doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.03.020

基于综合质量空间自相关性分析的耕地保护分区方法

杨建宇[1,2]　徐　凡[1]　赵　龙[1]　张　超[1,2]　赵冬玲[1,2]　张　欣[1]

(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: 从耕地的自然条件、利用情况和经济水平出发,结合耕地的空间属性,借助空间自相关性分析方法,提出了科学、合理的耕地保护分区方法。首先运用全局空间自相关的方法,探究高平市耕地质量在空间上整体的分布情况,以便进行下一步更细致的分析;再运用局部空间自相关的方法,以耕地质量指数为变量,探究高平市耕地质量的空间分布规律,最终基于综合质量的分析结果提出耕地保护分区方案。研究结果表明:整体分析显示,高平市耕地的自然条件、利用情况和经济水平皆表现出显著聚集性;局部分析得出,高平市耕地从自然条件、利用情况和经济水平 3 方面呈现出一定的规律性,HH(高-高)型和 LL(低-低)型耕地表现为聚集分布;HL(高-低)型和 LH(低-高)型耕地呈零星分布。最终从耕地的 3 方面分别进行局部分析,并依据 3 个局部分析结果组合,结合实际,提出耕地保护分区的方法及思路。

关键词: 耕地质量指数; 空间自相关; 耕地保护分区; 高平市

中图分类号: F301.21　　**文献标识码**: A　　**文章编号**: 1000-1298(2017)03-0156-08

Protection Zoning of Cultivated Land Comprehensive Quality Based on Spatial Autocorrelation

YANG Jianyu[1,2]　XU Fan[1]　ZHAO Long[1]　ZHANG Chao[1,2]　ZHAO Dongling[1,2]　ZHANG Xin[1]

(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: A scientific and reasonable protection zoning scheme of cultivated land was given by using the spatial autocorrelation analysis method, which combined the natural condition, utilize situation and economic level with the spatial characteristics of cultivated land. Firstly, the global autocorrelation was used to explore the global distribution of cultivated land quality in Gaoping City for further analysis. Then the local autocorrelation was used to study the local distribution of cultivated land quality in Gaoping City, regarding the cultivated land quality index as vitiate. Finally, a protection scheme was formulated based on the analysis results of the comprehensive quality. The main results were as follows: firstly, the cultivated land quality which included the natural condition, utilize situation and economic level exhibited significant aggregation of global spatial distribution in Gaoping City. Besides, the local distribution of cultivated land quality showed a regular pattern, which contained the HH type (high-high) and LL type (low-low) emerged as the shape of cluster, while the HL type (high-low) and LH type (low-high) were barely sporadic distributed in Gaoping City. At last, kinds of protection zoning were put forward according to the combination of comprehensive cultivated land quality index based on local spatial autocorrelation and actual situation, which would provide a reference for cultivated land protection in Gaoping City.

Key words: cultivated land quality index; spatial autocorrelation; regional protection of cultivated land; Gaoping City

引言

耕地作为国家特殊的公共资源,其数量、质量与粮食安全密切联系,耕地数量能达标,质量有保证,粮食安全才有保障[1-2]。为了更好地保障国家粮食安全,国土资源部 1999—2009 年在全国范围内组织

收稿日期: 2016-07-18　修回日期: 2016-08-04

基金项目: 国土资源部公益性行业科研专项(201511010-06)

作者简介: 杨建宇(1974—),男,教授,博士生导师,主要从事 3S 技术及其土地应用研究,E-mail: ycjyyang@cau.edu.cn

了分省的农用地分等调查评价任务，并于 2009 年完成了全国农用地分等工作[3-4]。中国早在 2013 年底就划定了 18 亿亩耕地的“红线”，经过近几年的努力，中国耕地保护工作开始逐步由单纯的数量保障向数量、质量并重转变。然而长期以来，与数量保障相比，忽视了耕地质量的保护[5-6]，因此亟待对这方面进行研究，进一步制定明确的政策使耕地质量得到应有的保护。

自然条件、利用情况、经济水平是耕地评价的三大属性，目前大多数的耕地保护研究都是围绕这三大属性进行综合考虑的[7-8]。在这 3 方面的基础上再结合耕地质量空间特性分析的研究正在逐渐增加。孔祥斌等[9]依据农用地利用等别，对平原区和山区具有的差异性耕地生产能力区别对待，以有限划定高等别的耕地资源作为基础，为区县尺度的基本农田划定提供了科学依据；孟斌等[10]通过空间自相关分析揭示了中国区域经济格局的时空变化规律；韦仕川等[11]通过局部空间自相关的方法分析广宁县耕地质量指数划定了具体耕地保护分区方案；党国锋等[12]通过局部空间自相关和 Moran 散点图相结合的方法，对陇南市武都区山区耕地质量等级指数进行分析，为山区耕地保护提供了依据和思路；熊昌盛等[13]引入 Moran's I 指数的空间自相关分析方法，以广宁县的耕地图斑为研究单元对其自然等指数、利用等指数和等别指数进行空间自相关分析，据此探讨在县级和乡镇级尺度上的变化情况及相关应用。与以前的研究相比，近来的研究开始考虑空间特性，但大多数研究是基于耕地评价的三大属性对耕地分别进行分区。

本文依据山西省高平市的农用地分等成果，对高平市耕地质量指数采用空间自相关的方法，分析高平市耕地质量指数的空间分布特征，并综合自然条件、利用情况和经济水平对耕地进行统一分区划定，以期为高平市耕地保护分区提供科学依据。

1　研究区域概况与数据来源

1.1　研究区域概况

高平市位于山西省的东南部，泽州盆地北端，太行山西南边缘。地理坐标为东经 112°00′～113°10′、北纬 30°40′～36°00′，跨度分别为 45 km 和 40 km，整个行政辖区范围内的平面图形基本上呈正方形。高平市下辖北城街道、北诗镇、陈区镇等 16 个镇，村级行政单元共 456 个。全市多年平均气温 9.8℃，极端最低气温 -24℃，极端最高气温 38.6℃。多年平均日照时数 2 532.5 h，平均无霜期 180 d，年平均降水量 624 mm。高平市土地面积 98 034.89 hm^2，其中，耕地面积 46 387.46 hm^2，占高平市土地总面积的 47.32%。高平市是国家级商品粮生产基地，机械化旱地农业基地。

1.2　数据来源

主要数据包括：高平市 2011 年农用地分等成果、2011 年土地利用现状图、高平市行政区划图、地形图等成果文件以及相关农业统计资料。

2　数据处理与分析方法

2.1　处理流程

本研究过程分为 3 部分：数据准备、耕地综合质量分析和耕地保护区划定。首先将选取的研究区剔除异常值进行预处理；继而通过面积加权的方法得到耕地村级质量指数，并以此数据为基础，借助空间自相关方法，分析耕地质量指数的空间分布模式；最终将耕地各质量局部空间自相关类型进行组合，依据分区原则：空间随机分布、异常分布、高值聚集分布、低值聚集分布，划定高平市耕地保护区。具体方法流程见图 1。

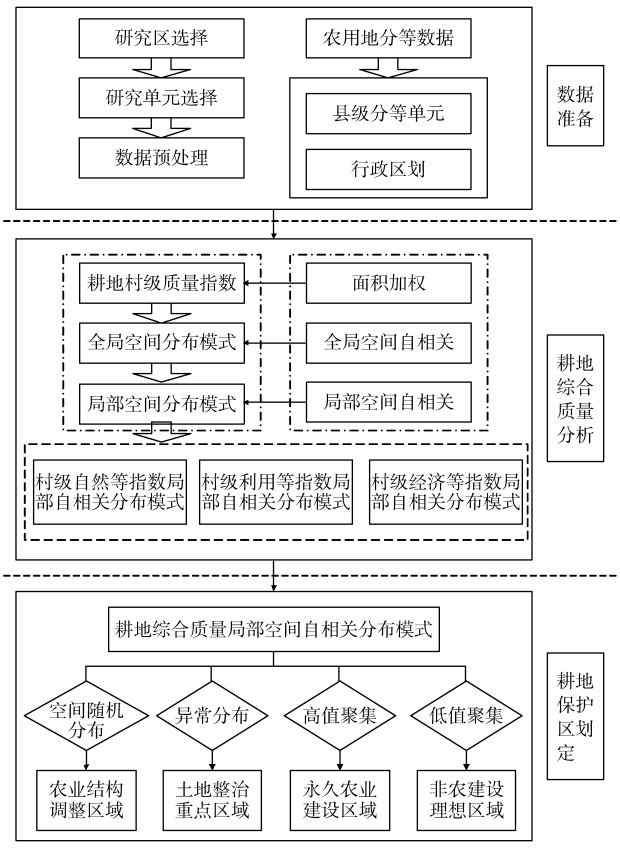

图 1　方法流程图

Fig. 1　Method process

2.2　全局空间自相关分析

全局自相关是对属性值在整个区域空间特征的描述，能够反映空间邻域单元属性值的相似程度，侧重对空间数据中某一属性在整个区域中的分布状态

以及趋势进行分析。空间自相关有许多表现形式，主要有全局 Moran's I、全局 Geary's C 和全局 Getis - Ord G 统计量[14-15]判断空间数据的相似性和相异性特征，具体计算过程表达式为

$$I = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{w}_{ij}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{w}_{ij}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{w}_{ij}(x_i-\bar{x})(x_j-\bar{x})}{S^2\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{w}_{ij}} \tag{1}$$

式中 S^2——变量 x 的方差

x_i、x_j——变量 x 在空间位置 i、j 的值

$\bar{x}$——变量 x 的均值

n——样本量，即空间位置的个数

$\boldsymbol{w}_{ij}$——空间权重矩阵

I 表示空间位置 i 和 j 的邻近关系，当 i 和 j 符合邻近这一空间位置关系时，$\boldsymbol{w}_{ij}$ 赋值为 1；反之，$\boldsymbol{w}_{ij}$ 赋值为 0。全局空间自相关中 Moran 指数 I 的取值范围为[-1,1]，可以通过标准化统计量 Z 来对某一个区域编号为 n 的区域确定是否存在空间系相关性，Z 值的计算公式为

$$Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\mathrm{Var}(I)}} \tag{2}$$

其中 $$E(I) = -1/(n-1)$$

式中 $E(I)$——理论期望

$\mathrm{Var}(I)$——理论方差

当 Z 值为正且这一区域呈显著性时，说明区域 n 存在正的空间自相关性，即邻近的观测值有空间聚集的趋势；当 Z 值为负且这一区域又有显著性时，说明区域 n 存在负的空间自相关性，即邻近的观测值有分散的分布趋势；当 Z 为零时，说明区域 n 的观测点都为独立随机的分布趋势。

2.3 局部空间自相关分析

空间自相关分析是指某空间单元与其周围空间单元，通过计算某特征值下的空间自相关程度，以此发现研究区内空间单元的空间分布现象的特征。计算空间自相关的方法最常见的有：Moran's I、Geary's C 等[16-19]。本文主要通过局部 Moran's I 进行分析。

目前，局部统计量常用 LISA（Local indicator of spatial association）统计量的局部 Moran's I 系数表达，计算式为

$$I_i = \frac{n(x_i-\bar{x})\sum_{j=1}^{n}\boldsymbol{w}_{ij}(x_j-\bar{x})}{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \tag{3}$$

式中 I_i——第 i 个行政村的局部 Moran's I

I_i 为正值表示该空间单元与邻近单元的属性值相似，I_i 为负值表示该空间单元与邻近单元的属性值相异。在随机分布假设下，局部 Moran's I 系数需要在标准形式检验其显著性水平。

利用 ArcMap 中的局部自相关的工具对研究数据进行计算，得到的新图层将数据分为 5 类表示，分别为：HH、HL、LH、LL 和非显著型。其中 HH 是高值与高值关联的聚焦点，表示该对象及周围对象的属性指数都较高；LL 是低值与低值关联的聚焦点，表示该对象及周围对象的属性指数都较低；LH 和 HL 是异常值关联区，表示该对象与周围对象的属性的指数有较强的异质性；非显著型是空间呈随机分布的区域，表示没有通过局部的 Moran's I 显著性检验，空间集聚性不强。

2.4 空间权重

空间自相关的确定是由 ANSELIN[17]提出的，主要把空间位置的相邻关系划分为 3 类：邻接、距离和最近 K 点。本文运用其中的邻接关系，邻接关系是根据空间单元之间是否相邻来赋空间权重值，若相邻，则 $\boldsymbol{w}_{ij}=1$；否则 $\boldsymbol{w}_{ij}=0$。邻接关系又可分为 Rook、Queen 和 Bishop 3 种邻接标准。

2.5 数据处理

2.5.1 数据预处理

结合高平市县级分等单元数据和行政区划数据，发现东城街道小北庄村没有耕地，为了避免异常值对分析的影响，因此将小北村庄从行政区划中剔除。最终确定高平市涉及乡镇级行政单元有北城街道、北诗镇等 16 个，村级行政单元共 455 个。

2.5.2 空间权重的确定

对耕地质量进行全局、局部空间自相关分析时，分别采用由 GeoDa 和 ArcMap 软件生成的空间权重文件来描述研究单元之间的邻接关系，分别计算基于 Rook、Queen 和 Bishop 邻接原则的一阶邻接空间邻接性，经计算对比，Rook 邻接关系的空间邻接性频率直方图更符合正态分布特征。故选择以 Rook 邻接原则确定空间权重。

2.5.3 研究单元的选择

查阅相关文献发现有相当一部分的研究者在对县域范围进行研究时，将研究单元设定为乡或者镇，这样做可以解决因图斑面积过小导致局部空间自相关分析结果辨识性差的问题[20]。为了尽可能降低对耕地实际情况的破坏程度，分别基于耕地图斑（国家）、镇级和村级 3 个层次，计算其均值以及方差。若将行政村作为研究单元，则村级耕地质量指数计算式为

$$P_o = \frac{\sum P_{io} S_{io}}{\sum S_{io}} \quad (4)$$

式中　P_o——第 o 个行政村的平均耕地质量（自然等、利用等、经济等）指数

P_{io}——第 o 个行政村中第 i 块耕地图斑的（自然等、利用等、经济等）指数

S_{io}——第 o 个行政村中第 i 块耕地图斑的面积，hm^2

镇级耕地质量指数采用类比的方式得到。

将耕地图斑融入到乡镇后，村级自然等指数、利用等指数和经济等指数的均值和方差较镇级的更接近于图斑（国家）本身的均值和方差，即村级耕地质量指数更接近实际，结果见表 1。因此，将研究单元定为村级较为合理。

表 1　高平市耕地质量指数均值、方差

Tab. 1　Cultivated land quality index statistics of mean and variance in Gaoping City

研究	自然等指数		利用等指数		经济等指数	
单元	均值	方差	均值	方差	均值	方差
国家	2 446. 89	279 628. 17	760. 55	21 384. 04	439. 83	9 594. 20
镇级	2 407. 27	193 485. 59	791. 78	7 504. 04	460. 79	3 233. 43
村级	2 447. 09	261 012. 69	777. 74	18 017. 15	450. 84	8 615. 91

3　结果与分析

3.1　耕地质量空间分布特征

国家耕地质量指数有国家质量等别与之对应，因此为了分析高平市整体的耕地质量在空间上的分布特征，选择国家质量等指数更为合适。将国家耕地质量指数数据加载到 ArcMap 中，并依据规范中分等原则，将国家耕地质量指数及其对应等别制成专题图，如图 2 中 3 种国家耕地质量空间分布图所示：高平市耕地质量国家自然等指数与国家利用等指数的空间分布特征相似，在县域中指数整体较高，自西南部至东北部指数呈下降趋势；但耕地的国家经济等指数整体较低，在高平市中部偏东北部小部分地区的耕地质量国家经济等指数较高，由此判断高平市对耕地的资金投入不足。

3.2　全局空间自相关结果分析

在 Moran 散点图中（图 3），村级耕地自然等指数、利用等指数和经济等指数全局自相关 Moran's I 值分别为 0. 84、0. 77 和 0. 72，均趋于 1。因此村级耕地质量指数在全局上都呈现出显著的正相关性，其正相关显著程度由大到小依次为：村级耕地自然等指数、村级耕地利用等指数、村级耕地经济等指数。

3.3　局部空间自相关结果

通过对研究区进行全局自相关性分析得出，村级耕地质量指数在整体上都呈现出较显著的正相关性，在此基础上，局部自相关分析能够更深入地发现局部的集聚和变异特征，通常用 Moran 散点图、LISA 的聚类图来判定。而局部 Moran's I 是对全局 Moran's I 的分解，反映的是空间对象的空间集聚程度。结合表 2 的统计结果，3 种村级耕地质量指数在局部的空间分布模式为：在 95% 的置信度下，大部分空间对象的局部空间自相关类型表现为非显著型；呈 HH 型和 LL 型的行政村个数和占比反映了耕地质量指数的正相关显著程度，其正相关显著程度由大到小依次为：村级耕地自然等指数、村级耕地利用等指数、村级耕地经济等指数，此结果与全局空间自相关结果分析一致。与表 2 对应的还有各自相对应的局部空间关联聚集图（图 4 ~ 6）。

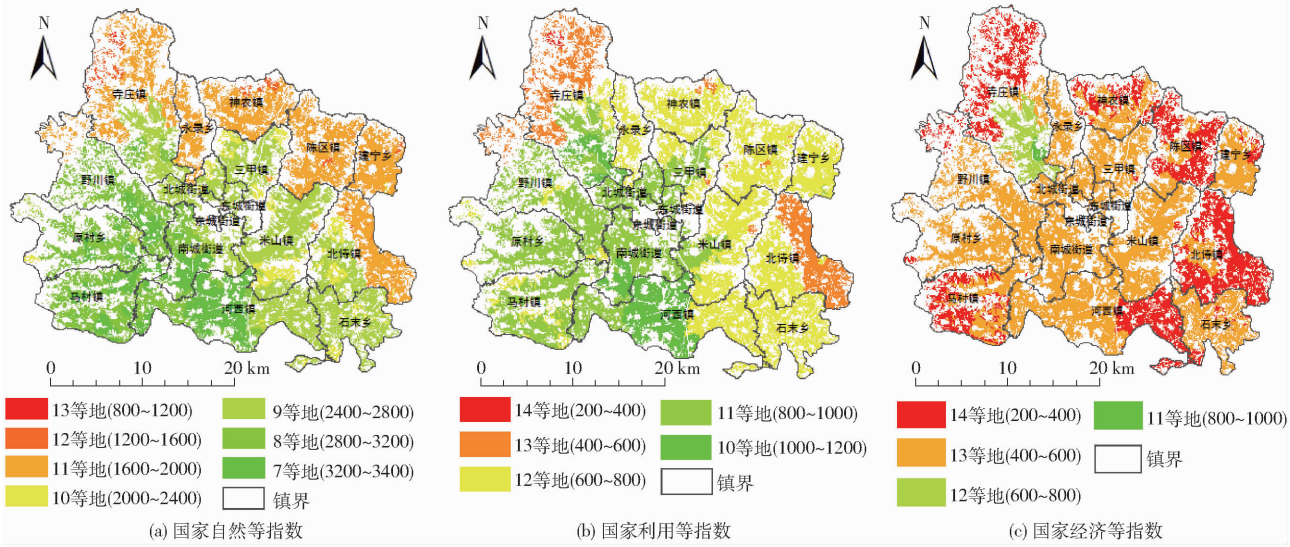

图 2　高平市耕地质量国家等指数分布图

Fig. 2　National distributions of cultivated land index in Gaoping City

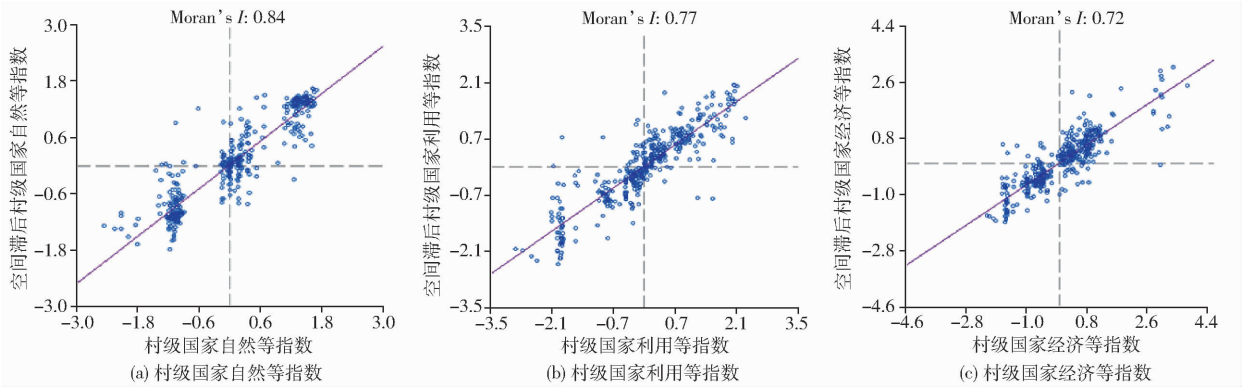

图 3 高平市村级耕地质量指数 Moran 散点图

Fig. 3 Moran's scatter diagrams of cultivated land quality index in scale of village in Gaoping City

表 2 高平市耕地质量指数局部空间自相关类型与行政村个数统计

Tab. 2 Types of local spatial autocorrelation and statistics summary of rural committee in Gaoping City

自相关类型	村级自然等指数		村级利用等指数		村级经济等指数	
	个数	占比/%	个数	占比/%	个数	占比/%
高-高型(HH)	113	24.84	60	13.18	54	11.87
高-低型(HL)			2	0.44		
低-高型(LH)			1	0.22	1	0.22
低-低型(LL)	118	25.93	54	11.87	52	11.43
非显著型	224	49.23	338	74.29	348	76.48
总计	455	100	455	100	455	100

3.3.1 村级耕地质量自然等指数局部自相关分析

表 2 中村级耕地质量自然等指数的局部自相关结果显示,聚集分布的 HH 型和 LL 型行政村个数和占总行政村个数的 50.77%,超过 1/2 行政村的村级耕地自然等指数呈聚集分布;不存在空间上呈现异常分布的 HL 型和 LH 型;非显著型行政村个数占行政村总数的 49.23%,该类型行政村没有通过显著性检验,呈空间随机分布。结合图 4,HH 型行政村主要"组团"出现在野川镇东南部、原村乡、马村镇、河西镇西部以及南城街道西南部,聚集分布于高平市的西南部;LL 型则主要沿寺庄镇北部、永录乡北部、神农镇、陈区镇、建宁乡、北诗镇北部以及东部 6 镇连线分布,聚集分布于高平市的北部。

结合高平市实际地形地势分析,HH 型"组团"出现在县域西南部区域,该区域地势平坦、雨水充足、土壤肥沃,且有丹河及其支流贯穿,与局部控件关联图基本符合;LL 型沿寺庄镇北部、永录乡北部、神农镇、陈区镇、建宁乡、北诗镇北部以及东部 6 镇"连线"分布,该区域地形起伏较大,群山环绕,平地较少,矿藏资源丰富,自然条件较差,这也与局部空间关联图基本符合。

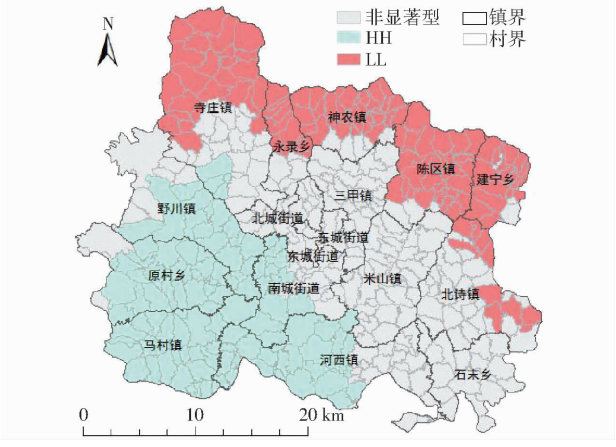

图 4 村级自然等指数局部空间关联聚集图

Fig. 4 Local saptial agglomeration of cultivated land quality index in scale of village

3.3.2 村级耕地质量利用等指数局部自相关分析

表 2 中村级耕地质量利用等指数的局部自相关结果显示,聚集分布的 HH 型和 LL 型行政村个数共占高平市行政村总数的 25.05%;在空间上呈现异常分布的 HL 型和 LH 型分别有 2 个和 1 个行政村,分别占高平市行政村总数的 0.44% 和 0.22%;非显著型行政村个数占行政村总数的 74.29%。结合图 5,HH 型主要分布在寺庄镇东南部、野川镇中部、北城街道西北部、南城街道中部及其以南及以西部分、河西镇中部及其以西地区,构成了自寺庄镇往南至河西镇这一连线聚集分布模式,即寺庄镇—北城街道—东城街道—南城街道—河西镇;LL 型主要分布在寺庄镇的北部及西部、野川镇西北部、陈区镇北部、北诗镇东部,LL 型主要分布在高平市的较靠近边界部分。HL 型分布在寺庄镇中部及野川镇北部。LH 型分布在野川镇的西部。

结合实际,寺庄镇—北城街道—东城街道—南城街道—河西镇这一连线的耕地多分布于铁路公路附近,地势平缓,耕地条件较好,距离居民点较近,能得到较好的管理,因此在耕地利用情况上表现出高值的聚集分布,这与 HH 型在局部空间关联聚集图

相符；而高平市整体东、西、北三面环山，寺庄镇—野川镇“组团”以及陈区镇—北诗镇“组团”部分地形起伏较大，耕作作业难以连片化进行，因此耕地的利用情况较差，而呈现出典型的 LL 型分布，与局部空间关联聚集图相符；HL 型和 LH 型都是零散分布在寺庄镇的中部、野川镇北部及野川镇的西部，只有 3 个行政村分别呈现出这 2 种现象。

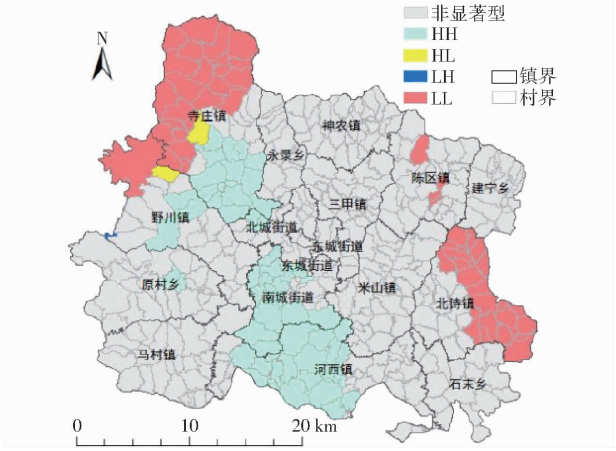

图 5　村级利用等指数局部空间自相关关联聚集图

Fig. 5　Local spatial agglomeration of cultivated land use index in scale of village

3.3.3　村级耕地质量经济等指数局部自相关分析

表 2 中村级耕地质量经济等指数的局部自相关结果显示，聚集分布的 HH 型和 LL 型的行政村个数共占高平市行政村总数的 23.3%；不存在空间上呈现异常分布的 HL 型；异常分布的 LH 型有 1 个行政村；非显著型的行政村个数占高平市行政村总数的 76.48%。结合图 6，发现 HH 型主要分布在寺庄镇东南部、永录乡西南部、南城街道中部及东部、米山镇的中部及西部，出现了寺镇庄—永录乡和南城街道—米山镇 2“组团”聚集分布的现象；LL 型主要分布在寺庄镇北部及西部、陈区镇中部、北诗镇东部，与村级耕地质量利用等指数的空间分布基本一致；LH 型分布在寺庄镇西部。

结合实际，寺庄镇、永录乡、南城街道、米山镇境内皆地势相对平缓，高平市内铁路、公路穿插其中，因此这几个乡镇的耕地的投入产出较周边几个乡镇相对较好，即为 HH 型分布，与局部空间关联聚集图在空间分布上基本相符；而高平市整体东、西、北三面环山，属于 LL 型的寺庄镇、陈区镇—北诗镇“组团”部分地形起伏较大，铁路公路在这些地区难以普及，道路通达度较低，耕地的投入产出相对较差，经济状况较差；表现为 LH 型的寺庄镇西部地形起伏较大，多为山区，对耕地的资金投入相对较少。

3.3.4　耕地保护分区

本文先对耕地村级自然等指数、经济等指数和

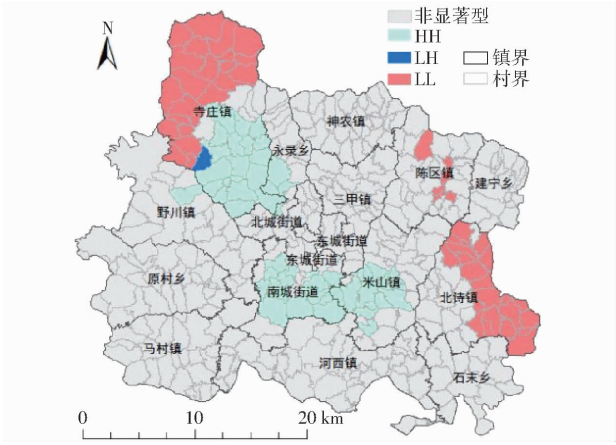

图 6　村级经济等指数局部空间自相关关联聚集图

Fig. 6　Local spatial agglomeration of cultivated land economic index in scale of village

利用等指数的局部空间自相关结果进行顺序组合，统计得出：本文涉及 17 种组合，其中绝大部分组合为非，非，非（表 3）。最终基于耕地村级质量指数局部空间自相关类型组合，结合相关管护规范，按照以下规则进行分区：局部空间自相关类型组合呈空间随机分布、异常分布、高值聚集分布、低值聚集分布对应将耕地保护划分为农业结构调整区域、土地整治重点区域、永久农业建设区域和非农建设理想区域（表 4）。本文对高平市耕地进行如下划分并提出相应管护措施（表 5，对应的还有分区结果图 7）：

（1）农业结构调整区域：对北城街道、三甲镇、东城街道等区域耕地，根据各自实际情况实施适应各自独特的综合性地调整措施，突出特色，改善布局，形成“一乡一业”、“一村一品”的特色经济，从而“提高”本区域的耕地质量，达到投入产出最大化的目的。

表 3　高平市耕地质量指数局部空间自相关类型组合

Tab. 3　Combination of types of local spatial autocorrelation and statistics in Gaoping City

局部自相关类型组合	行政村个数	耕地面积/hm^2	面积比例/%
非，非，非	159	14 903.15	32.13
非，非，LH	1	100.88	0.22
非，HL，非	2	163.07	0.35
非，LH，非	1	3.48	0.01
LL，非，HH	1	104.07	0.22
HH，非，非	71	8 668.66	18.69
非，非，HH	25	2 451.05	5.28
非，HH，非	3	216.48	0.47
非，HH，HH	15	1 915.52	4.13
HH，HH，非	29	4 653.28	10.03
HH，HH，HH	13	1 501.10	3.24
LL，非，非	79	6 289.91	13.56
非，LL，非	2	269.61	0.58
非，LL，LL	16	1 351.04	2.91
LL，非，LL	2	109.25	0.24
LL，LL，非	2	187.25	0.40
LL，LL，LL	34	3 499.65	7.54

表 4 耕地保护分区规则

Tab. 4 Zoning rules for cultivated land protection

分区名称	局部自相关类型组合	分区理由及管护建议
农业结构调整区域	非,非,非	该区域耕地综合质量呈空间随机分布。调整优化农业结构,发挥区域比较优势,因地制宜,从而“提高”本区域的耕地质量,达到投入产出最大化的目的
土地整治重点区域	LH,非,非 非,LH,非 非,非,LH HL,非,非 非,HL,非 非,非,HL LL,HH,非 LL,非,HH HH,LL,非 HH,非,LL	该区域耕地综合质量呈空间异常分布。对耕地进行综合整治,增加有效耕地面积,提高土地质量和利用效率
永久农业建设区域	HH,非,非 非,HH,非 非,非,HH 非,HH,HH HH,HH,非 HH,非,HH HH,HH,HH	该区域耕地综合质量呈空间高值聚集分布。维持其质量高值现状,并严禁非农建设,继续加强对耕地的管护
非农建设理想区域	LL,非,非 非,LL,非 非,非,LL 非,LL,LL LL,非,LL LL,LL,非 LL,LL,LL	该区域耕地综合质量呈空间低值聚集分布。进行综合性改良,如若进行退耕还林等非农化整治,该区域是较为理想的区域

(2)土地整治重点区域:本区域的耕地质量呈异常情况,对野川镇与寺庄镇交汇处以及寺庄镇东部小部分地区,可根据实际情况重点改善当地耕地的利用情况以及投入产出现状,结合土地整治相关规范对本区域耕地进行相应整治。

(3)永久农业建设区域:本区域的耕地自然条件优越,对寺庄镇、野川镇、原村乡、马村镇、河西镇、南城街道与米山镇一线的耕地维持其现状,并严禁非农建设,继续加强对耕地的保护,以期对周边质量较低的耕地产生扩散效应[21]。

(4)非农建设理想区域:本区域的耕地自然条件较差,地势起伏较大,道路通达度较低,耕地的投入产出相对较差,对寺庄镇、永录乡、神农镇、陈区镇、建宁乡与北诗镇沿县域边境一线的耕地,结合实际综合性改良措施。此外,如若进行退耕还林等农地非农化整治,该区域是较为理想的区域。

表 5 基于局部空间自相关类型组合的高平市耕地综合质量分区

Tab. 5 Zoning of cultivated land protection based on combination of local spatial autocorrelation in Gaoping City

分区名称	局部自相关类型组合	行政村个数	典型区域	管护措施
农业结构调整区域	非,非,非	159	北城街道、三甲镇、东城街道、米山镇北部、北诗镇东部、石末乡、河西镇东部等	根据实际情况实施综合性调整措施
土地整治重点区域	非,非,LH 非,HL,非 非,LH,非 LL,非,HH	5	野川镇与寺庄镇交汇处及寺庄镇东部	根据实际情况重点改良耕地利用情况以及投入产出现状
永久农业建设区域	HH,非,非 非,非,HH 非,HH,非 非,HH,HH HH,HH,非 HH,HH,HH	156	寺庄镇、野川镇、原村乡、马村镇、河西镇、南城街道与米山镇一线	维持耕地现状,禁止非农建设
非农建设理想区域	LL,非,非 非,LL,非 非,LL,LL LL,非,LL LL,LL,非 LL,LL,LL	135	寺庄镇、永录乡、神农镇、陈区镇、建宁乡与北诗镇沿县域边境一线	结合实际实施综合性耕地改良措施

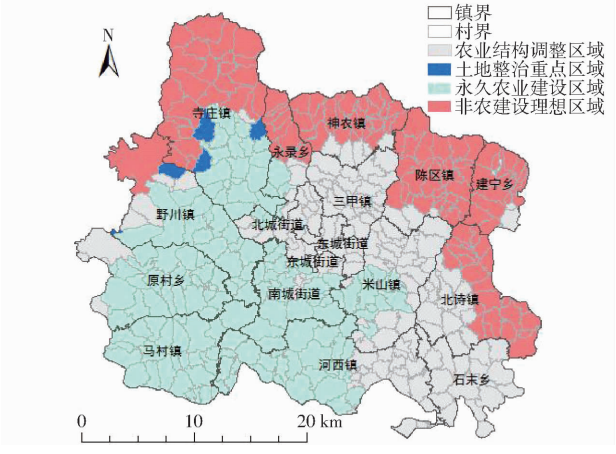

图 7 高平市耕地保护分区

Fig. 7 Cultivated land protection zoning in Gaoping City

4 结论

(1)针对耕地质量局部自相关结果类型的组合,将耕地保护区划定为农业结构调整区域、土地整治重点区域、永久农业建设区域和非农建设理想区域 4 类。在耕地全局空间自相关分析结果呈整体聚集现象的基础上,对耕地进行局部空间自相关分析,

并综合耕地综合质量局部空间分析结果提出了耕地保护分区的方案。

(2)县域耕地质量在空间分布上呈现出一定的规律。耕地质量在空间上呈现出正相关类型(HH 型和 LL 型)多以“组团”或者连线的形式存在,聚集性较为明显;空间上负相关类型(LH 型和 HL 型)多为零星分布,聚集性不明显。

(3)本研究方法考虑了耕地的综合质量,同时从空间角度出发,依据耕地综合质量的局部自相关结果的组合,结合实际情况,划定了针对性的保护区,为耕地保护分区和管护拓宽了思路。

参 考 文 献

1 张晋科,张凤荣,张琳,等. 中国耕地的粮食生产能力与粮食产量对比研究[J]. 中国农业科学,2006,39(11):2278 - 2285.
ZHANG Jinke, ZHANG Fengrong, ZHANG Lin, et al. Comparison between the potential grain productivity and the actual grain yield of cultivated lands in Mainland China[J]. Scientia Agricultural Sinica,2006,39(11): 2278 - 2285. (in Chinese)

2 谢俊奇,蔡玉梅,郑振源,等. 基于改进的农业生态区法的中国耕地粮食生产潜力评价[J]. 中国土地科学,2004,18(4): 31 - 37.
XIE Junqi, CAI Yumei, ZHENG Zhenyuan, et al. AEZ-based assessment for food productivity potential of cultivated land in China [J]. China Land Science,2004,18(4):31 - 37. (in Chinese)

3 王洪波,程锋,张中帆,等. 中国耕地等别分异特性及其对耕地保护的影响[J]. 农业工程学报,2011,27(11):1 - 8.
WANG Hongbo, CHENG Feng, ZHANG Zhongfan, et al. Differential characteristics of cultivated land grade and it′seffect on cultivated land protection in China[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(11): 1 - 8. (in Chinese)

4 郧文聚. 中国耕地等级评定与监测研究[M]. 北京:中国大地出版社,2010:1 - 2.

5 陈百明,周小萍. 中国粮食自给率与耕地资源安全底线的探讨[J]. 经济地理,2005,25(2):145 - 148.
CHEN Baiming, ZHOU Xiaoping. Analysis on the grain self-sufficient ratio and the safe baseline of cultivated land and in China [J]. Economic Geography,2005,25(2):145 - 148. (in Chinese)

6 孙佑海,柴涛修. 在新的历史起点上强化耕地质量保护[J]. 中国土地,2009(1):34 - 38.

7 吴飞,濮励杰,许艳,等. 耕地入选基本农田评价与决策[J]. 农业工程学报,2009,25(12):270 - 277.
WU Fei, PU Lijie, XU Yan, et al. Evaluation anddecision-making for selecting cultivated land into primefarmland [J]. Transactions of the CSAE,2009, 25(12): 270 - 277. (in Chinese)

8 董秀茹,尤明英,王秋兵. 基于土地评价的基本农田划定方法[J]. 农业工程学报,2011,27(4):336 - 339.
DONG Xiuru, YOU Mingying, WANG Qiubing. Demarcatingmethod of prime farmland based on land evaluation[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(4):336 - 339. (in Chinese)

9 孔祥斌,张青璞. 中国西部区耕地等别空间分布特征[J]. 农业工程学报,2012,28(22):1 - 7.
KONG Xiangbin, ZHANG Qingpu. Spatial distributioncharacteristics of arable land grade in Western China[J]. Transactions of the CSAE,2012,28(22):1 - 7. (in Chinese)

10 孟斌,王劲峰,张文忠,等. 基于空间分析方法的中国区域差异研究[J]. 地理科学,2005,25(4):393 - 400.
MENG Bin, WANG Jinfeng, ZHANG Wenzhong, et al. Evaluation of regional disparity in China based on spatial analysis[J]. Chinese Geographical Science,2005,25(4):393 - 400. (in Chinese)

11 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 spatialautocorrelation[J]. Transactions of the CSAE, 2014,30(18): 249 - 256. (in Chinese)

12 党国锋,朱晨. 基于空间自相关分析的山区耕地质量分区研究[J]. 中国农学通报,2015,31(36):131 - 138.
DANG Guofeng, ZHU Chen. Zonal study of farmland quality in mountainous area based on spatial autocorrelation analysis: Taking Wudu district of Longnan city as an example[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2015, 31(36): 131 - 138. (in Chinese)

13 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 Changsheng, WEI Shichuan, LUAN Qiaolin, et al. Spatial pattern disparity and arable land quality based on Moran's *I* analysis[J]. Resources Science, 2014, 36(10): 2066 - 2074. (in Chinese)

14 陈云坪,王秀,马伟,等. 小麦多年产量空间变异与空间关联分析[J]. 农业机械学报,2010,41(10):180 - 184.
CHEN Yunping, WANG Xiu, MA Wei, et al. Spatial autocorrelation analysis of wheat yield over five years[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2010,41(10):180 - 184. (in Chinese)

15 张超,张海锋,杨建宇,等. 网格环境下县域基本农田建设空间布局方法研究[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(11):245 - 251. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20161134&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.11.034.
ZHANG Chao, ZHANG Haifeng, YANG Jianyu, et al. Spatial layout of basic farmland construction at county scale in grid environment[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(11):245 - 251. (in Chinese)

16 CLIFF A D,ORD J K. Spatialautocorrelation[M]. London:Pion,1973.

17 ANSELIN L. Local indicators of spatial association-LISA[J]. Geographical Analysis, 1995, 27(2):93 - 115.

18 杨永侠,王旭,孟丹,等. 基于空间自相关的耕地等别指数检验方法研究[J/OL]. 农业机械学报,2016,47(5):328 - 335. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx? flag=1&file_no=20160545&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2016.05.045.
YANG Yongxia, WANG Xu, MENG Dan, et al. Test method of cultivated land grading index base on spatial autocorrelation[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2016,47(5):328 - 335. (in Chinese)

19 MORAN P A P. Notes on continuous stochastic phenomena[J]. Biometrika,1950,37(1 - 2):17 - 23.

20 孙英君,王劲峰,柏延臣. 地统计学方法进展研究[J]. 地球科学进展,2004,19(2):268 - 274.
SUN Yingjun, WANG Jinfeng, BAI Yanchen. Study on progress of methods in geostatistics[J]. Advance in Earth Sciences, 2004, 19(2): 268 - 274. (in Chinese)

21 葛莹,姚士谋,蒲英霞,等. 运用空间自相关分析聚集经济类型的地理格局[J]. 人文地理,2005(3):21 - 25.
GE Ying, YAO Shimou, PU Yingxia, et al. Application of spatial autocorrelation for the spatial patterns of urbanization and localization economy[J]. Human Geography, 2005(3):21 - 25. (in Chinese)