

# 基于空间自相关的耕地等别指数检验方法研究

杨永侠<sup>1</sup> 王旭<sup>1</sup> 孟丹<sup>1</sup> 孙婷<sup>1</sup> 张中帆<sup>2</sup> 施彦如<sup>1</sup>

(1. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083; 2. 国土资源部农用地质量与监控重点实验室, 北京 100035)

**摘要:** 耕地质量等别成果在我国耕地保护中发挥了重要作用, 因此对耕地质量等别成果质量检验方法的研究具有重要的现实意义。建立了以耕地面积修正反距离权重矩阵的改进模型, 并分别提取了改进模型和反距离模型的疑似异常值单元, 得到了县域内所有耕地单元的自然等指数的标准差, 选取大于增量空间自相关最大莫兰指数所对应的阈值距离为缓冲区半径, 按照研究确定的县域耕地自然等指数疑似异常值判定与选取的标准, 对疑似异常值单元与其缓冲区范围内耕地单元的自然等指数进行比较和判断, 排除非确定异常值, 得到确定异常值, 并对最终结果进行了检验。以内蒙古自治区宁城县为例, 分析得到自然等指数的标准差为 78, 缓冲区距离为 600 m, 结果表明, 判定与选取异常值的标准能准确提取确定异常值单元, 排除大部分非确定异常值, 且检验表明, 提取确定异常值的精度较高; 在相同阈值距离下, 改进模型比反距离权重模型在提取确定异常值单元方面存在一定优势, 说明面积和距离都是影响耕地质量相关性的重要指标。该方法可以为县域耕地质量等别成果数据检验提供参考, 也为空间自相关分析在相关领域中的应用提供一种新思路。

**关键词:** 耕地质量; 自然等指数; 异常值; 空间自相关; 面积修正

**中图分类号:** F301.21      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-1298(2016)05-0328-08

## Test Method of Cultivated Land Grading Index Based on Spatial Autocorrelation

Yang Yongxia<sup>1</sup> Wang Xu<sup>1</sup> Meng Dan<sup>1</sup> Sun Ting<sup>1</sup> Zhang Zhongfan<sup>2</sup> Shi Yanru<sup>1</sup>

(1. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

2. Key Laboratory for Agricultural Land Quality, Monitoring and Control, Ministry of Land and Resources, Beijing 100035, China)

**Abstract:** The cultivated land quality grading results have played an important role in the protection of cultivated land, therefore, research on the test method of cultivated land quality grading results has important practical significance. The main purpose of this study was to prove the rationality of the cultivated land quality grading results by testing cultivated land natural quality index. This paper presented an improved model, and it was established with inverse distance weighting (IDW) matrix which was amended by cultivated land area, then suspected outliers of the improved model and the original IDW model were extracted. In order to determine the accuracy of suspected outliers, a further study was carried out to establish a standard for judging and extracting suspected outliers, which included analyzing the standard deviation of cultivated land natural quality index of cultivated land unit, and selecting a distance which is greater than the threshold distance of biggest Moran index as a buffer radius. This new method was illustrated by using Ningcheng County of Inner Mongolia as a case study, the standard deviation was 78 and the buffer radius was 600 m were obtained. The results indicated that the method using standard to judge suspected outliers can accurately judge determined outliers and exclude most non-deterministic outliers. Besides, the improved model was better than the original IDW model on extracting the determined outliers unit in the same threshold distance, which illustrated that both the area

收稿日期: 2016-01-25 修回日期: 2016-03-01

基金项目: 国土资源部财政预算项目(2015-02-02-01)

作者简介: 杨永侠(1965—), 男, 副教授, 主要从事土地利用与土地信息系统研究, E-mail: yangyx@cau.edu.cn

and the distance were important indicators of the quality of cultivated land. This method can provide a reference for testing the cultivated land quality gradating results at county level, and also provide a new way for the application of spatial autocorrelation analysis in related fields.

**Key words:** cultivated land quality; natural quality index; outliers; spatial autocorrelation; area correction

## 引言

随着土地管理日益严格化和规范化,耕地质量等别成果在耕地占补平衡、土地集约利用评价、基本农田保护与建设等相关领域发挥了积极且重要的作用<sup>[1-4]</sup>。国土资厅函[2012]60号文明确规定,从2014年开始,每年都需要对耕地质量进行更新评价,整理形成耕地质量等别成果数据。因此,对耕地质量等别成果的合理性检验迫在眉睫。

围绕耕地质量等别成果,相关学者从不同角度对成果数据的合理性与准确性进行了探讨<sup>[5-7]</sup>,对评价过程中的参数计算方法进行了研究,但当前已有的对成果的检查仅停留在数据规范的层面上<sup>[8]</sup>,未见对成果本身合理性检验方法的研究。

空间自相关算法作为研究数据聚集程度以及异常值提取的方法被广泛应用于耕地质量空间特征分析研究中<sup>[9-12]</sup>,但以上研究均依据相邻关系或距离关系单一指标进行分析,未考虑耕地面积对自相关的影响,且对异常值进行筛选后,未对异常值的准确性和合理性进行研究。

基于以上分析,本文以县域耕地质量数据中自然等指数为空间变量,引入空间自相关分析方法,以面积和距离为判定标准,探索耕地质量等指数的空间聚集性和空间差异性特征;基于对县域耕地质量等别成果中自然等指数的分析,提出一种判断县域耕地自然等指数是否异常的检验方法,以期对耕地质量等别成果数据的合理性检验提供一种技术思路。

## 1 研究方法

### 1.1 空间权重矩阵的选取及构建方法

#### 1.1.1 空间权重矩阵的选择

空间权重矩阵是进行空间自相关分析的先决条件和重要基础,决定了一个点或空间单元对附近的点或空间单元的贡献程度<sup>[13]</sup>。早期 ANSELIN 提出基于空间位置的相邻关系二进制邻接性的方法确定空间权重矩阵<sup>[14]</sup>,而后经过扩展,形成现今运用最广的建立空间权重矩阵的方法:基于邻接性的权重矩阵、阈值距离权重矩阵、反距离权重矩阵、基于最近  $K$  点关系的权重矩阵。由于耕地之间非全部相

邻,通过对县域耕地单元进行空间统计分析,发现基于邻接性的权重矩阵不能判定所有单元;基于最近  $K$  点关系的权重矩阵和阈值距离权重矩阵在判断时,选定单元对评定单元的影响程度相同,不能体现距离越近、相似性越强的特点;使用反距离权重矩阵方法时,能保证阈值距离内选定单元对评定单元的影响存在差异性,且更符合地理学第一定律<sup>[15]</sup>,因此本研究选用反距离权重矩阵为空间自相关分析基础。

#### 1.1.2 改进空间权重矩阵的构建

目前在建立反距离权重矩阵时,大多仅依据耕地单元质心之间的距离,而未考虑耕地单元面积对耕地单元相互之间的影响。本文以反距离权重矩阵为基础,结合耕地单元面积建立空间权重矩阵。在研究过程中考虑到耕地的面积差异较大,为了消除面积在量纲上的差别,对面积数据进行归一化处理,其计算公式为

$$B_{ij} = \begin{cases} \frac{M_j - i_{\min}}{i_{\max} - i_{\min}} & (i_{\max} \neq i_{\min}) \\ 1 & (i_{\max} = i_{\min}) \end{cases} \quad (1)$$

式中  $B_{ij}$ ——二元空间权重矩阵  $B$  的元素

$i_{\max} \setminus i_{\min}$ —— $i$  单元阈值距离  $L$  范围内的耕地面积的最大值、最小值

$M_j$ —— $i$  单元的一定范围之内  $j$  单元的面积

在不同的距离阈值下, $i$  单元相邻单元的个数不尽相同,如果  $i$  单元只有一个相邻单元或所有相邻单元的面积均相同时,即  $i_{\max} = i_{\min}$ ,分母为零,规定此时  $B_{ij}$  为 1;当  $j$  单元的面积与最小面积  $i_{\min}$  相同或其他情况时,按照式(1)计算。

消除面积在量纲上的差别后,结合反距离权重矩阵构建空间权重矩阵,其计算公式为

$$W_{ij} = A_{ij} \exp B_{ij} \quad (2)$$

式中  $W_{ij}$ ——二元空间权重矩阵  $W$  的元素,为  $j$  单元对  $i$  单元的影响权重

$A_{ij}$ ——反距离权重法建立的空间权重矩阵的元素

为了减少因设计或施加的聚合方案导致单元分布的偏差,消除其影响,在建立改进的空间权重矩阵后,进行权重矩阵行标准化,减少数据偏移<sup>[16]</sup>。

## 1.2 局部空间自相关分析

根据 ANSELIN 提出的局部空间关联的局部指标 LISA (Local indicators of spatial association) 分析, 可以揭示空间参考单元与其邻近的空间单元属性特征值之间的相似性或相关性, 识别空间集聚和空间孤立特征, 探测空间异质性<sup>[17]</sup>。在 LISA 指标中最常用的是局部莫兰指数 (Local Moran's I), 其计算公式为

$$I_i = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{ij} (X_j - \bar{X}) \quad (3)$$

$$\text{其中 } \sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (4)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (5)$$

式中  $I_i$ ——单元  $i$  的局部莫兰指数

$n$ ——单元数量

$X_i, X_j$ ——区域单元  $i, j$  的自然等指数

$\bar{X}$ ——单元自然等指数的平均值

$\sigma^2$ ——方差

局部莫兰指数的统计量亦用  $Z$  得分进行显著性检验, 其计算公式为

$$Z(I_i) = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{\text{Var}(I_i)}} \quad (6)$$

式中  $E(I_i)$ ——单元  $i$  的数学期望

$\text{Var}(I_i)$ ——单元  $i$  的变异系数

当  $I_i$  为正值时, 则单元值与其相邻的单元值相近;  $I_i$  为负值时, 则单元值与相邻单元值相差较大。  $Z$  得分为正且越大, 则单元值与相邻单元值越相近;  $Z$  得分为负且越小, 则单元值与相邻单元值差异越大。依据标准正态分布, 可得到  $Z$  得分所对应的概率, 即  $P$  得分,  $P$  得分表示所观测到的空间模式是由某一随机过程创建而成的概率, 当  $P$  较小时, 意味着所观测到的空间模式不太可能产生于随机过程。考虑到耕地单元的不规则性以及复杂性, 选取  $|Z| > 1.64$  时, 即置信度为 90% 的显著水平上提取疑似异常值, 并判断疑似异常值单元聚集类型属于低观测值被高观测值区域所包围 (低-高聚集) 或高观测值被低观测值区域所包围 (高-低聚集)。

## 1.3 增量自相关方法

增量空间自相关是一种通过增大距离进行空间自相关分析的方法, 同时测量各距离空间聚类的程度<sup>[18]</sup>, 该方法与多距离空间聚类方法不同的是, 其不仅考虑单元的空间位置情况, 还考虑数据的属性值。聚类的程度由返回的  $Z$  得分确定, 通常情况下, 距离增大  $Z$  得分也增大, 即表示聚类增强。其中对于某些特定距离,  $Z$  得分通常为峰值, 峰值反映

促进空间过程聚类最明显的距离。在某些情况下, 使用增量空间自相关获取的  $Z$  得分随着距离增大而持续增加, 不存在峰值, 这种情况通常发生于数据已聚合。相关性程度使用莫兰指数 (Moran's I)<sup>[19]</sup> 表示, 莫兰指数的取值一般在  $[-1, 1]$  之间。  $I$  大于 0 时表示正相关, 小于 0 时表示负相关, 等于 0 时表示不相关。  $I$  的值越趋近于 1, 表示总体空间差异越小, 值越趋近于 -1, 表示总体空间差异越大。

## 1.4 异常值的判定与选取标准

根据地理学第一定律<sup>[15]</sup>, 依据“任何事物都相关, 相近的事物关联更紧密”的原则, 提出针对县域耕地自然等指数异常值检验的判别方法。具体判断的准则如下: ①对每块疑似异常值单元分别向外侧建立一定距离的缓冲区。②获取缓冲区内非疑似异常值单元的自然等指数, 并依据疑似异常值单元的聚集类型对异常值进行判定。若疑似异常值单元为高-低聚集, 则获取该疑似异常值单元的自然等指数与缓冲区内非疑似异常值单元的自然等指数最大值的差值; 若为低-高聚集, 则获取最小值与其差值, 并将该差值和县域自然等指数的标准差进行比较。若差值大于全县的标准差时, 即认定该疑似异常单元为确定异常单元, 反之则为非确定异常单元。③若某疑似异常值单元的缓冲区中存在另外一块疑似异常值单元, 且当另外一块疑似异常值单元已确定为非确定异常值单元时, 在判断某疑似异常值单元是否为确定异常值单元时, 将该块已确定的非确定异常值单元加入到所述全部非疑似异常值单元中。④当某疑似异常值单元的缓冲区中存在至少 4 块所述疑似异常值单元时, 将该缓冲区内的疑似异常值单元确定为非确定疑似异常值单元。

## 1.5 耕地自然等指数合理性检验流程

本文提出一种基于空间自相关算法的耕地自然等指数合理性检验方法, 该方法针对县域耕地质量等别成果中自然等指数异常值进行选取与判定, 主要考虑耕地单元之间的距离与面积关系、自然等指数标准差、异常值单元聚集类型, 具体流程图如图 1 所示。

首先统计全县自然等指数的标准差; 然后通过增量空间自相关对成果数据进行分析, 提取最优阈值距离为缓冲区距离; 建立空间权重矩阵并进行局部空间自相关分析, 提取疑似异常值及其聚集类型; 最后依据确定异常值判定标准对疑似异常值单元进行判定, 排除非确定异常值, 选取确定异常值。

## 2 研究区概况及数据来源

内蒙古自治区宁城县地处燕山山脉东段北缘,

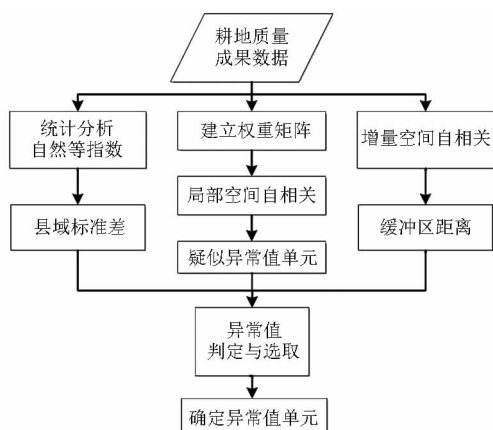


图1 耕地自然等指数合理性检验方法流程图

Fig. 1 Flow chart of rationality test method of cultivated land natural quality index

属于内蒙古高原与松辽平原的过渡地带,地理位置 $118^{\circ}26'E \sim 119^{\circ}25'E, 41^{\circ}17'N \sim 41^{\circ}53'N$ 。温带内陆季风干燥气候,四季分明,冬季漫长严寒,夏季炎热多雨,年平均气温 $6.6 \sim 8.2^{\circ}C$ ,日照时间丰富,降水基本充足,土壤类型多样,土地资源较丰富。地貌以平原和山地丘陵为主,西高东低,西部山峦起伏,中东部丘陵广阔,其中老哈河、坤都伦河由西南流向东北,中东部为县内主要产粮区。宁城县所在一级指标区为内蒙古高原及长城沿线区,二级指标区为黄土丘陵区,标准耕作制度为一年一熟,种植作物为春玉米,基准作物为春玉米。

提取异常值时将自然等指数作为观测变量,原因有:①耕地自然等指数考虑了水文和土壤条件、耕作制度以及农田基础设施情况<sup>[20-21]</sup>,能有效反映耕地的区域自然状况和农业设施条件。②耕地利用等指数、经济等指数可通过自然等指数计算得到,三者之间有很强相关性。③自然等指数在数值上存在一定的连续性,在全国范围内存在可比性,可对比不同地区自然等指数的差异,使研究结果具有更广泛的适应价值。

本文以宁城县2013年1:1万的耕地质量等别成果数据作为研究的基础资料,包括技术报告、矢量数据和图件等,成果比例尺为1:1万,坐标系统为高斯投影西安80坐标系。

### 3 结果分析

#### 3.1 耕地质量等别成果数据基本情况

通过对宁城县耕地质量等别成果数据的自然等指数统计分析,得到耕地质量等别成果数据中存在20578块耕地单元,对自然等指数的最小值、最大值、平均值、中位数、标准差进行统计,结果如表1所示。宁城县自然等指数的分布如图2所示,呈现西

南低、东北高趋势,耕地单元主要集中分布在县域东北部,呈片状,西南部呈长条状分布,而宁城县东北部为平原区,西南部多为山地丘陵区,且自然等指数较高值的分布与县域内两河流的走向一致,耕地单元自然等指数的分布与县域自然状况存在一定相关性。

表1 自然等指数统计

Tab. 1 Statistical of natural quality index

计数	最大值	最小值	平均值	中位数	标准差
20 578	733	147	338	317	78

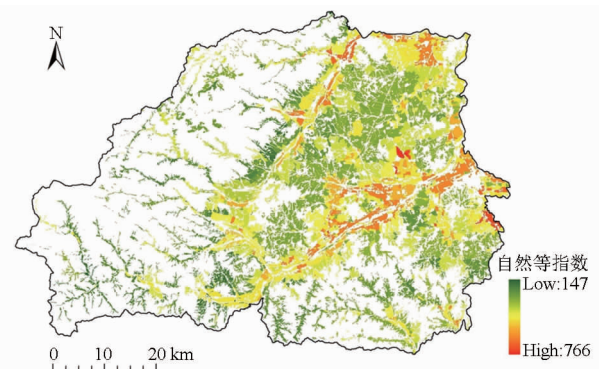


图2 宁城县自然等指数分布图

Fig. 2 Distribution map of natural quality index in Ningcheng County

#### 3.2 缓冲区距离确定

##### 3.2.1 增量空间自相关分析

运用 ArcGIS “增量空间自相关分析”工具对宁城县耕地单元自然等指数在不同阈值距离下的空间相关性和空间聚类程度进行分析,以100 m为起点距离、步长为100 m设置增量距离、3000 m为终点距离进行增量空间自相关分析,增量自相关结果如图3所示。

由图3a可知,阈值距离从100 m增至3000 m时, $Z$ 得分呈抛物线型增加,由100 m时的2.475 5增加至3000 m时的624.901 5,且随着距离增加, $Z$ 得分的增量呈减少趋势。 $Z$ 得分在距离范围100~3000 m内不存在峰值,说明数据本身已经发生了聚集现象。由图3b可知,莫兰指数在100~3000 m时呈现先急剧增加而后缓慢减少的线性分布,在阈值距离从100 m增加至400 m时,莫兰指数从0.006 6迅速增加至0.757 6,平均阈值距离每增加100 m,莫兰指数增加0.250 3,阈值距离为500 m时莫兰指数达到最大值0.806 6,从600 m继续增加阈值距离,莫兰指数逐渐减小,减小幅度呈下降趋势。莫兰指数表示事物之间的相关性,由增量自相关所得结论可知,在阈值距离为500 m时,数据的相关性最强,在阈值距离小于500 m时,随着距离的增加莫兰指

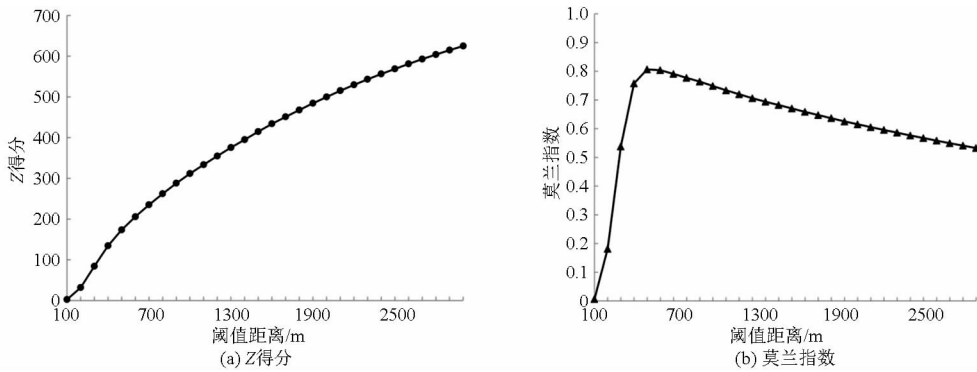


图3 增量空间自相关分析结果

Fig.3 Results of incremental spatial autocorrelation

数呈现上升趋势,原因可能是增量空间自相关考虑所有单元的空间与属性情况,距离较短时单元邻接个数较少,导致数据相关性受到影响。针对每个阈值距离计算得到相应的  $P$  得分,除在 100 m 时为 0.013 3 外,其他阈值距离下  $P$  得分均为零。

### 3.2.2 单元相邻关系分析

为了进一步分析增量空间自相关莫兰指数的变化规律,通过对不同阈值距离的单元相邻关系进行统计分析,结果如表 2 所示。在 100 ~ 400 m 范围内,无邻接单元个数较多,均大于全县耕地单元个数的 5%,平均邻接个数不足 4 个;在 500 m 距离时,平均邻接个数为 6,无邻接单元个数减少为 310,约占全县耕地单元个数的 1.5%;在 600 ~ 1 400 m 范围内,无邻接单元个数缓慢减少,平均邻接个数与最大邻接数急剧增加;在阈值距离达到 1 500 m 时,全县不存在无邻接单元。阈值距离的增加引起无邻接单

表 2 不同距离单元邻接关系

Tab.2 Adjacency relationship of elements of different distance

阈值距离/m	无邻接单元数	连通性百分比/%	平均邻接数	最小邻接数	最大邻接数
100	18 743	0	0.11	0	5
200	11 137	0	0.75	0	11
300	4 071	1	2.05	0	19
400	1 054	2	3.86	0	24
500	310	3	6.05	0	34
600	116	4	8.57	0	44
700	60	6	11.46	0	55
800	29	7	14.68	0	71
900	12	9	18.27	0	82
1 000	7	11	22.23	0	88
1 100	4	13	26.53	0	103
1 200	4	15	31.18	0	113
1 300	3	18	36.23	0	122
1 400	1	20	41.58	0	129
1 500	0	23	47.30	1	137
1 600	0	26	53.42	1	146

元个数的减少,使平均邻接数增大,在 500 ~ 600 m 时平均邻接数达到运用最近  $K$  邻接关系分析空间自相关的常用最优邻接数<sup>[10,22]</sup>。

基于以上增量空间自相关和单元相邻关系分析结果表明,单元邻接个数的变化与莫兰指数的变化存在一定关系。考虑到莫兰指数的变化情况以及单元的邻接关系,对异常值提取选取 500 ~ 1 600 m 作为研究范围。由增量自相关可知在阈值距离为 500 m 时耕地单元相关性强,考虑到耕地形状的复杂性,对异常值进行判定时,选取大于数据相关性程度最强的阈值距离 600 m 为缓冲区距离。

### 3.3 局部空间自相关异常值对比分析

局部空间自相关指标是衡量某单元与其存在不同程度空间关联的单元相似或异质程度的指标<sup>[23]</sup>。在建立反距离权重矩阵和面积修正反距离权重矩阵的基础上,通过局部空间自相关分析,分别得到反距离权重模型(原模型)和面积修正反距离权重模型(改进模型)在置信度为 90% 的显著水平下自然等指数的疑似异常值个数,如表 3 所示。研究表明,阈

表 3 不同阈值距离 2 种模型的疑似和确定异常值个数  
Tab.3 Number of suspected and determined outliers from two kinds of different threshold models

阈值距离/m	疑似异常值个数		确定异常值个数	
	原模型	改进模型	原模型	改进模型
500	20	18	3	3
600	24	22	4	4
700	29	31	9	10
800	35	43	13	14
900	45	46	12	14
1 000	59	58	17	17
1 100	68	67	17	17
1 200	75	78	17	18
1 300	97	94	20	21
1 400	108	109	21	22
1 500	131	130	21	22
1 600	145	139	21	22

值距离的长短对疑似异常值个数有较大影响,阈值距离较短时,疑似异常值个数较少,随着距离的增加,疑似异常值个数迅速增加。对比2种模型得到的异常值个数,发现2种模型得到异常值个数相差不大,但存在一定差异。异常值个数相差不大的原因是改进模型是在反距离权重基础上建立的,会受到原模型的影响;存在差异是因为面积对耕地单元也存在一定的影响,加入面积条件能影响部分异常值的判定。

为了进一步验证2种模型的对比结果,依据前文异常值的选取与判定的标准,提取确定异常值个数。表3为2种模型提取的疑似异常值和确定异常值个数对比,图4为依据前文异常值的选取与判定标准筛选出的非确定异常值和确定异常值示意图,

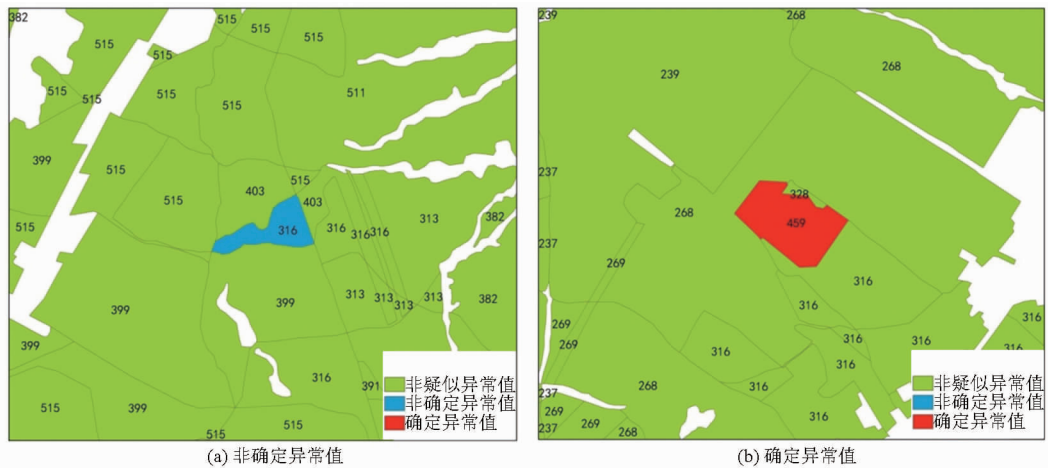


图4 非确定异常值与确定异常值示意图

Fig. 4 Schematic diagram of non-determined outlier and determined outlier

### 3.4 结果检验

为了检验本文提出选取确定异常值方法的精度,使用改进模型对阈值距离为1 600 m时所选取的22个确定异常值单元的合理性进行检验判断。首先选取每个确定异常值单元缓冲区内的所有非疑似异常值耕地单元,然后统计缓冲区内非疑似异常值单元中影响耕地单元自然等指数的分等因素及其属性值,最后通过比较确定异常值单元和其非疑似异常值单元的地类以及分等因素属性值,判断选取的异常值是否合理。通过对比每一个确定异常值单元及其缓冲区范围内的所有非疑似异常值单元的地类,可以得到3种情况:地类完全相同、地类完全不同、地类部分相同。当地类完全相同和地类完全不同时,比较确定异常值单元和其缓冲区范围内全部非疑似异常值单元;当地类部分相同时,比较确定异常值单元和其缓冲区范围内同地类非疑似异常值单元。若确定异常值单元的某分等因素值不属于其缓冲区范围内非疑似异常值单元的分等因素值的范围

图中数值为耕地单元的自然等指数。对比2种模型确定异常值个数,发现在相同阈值距离下改进模型提取的确定异常值个数均高于或等于原模型,在阈值距离较小时,确定异常值个数较少,两模型确定异常值个数相同;随着阈值距离的增大,确定异常值个数增加,两模型除了在阈值距离为1 000、1 100 m处的确定异常值个数相同,其他阈值距离改进模型确定异常值个数均高于原模型。在阈值距离达到使得所有单元均存在邻接单元时,继续增加阈值距离,确定异常值不再改变,但改进模型提取的确定异常值个数高于原模型。因此,从确定异常值的提取个数对比来看,改进模型提取异常值的效果优于原模型提取的异常值,也说明面积和距离都是影响耕地质量相关性的重要指标。

时,则认为此确定异常值单元判定合理。

通过比较分析阈值距离为1 600 m时的22个确定异常值单元,由上述判定方法得出:有12个与其周围非疑似异常值单元的地类完全不同,有4个与周围单元地类完全相同,且这16个确定异常值单元均存在某分等因素值不属于其非疑似异常值单元的分等因素值的范围;有6个确定异常值单元与周围单元地类部分相同,且均存在某分等因素值不属于同地类的非疑似异常值单元的分等因素值的范围之内。根据以上分析,认为耕地自然等指数合理性检验方法的精度较高,能在一定程度上解决难以判定真假异常值的问题。

## 4 结论

(1)提出了以研究区耕地自然等指数的标准差为判别标准,大于增量空间自相关最大莫兰指数所对应的阈值距离为缓冲区距离,判断耕地质量等别成果中自然等指数异常值的方法。充分考虑不同研

究区耕地质量等指数情况,对局部空间自相关分析提取的异常值进行判别,且精度较高,在一定程度上解决了难以判定真假异常值问题,为检验全国的耕地质量等别成果提供了一种可借鉴的方法。

(2)提出了一种结合面积与距离的空间权重矩阵改进模型,对比相同条件下原模型与改建模型的

局部空间自相关结果,2种模型提取的疑似异常值数目相近,但改进模型提取的确定异常值的效果更好。结果表明面积和距离都是影响耕地质量相关性的重要指标,且改进模型为空间自相关在相关领域的应用提供了一种新思路。

### 参 考 文 献

- 1 郎文聚,张蕾娜,陈桂坤,等.基于农用地分等的耕地占补平衡项目评价研究[J].中国土地科学,2008,22(10):58-63.  
YUN Wenju, ZHANG Leina, CHEN Guishen, et al. Study on project assessment of no net loss of cultivated land based on agricultural land classification[J]. China Land Sciences, 2008, 22(10): 58-63. (in Chinese)
- 2 李莹,胡银根,李坤,等.基于农用地分等成果更新技术的耕地集约利用评价[J].中国土地科学,2011,25(8):61-68.  
LI Ying, HU Yingen, LI Kun, et al. Intensity assessment on cultivated land: based on the updated results of farmland gradation [J]. China Land Sciences, 2011, 25(8): 61-68. (in Chinese)
- 3 杨建波,王令超,王莉,等.农用地分等与定级成果在耕地占补平衡中应用研究在——以河南省南阳市为例[J].国土资源科技管理,2005,22(5):27-31.  
YANG Jianbo, WANG Lingchao, WANG Li, et al. Application of arable land grading and appraisal to the balance of arable land—a case study in Nanyang[J]. Scientific and Technological Management of Land and Resources, 2005, 22(5): 27-31. (in Chinese)
- 4 郑新奇,杨树佳,象伟宁,等.基于农用地分等的基本农田保护空间规划方法研究[J].农业工程学报,2007,23(1):66-71,292.  
ZHENG Xinqi, YANG Shujia, XIANG Weining, et al. Spatial planning method for the basic farm land protection based on the farmland classification[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(1): 66-71,292. (in Chinese)
- 5 赵丽红,郭熙,陈文波.农用地分等中土地经济系数计算方法的探讨——以江西省玉山县为例[J].土壤,2007,39(4):652-657.  
ZHAO Lihong, Guo Xi, CHEN Wenbo. Calculation methods of land economic coefficient in farmland classification—a case study of Yushan County, Jiangxi Province[J]. Soils, 2007, 39(4): 652-657. (in Chinese)
- 6 陈彦清.网格环境下基于多尺度指标体系的耕地质量评价方法研究[D].北京:中国农业大学,2015.  
CHEN Yanqing. A cultivated land quality evaluation method based on multiscale indicators' system in grid environment [D]. Beijing: China Agricultural University, 2015. (in Chinese)
- 7 徐康,金晓斌,吴定国,等.基于农用地分等修正的土地整治项目耕地质量评价[J].农业工程学报,2015,31(7):247-255.  
XU Kang, JIN Xiaobin, WU Dingguo, et al. Cultivated land quality evaluation of land consolidation project based on agricultural land gradation[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(7): 247-255. (in Chinese)
- 8 刘吉羽,彭舒,陈军,等.基于知识的GlobeLand30耕地数据质量检查方法与工程实践[J].测绘通报,2015(4):42-48.  
LIU Jiyu, PENG Shu, CHEN Jun, et al. Knowledge based quality checking method and engineering practice of Globeland30 cropland data[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2015(4): 42-48. (in Chinese)
- 9 韦仕川,熊昌盛,栾乔林,等.基于耕地质量指数局部空间自相关的耕地保护分区[J].农业工程学报,2014,30(18):249-256.  
WEI Shichuan, XIONG Changsheng, LUAN Qiaolin, et al. Protection zoning of arable land quality index based on local spatial autocorrelation[J]. Transactions of the CSAE, 2014, 30(18): 249-256. (in Chinese)
- 10 熊昌盛,韦仕川,栾乔林,等.基于Moran's I分析方法的耕地质量空间差异研究——以广东省广宁县为例[J].资源科学,2014,36(10):2066-2074.  
XIONG Changcheng, WEI Shichuan, LUAN Qiaolin, et al. Spatial pattern disparity and cultivated land quality based on Moran's I analysis[J]. Resources Science, 2014, 36(10): 2066-2074. (in Chinese)
- 11 谢花林,刘黎明,李波,等.土地利用变化的多尺度空间自相关分析——以内蒙古翁牛特旗为例[J].地理学报,2006,61(4):389-400.  
XIE Hualin, LIU Liming, LI Bo, et al. Spatial autocorrelation analysis of multi-scale land-use changes: a case study in Ongniud Banner, Inner Mongolia[J]. Acta Geographica Sinica, 2006, 61(4): 389-400. (in Chinese)
- 12 张贞,魏朝富,尚慧.丘陵山区耕地质量的空间格局分析[J].长江流域资源与环境,2010,19(8):901-907.  
ZHANG Zhen, WEI Chaofu, SHANG Hui. Spatial pattern analysis based on modified cultivated quality grades in hilly area[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2010, 19(8): 901-907. (in Chinese)
- 13 徐彬.空间权重矩阵对Moran's I指数影响的模拟分析[D].南京:南京师范大学,2007.  
XU Bin. Simulation analysis of the influence of spatial weight matrix on Moran's I [D]. Nanjing: Nanjing Normal University,

2007. (in Chinese)
- 14 ANSELIN L. Local indicators of spatial association—LISA[J]. *Geographical Analysis*, 1995, 27(2): 93–115.
- 15 TOBLER W R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit Region[J]. *Economic Geography*, 1970, 46(2): 234–240.
- 16 王守坤. 空间计量模型中权重矩阵的类型与选择[J]. *经济数学*, 2013, 30(3): 57–63.  
WANG Shoukun. Several types of weights matrix and their extended logic[J]. *Journal of Quantitative Economics*, 2013, 30(3): 57–63. (in Chinese)
- 17 MA Sang Lee. Spatial association measures for an ESDA GIS framework: developments, significance tests, and applications to spatial-temporal income dynamics of U. S. Labor market areas[D]. Columbus, Ohio: The Ohio State University, 2001.
- 18 Esri Mapping Center. Arc GIS Resources[EB/OL]. [2015-11-15]. <http://resources.arcgis.com/zhCN/help/main/10.2/#/na/005p0000004z000000/>
- 19 MORAN P A P. Notes on continuous stochastic phenomena[J]. *Biometrika*, 1950, 37(1–2): 17–23.
- 20 石淑芹, 陈佑启, 姚艳敏, 等. 基于 3S 技术的区域性耕地资源变化影响评价模式研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(7): 91–96.  
SHI Shuqin, CHEN Youqi, YAO Yanmin, et al. Methodology for impact assessment of regional cultivated land resources change based on 3S technology[J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(7): 91–96. (in Chinese)
- 21 陈柏松, 游娟, 潘瑜春, 等. 农用地等级质量监测指标体系与方法[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(增刊 2): 272–276.  
CHEN Baisong, YOU Juan, PAN Yuchun, et al. Indices system and methods of monitoring gradation of agricultural land quality [J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(Supp. 2): 272–276. (in Chinese)
- 22 Esri Mapping Center. Arc GIS Resources[EB/OL]. [2015-11-15]. <http://resources.arcgis.com/zhCN/help/main/10.2/#/na/005p00000005000000/>
- 23 孟斌, 张景秋, 王劲峰, 等. 空间分析方法在房地产市场研究中的应用——以北京市为例[J]. *地理研究*, 2005, 24(6): 956–964,1004.  
MENG Bin, ZHANG Jingqiu, WANG Jinfeng, et al. Application of spatial analysis to the research of real estate: taking Beijing as a case[J]. *Geographical Research*, 2005, 24(6): 956–964,1004. (in Chinese)

~~~~~

(上接第 320 页)

- 14 王彬. 基于 MEMS 技术的磁珠微芯片的模拟及工艺研究[D]. 上海: 中国科学院上海微系统与信息技术研究所, 2006.  
WANG Bin. Study on simulation and fabrication of magnetic bead microchip based on MEMS technology[D]. Shanghai: Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology, Chinese Academy of Sciences, 2006. (in Chinese)
- 15 严密, 彭晓领. 磁学基础与磁性材料[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2006.
- 16 刘洪山, 莫嘉嗣, 罗锡文. 用于生物传感器的磁珠分离器初步研究[C]// 中国农业工程学会 2011 年学术年会, 2011.  
LIU Hongshan, MO Jiasi, LUO Xiwen. Preliminary studies on magnetic separator used for biosensors[C]// Chinese Society of Agricultural Engineering 2011 Academic Annual Conference, 2011. (in Chinese)
- 17 赵博, 张洪亮. Ansoft 12 在工程电磁场中的应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2010.
- 18 秦增煌. 电工学:上册电工技术[M]. 6 版. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- 19 华南农业大学. 环形多孔纳米磁珠分离器及其安装方法; CN 103185680A [P]. 2015-05-20.
- 20 田录林, 贾嵘, 杨国清, 等. 永磁铁磁贴合体的磁场及磁力[J]. *电工技术学报*, 2008, 23(6): 7–13.  
TIAN Lulin, JIA Rong, YANG Guoqing, et al. The magnetic field and magnetic force of permanent magnetic affixed to a plane magnetizer[J]. *Transactions of China Electro Technical Society*, 2008, 23(6): 7–13. (in Chinese)
- 21 刘洪山, 陈奇, 莫嘉嗣, 等. 一种新型纳米磁珠分离装置用于大肠杆菌 O157:H7 分离效率评价研究[J]. *南昌大学学报:理科版*, 2015, 39(3): 270–274.  
LIU Hongshan, CHEN Qi, MO Jiasi, et al. Evaluation study on separation efficiency of E. coli O157:H7 using a new magnetic bioseparator with magnetic nanobeads[J]. *Journal of Nanchang University: Natural Science*, 2015, 39(3): 270–274. (in Chinese)
- 22 刘小荣, 张笠, 王勇平. 实时荧光定量 PCR 技术的理论研究及其医学应用[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(2): 329–332.  
LIU Xiaorong, ZHANG Li, WANG Yongping. Theory study and medical application of real-time quantitative polymerase chain reaction[J]. *Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research*, 2010, 14(2): 329–332. (in Chinese)