

基于 Moran's I 指标的黄土坡耕地填洼量的空间自相关性研究^①

赵龙山, 张青峰, 梁心蓝, 吴发启*

(西北农林科技大学资源与环境学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 在 ArcGIS9.3 和 SPSS16.0 平台的支持下, 通过 Moran's I 指标对人工掏挖和人工锄耕措施下坡面填洼量的空间自相关性进行了分析, 初步揭示了此 2 种耕作措施下坡面填洼量的空间分布格局。结果表明: 全局 Moran's I 小于或等于 0, 基本呈弱的负空间自相关; 坡度对填洼量空间分布格局的影响不明显; 填洼量的空间自相关性与填洼量大小有关。因此, 填洼量空间格局呈大小交错, 空间异质性较强的分布特征, 但其所受填洼量大小的影响还需进一步研究。

关键词: 空间自相关; 微 DEM; 填洼量; 异质性; 坡耕地; 黄土

中图分类号: S151.25

空间自相关是检测空间变量相关性的一种方法^[1-3]。早在 1960 年代, 国外就有学者尝试用空间自相关方法研究生态学、遗传学等问题^[4-5], 到目前已成功应用于流行病学、区域经济、图像处理等方面的研究^[6-11], 特别是在景观生态学方面, 空间自相关分析已经成为研究景观空间格局的主要方法^[12]。同样在国内有许多学者将空间自相关分析用于生态学、土壤学、经济学等领域, 也取得了较好的结果^[13]。尽管如此, 但是还没有将空间自相关分析用于揭示地表微地形特征的研究, 特别是耕作活动形成的地表特征。

受耕作的影响, 地表形成系列洼地, 当降雨强度大于土壤入渗强度时, 地面形成积水, 拦蓄的水量即为填洼量^[13]。填洼量是影响坡面产流产沙特征的重要参数^[14], 因此对其进行空间自相关分析将有助于进一步认识填洼量对地表产流产沙的影响, 对研究水蚀过程中地表微地形特征及其对土壤侵蚀的响应规律具有重要意义。

鉴于此, 本文以黄土坡耕地填洼量为研究对象, 运用激光扫描技术, 以 ArcGIS9.3 和 SPSS16.0 软件为平台, 采用全局和局域 Moran's I 指标对黄土坡耕地人工掏挖和人工锄耕耕作措施在 5 个坡度条件下 (5°、10°、15°、20°和 25°) 的地表填洼量进行了空间自相关分析, 以期对坡耕地微地形空间分布特征及其对土壤侵蚀响应规律的研究奠定基础。王健等^[15]研究表明坡面单个填洼量大小与坑洼容积一一对应, 即当单位是 m^3 的条件下, 填洼量和坑洼体积数量上是相等的。

为 m^3 。

1 研究方法

1.1 试验区处理

试验区是 $2.0 \text{ m} \times 1.0 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 的铁板槽, 坡度可在 $0^\circ \sim 30^\circ$ 之间调节, 本试验坡度为 5° 、 10° 、 15° 、 20° 和 25° 。模拟耕作措施的主要过程: ①土样准备: 将试验用土过筛 (筛孔 0.5 cm), 分 8 层填装在试验小区中, 土壤体积质量 (容重) 控制在 $1.20 \sim 1.30 \text{ g/cm}^3$ 之间, 含水量控制在 100 g/kg 左右; ②不同坡度下分别模拟不同的耕作措施, 包括: ①人工掏挖: 采用锄头掏挖地表, 深度 $5 \sim 8 \text{ cm}$, 间距 $20 \sim 25 \text{ cm}$; ②人工锄耕: 沿地表以传统方式锄耕, 深度 $4 \sim 5 \text{ cm}$ 。为了使耕作措施更接近自然状态, 试验中聘请长期从事相同耕作生产的农民进行。试验过程中共用 4 个铁板槽分坡度进行试验, 每个耕作措施重复 2 次。

1.2 数据资料获取

本研究中需要的数据资料包括 2 个耕作措施在 5 个坡度条件下的地表填洼量及相关派生数据 (全局和局域 Moran's I 系数等), 这些数据是通过 ArcGIS9.3 软件的 Hydrology 模块分析坡面微地形模型 (微 DEM) 获得, 并利用 SPSS16.0 软件进行相关分析。因此, 研究中最关键的是建立坡面微地形模型。

建立微 DEM 的方法如下: 在实验小区模拟人工锄耕和人工掏挖等耕作措施, 用激光扫描仪 (图 1)

①基金项目: 国家自然科学基金项目 (40871133) 和国家重点基础研究发展计划项目 (2007CB407201) 资助。

* 通讯作者 (wufaqi@263.net)

作者简介: 赵龙山 (1985—), 男, 甘肃古浪人, 硕士研究生, 主要从事土壤侵蚀与生态环境建设方面研究。E-mail: zls7759989@163.com

因此研究中的 2 个耕作措施在 5 个坡度下就获得 6.96×10^4 个高程点, 利用 ArcGIS 9.3 软件最终生成 20 幅反映不同耕作措施下坡面微地形空间分布的微 DEM 图, 其中, 每幅图的投影面积为 1.34 m^2 , 栅格大小为 0.002 m 。在利用 ArcGIS9.3 软件生成微 DEM 的过程中, 选择均方根误差大小作为衡量插值结果好坏的指标。在对不同插值方法进行比较后选择反距离加权插值法为本研究的插值方法, 其均方根误差最小 (0.018), 且实际值拟合曲线与理论拟合曲线吻合度较高。在生成微 DEM 的过程中反距离加权插值法指数为 2, 搜索半径内使用最大预测点个数为 15, 最少为 4, 区域扇区形状为空, 最大搜索半径为 1.0 m 。

为了使研究结果更好地反映耕作形成的填洼量空间相关性特征, 研究中只考虑坡面上单个坑洼体积大于 $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ 的填洼量。



图1 自制激光扫描仪

Fig. 1 Home-made laser scanner

1.3 空间自相关分析

空间自相关分析是研究某一变量空间分布特征的一种常用方法, 它可以检测该变量的空间变化是否存在相关性^[1]。即变量观测值如果在空间分布上呈现出高的地方周围也高, 低的地方周围也低, 称为空间正相关, 表明这种现象具有空间扩散的特性; 如果呈现出高的地方周围低, 低的地方周围高, 则称为空间负相关, 表明这种现象具有空间极化的特性; 如果观测值在空间分布上呈现出随机性, 表明空间相关性不明显, 是一种随机分布的现象。因此, 空间自相关是区域化变量的属性之一。空间自相关系数包括: ①全局自相关; ②区域自相关。Moran's I 系数是最常用的检测变量空间自相关性大小的有效指标, 其定义为^[16]:

$$I = \frac{N}{\sum_i \sum_j W_{ij}} \frac{\sum_i \sum_j W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

$$local I_i = \left[\frac{X_i - \bar{X}}{\sum_{j \neq i} \frac{X_j^2}{(N-1) - \bar{X}^2}} \right] \sum_{j=1}^N W_{ij} (X_j - \bar{X}) \quad (2)$$

公式 (1) 为全局自相关系数, 公式 (2) 为区域自相关系数。式中, X_i 为变量在空间 i 处的值, $\bar{X}$ 为变量 X_i 的平均值, 双求和号表示对全区域的单元求和, N 为空间点对数, W_{ij} 为空间权重函数, 表达单元对间的位置关系。

利用 ArcGIS9.3 对坡面填洼量进行计算, 每个填洼量都有惟一的空间坐标 (图 3), 因此, 在本研究中将坡面填洼量作为空间变量进行空间自相关分析, 以探讨坡面填洼量的空间相关性。

1.4 Z-Score 转换分析

Z-Score 转换分析是把 Moran's I 系数标准化为 Z 值, 以检验相关的正负性与显著性。其公式为:

$$Z_{ij} = \frac{I_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \quad (3)$$

式中, I_{ij} 为 Moran's I 系数, μ_{ij} 为期望值, σ_{ij} 为方差。在检验中假设 Moran's I 系数服从标准状态分布, 且其均值为 0, 标准差为 1 (图 2)。因此转换后 Z_{ij} 值的大小即为相应 Moran's I 系数偏离均值的大小, 单位为标准差 (Std.Dev)。

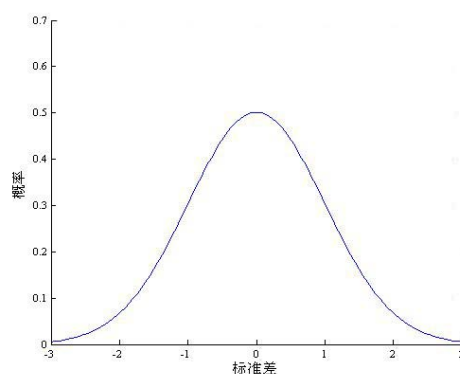


图2 标准正态分布图^[17]

Fig. 2 Standard normal distribution

一般而言, Moran's I 系数的取值范围为 $[-1, 1]$, 当其值小于 0 时, 表示空间负相关, 等于 0 时表示空间不相关, 大于 0 是表示空间正相关。经过转换后

相应的 Z_{ij} 值具有如下特征^[17]: 当 Z_{ij} 值大于 1.96 或小于 -1.96 表示样本空间相关在 0.05 水平显著, 即区域内研究变量存在自相关性; 相反, 当 Z_{ij} 值取值范围在[-1.96, 1.96]上时, 表示研究变量在区域内关联性不显著, 亦即存在较弱的自相关性。

2 结果与分析

2.1 黄土坡耕地地表填洼量一般特征

在生态学中空间格局是指环境、资源以及生物系统的结构在空间上的有规律分布^[18-19]。在这里用空间格局表示由于耕作形成的坡面填洼量在空间上的有规律分布。

对实验中不同耕作措施下黄土坡耕地微地形空间特征(坡面高程分布, 坑洼大小, 坑洼密度)进行统计, 见表 1、2。从表 1 可以看出, 人工锄耕和人工掏挖措施下坡耕地地表坑洼特征具有明显的差异。在面积同样 1.34 m^2 的小区上, 人工锄耕措施下地表坑洼密度为 $356 \text{ 个}/\text{m}^2$, 而人工掏挖为 $297 \text{ 个}/\text{m}^2$, 这样平均每平方厘米的面积上人工锄耕比人工掏挖多 2.5 个坑洼地。另外, 从表 2 可以看出, 随着坡度的增大, 坑洼深度逐渐减小。当坡度为 5° 时, 人工锄耕和人工掏挖坡面的坑洼深度最大, 分别为 0.032 和 0.041 m; 到 25° 时其值减小为 0.022 和 0.031 m, 尤其是 5° 到 15° 之间, 平均减小了 0.04 m。这里坑洼深度都是四舍五入的结果, 所以人工掏挖措施下 20° 与 25° 坡面都为 0.031 m, 其实二者的差别大于 0.001 m。

由图 3 可以看出, 人工掏挖和人工锄耕方式下坡面坑洼空间分布格局存在异同点。它们都呈斑块状分布, 而且以小斑块居多; 不同的是人工掏挖方式下坡面斑块较人工锄耕的大, 且空间集聚较明显。图中 Value 值表示坑洼深度, 值越小表示坑洼地深度越大。

表 1 不同耕作措施下坡耕地地表坑洼特征统计

Table 1 Statistics of sloping field surface depression under different tillage operations

耕作方式	小区面积 (m^2)	坑洼密度 ($\text{个}/\text{m}^2$)	坑洼深度 (m)	坑洼面积 ($\text{m}^2/\text{小区}$)
人工锄耕	1.34	356	-0.032 ~ 0	0.212
人工掏挖	1.34	297	-0.041 ~ 0	0.230

注: 表中数据是研究中生成 20 幅图的均值, 且进行了四舍五入。

表 2 坡度对地表坑洼深度的响应 (m)

Table 2 Relationship between slope and depth of surface depression

坡度 ($^\circ$)	人工锄耕坑洼深度	人工掏挖坑洼深度
5	-0.032 ~ 0	-0.041 ~ 0
10	-0.028 ~ 0	-0.037 ~ 0
15	-0.026 ~ 0	-0.033 ~ 0
20	-0.024 ~ 0	-0.031 ~ 0
25	-0.022 ~ 0	-0.031 ~ 0

注: 表中数据进行了四舍五入。

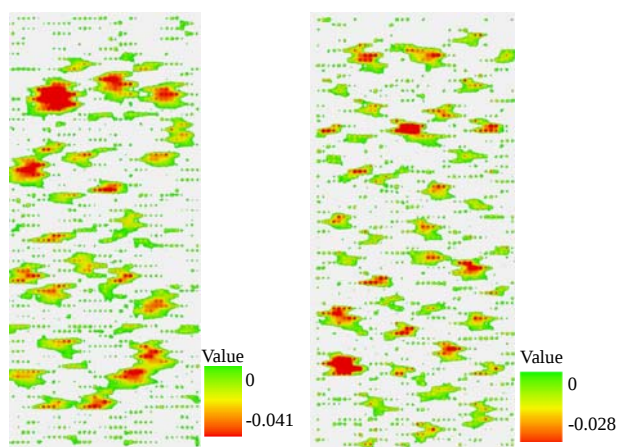


图3 人工掏挖(左)和人工锄耕(右)方式下坡面坑洼地空间格局

Fig. 3 Spatial pattern of surface depression, left-artificial dig, right-artificial hoe

2.2 空间自相关分析

2.2.1 空间自相关指标对坡面总填洼量空间格局的揭示 计算了人工掏挖和人工锄耕措施下坡面总填洼量的空间自相关指标 Moran's I, 并采用随机条件下近似正态分布假设的标准差对其进行标准化, 得到指标 Z-Score, 结果见表 3。

从表 3 中可以看出, 人工掏挖方式下随着坡度的增大, 坡面总填洼量逐渐减小, 但是填洼量的空间分布格局不受坡度的影响, 呈随机特征。对人工锄耕措施下的坡面除在坡度为 5° 时坡面总填洼量在 90% 的置信区间显著外, 其余坡度下均呈随机特征。另外, 除人工掏挖措施下 5° 坡面 Z-Score 大于 0 外, 其余条件下 Z-Score 均小于 0, 说明坡面填洼量的分布大小错落, 极化现象明显, 这进一步说明了坡面总填洼量空间格局的随机性。同时也反映了实验中模拟的坡耕地微地形具有一定的代表性。

表 3 坡面总填注量对全局 Moran's I 自相关系数的响应

Table 3 Total depression storage response to global Moran's I value

耕作方式	坡度 (°)	填注量 (m ³)	I-Index	Z-Score	空间格局
人工掏挖	5	0.056 4	0	0.46 Std.Dev	Random
	10	0.055 1	-0.01	-0.4 Std.Dev	Random
	15	0.054 3	-0.01	-0.6 Std.Dev	Random
	20	0.049 4	-0.01	-0.92 Std.Dev	Random
	25	0.041 1	-0.02	-1.01 Std.Dev	Random
人工锄耕	5	0.055 4	-0.07	-1.77 Std.Dev	-1.65**
	10	0.054 7	-0.02	-1.61 Std.Dev	Random
	15	0.052 3	0	-0.09 Std.Dev	Random
	20	0.041 8	0	-0.17 Std.Dev	Random
	25	0.038 2	0	-0.77 Std.Dev	Random

注：空间格局指坡面坑洼的空间分布状态，** 表示在 $p < 0.01$ 水平上显著；Random 表示随机分布，即不显著。

2.2.2 坡面填注量自相关性空间分布格局分析

图 4 为不同坡度下坡面填注量局域空间自相关系数空间分布格局，图中按填注量局域空间自相关系数 LMiIndex 的大小分为 4 类，依次为 < -0.5 ； $-0.5 \sim 0$ ； $0 \sim 0.5$ 和 > 0.5 。对于人工锄耕坡面，当坡度为 5° 时，坡面以局域自相关系数在 $[-0.5, 0]$ 范围内的填注量为主（ $0.046 4 \text{ m}^3$ ），占坡面总填注量的 83.73%；当坡度为 10° 时，局域自相关系数小于 -0.5 的填注量为 $0.043 7 \text{ m}^3$ ，占坡面总填注量的 79.3%，局域自相关系数在 $[-0.5, 0]$ 范围内的填注量为 $0.003 9 \text{ m}^3$ ，占坡面总填注量的 7.2%，局域自相关系数大于 0 的填注量为 $0.007 5 \text{ m}^3$ ，占坡面总填注量的 13.5%；当坡度为 15° 时，局域自相关系数小于 -0.5 的填注量为 $0.037 8 \text{ m}^3$ ，占坡面总填注量的 69.59%，局域自相关系数在 $[-0.5, 0]$ 范围内的填注量为 $0.005 9 \text{ m}^3$ ，占坡面总填注量的 10.86%，局域自相关系数大于 0 的填注量为 $0.010 6 \text{ m}^3$ ，占坡面总填注量的 21.1%；随着坡度的增大，坡面上局域自相关系数小于 -0.5 的填注量逐渐增大，当坡度为 20° 与 25° 时，局域自相关系数小于 -0.5 的填注量为 $0.030 9$ 与 $0.023 6 \text{ m}^3$ ，分别占坡面总填注量的 73.99% 与 61.73%。对人工掏挖坡面也具有相似的递变规律，当坡度为 5° 时，局域自相关系数小于 -0.5 的填注量为 $0.034 0 \text{ m}^3$ ，占坡面总填注量的 60.32%，局域自相关系数在 $[-0.5, 0]$ 范围内的填注量为 $0.000 2 \text{ m}^3$ ，占坡面总填注量的 0.39%，局域自相关系数大于 0 的填注量为 $0.007 9 \text{ m}^3$ ，占坡面总填注量的 39.29%；当坡度为 10° ， 15° 与 20° 时，坡面以局域自相关系数小于 -0.5 的填注量为主，分别

为 $0.038 8$ ， $0.039 4$ 与 $0.036 7 \text{ m}^3$ ，占坡面总填注量的 70.41%，79.82% 与 89.20%；到坡度为 25° 时，局域自相关系数小于 0 的填注量占坡面总填注量的 69.6%。

从图 4 中可以看出，不同坡度下坡面填注量局域空间自相关系数空间分布格局比较明显，坡面填注量空间相关性以负相关为主；空间相关性不同的填注量大小交错分布，差异十分明显。因此，坡面单个填注量值越大，相关性也越弱；坡度对填注量空间分布格局的响应不明显；不同耕作措施下坡面填注量大小不同，但其空间分布趋势相同。

对不同耕作措施下坡面填注量相应的 Z-Score 进行 T 检验，结果见表 4。从表 4 中可以得出，研究区域样本容量都大于 Moran's I 计算所必须的 50 个样本^[1]。均值大小依次为 Cg-05（人工锄耕 5° 坡面，以此类推） $< \text{Cg-10} < \text{Tw-20} < \text{Cg-25} < \text{Tw-15} < \text{Tw-10} < \text{Cg-15} < \text{Cg-20} < \text{Tw-25} < 0 < \text{Tw-05}$ ，对照相应的偏态系数及标准差的大小，即可得出 Tw-05，Tw-25，Cg-15，Cg-20 和 Cg-25 对应坡面填注量局域空间自相关系数 Z-Score 较符合标准正态分布假设，即其局域空间自相关不明显，坡面填注量空间分布格局较随机。其余措施下坡面局域空间自相关呈不同程度的相关性，由 T 检验值可以得出 Tw-10 和 Tw-15 坡面局域空间自相关在 0.05 水平上显著，Tw-20，Cg-05 和 Cg-10 坡面在 0.01 水平上显著，即坡面填注量空间分布结构明显。

这一结果与表 3 中结果并不矛盾，表 3 中结果是对坡面总填注量全局空间自相关性的描述，其计算

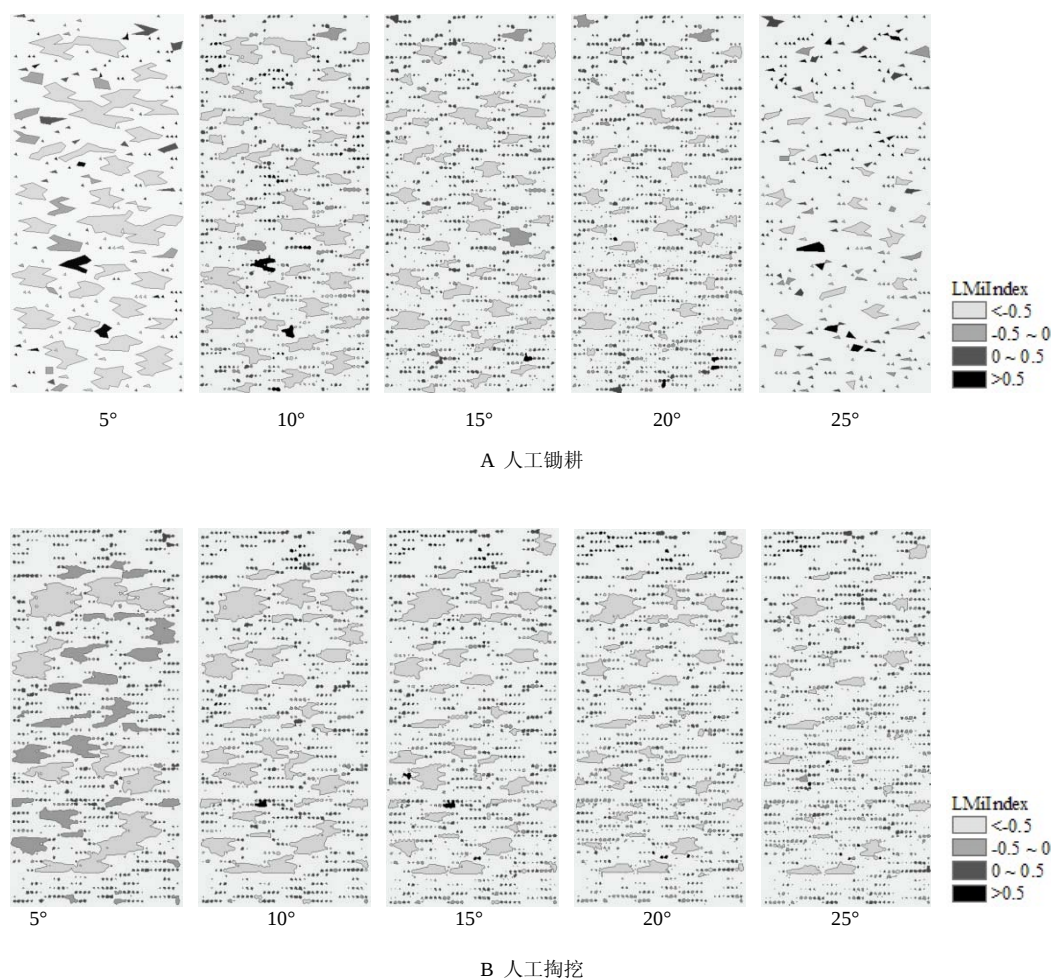


图 4 不同耕作措施下坡面填洼量局域空间自相关分布格局

Fig. 4 Spatial pattern of surface depression local Moran's I under different tillage operations

指标均值,标准差等建立在整个坡面上,而这里是局域空间自相关性的描述,其计算方法与全局空间自相关性的计算有一定的差异。也只有通过局域空间自相关性的分析,得出的填洼量空间分布格局才具有实际意义。

3 结论与讨论

空间相关性是空间变量的区域化属性之一,是研究变量空间分布格局的有效途径。因此,本文基于 ArcGIS9.3 和 SPSS16.0 软件相关功能,选用全局和局域 Moran's I 空间相关性系数对黄土坡耕地人工掏挖和人工锄耕耕作措施造成的地表坑洼特征(填洼量)进行了空间自相关分析,初步揭示了给定条件下地表填洼量的空间分布格局。

结果表明,①耕作形成的坡面填洼量全局空间自

相关系数普遍较低(小于或等于0),这说明坡面填洼量呈弱的负相关性或空间不相关,即没有大范围大集聚和相似性,大小不同的填洼量交错分布,具有较强的空间异质性;②通过局域自相关分析表明人工掏挖和人工锄耕措施下坡面填洼量空间自相关性与填洼量的大小有关,但是具体大小对空间自相关性的响应规律还需进一步研究;③坡度是影响填洼量大小的主要原因,但是对空间自相关性的影响不明显。

虽然本文采用 Moran's I 系数对耕作造成的坡面填洼量的空间自相关性进行了分析,并得到了初步结论,但是这并非研究的最终目的,接下来将在研究的基础上探讨不同空间相关性条件下填洼量对产汇流特征的响应,以期为研究微地形条件下坡面产汇流机制提供理论依据。

表4 不同耕作措施下坡耕地地表填洼量空间自相关统计特征

Table 4 Statistical characters of sloping field depression storage and it's spatial autocorrelation under different tillage operations

统计项	Tw-05	Tw-10	Tw-15	Tw-20	Tw-25	Cg-05	Cg-10	Cg-15	Cg-20	Cg-25
样本容量 (个)	689	771	931	1 041	1 171	194	659	851	1 051	318
均值	0.003 5	-0.040 9	-0.042 4	-0.048 0	-0.009 6	-0.198 3	-0.096 4	-0.022 2	-0.018 6	-0.047 8
中值	0.075 9	0.074 4	0.056 4	0.037 6	0.043 1	0.055 8	0.043 5	0.071 0	0.047 4	0.051 9
标准差	0.308 4	0.502 1	0.510 8	0.495 8	0.346 0	0.805 7	0.643 0	0.360 3	0.322 7	0.549 8
变异系数	0.095 0	0.252 0	0.261 0	0.246 0	0.120 0	0.649 0	0.413 0	0.130 0	0.104 0	0.302 0
偏态系数	-9.208 0	-8.307 0	-7.773 0	-8.599 0	-9.592 0	-3.904 0	-6.035 0	-5.554 0	-8.066 0	-3.157 0
偏态差	0.093 0	0.088 0	0.080 0	0.076 0	0.071 0	0.175 0	0.095 0	0.084 0	0.075 0	0.137 0
峰态系数	123.600 0	87.960 0	73.310 0	101.200 0	128.600 0	23.690 0	49.540 0	41.600 0	95.500 0	14.560 0
峰态差	0.186 0	0.176 0	0.160 0	0.151 0	0.143 0	0.347 0	0.190 0	0.167 0	0.151 0	0.273 0
变距	5.271 0	7.115 0	7.370 0	8.649 0	6.438 0	7.728 0	10.310 0	5.022 0	5.768 0	5.495 0
最小值	-5.145 0	-6.845 0	-6.626 0	-8.225 0	-5.597 0	-6.707 0	-7.423 0	-3.834 0	-5.369 0	-4.029 0
最大值	0.126 0	0.269 7	0.744 0	0.423 8	0.841 0	1.021 0	2.883 0	1.188 0	0.398 8	1.466 0
T检验	0.764 0	0.024 0**	0.012 0**	0.002 0*	0.341 0	0.001 0*	0.000 0*	0.073 0	0.062 0	0.122 0

注: 表中数据通过 SPSS 软件分析得到; 其中, “Tw-05”表示人工掏挖措施下坡度为 5° 坡面, “Cg-05”表示人工锄耕措施下坡度为 5° 坡面, 其他依次类推; 数据四舍五入后保留小数点后 4 位数字; ** 表示在 $p < 0.05$ 水平显著, * 表示在 $p < 0.01$ 水平显著; 表中数据无量纲。

参考文献:

- [1] 张朝生, 章申, 何建邦. 长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究——空间自相关与分形方法. 地理学报, 1998, 53(1): 87-95
- [2] 张朝生, 陶澍, 袁贵平, 刘水. 天津市平原土壤微量元素含量的空间自相关研究. 土壤学报, 1995, 32(1): 50-57
- [3] 陈小勇. 安徽黄山青冈种群遗传结构的空間自相关分析. 植物生态学报, 2001, 25(1): 29-34
- [4] Sokal RR, Oden NL. Spatial autocorrelation in biology, 1. Methodology. Biological Journal of the Linnean Society, 1978, 10: 199-228
- [5] Sokal RR, Oden NL. Spatial autocorrelation in biology, 2. Some biology implications and four applications of evolutionary and ecological interest. Biological Journal of the Linnean Society, 1978, 10(2): 229-249
- [6] Wulder M, Boots B. Local spatial autocorrelation characteristics of remotely sensed imagery assessed with The Gaits statistic. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(11): 2 223-2 231
- [7] Tiefelsdorf M. Modeling spatial process: The identification and analysis of spatial relationships in regression residuals by means of Moran's I. Berlin: Springer, 2000: 187-206
- [8] Legendre P. Spatial autocorrelation: Tribe or new paradigm. Ecology, 1993, 74: 1 659-1 673
- [9] Perelra JM, Carrelras JM, Vasconcelos MJ. Exploratory data analysis of the spatial distribution of wildfires in Portugal, 1980-1989. Geographical System, 1998, 5: 335-390
- [10] Rey SJ, Montouri BD. US regional income convergence: A spatial econometric pempective. Reional Studies, 1999, 33(2): 143-156
- [11] Cohen J, Ttta G. Diffusion in homicide: exploring a general method for detecting spatial diffusion process. Journal of Quantitative Criminology, 1999, 15(4): 451-493
- [12] Zhang F, Zhang XS. Landscape spatial autocorrelation analysis of TM remote sensing data: A case study of Changping District, Beijing, China. Acta Ecologica Sinica, 2004, 24(12): 2 853-2 858
- [13] 芮孝芳. 水文学原理. 北京: 中国水利水电出版社, 2005: 131-132
- [14] Yvonne M, Caterina V, Matthew T. Centimetre-scale digital representations of terrain and impacts on depression storage and runoff. Catena, 2008, 75: 223-233
- [15] 王健, 孟秦倩, 庄需印, 胡林. 黄土高原人工锄耕地坡面填洼量特征. 节水灌溉, 2008(8): 23-25
- [16] Esri Support Center. How Spatial Autocorrelation: Moran's I (Spatial Statistics) works. 2009, 1. [http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Spatial%](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=How%20Spatial%20Autocorrelation)

- 20Autocorrelation: %20Moran's% 20I%20(Spatial% 20Statistics)
% 20works
- [17] Esri Support Center. What is a Zscore What is a p-value. 2009, 5.
[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm? TopicName](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?TopicName=What%20is%20a%20Z%20Score%20%20What%20is%20a%20p-value)
= What %20is%20a%20Z%20Score%20%20 What% 20is%20a%
- 20p-value
- [18] Legendre P, Fortin MJ. Spatial pattern and ecological analysis.
Veg, 1989, 80: 107-138
- [19] Levin SA. The problem of pattern and scale in ecology. Ecology,
1992, 73: 1 943-1 967

Study on Spatial Autocorrelation of Depression Storage in Loess Sloping Field Based on Moran's I

ZHAO Long-shan, ZHANG Qing-feng, LIANG Xin-lan, WU Fa-qi

(College of Resources and Environment, Northwest Agriculture & Forest University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The spatial distribution characteristics of depression storage in Loess sloping field was studied with the method of spatial autocorrelation based on Moran's I, and firstly micro-DEM with the grid size of 0.002 m derived from tillage methods of artifical dig and artifical back hoe, has been established by ArcGIS9.3 software referring data from quantified elevation values determined by home-made laser scanner with the measured plot area of 1.34 m². Then depression storage or volume was extracted from micro-DEM using ArcGIS9.3' hydrology tools. The results showed that, 1) depression storage presented weakly negative spatial autocorrelation due to global Moran's I was less than or equal to 0, and also, 2) the relationship between slope and spatial pattern of depression was not clear, but, 3) it's autocorrelation was related to the amount of depression storage. In summary, spatial distribution characteristics of depression storage in sloping field presented a size of staggered and strong spatial heterogeneity pattern.

Key words: Spatial autocorrelation, Micro-DEM, Depression storage, Heterogeneity, Sloping field, Loess