

土壤特性的空间变异性与绿洲生态稳定性研究 ——以张掖绿洲为例

孟宝¹, 杨龙¹, 张勃²

(1. 宜宾学院 政治与公共管理系, 四川 宜宾 644000; 2. 西北师范大学 地理与环境科学学院, 兰州 730000)

摘要: 绿洲良性存续的核心是协调绿洲人地关系, 维持绿洲稳定性。为从绿洲 - 荒漠过渡土壤空间变异的角度来探讨人类活动下绿洲生态空间稳定性问题, 选择甘肃省张掖市龙渠乡的典型绿洲 - 荒漠过渡带作为试验区, 运用地统计学方法对 7 种土壤特性值(土壤水分含量、水溶性盐分含量、pH 值、机械组成、容重、速效磷含量、水解氮含量)在不同景观的空间变异程度进行分析。得出土壤特性值的空间变异同绿洲边缘不同利用程度下的生态稳定性紧密相关, 其土壤特性值在不同景观表现出明显的分层规律, 研究这一机理有助于人们更加科学地认识绿洲 - 荒漠过渡带生态保护问题。

关键词: 张掖市; 土壤特性; 地统计学; 空间变异; 绿洲生态稳定性

中图分类号: S152; S153

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2009)02-0117-04

A Study on Spatial Variability of Soil Property and Stability of Ecosystem in Oasis —Taking Zhangye Oasis as a Case Study

MENG Bao¹, YANG Long¹, ZHANG Bo²

(1. Department of Politics and Public Administration of Yibin University, Yibin, Sichuan 644000, China;

2. Geography and Environment Department of Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The substance of oasis stability is coordinate of man-land relationship and get sustainable development. The paper studies on oasis stability in oasis-desert ecotones through the spatial variability of soil property. Typical oasis-desert ecotones are selected as the experimental area in Longqu village, Zhangye City of Gansu province. Through the test of soil samples in laboratory, seven soil characteristic value (soil moisture content, soil salt content, pH, mechanical composition, bulk density, available phosphorus and nitrogen content) were analyzed on the different landscape spatial variability using ArcGIS 8.0 software. From the research, we know the variability of soil property value have hierarchy and deduction at different landscape pattern, which tightlink with different landuse level on oasis edge. It can help us know the maintain problems of oasis ecology stability and sustainable developing more scientific.

Key words: Zhangye City; soil property; geo-statistics; spatial variability; stability of ecosystem in oasis

绿洲稳定性就是指在人类扰动与系统自组织力两种基本驱动力对比下, 人类干扰未破坏自组织动力, 绿洲复合生态系统自组织能力发挥正常, 复合系统承载力、生产力处于常态^[1]。绿洲是干旱区的精华所在。但近年来在对绿洲的开发利用过程中, 由于人为和自然双重因素的影响, 出现了一系列生态问题: 沙漠化加剧、草场退化、土壤盐渍化、河湖萎缩、湿地丧失、生物多样性锐减等。尤其是绿洲 - 荒漠过渡带破坏严重^[2]。为了研究绿洲的生态稳定性

问题, 把生态脆弱度高、波动性强的绿洲荒漠过渡带作为切入点, 在众多的生态环境因子中(气候、水、土壤、人类活动甚至植被本身)选择其中之一的土壤作为重点, 是因为它能紧密地联系起各个可能的因素; 或者说, 各个因素所起的作用最终都会反映在土壤这一因素之上。论文重点是运用地统计学方法探究绿洲 - 荒漠过渡土壤空间变异规律, 然后用来分析与绿洲稳定性的内在机制。由于绿洲稳定性已成为干旱区可持续发展的保证, 有关绿洲稳定性问题国

* 收稿日期: 2008-11-01

基金项目: 甘肃省中青年科技基金项目(031 - A21 - 005 530); 宜宾学院青年基金项目(2006Q10)

作者简介: 孟宝(1980 -), 男, 甘肃渭源人, 硕士, 讲师, 主要从事区域生态环境与资源开发研究。E-mail: mengbao800@sohu.com

内学者从水资源承载力、绿洲荒漠双向演化、景观生态学、全球变化等途径进行了大量研究^[3-5],而专门从土壤特性的空间变异角度进行的研究很少。国内其他领域有关土壤特性空间变异研究成果颇丰^[6-11]。

1 实验区概况和采样

1.1 实验区概况

张掖市地处甘肃省西北部,位于河西走廊中段、青藏高原和蒙古高原的过渡地带,地势亢峻,轮廓狭长,南北依山傍势,东西豁达开阔。范围在东经 $97^{\circ}20' - 102^{\circ}12'$ 、北纬 $37^{\circ}28' - 39^{\circ}57'$ 之间。相对位置东依武威市和金昌市,西连酒泉市和嘉峪关,南与青海省北州相临,北越合黎山、龙首山与内蒙古接壤,行政区划上辖 5 县(山丹、民乐、临泽、高台、肃南)1 区(甘州区)。最低海拔 1 200 m,最高海拔 5 565 m。甘州区龙渠乡地处绿洲 - 荒漠过渡带,体现出从绿洲、绿洲边缘到荒漠草原的生态演变过程。绿洲区主要是人工开垦的农田区,农作物有小麦、玉米等粮食作物及苹果树、中药材等经济作物;绿洲边缘是人工种植的农田防护疏林,树种有白杨、胡杨、红柳、沙枣等;荒

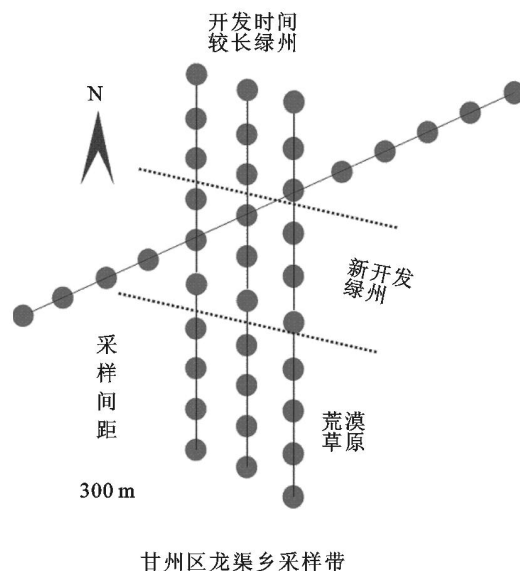
漠草原区以盐生杂草为主,植被类型有苦马豆、白刺、骆驼蓬、紫花针茅、沙蒿、盐生草等。

1.2 采样及实验设计

野外采样工作于 2005 年 8 - 9 月进行。图 1 是甘州区龙渠乡试验区的土地利用类型图和采样带分布图,试验区范围为: $38^{\circ}45.070' - 38^{\circ}47.167' N$ 、 $100^{\circ}18.933' - 100^{\circ}20.847' E$ 。向北海拔高度降低,逐渐深入到绿洲内部;向南沿冲积洪积扇向祁连山麓靠近。采样带分布:在 S - N 方向上设置三条样带,每条样带之间相距 200 m 左右,每条样带上样点之间的间距为 300 m,同时在 WS - EN 方向上设置样带一条,样点之间的间距为 400 m,共有 39 个采样点。当年 10 - 12 月对土壤样品进行了室内分析:土壤水分用烘干法,土壤机械组成采用比重计法;容重采用环刀法;全盐含量采用电导法(DDS - 307 A 电导率仪);用甘汞电极法测定 pH 值(pHS - 3C 精密 pH 计);水解性氮用碱解法的开氏蒸馏法(KND - 04 型蒸馏设备);用碳酸氢钠提取——钼锑抗比色法测定土壤速效磷的含量(7230 G 分光光度计)。所有土样的称量均用 FA1004N 电子分析天平。



图 1 龙渠乡试验区 2000 年的土地利用类型及采样带布局图



甘州区龙渠乡采样带

2 地统计学方法简介

半变异函数和空间插值是地统计学的两大基本内容,有关其变异函数的理论和模型,许多的论著和研究工作中都有介绍^[12-13],这里只做简单介绍。半变异函数一般用变异曲线来表示,它是半方差函数值对距离 h 的函数关系图。基本特征值中 C_0 为基底方差(块金值),它表示由随机变量带来的空间变异,一般是指观测变量的测量误差。 a 为变程,它表示采样数据间存在相关性的距离上限。当 $h > a$ 时,

任意两点之间的观测值有相关性,这个相关性随 h 的变大而减少,当 $h > a$ 时就不再具有相关性。 $C_0 + C$ 为总基台值,它是反映某观测变量在研究范围内总的空间变异强度。函数的这些特征值反映了观测变量的变异特征。克里金法(kriging)也称空间局部估计或空间局部插值,是地统计学两大主要内容之一。它实质上是利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点,对未采样点的区域化变量的取值进行线性无偏最优估计的一种方法。与普通的估值方法不同,它最大限度地利用了空间取样所提

供的各种信息。在估计未知样点值时,它不仅考虑了落在该样点的数据,而且还考虑了邻近样点的数据;不仅考虑了待估点与邻近已知样点的空间位置,而且还考虑了邻近样点彼此之间的位置关系。通过克里金法的制图技术,能将协方差函数和变异函数描述的空间相关性或空间异质性在二维平面上以某种格局的形式表现出来。这不但对分析区域化现象非常有意义,而且对定量地研究空间分布格局的特点,尤其是为格局的空间构型提供了有效工具。

3 土壤特性变化特征的半变异函数描述

经分析龙渠乡各土层的土壤水分含量的变异函数由表层到深层分别满足高斯模型、指数模型、球状模型、指数模型和高斯模型其余各层满足指数模型。土壤水分除 20 cm 和 80 cm 层 $C/(C_0 + C)$ 值小于 75%,属中等空间相关性外,其余各层均具有强烈的空间相关性。变程也表现出了不稳定性,最大值为 7 710 m,出现在 20 cm 土层处,最小值为 385 m,出现在 40 cm 土层处。土壤水溶性盐分含量 0 - 20 cm 的半方差函数理论模型满足线性基台模型,而其余各层均满足高斯模型,其中由结构性因素引起的变异性都在 75%以上,60 - 80 cm 土层变程为 1 025 m,其余各层集中在 2 000 ~ 3 000 m 之间。龙渠乡土壤 pH 值空间变异函数在 0 - 40 cm 满足纯块金效应,变量空间自相关结构为零,变程为 2 894 m;40 - 80 cm 两层满足球状模型,其中 40 - 60 cm 处变程为 963 m,由结构性因素引起的空间变异为 74.4%;60 - 80 cm 处变程为 570 m,由结构性因素引起的空间变异为 94%;80 - 100 cm 层变异函数满足高斯模型,变程为 1 004 m,结构性因素引起的空间变异仅为 50.2%。

土壤砂粒量的半变异函数理论模型在甘州区龙渠乡 0 - 20 cm 和 80 - 100 cm 两个层分别满足指数模型和高斯模型,其余各层满足球状模型;各层空间相关性除 60 - 80 cm 为中等外其余为强空间自相关性;变程由表层到底层依次为:177,274,638,872,2 740 m。土壤粉粒含量的半变异函数理论模型除在 40 - 60 cm 和 80 - 100 cm 土层满足高斯模型外,其余各层均满足球状模型,由结构性因素引起的变异都在 75%以上,所以属于强的空间自相关性;变程在 40 - 60 cm 和 80 - 100 cm 较大,分别为 4 792 m 和 2 220 m,其余各层为 300 m 左右。各土层土壤黏粒含量的半变异函数理论模型都满足球状模型,空间自相关性大于 91%,变程在各层之间也较为稳定,由表层向下依次为:577,274,710,500,500 m。土壤速效磷含量和水解氮含量的空间变异函数理论模型分别满足球状模型和高斯模型。且结构性

因素所起的作用分别为 90.4%和 93.9%,变程分别为 430 m 和 3 587 m。

4 不同土壤特性的空间插值及变异规律分析

4.1 土壤特性空间插值拟合图

在 ArcGIS 中地统计学分析模块的支持下,运用普通克里金(ordinary kriging)方法^[15],对甘州区龙渠乡绿洲 - 荒漠过渡带不同土层不同土壤特性的空间变化进行了模拟。运用克里金方法进行插值分析主要包括 3 个步骤:探索性空间数据分析(ESDA - Exploratory Spatial Data Analysis);采样点的空间结构量化分析;表面预测与结果评估。对试验区不同土壤特性进行正态分布检验,结果大多数满足正态分布,其中 0 cm 处的土壤水分含量、20 - 40 cm 层的土壤砂粒含量、耕作层的速效磷含量经对数转换后近似服从正态分布。插值结果见附图 6(限于篇幅,只选取部分)。

4.2 土壤特性空间变异规律与绿洲稳定性

由插值预测图明显反映出:0 - 40 cm 南北方向上的变化要比西南 - 东北方向上的变化更为明显。这是因为对 0 - 40 cm 土壤含水量的变化主要取决于灌溉水量,所以它与农田的分布方向相同,故变化呈南北更替。而在 60,80,100 cm 土层上的变化在西南 - 东北方向上要比南北方向上明显,土壤含水量的变化趋势同地势走向非常接近,随着海拔高度由西南向东北逐渐降低,土壤含水量逐渐增加。可以得出结论:在绿洲 - 荒漠过渡带表层(<50 cm)土壤含水量的变化主要受灌溉水及其同步蒸发作用的影响;而深层土壤(>50 cm)含水量的变化主要受地势走向及其决定下的地下水水位的影响。正因如此,使得 0 - 80 cm 土层中土壤水溶性盐分含量在西南 - 东北方向上的变化较南北方向上的变化明显。80 - 100 cm 上的变化发生在整体的南北方向上,主要是这个土层受地下水分运移和蒸发因素的影响比较小,土壤水溶性盐分含量变化在同质景观上较为固定。在 40 - 100 cm 范围内土壤 pH 值在新开发绿洲中表现出一个低值中心,主要是因为新开发绿洲表层土壤由人为搬运而来,在经过近十年的耕作后,土壤性状逐渐接近开发时间较长的绿洲,而底层土壤受人为影响的作用较小,由 80 - 100 cm 土壤砂粒含量图可以看出,在新开发绿洲,深层土壤的砂粒含量出现了一个高值中心,砂粒含量较大的土壤不利于盐分的积累,故而 pH 值比较低。

由土壤粉粒含量的插值图可以看出,粉粒含量的空间变化主要体现在南北方向上,并且粉粒含量

值由实验区南部的荒漠草原、荒漠地带向绿洲区递减,可见土壤粉粒含量的变化在相同的景观地带上更多地表现出均质性(各向同性)。新开发绿洲的特殊性也表现在土壤黏粒含量的插值图,呈现为一个低值中心。从土壤水解氮含量插值预测图中可以看出,由荒漠草原、荒漠区向绿洲区过渡的过程中,土壤氮含量有逐渐增大的趋势。而且从图上可以看出,采样点分布的区域和新开发绿洲连在一起成为氮含量的低值区(0.679~0.829 mg/kg),形似一个“楔子”向绿洲伸入。这种变化差异是由人为施肥引起的。从土壤速效磷含量的空间分布图发现其变化差异在绿洲区和荒漠草原、荒漠区表现的不是很明显,却与海拔高程变化(西南向东北方向递减)有高度的一致,即海拔越高,土壤速效磷含量越少;反之,土壤速效磷含量越高。

5 讨论

插值预测图生成后,一个重要的问题是生成的预测插值图具有多大的可信度,通过它是不是可以达到比较准确地掌握采样点未覆盖区域的土壤特性值的目呢?运用克里金法进行插值的一个显著优点是能使误差的方差最小,这也就意味着只要数据合理、方法得当,就能够保证预测的精度。在用 Arc GIS 地统计分析模块生成土壤特性表面插值预测图的过程中,要经过 7 个面板的调整,其中第六步为交叉验证面板,主要功能是误差的分析、精度的评价。根据龙渠乡土壤特性插值预测图生成过程中的交叉验证面板分析,插值预测图生成中预测误差值很小,接近于 0;标准均方根预测误差接近 1,预测的精度是较高的。

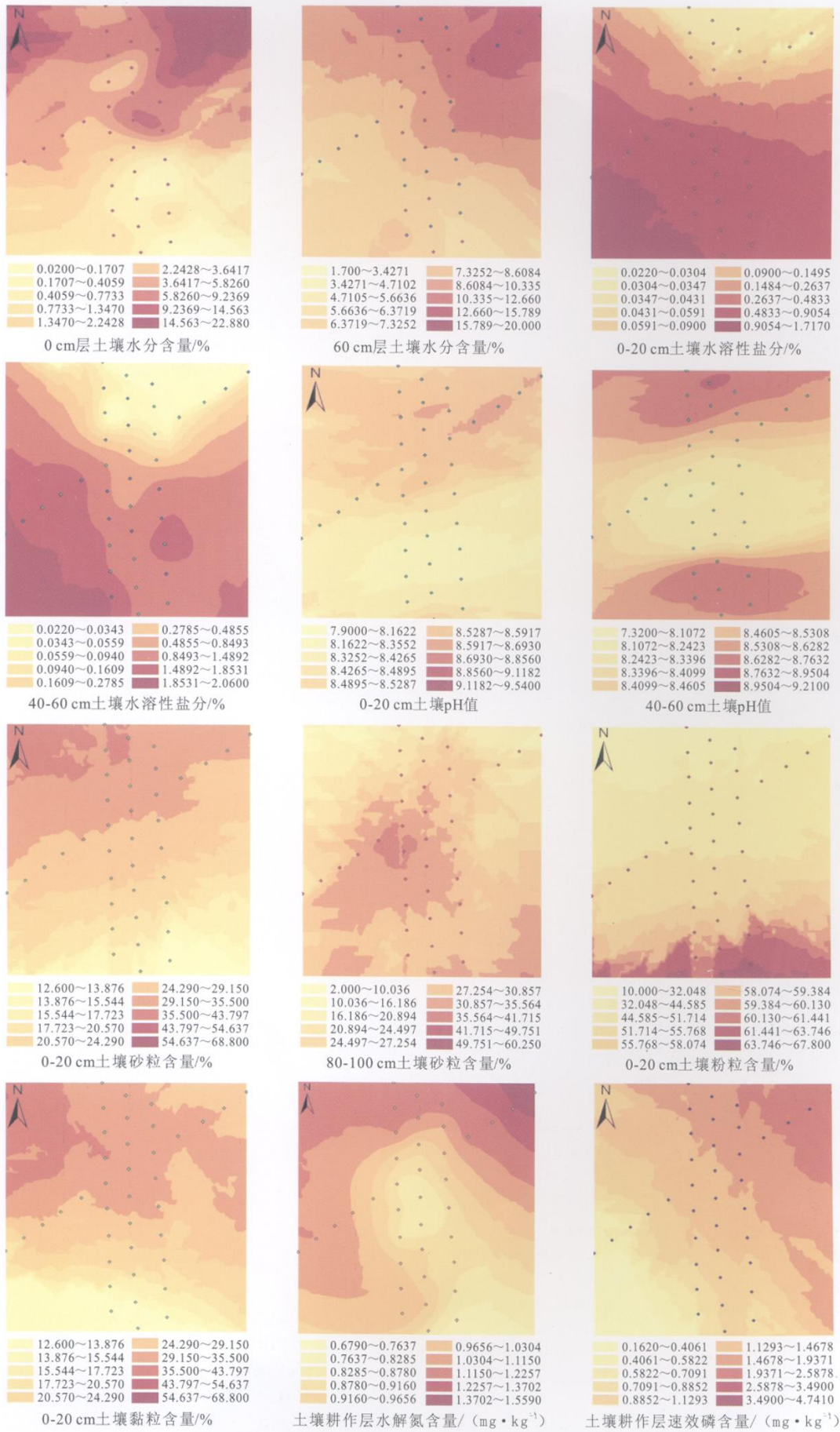
运用地统计学插值法生成了不同试验区不同土壤特性的表面预测图,其意义一方面可以用来满足绿洲生态稳定性建设的需要;另一方面在理论上说明用普通克里金方法可以生成精度较高的土壤特性插值预测图,来为干旱区绿洲-荒漠过渡带的生态保护和恢复服务。试验区虽然布局在甘肃省张掖绿洲,但其位于黑河中游,是典型的干旱区内陆河流域^[14]。故所采用的研究方法及得出的土壤特性空间变异规律对其它内陆河流域绿洲生态稳定性的研究和建设工作具有借鉴意义。考虑到土壤各特性间的空间相关,未能应用斜克里金(Co Kriging)进行插

值分析及与普通克里金(ordinary kriging)相比较,是论文的不足^[16]。

致谢:论文在野外采样、室内实验中得到了丁文晖、张建东、毛彦成、郭文媛的帮助,借此机会表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 周跃志,潘晓玲,何伦志.绿洲稳定性研究的几个基本理论问题[J].西北大学学报:自然科学版,2004,34(3):359-363.
- [2] 陈鹏,初雨,顾峰雪,等.绿洲-荒漠过渡带景观的植被与土壤特征要素的空间异质性分析[J].应用生态学报,2003,14(6):904-908.
- [3] 毋兆鹏.干旱区绿洲稳定性驱动机制研究:以艾比湖流域为例[J].水土保持研究,2008,15(2):92-98.
- [4] 罗格平,周成虎,陈曦,等.区域尺度绿洲稳定性评价[J].自然资源学报,2004,19(4):519-524.
- [5] 王忠静,王海峰,雷志栋.干旱内陆河区绿洲稳定性分析[J].水利学报,2002,(5):26-30.
- [6] 杨玉玲,文启凯,田长彦,等.土壤空间变异研究现状及展望[J].干旱区研究,2001,18(2):50-55.
- [7] 李毅,刘建军.土壤空间变异的研究方法[J].石河子大学学报:自然科学版,2000,4(4):331-337.
- [8] 王宏庭,金继运,王斌,等.土壤速效养分空间变异研究[J].植物营养与肥料学报,2004,10(4):349-354.
- [9] 李亮亮,依艳丽,凌国鑫,等.地统计学在土壤空间变异研究中的应用[J].土壤通报,2005,36(2):265-268.
- [10] 姚荣江,杨劲松,刘广明.土壤盐分和含水量的空间变异性及其 Co Kriging 估值:以黄河三角洲地区典型地块为例[J].水土保持学报,2006,20(5):133-138.
- [11] 张淑娟,何勇,方慧.基于 GPS 和 GIS 的田间土壤特性空间变异性的研究[J].农业工程学报,2003,19(2):39-44.
- [12] 王政权.地统计学及其在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999:1-5.
- [13] 郝建秀.张掖绿洲及绿洲荒漠过渡带土壤水盐空间异质性研究[D].兰州:西北师范大学,2005:15-21.
- [14] Burrough P A. The Fractal dimensions of landscapes and other environmental data[J]. Natural,1981,294:240-242.
- [15] 张仁铎.空间变异理论[M].北京:科学出版社,2005:23-51.
- [16] 张勃,孟宝,郝建秀,等.干旱区绿洲-荒漠带土壤水盐异质性及生态环境效应研究[J].中国沙漠,2006,26(1):81-84.



附图6 龙渠乡不同土层土壤特性的空间插值拟合分布图