最优拟合模型,并进行克里格插值,将空间点数据转化为面数据,绘出土壤水分空间分布图。其中,决定系数是评价理论模型与实验变异函数拟合程度高低的参数,通常按决定系数最大的原则选取拟合模型,决定系数越大,拟合效果越好^[4,6]。表 3 中按决定系数 r^2 最大的原则拟合的模型有球状模型和指数模型。利用 GS + 7.0 软件仿真拟合后的曲线为实验变异函数,也即半方差图。图 1 所示为 3 月、6 月、9 月即春夏秋冬季节土层深度 10 cm 和 25 cm 土壤水分的半方差图。

从图 1 可以看出,不同季节不同深度土壤水分的空间变异相关程度不同。应用克里格插值制图可以得出土壤含水量的空间分布图。图 2 所示是 3 月、6 月和 9 月在同一区域 10 cm 和 25 cm 深度的土壤含水量的空间分布图。

从图 2 可以看出,不同季节土壤水分的空间变异性 and 空间分布明显不同,相同区域不同深度的土壤水分空间变异和分布也存在差别,在空间不同方向上分布具有不同程度的空

间相关性。受季节性、降水以及植被覆盖生长等因素影响,3 月份土壤水分空间分布破碎化程度较高,土壤水分分布规律不明显,具有零散性;6 月和 9 月土壤水整体分布相对较均匀。还可以看出,土壤水分的空间分布表现为东南部区域的土壤含水量高于西北区域的,这和实际地形相符的,研究区域西北部多丘陵山地,土壤干层厚,植被覆盖少,而偏东南部多平地,靠近清水河流域,土壤含水量相对较高。

3 讨论

本研究基于统计学和地统计学方法对宁夏南部干旱区土壤水分的空间变异性进行研究。首先分析了采样幅度对土壤水分变异性的影响,试验中采样间距 5 m × 5 m,幅度为 500 ~ 5 000 m²。研究结果表明,随着采样幅度的增大,土壤水分的变异系数逐渐增大,变异性增大,这是由于采样幅度增大,土壤覆盖的植被、降水等因素的空间变异性会增大,进而导致土壤水分空间变异性增大。但变异系数增大到一定数值趋于稳定后,不再随着采样幅度的增大而无限增大。这和胡伟等黄

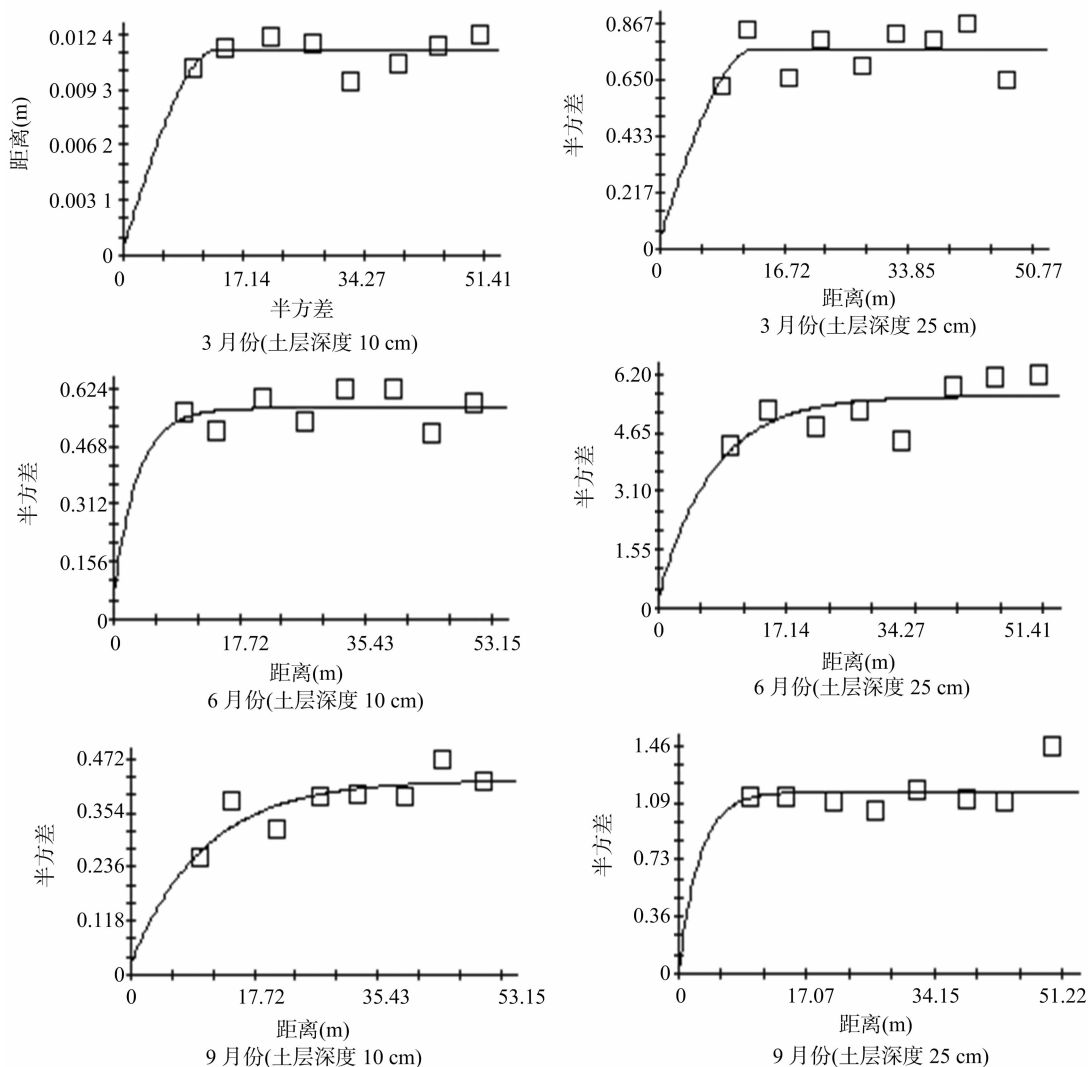


图1 10 cm 和 25 cm 深度土壤含水量半方差

土高原退耕坡地土壤水分空间变异尺度性的研究结果^[1]相似。Western 等指出,土壤样本采集时最理想的采样是采样幅度非常大,采样间距非常小^[7],但由于宁夏南部黄土丘陵山地沟壑较多,地形较复杂,进一步缩小采样间距采集数据的难度加大,所以文中未涉及减小采样间距对土壤水分空间变异性的影响。在丘陵山地沟壑地形的小尺度采样间距对土壤水分空间变异的影响后期进一步研究。

研究还分析了土壤水分空间变异性的季节性特征。试验数据的采集分别在宁夏南部干旱区春、夏、秋季节内无降雨期间,采集了距离表层 10 cm 和 25 cm 深度的土壤水分数据。试验研究发现,土壤水分空间变异性表现出较强的季节性特征,夏季土壤水分变异性明显高于春季和秋季。这是由于夏季降雨较多、植物生长耗水也增多、土壤表面蒸发较大等因素影响,导致夏季土壤水分的变异性最强。这和高晓东等在黄土高原陕西省清涧店则沟镇(丘陵地形)土壤水分季节性特征的研究结果^[8]相似。本研究还发现,同一区域表层土壤水分的变异系数大于深层的,表层土壤水分的空间变异性更大。表层土壤水分空间分布破碎化程度较高,分布规律不明显,空间变异性较大,深层土壤水分整体分布相对均匀。这和 Jia

等的研究结果^[9]相似。这是由于影响土壤水分发生变化的降雨、蒸发、植被覆盖等因素随深度的增加而降低,随着土层深度增加,土壤含水量稳定性较好。

黄土丘陵地土壤水空间变异性研究目前看到的文献研究大部分在陕西黄土高原地区,对于宁夏南部干旱半干旱区土壤水分空间变异性鲜有研究,宁夏南部生态环境脆弱,水资源贫乏,本研究给出宁夏南部干旱区土壤水分空间变异性及季节性特征,可为该区域土壤水资源研究提供参考。

4 结论

基于对宁夏南部干旱半干旱区土壤水分数据的空间变异性试验分析,可得出以下结论:

(1) 土壤水分的变异系数与研究区域采样面积的大小有关,采样面积增大,变异系数增大,变异增大。变异系数增大到一定数值后趋于稳定,不随着采样面积的增大而无限增大。

(2) 受到降雨、植物耗水、蒸发等因素的影响,土壤水分空间变异性均表现出较强的季节性特征,夏季土壤水变异系数最大,秋季土壤水变异系数最小,春季的变异系数介于夏季和秋季之间。另外,同一区域表层土壤水分的变异系数大于

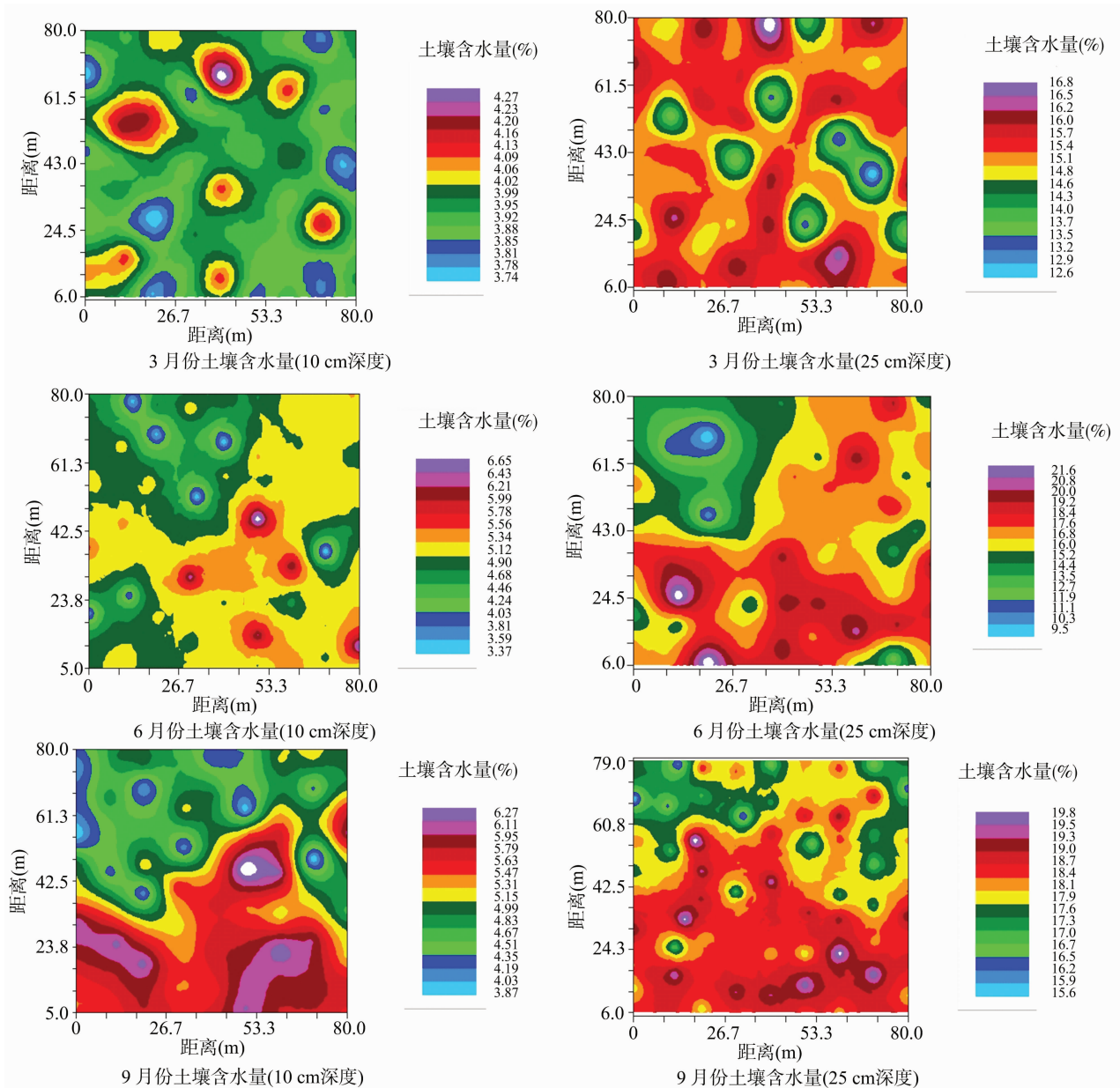


图2 10 cm 和 25 cm 深度土壤含水量空间分布

深层的,表层土壤水分的空间变异性更大。

(3)不同季节表征土壤水分空间变异相关程度的参数空间异质比均小于 25%,表现出强烈的空间相关性。土壤水分的空间分布表现为东南部区域的土壤含水量高于西北区域的。表层土壤水分空间分布破碎化程度较高,深层土壤水分整体分布相对均匀。

参考文献:

- [1]胡伟,邵明安. 黄土高原退耕坡地土壤水分空间变异的尺度性研究[J]. 农业工程学报,2005,21(8):11-15.
- [2]李小雁. 干旱地区土壤-植被-水文耦合、响应与适应机制[J]. 中国科学:地球科学,2011,41(12):1721-1730.
- [3]展秀丽,韩磊,赖荣生. 宁夏河东沙区浅层风沙土土壤含水量

季节变化及空间分布特征[J]. 干旱区资源与环境,2016,30(10):138-144.

- [4]张仁铎. 空间变异理论及应用[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [5]刘爱利,王培法,丁园园. 地统计学概论[M]. 北京:科学出版社,2011.
- [6]王云强. 黄土高原地区土壤干层的空间分布与影响因素[D]. 北京:中国科学院,2010.
- [7]Westerna A W, Bloschl G. On the spatial scaling of soilmoisture[J]. Journal of Hydrology, 1999, 17:203-224.
- [8]高晓东,吴普特,张宝庆,等. 黄土丘陵区小流域土壤有效水空间变异及其季节性特征[J]. 土壤学报,2015,52(1):57-65.
- [9]Jia X, Shao M A, Wei X, et al. Hillslope scale temporal stability of soil water storage in diverse soil layers[J]. Journal of Hydrology, 2013, 498(18):254-264.