

耕作层土壤养分含量的空间自相关分析

——以秦安县郭嘉镇为例

陈 英, 冯定邦, 蔡立群, 裴婷婷
(甘肃农业大学 资源与环境学院, 甘肃 兰州 730070)

摘 要: 为了探究土壤养分含量的空间分布特征, 运用空间自相关理论, 在 GeoDa095i, Arcgis 等软件的基础上, 以甘肃省秦安县郭嘉镇为例, 采用 Moran, I 统计量研究了土壤主要养分元素含量在三种不同权重矩阵下的空间自相关程度以及空间分布规律。结果表明: 秦安县郭嘉镇耕作层土壤中各主要养分空间分布并非随机状态, 而是存在一定的空间自相关特性; 全域型空间自相关研究表明, rook 权重下秦安县郭嘉镇耕作层土壤中有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷和速效钾含量的 Moran's I 指数分别为 0.3088、0.0024、-0.0522、-0.2220、0.2678 和 0.2264, 表明有机质、全氮、有效磷和速效钾的含量在空间分布上呈现空间正相关, 而全磷和全钾的含量在空间分布上呈现空间负相关; 局域空间自相关结合 Moran 散点图和 LISA 聚集图的分析结果揭示出郭嘉镇各行政村养分元素含量分布的空间分布规律, 可以直观地得到各养分元素含量分布的“高一高”、“低—低”聚集区和“低—高”、“高一低”孤立区的具体位置, 其中有机质、全氮、有效磷和速效钾都在空间分布上出现“高—高”聚集区和“低—低”聚集区, 而全磷的含量只有“低—低”聚集区, 全钾的含量在空间分布上较为分散, 没有明显的聚集区。

关键词: 耕作层; 土壤养分含量; 空间自相关; 郭嘉镇
中图分类号: S151.9+5 **文献标志码:** A

Spatial autocorrelation analysis on soil nutrient contents of plough layer

——A case from Guojia Town, Qinan County

CHEN Ying, FENG Ding-bang, CAI Li-qun, PEI Ting-ting
(College of Resources and Environment, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: In order to explore the spatial distribution of soil nutrient content at Qinan County of Gansu Province, we employed the method of spatial autocorrelation using software like GeoDa095i and ArcGIS. The results showed that: (1) the spatial distribution of the soil nutrient elements in Guojia, Qinan County had a fixed spatial distribution rather than random; (2) Under the rook weight matrix, global - type spatial autocorrelation analysis indicated positive spatial correlations among soil organic matter, total nitrogen content, available phosphorus and available potassium content showed, with the Moran's I indexes being 0.3088, 0.0024, 0.2678, 0.2264, respectively. By contrast, negative correlation existed between total phosphorus and total potassium content, the Moran's I values -0.0522 and -0.2220, respectively. (3) Local spatial autocorrelation analysis revealed a “high - high” and “low - low” concentrating pattern and a “low - high” and “high - low” dispersing pattern for nutrients content, a “high - high” and “low - low” pattern for organic matter, total nitrogen, available phosphorus and available potassium, and a “low - low” pattern for total phosphorus.

Keywords: plough layer; soil nutrients; spatial autocorrelation; Guojia Town

土壤养分是指土壤中能被植物所吸收的且植物生长所必需的营养元素, 其含量的多少直接影响到植被的生长状况, 而耕作层中的土壤养分含量直接影响到农作物的产量^[1]。因此研究土壤养分含量对于植物健康生长、高产具有重要的现实意义。

目前学术界对于土壤养分含量的研究主要集中在

在土壤养分含量的测定与评价, 土壤养分含量的变化分析以及土壤养分含量的空间差异特征^[2-5]。其中土壤养分空间变异研究多习惯上用地域统计学方法评价土壤性质的空间变异, 并进一步采用不同的差值的方法估计研究区域土壤性质的变化, 再通过汇总土壤性质分布图等, 反映某一土壤性质的变

化^[6-8]。空间自相关分析 (Spatial Autocorrelation Analysis) 是判断某一地理现象的属性值在空间分布上是否具有相关性,特定属性值在某一空间位置上的变异是否由相邻空间位置的变异引起的空间统计方法^[9-10]。空间自相关自 1950 年 Moran 等提出以来,在空间差异性研究中得到较广泛应用,张朝生等^[11]指出除了地域统计学以外,空间自相关方法也可用于土壤空间结构研究。目前空间自相关在土壤中微量元素、重金属的空间变异中已有大量研究,并且显示出了其相比于传统地域统计更直观、简便、准确等特点^[9,11-13]。但在研究土壤养分含量的空间变异方面却鲜有报道。因此本研究将空间自相关和土壤养分含量相结合,探讨秦安县郭嘉镇耕作层土壤养分元素含量的空间自相关特征,并进一步研究其空间分布规律,判断土壤养分元素的空间聚集区和空间孤立区的位置,确定合理的土壤养分管理单元,以为合理施肥和土地利用规划等提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

郭嘉镇位于甘肃省天水市秦安县北部(图 1),距县城 20 km,地处通渭、甘谷、秦安县三县的交汇地带,属陇中南部温和半温和湿润季风气候区,年平均气温 10.4℃,年平均降水量 507.3 mm,年降水一般集中在 7、8、9 三个月。气候特点为气候温和,日照充足,降水较少,干旱频繁,夏无酷暑、冬无严寒,大陆季风气候显著。郭嘉镇也是全县的农业人口大镇,全镇有 35 个行政村,111 个村民小组,耕地面积约 6 652.6 hm²。全镇总的特点是山多川少,人多地少,农业基础设施较为脆弱。郭嘉镇土壤主要是灰钙土、黑垆土、黄绵土和潮土,土壤结构为团粒状,耕层厚度约为 22~25 cm,主要种植的经济作物为小麦、玉米、马铃薯等。全镇以农业人口为主,农业产业是该镇的主要经济支柱。



图 1 研究区示意图及土壤样点分布

Fig.1 Schematic diagram of the target area and soil sampling sites

1.2 采样与分析

以 ARCGIS9.3 为操作平台,1:150 000 的秦安县郭嘉镇行政村图为基础,行政村为基本行政规划单元,按照每个规划单元内不同耕地面积的大小、地形

地貌、土壤类型的复杂程度,确定采样点的个数,再根据土壤类型的具体分布状况,调整样点分布位置,本次确定各行政村采样 2~4 个(图 1)。对秦安县郭嘉镇土壤样品的采集在作物收获后土壤施肥前进

行,在全镇 35 个行政村农田耕地上采样,采用“S”形布点法,用 GPS 定位仪精确定位,用土钻采取表层(0~20 cm)^[14]土壤,现场均匀混合后用四分法从中选取 1 kg 土样作为代表该点的混合样品,将每个土样装入聚氯乙烯塑料袋,内外均附标签,标明采样编号、名称、采样深度、采样地点、日期、采集人。将所有土样带回实验室,在室内风干、磨碎,过 100 目尼龙网筛,全镇共采 100 个混合样。

土壤样品的化学分析项目由甘肃省农业科学院土壤肥料研究所在 2012 年按照 1985 年第二次全国土壤普查时相同的化验分析方法完成,主要包括土壤有机质、全氮、全磷、全钾、有效磷和速效钾含量的测定。具体的土壤样品分析方法为:土壤有机质含量的测定用 K₂Cr₂O₇ 容量法,全氮含量的测定用半微量凯氏法,全磷含量的测定用 NaOH 熔融—钼锑抗比色法,全钾含量的测定用 NaOH 熔融—火焰光度法,有效磷含量的测定用 Na₂CO₃ 浸提—钼锑抗比色法,速效钾含量的测定用 NH₄OAc 浸提—火焰光度法。

1.3 空间自相关性分析

本研究采用 Anselin 等开发的 Geoda095i 软件进行空间权重计算和 Moran’s I 指数计算,运用全域型空间自相关分析耕作层土壤养分含量的空间自相关性^[15],运用区域型空间自相关判别各养分的空间聚集或空间离散区,用 ArcGIS 9.3 进行相关图形的绘制^[16]。

空间自相关分析是检验具有某变量在特定空间位置上的属性值是否与其相邻空间位置上的属性值显著相关^[17]。空间自相关可分为全局空间自相关(Global Spatial Autocorrelation)和局部空间自相关(Local Spatial Autocorrelation)两种,前者主要是检测变量的属性值在空间上是否具有相关性和规律性,而后者则主要是表示变量的属性值在空间上的聚集或者离散区域。最常用的表示空间自相关的指标是 Moran’s I 统计量。全局空间自相关的 Moran’s I 的计算公式^[10]为:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} (i \neq j) \tag{1}$$

式中, n 是观测数; x_i 、 x_j 分别为变量在 i 位置和 j 位置的观测值; $\bar{x}$ 是所有观测值的平均值; w_{ij} 是空间权重矩阵值。

运用 Moran’s I 统计量进行空间自相关分析时,空间权重矩阵是很重要的一个量,它决定了变量属性值的空间位置。空间权重矩阵的选择一般由研究者自行确定,可以是基于邻接关系的空间权重或基于距离的空间权重。计算离散点的 Moran’s I 通常用基于距离标准构建的空间权重矩阵,若两点之间的距离小于指定的临界值即认为其是相邻的,权重为 1,否则为 0^[18]。全域型 Moran’s I 指数主要是判定研究变量的属性值在空间位置上相关性,进而判别区域化变量在研究区内是否存在空间聚集区和空间孤立区。 I 值取值在 $-1 \sim 1$ 之间,其值越大,则空间相关性越显著, $I > 0$ 表示变量在空间上呈现正相关,存在空间聚集; $I < 0$ 表示研究变量在空间上呈现负相关,存在空间孤立; $I = 0$ 表示研究变量空间不存在空间自相关性^[19]。

区域型 Moran’s I 指数被定义为:

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij}(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \tag{2}$$

式(2)中各变量的含义同式(1)。

全域型空间自相关的功能在于描述土壤养分元素含量的整体分布状况,判断土壤养分元素含量分布是否存在空间聚集区和空间孤立区,而区域型空间自相关指标结合 Moran 散点图可以对土壤养分元素含量的空间格局可视化,以进一步研究土壤养分含量的空间分布规律。指出土壤养分元素含量的空间聚集区和空间孤立区在研究区内的位置。

本研究利用区域型空间自相关指标结合 LISA 聚集图将土壤养分元素含量空间分布划分为 4 种类型:“高一高”、“低—低”为空间聚集(Spatial clusters),表示某观测点自身与其周围观测点的养分元素含量都较高或较低,二者的空间差异程度显著较小,空间自相关程度较高;“低—高”、“高一低”为空间孤立(Spatial outliers),表示某观测点自身土壤养分元素含量较高(或较低),而其周围观测点的土壤养分元素含量较低(或较高),为高低相邻,二者的空间差异程度显著较大,空间自相关程度较低。

2 结果与分析

2.1 秦安县郭嘉镇土壤养分元素含量

对秦安县郭嘉镇耕作层的土样进行化验分析,测出 6 种土壤养分元素的含量,利用数理统计的方法,以行政村为基本规划单元,得到各行政村养分元素含量的平均值,见表 1。

表 1 各行政村土壤养分含量
Table 1 Soil nutrient contents of different villages

行政村 Village	有机质 Organic matter /(g·kg ⁻¹)	全氮 Total nitrogen /(g·kg ⁻¹)	全磷 Total phosphorus /(g·kg ⁻¹)	全钾 Total potassium /(g·kg ⁻¹)	有效磷 Available phosphorus /(mg·kg ⁻¹)	速效钾 Available potassium /(mg·kg ⁻¹)
张和村 Zhanghe Village	9.46	0.68	0.80	21.62	12.02	178.32
上川村 Shangchuan Village	9.60	0.71	0.75	21.82	12.28	167.21
朱湾村 Zhuwan Village	11.52	0.77	0.76	21.36	12.67	191.34
西山村 Xishan Village	11.52	0.71	0.77	20.95	15.04	211.89
车坪村 Cheping Village	12.04	0.68	0.82	21.69	12.86	186.75
邵沟村 Shaogou Village	9.32	0.72	0.80	20.87	12.08	168.45
槐川村 Huaichuan Village	11.80	0.75	0.68	21.05	14.89	202.41
高崖村 Gaoya Village	10.96	0.84	0.78	21.08	15.32	185.65
段坡村 Duanpo Village	12.37	0.69	0.76	20.83	13.51	182.36
胡河村 Huhe Village	11.62	0.70	0.69	20.99	12.83	198.17
瓦坪村 Waping Village	10.19	0.64	0.68	20.77	12.44	212.04
邵咀村 Shaoju Village	9.86	0.68	0.68	19.80	10.69	174.43
邵堡村 Shaobu Village	10.46	0.74	0.74	22.56	12.31	174.11
刘沟村 Liugou Village	10.12	0.88	0.80	20.56	16.79	184.68
硬洼村 Yingwa Village	13.03	0.80	0.73	19.25	13.40	185.08
背后沟村 Beihougou Village	11.91	0.81	0.84	22.63	10.37	170.47
暖泉村 Nuanquan Village	12.92	0.63	0.75	21.31	10.35	182.17
耀子村 Yaozi Village	10.23	0.85	0.74	21.60	10.75	179.52
宋沟村 Songgou Village	9.89	0.79	0.75	21.43	12.89	175.20
月阳村 Yueyang Village	9.63	0.85	0.76	21.29	13.06	209.53
把龙村 Balong Village	12.57	0.76	0.82	22.12	11.96	205.68
吊湾村 Diaowan Village	10.73	0.76	0.72	21.46	12.80	197.84
孙坡村 Sunpo Village	13.51	0.68	0.72	21.66	10.78	188.59
郭嘉村 Guojia Village	13.41	0.82	0.88	21.83	10.77	177.17
洛泉村 Luoquan Village	13.46	0.87	0.79	21.35	10.63	206.08
贡王村 Yunwang Village	9.35	0.77	0.68	22.57	10.50	211.46
马峡村 Maxia Village	10.40	0.77	0.81	22.79	10.79	204.01
陈沟村 Chengou Village	9.34	0.66	0.75	22.06	12.77	230.85
刘湾村 Liuwan Village	12.38	0.75	0.75	21.85	12.63	213.88
下山村 Xiashan Village	13.41	0.80	0.82	21.95	12.55	185.18
胥堡村 Xubo Village	12.90	0.73	0.79	21.47	12.14	176.99
勿垛村 Wuduo Village	11.60	0.82	0.79	22.06	11.84	181.49
元川村 Yuanchuan Village	11.86	0.78	0.83	20.46	11.85	190.67
寺咀村 Siju Village	11.52	0.72	0.81	21.52	10.69	185.68
槐庙村 Huaimiao Village	10.93	0.70	0.80	22.31	10.62	188.51

2.2 土壤养分元素含量全域空间自相关性

利用 Geoda 软件分析在 rook、queen、k – nearest 三种空间权重矩阵下土壤养分元素含量 Moran’s I 指数,结果见表 2。从表 2 中可以看出:

(1) 在 rook 权重矩阵下,有机质、全氮、有效磷和速效钾含量 Moran’s I 指数均大于 0,分别是 0.3088、0.0024、0.2678 和 0.2264,表明有机质、全氮、有效磷和速效钾含量在空间上呈现正相关,存在空间聚集区,且有机质、有效磷和速效钾含量

Moran’s I 指数较大,其空间相关程度也较大,全氮含量 Moran’s I 指数较小,其空间相关程度较小;全磷和全钾含量 Moran’s I 指数均小于 0,分别为 -0.0522和 -0.2200,表明全磷和全钾含量在空间上呈现负相关,存在空间孤立区,且全钾含量 Moran’s I 指数绝对值较大,其空间相关程度也较大,全磷含量 Moran’s I 指数较小,其空间相关程度较小。

(2) 在 queen 权重矩阵下,有机质、全氮、有效磷

和速效钾含量 Moran's I 指数均大于 0, 分别是 0.3190、0.0108、0.2666 和 0.2268, 表明有机质、全氮、有效磷和速效钾含量在空间上呈现正相关, 存在空间聚集区, 且有机质、有效磷和速效钾含量 Moran's I 指数较大, 其空间相关程度也较大, 全氮含量 Moran's I 指数较小, 其空间相关程度较小; 全

磷和全钾含量 Moran's I 指数均小于 0, 分别为 -0.0306 和 -0.2410, 表明全磷和全钾含量在空间上呈现负相关, 存在空间孤立区, 且全钾含量 Moran's I 指数较大, 其空间相关程度也较大, 全磷含量 Moran's I 指数较小, 其空间相关程度较小。

表 2 不同空间权重矩阵下土壤养分元素含量 Moran's I 指数						
Table 2 The Moran's I index of the soil nutrient contents under different spatial weight matrix						
类型 Type	有机质 Organic matter	全氮 Total nitrogen	全磷 Total phosphorus	全钾 Total potassium	有效磷 Available phosphorus	速效钾 Available potassium
rook	0.3088	0.0024	-0.0522	-0.2220	0.2678	0.2264
queen	0.3190	0.0108	-0.0306	-0.2410	0.2666	0.2268
k - nearest	0.2212	-0.0176	-0.0020	-0.2381	0.2773	0.2124

(3) 在 k - nearest 权重矩阵下, 有机质、有效磷和速效钾含量 Moran's I 指数均大于 0, 分别是 0.2212、0.2773 和 0.2124, 表明有机质、有效磷和速效钾含量在空间上呈现正相关, 存在空间聚集区, 且相关程度大小依次为有效磷、有机质、速效钾含量; 全氮、全磷和全钾含量 Moran's I 指数均小于 0, 分别为 -0.0176、-0.0020 和 -0.2381, 表明全氮、全磷和全钾含量在空间上呈现负相关, 存在空间孤立区, 且全钾含量 Moran's I 指数较大, 其空间相关程度也较大, 全氮和全磷含量 Moran's I 指数较小, 其空间相关程度较小。

综上, 在 rook 权重矩阵、queen 权重矩阵和 k - nearest 权重矩阵的影响下, 有机质、有效磷和速效钾的指数均为正值, 即这三种养分含量呈的空间正相关, 而全磷和全钾的 Moran's I 指数在三种权重矩阵

作用下均为负值, 即在空间分布上呈现空间负相关。全氮的 Moran's I 指数值在前两种空间权重矩阵影响下为正值, 而在 k - nearest 权重矩阵的作用下为负值, 说明选择不同的空间权重矩阵, 对 Moran's I 指数的影响较大。

2.3 土壤养分元素含量区域空间自相关分析

通过分析全域型空间自相关得到三种空间权重矩阵的相关程度较高, 尤其是 rook 权重矩阵和 queen 权重矩阵下的空间自相关程度基本一致, 因此, 在 LISA 中选择 rook 权重矩阵分析局部空间自相关分析。分析得到 6 种养分元素 rook 权重矩阵下的 Moran 散点图和 LISA 聚集图。

图 2 中, 从有机质的 Moran 散点图可以看出, 有机质含量 Moran's I 指数为 0.3088, 表明有机质含量在空间上呈现正相关, 从有机质的 LISA 聚集图可以

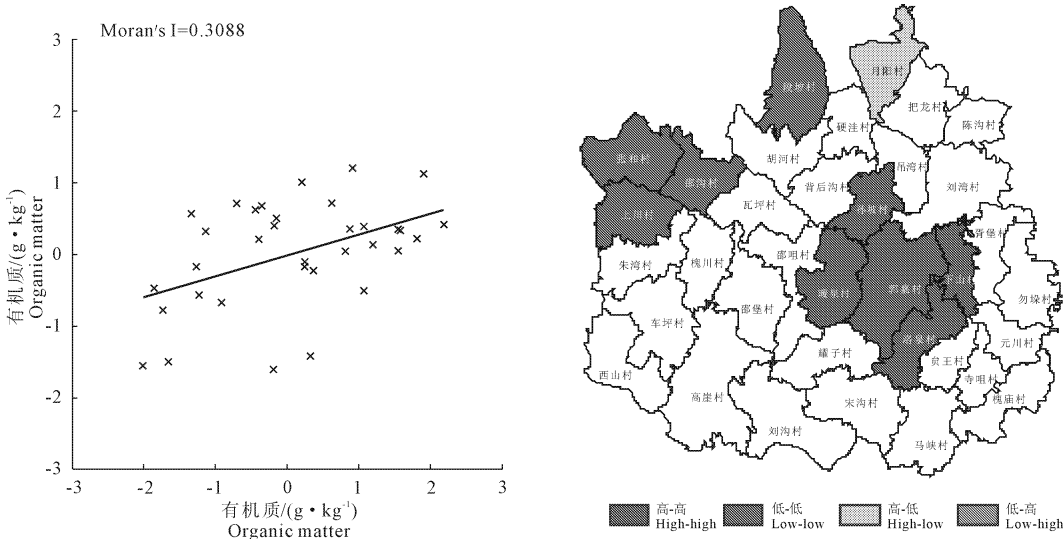


图 2 有机质的 Moran 散点图和 LISA 聚集图

Fig.2 Moran scatter diagram and LISA accumulation map of organic matter

看出高值聚集区主要分布在孙坡村、暖泉村、郭嘉村、下山村和洛泉村,即这些行政村的有机质含量较高,其周围的有机质含量也较高,因此形成了“高-高”聚集区;低值聚集区主要分布在张和村、邵沟村、上川村和段坡村,即这一区域内的有机质含量较低,其周围区域的有机质含量也较低,因此形成了“低-低”聚集区。有机质含量的分布出现了一个高值孤立点,主要分布在月阳村,即月阳村相对周围的有机质含量较高。

图 3 中,从全氮的 Moran 散点图可以看出,全氮含量 Moran's I 指数为 0.0209,表明全氮含量在空间上呈现正相关,全氮含量的空间自相关程度相对较低。从全氮的 LISA 聚集图可以看出在刘沟村和洛泉村出现了全氮含量的“高一高”聚集区,在孙坡村

出现了全氮含量的“低—低”聚集区。

图 4 中,从全磷的 Moran 散点图可以看出,全磷含量 Moran's I 指数为 -0.0448 ,表明全磷含量在空间上呈现负相关,相关程度较小,从全磷的 LISA 聚集图可以看出在瓦坪村和邵咀村出现了全磷含量的“低—低”聚集区,在胡河村和槐川村出现了全磷的“高—低”孤立区。

图 5 中,从全钾的 Moran 散点图可以看出,全钾含量 Moran's I 指数为 -0.2354 ,表明全钾含量在空间上呈现负相关,从全钾的 LISA 聚集图可以看出在背后沟村、邵堡村和槐庙村出现了全钾含量的“低—高”孤立区,在硬洼村和元川村出现了全钾含量的“高—低”孤立区。

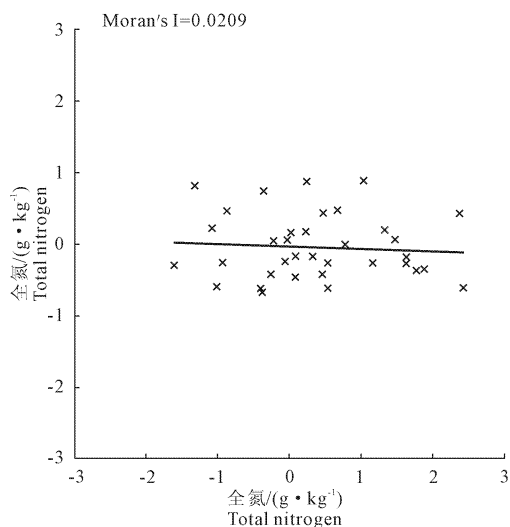


图 3 全氮的 Moran 散点图和 LISA 聚集图

Fig. 3 Moran scatter diagram and LISA accumulation map of total nitrogen

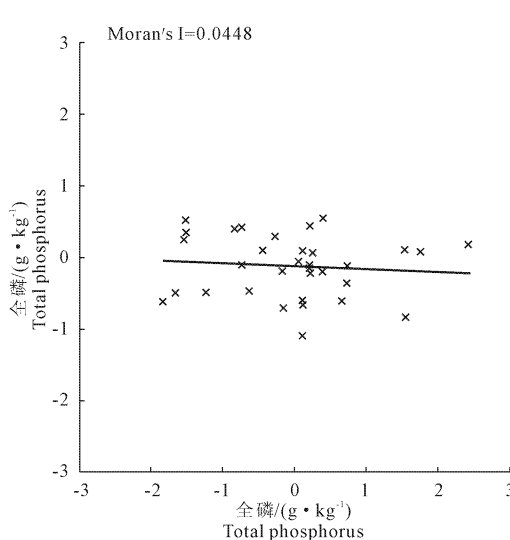


图 4 全磷的 Moran 散点图和 LISA 聚集图

Fig.4 Moran scatter diagram and LISA accumulation map of total phosphorus

图 6 中,从有效磷的 Moran 散点图可以看出,有效磷含量 Moran's I 指数为 0.2784,表明有效磷含量在空间上呈现正相关,从有效磷的 LISA 聚集图可以看出在西山村和高崖村出现了有效磷含量的“高一高”聚集区,在马峡村、槐庙村、寺咀村、负王村和洛泉村出现了有效磷含量的“低—低”聚集区,在槐川村出现了有效磷含量的“低—高”孤立区。

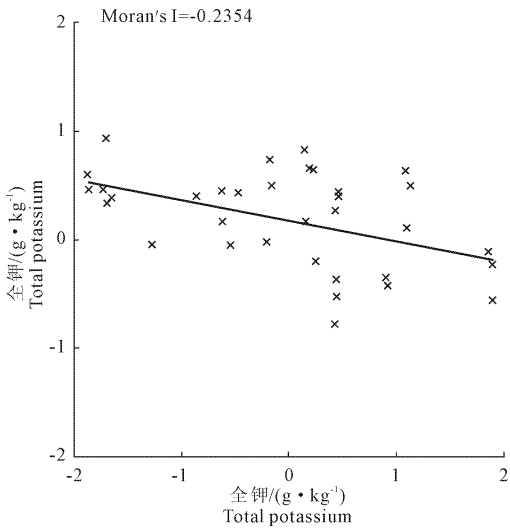


图 5 全钾的 Moran 散点图和 LISA 聚集图

Fig.5 Moran scatter diagram and LISA accumulation map of total potassium

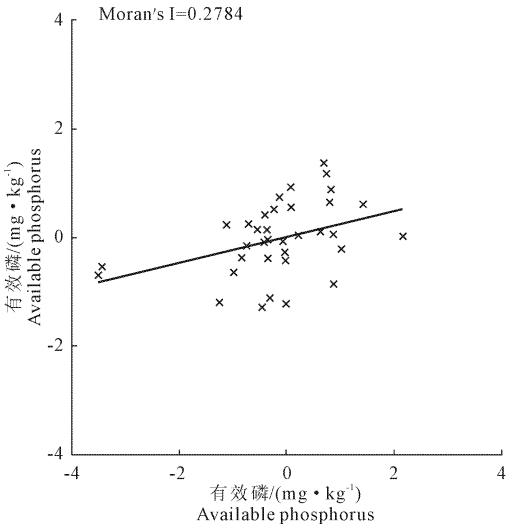
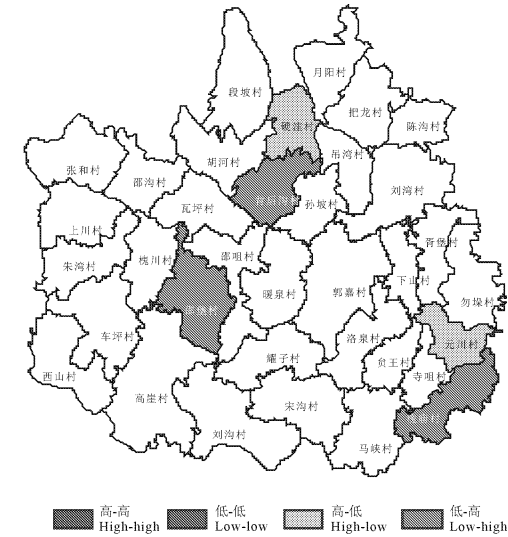
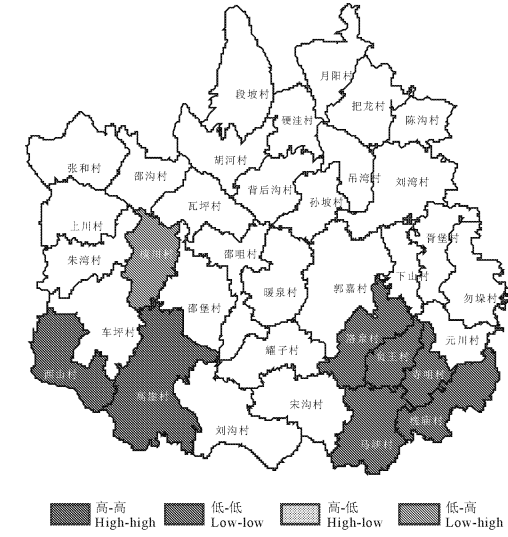


图 6 有效磷的 Moran 散点图和 LISA 聚集图

Fig.6 Moran scatter diagram and LISA accumulation map of available phosphorus



3 讨论

1) 与传统的地域统计学方法相比较,空间自相关不仅可以反映变量的正负相关性,而且在残差存在空间自相关时可以精准测量结果^[20]。本文通过运用空间自相关理论对秦安县郭嘉镇耕作层 6 种养

图 7 中,从速效钾的 Moran 散点图可以看出,速效钾含量 Moran's I 指数为 0.2431,表明速效钾含量空间上呈现正相关,从速效钾的 LISA 聚集图可以看出在西山村、月阳村、把龙村、吊湾村和刘湾村出现了速效钾含量的“高一高”聚集区,在上川村和邵沟村出现了速效钾含量的“低—低”聚集区,在陈沟村出现了速效钾含量的“低—高”孤立区。

分元素含量的空间分布特征进行了探讨,根据 6 种土壤养分含量的 Moran's I 指数确定其空间分的相关性及其相关性大小。对养分含量进一步的区域自相关分析得出该镇耕作层土壤养分元素含量具有一定的自相关关系,存在“高一高”、“低—低”空间聚集区和“低—高”、“高一低”空间孤立区,并能明确指出

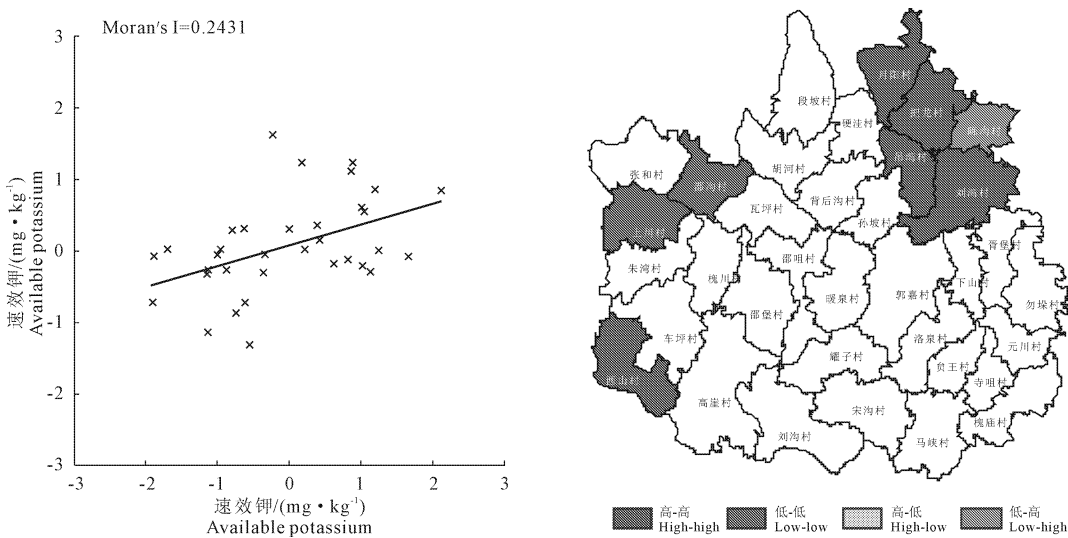


图 7 速效钾的 Moran 散点图和 LISA 聚集图

Fig.7 Moran scatter diagram and LISA accumulation map of available potassium

空间聚集和空间孤立的具体所在行政村位置。该镇土壤养分元素含量既有聚集分布,也有孤立分布,土壤养分元素含量差异性较显著,并不是均等分布,这是由地质构造、成土作用、施肥以及人为因素等共同作用的结果。

2) 秦安县郭嘉镇大部分土壤类型为黑垆土和黄绵土,整体上为中等肥力等级,通过该镇各行政村土壤养分含量差异的分析比较,此研究结果可以用于指导施肥和土地利用的规划,对各养分含量较低的行政村采取相应的施肥方案,从而达到提高作物产量,改善农产品品质,节省劳力,节支增收的目的;对于该镇耕作层土壤养分含量低且难以改良的耕地,可根据具体情况分析,可以改变其种植制度,如轮作、撂荒等,或改变其土地利用方式,发展多种农业经营方式,例如果椒和蔬菜等,做到因地制宜,确保农业发展,农民增收。

3) 本研究中只选取了耕作层 6 种常规营养元素指标来分析,而对作物生长还需考虑其他不可或缺的中、微量必需营养元素等;另外,本研究只对该区域耕作层土壤养分含量的自相关关系进行分析,而不同深度土层土壤的养分含量的自相关关系等研究仍需要后续大量研究探索。

4 结 论

通过对秦安县郭嘉镇各行政村耕作层土壤中 6 种养分元素含量的空间自相关进行分析,得到结论:

1) 空间自相关可作为一种新方法分析耕作层土壤养分含量。

2) 全域型空间自相关表明秦安县郭嘉镇土壤

养分元素含量的空间分布并非随机状态,而是存在一定的空间自相关特性。在 rook 权重矩阵、queen 权重矩阵和 k - nearest 权重矩阵的影响下,有机质、有效磷和速效钾的 Moran's I 指数均为正值,即这三种养分含量呈空间正相关,而全磷和全钾的 Moran's I 指数在三种权重矩阵作用下均为负值,即在空间分布上呈现空间负相关。全氮的 Moran's I 指数值在前两种空间权重矩阵影响下为正值,而在 k - nearest 权重矩阵的作用下为负值,说明选择不同的空间权重矩阵,对 Moran's I 指数的影响较大。

3) 区域型空间自相关结合 Moran 散点图和 LISA 聚集图的分析结果揭示了郭嘉镇各行政村养分元素含量的空间分布规律,可以直观地得到各养分元素含量分布的“高一高”、“低—低”聚集区和“低—高”、“高一低”孤立区的具体位置,即得出郭嘉镇各行政村养分元素含量分布之间的空间自相关关系。局域空间自相关的研究表明有机质、全氮、有效磷和速效钾都在空间分布上出现“高—高”聚集区和“低—低”聚集区,而全磷的含量只有“低—低”聚集区,全钾的含量在空间分布上较为分散,没有明显的聚集区。

参 考 文 献:

[1] 黄昌勇,徐建明.土壤学[M].北京:中国农业出版社,2010.
[2] 梁永锋.固原市原州区土壤养分含量的测定与评价[J].安徽农业科学,2012,40(36):17566-17588.
[3] 白岗栓,张占山,李志熙.仁用杏园不同土层土壤养分含量的测定[J].干旱地区农业研究,2006,24(2):75-78.
[4] 封芙蓉,汪秋女.休宁县土壤养分含量变化分析[J].安徽农学通报,2013,19(3):81-82.

特征[J].生态学报,2011,31(19):5512-5523.

[4] Easson DL, Fearnough W. Effects of plastic mulch, sowing date and cultivar on the yield and maturity of forage maize grown under marginal climatic conditions in Northern Ireland[J]. Grass Forage Sci, 2000,55(3):221-231.

[5] 杜社妮,白岗栓.玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):56-59.

[6] 李改香,刘永忠,李万星,等.旱地玉米整秆加秋盖地膜保全苗壮苗技术研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(4):22-25.

[7] 谭军利,王林权,李生秀.地面覆盖的保水增产效应及其机理研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):50-54.

[8] 杨祁峰,岳云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33.

[9] 周顺利,张福锁,王兴任.土壤硝态氮时空变异与土壤氮素表现盈亏研究[J].生态学报,2001,21(11):1782-1789.

[10] 陶武辉,沈玉芳,李世清.施氮对黄土高原水蚀风蚀交错区土壤矿质氮的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(10):103-109.

[11] Ols H W, Blankenau K, Brentrup F, et al. Soil and plant – based nitrogen – fertilizer recommendations in arable farming[J]. Plant Nutr Soil Sci, 2005,168(93):414-431.

[12] Drahorad W. Guideline for apple nutrition in the south Tyrol[J]. Compact Fruit Tree, 2004,37(1):30-32.

[13] 汤丽玲,陈清,张福锁,等.日光温室番茄的氮素追施与反调控[J].植物营养与肥料学报,2004,10(4):391-397.

[14] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.

[15] 朱兆良.中国土壤氮素研究[J].土壤学报,2008,45(5):778-783.

[16] 李生秀,张志华,高亚军,等.矿质氮在土壤剖面中的分布[J].干旱地区农业研究,1993,11(增刊):141-145.

[17] 陈小莉,李世清,王瑞军,等.半干旱区施氮和灌溉条件下覆膜对春玉米产量及氮素平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):652-658.

[18] 刘广才,杨祁峰,李来祥,等.旱地玉米全膜双垄沟播技术增产效果研究[J].农业现代化研究,2009,30(6):739-743.

[19] 李来祥,刘广才,杨祁峰,等.甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与进展[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):114-118.

[20] 张雷,牛建彪,赵凡.旱作玉米双垄面集雨全地面覆膜沟播抗旱增产技术研究[J].甘肃科技,2004,20(11):174-175.

[21] Standford G, Smith S J. Nitrogen mineralization potentials of soils[J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 1972,36:465-472.

[22] Jennifer D Knoepp, Wayne T Swank. Using soil temperature and moisture to predict forest soil nitrogen mineralization[J]. Biology and Fertility of soils, 2002,36:177-182.

[23] 王喜庆,李生秀,高亚军.地膜覆盖对旱地春玉米生理生态和产量的影响[J].作物学报,1998,24(3):348-353.

[24] Al – Assir I A, Rubeiz I G, Khoury R Y. Response of fall greenhouse cos lettuce to clear mulch and nitrogen fertilizer[J]. J. Plant Nutr, 1991,14(10):1017-1022.

(上接第 73 页)

[5] 罗洮峰.加压滴管条件下土壤养分含量的变化研究[J].新疆农垦科技,2012,(8):32-33.

[6] 张萍,黄永文,陈燕华,等.宜昌典型土壤养分含量及相关分析[J].湖北农业科学,2012,51(24):5628-5632.

[7] 穆叶赛尔·吐地,吉力力·阿不都外力,姜逢清.天山北坡林沿土壤养分含量的区域差异特征研究[J].中国生态农业学报,2013,21(5):580-589.

[8] 古丽娜尔·托合提,海米提·依米提,米日姑·买买提,等.伊犁河谷土壤含盐量空间变异和格局分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):152-158.

[9] 黄智刚.丘陵红壤蔗区土壤的中微量营养元素的空间变异[J].中国土壤与肥料,2006,(6):16-32.

[10] 霍霄妮,李红,孙丹峰,等.北京耕作土壤重金属含量的空间自相关分析[J].环境科学学报,2009,29(6):1339-1344.

[11] 张朝生,陶澍,袁贵平,等.天津市平原土壤微量元素含量的空间自相关研究[J].土壤学报,1995,32(1):50-57.

[12] 梁二,王小彬,蔡典雄,等.河南省土壤有机碳分布空间自相关分析[J].应用生态学报,2007,18(6):1305-1310.

[13] 刘永生.华北平原土壤重金属元素空间自相关研究[D].北京:中国地质大学,2012.

[14] 彭世逞,陈刚.1985—2006年西昌市农田主要肥力指标变化情况[J].安徽农业科学,2008,36(35):15590-15592.

[15] 刘永生,杨楠,王轶,等.保定—沧州地区基于空间自相关分析的土壤区域监测点网络密度研究[J].水文地质工程地质,2012,39(5):126-131.

[16] 张新峰.空间自相关的数据分析方法与应用研究—以南亚海嘯对海洋生态因子的影响为例[D].兰州:兰州大学,2009.

[17] 徐建华.计量地理学[M].北京:高等教育出版社,2006.

[18] 刘仲刚,李满春,刘剑锋,等.面向离散点的空间权重矩阵生成算法与实证研究[J].地理与地理信息科学,2006,22(3):53-56.

[19] 杨奇勇,杨劲松,余世鹏,等.不同尺度下耕地土壤 Cr 含量的空间自相关性分析[J].应用与环境生物学报,2011,17(3):393-397.

[20] 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[J].地理学报,1998,53(1):87-96.