

基于空间自相关的赤峰市松山区耕地演变空间分异特征

盛艳, 秦富仓, 刘林甫 (内蒙古农业大学沙漠治理学院, 内蒙古呼和浩特 010019)

摘要 以赤峰市松山区为例, 基于 4 期 (1990、2000、2010、2020 年) 遥感影像数据提取研究区耕地信息, 采用动态度、相对变化率和空间自相关研究方法, 分析 1990—2020 年研究区耕地时空格局演变特征。结果表明, 松山区耕地面积经历了急剧增加—增加—减少的态势, 城郊地区的耕地呈现减少趋势, 耕地演变的空间分异特征显著, 分为耕地面积减少区、耕地面积缓慢增长区、耕地面积快速增长区; 依据全局 Moran's I 指数的变化, 松山区耕地在空间分布上呈现“弱—强—强”的集聚变化态势, 耕地变化明显的区域其相邻区域也呈现相同特征; 各乡镇的 LISA 聚类图直接反映各个乡镇耕地面积变化的集聚模式, “L-H”集聚相对稳定, 部分“H-L”集聚逐渐向“L-L”集聚转变。松山区耕地面积变化在空间分布上的集聚态势在不断加强, 且集聚态势由东部各乡镇转移到中南部地区。

关键词 耕地演变; 空间分异; 空间自相关; GIS; 赤峰市松山区

中图分类号 F323.211 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)20-0062-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.20.017



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Spatial Differentiation Characteristics of Cultivated Land Evolution Based on Spatial Autocorrelation in Songshan District of Chifeng City

SHENG Yan, QIN Fu-cang, LIU Lin-fu (College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, Huhhot, Inner Mongolia 010019)

Abstract Taking Songshan District of Chifeng City as an example, based on four periods (1990, 2000, 2010, 2020) remote sensing image data to extract cultivated land information in the study area, the research methods of dynamic degree, relative change rate and spatial autocorrelation were used to analyze the evolution characteristics of the temporal and spatial pattern of cultivated land in the study area from 1990 to 2020. The results showed that the cultivated land area of Songshan District experienced process of rapid increase-increase-decrease, and the cultivated land of suburban areas showed a decreasing trend, the spatial difference of cultivated land evolution was significant, which could be divided into reduction area of cultivated land, slow growth area of cultivated land and fast growth area of cultivated land. According to the change of the global Moran's I index, the spatial distribution of cultivated land area change was becoming increasingly concentrated in Songshan District, showing a “weak-strong-strong” change. The cultivated land change in neighboring areas with significant changes in cultivated land area also presented the same characteristics. LISA cluster diagram of the changes of cultivated land area of each township reflected directly the agglomeration pattern of each township unit. “L-H” agglomeration was relatively stable, part of “H-L” agglomeration gradually changed to “L-L” agglomeration. The agglomeration trend in the spatial distribution of cultivated land area changes in Songshan District was constantly strengthening, and the agglomeration trend had shifted from the eastern towns to the central and southern regions.

Key words Cultivated land evolution; Spatial distribution pattern; Spatial autocorrelation; GIS; Songshan District of Chifeng

耕地对于人类的生存和发展是必不可少的资源, 也是一种重要的土地利用形式。耕地资源对我国的粮食安全问题、经济发展持续性和生态平衡起重要作用^[1-3]。影响耕地的数量与质量变化的因素是自然、社会、经济、技术等各种要素综合。由于人口的增加、经济迅速发展和城市化进程的加快, 对建设用地的需求量不断增加, 大量的耕地转化为建设用地, 导致耕地资源数量在不断减少, 随之生态环境也在恶化, 使得耕地保护的责任与压力不断加大^[4-5]。当前的首要任务是保护耕地, 耕地演变及空间格局变化的研究对耕地资源的合理持续利用、优化农业生产结构和实现区域农业的可持续发展具有重要意义。

关于耕地动态变化及格局演变等方面的研究我国学者已经从宏观尺度、中尺度以及在一些经济发达区域进行了大量相关研究, 在经济相对欠发达的低山丘陵区及微观尺度上研究较少^[6-8]。多数学者从宏观层面揭示耕地演变及空间格局分布状况, 从耕地多时空尺度和空间关联性整合方面去揭示耕地空间格局演变规律研究甚少。空间自相关是用来度量某一要素在空间上是否具有具有一定规律的空间变量, 检验要

素属性值与其临近空间要素上的属性值是否具有显著关联性^[9-11]。将 GIS 技术与空间自相关方法相结合, 能够全面地反映空间单元的位置及与其相邻空间单元之间的关联性。笔者以赤峰市松山区作为研究区, 运用空间自相关方法对研究区耕地变化空间集聚性和异质性进行研究, 将耕地演变空间聚集与时间变化过程有机结合, 绘制 LISA 聚类图, 动态揭示多时空尺度下的耕地空间聚集状态, 更为直接地反映空间自相关变化差异性及其趋势^[12-13], 有效揭示耕地时空演变的特征和规律, 对研究区合理利用保护耕地具有重要的理论价值和实践意义。

1 资料与方法

1.1 研究区概况 赤峰市松山区位于赤峰市东南部, 地理坐标为 117°47'~119°39'E、42°01'~42°43'N。松山区地处松辽平原、内蒙古高原的中间地带, 属北温带大陆性季风气候, 年平均气温为 5.6℃, 年无霜期为 155 d, 年降水量为 377.60 mm; 年蒸发量为 1 852 mm; 年日照时数为 2 799 h。松山区气候特征为四季分明, 春季干旱多风且蒸发量大; 夏季雨热同期, 降水较为集中; 秋季较为短促, 气温下降较快, 初霜降来临较早; 冬季较为漫长且寒冷, 日照比较充足。研究区热量、水分条件的时空分布差异显著, 热量分布是东南部好于西北部, 降水量的分布则以西北部偏多、东南部偏少。松

基金项目 内蒙古科技计划项目(2020GG0075)。

作者简介 盛艳 (1979—), 女, 内蒙古乌兰察布人, 副教授, 博士, 从事水土保持与土地利用方面研究。

收稿日期 2021-11-15

山区全区总面积 5 618 km²,宜农地占总面积的 22.8%,全区辖 9 镇 5 乡、7 个街道办事处,2019 年,全区户籍人口 608 883 人,全区实现地区生产总值 270.5 亿元,增长 5%,其中,第一产业产值 48.7 亿元,增长 2.1%。目前,松山区已成为国家商品粮基地之一,全区粮食作物播种面积 13.01 万 hm²。

1.2 数据来源 研究区遥感数据主要来源于美国国家航空航天局(NASA)陆地卫星数据,包括 1990、2000、2010 年的 Landsat-5 TM 影像以及 2020 年的 Landsat-8 OLI_TIRS 影像。利用 ERDAS 软件对遥感影像进行处理,为了使影像中的地物特征显现更为清晰,通过人机交互解译,同时结合研究区的实际状况,基于 ArcGIS 10.8 软件对 6 种土地利用类型(耕地、林地、草地、建设用地、水域、未利用地)进行数据提取,主要依据国家现行标准《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)进行研究区土地利用分类^[14]。选取了 6 种典型地类的训练样区,运用最大似然法对遥感影像进行监督分类。结合实地抽样调查对分类结果进行精度验证,总体精度达到 90.26%,kappa 系数为 0.90,可以较好地满足研究的需求,同时收集了 1990—2020 年研究区的历史统计数据及相关文献资料。

1.3 研究方法

1.3.1 动态度。耕地的变化速度主要利用动态度来进行定量描述,主要反映研究区耕地的变化程度。通过对研究区耕地变化速度分析,可以了解到研究区耕地变化的剧烈程度。计算公式如下:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中, K 为 T 时段内的耕地利用动态度; U_b 、 U_a 分别为研究期末和研究期初耕地的面积。

1.3.2 空间自相关分析。空间自相关属于地学空间统计方法中的一种,能够有效揭示某一要素属性值与其临近空间要素上的属性值是否存在明显的相关性,计算某空间单元的特征值与其临近的单元空间自相关性程度,可以揭示空间单元分布现象的特征及空间单元相互之间的作用机理^[15-16]。空间自相关分为全局空间自相关和局部空间自相关。全局空间自相关能够揭示整个区域总体的空间关联及差异的显著性,检验整个区域中各空间单元的属性值是否存在集聚特性。全局空间自相关在空间单元属性值空间分布上出现不平稳时就不能反映单元之间的空间关联性^[17]。局部空间自相关能够揭示局部区域内空间各单元之间的相关性,反映各个空间单元的属性值在空间分布上的异质性^[18]。

Moran's I 指数是空间自相关性的度量指标,Moran's I 指数的值在 $[-1, 1]$ ^[19],在一定显著性水平下,当 Moran's I 指数 > 0 时,表示各空间单元在空间分布上存在正的空间自相关且呈现集聚状态分布;当 Moran's I 指数 < 0 时,表示各空间单元在空间分布上存在负的空间自相关且呈现离散状态;当 Moran's I 指数 $= 0$ 时,表示各空间单元在空间分布上不存在空间自相关且呈随机分布状态^[20]。其计算公式如下:

$$\text{Moran's } I \text{ 指数} = \frac{N \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} \right) \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (2)$$

式中, N 为空间单元的数量; X_i 和 X_j 为观测值; \bar{X} 为平均值; W_{ij} 为空间单元的权重。

局部空间自相关的程度可以用 Moran 散点图来反映,Moran 散点图的第一象限为 H-H 类型区,局部空间自相关呈现正的,主要表现为高值的空间单元临近也为高值空间单元的空间联系形式。第二象限为 L-H 类型区,局部空间自相关表现为负的,主要表现为低值的空间单元临近为高值的空间单元的空间联系形式。第三象限为 L-L 类型区,局部空间自相关表现为正的,主要表现为低值的空间单元临近也为同样的低值的空间单元的空间联系形式。第四象限为 H-L 类型区,局部空间自相关表现为负的,主要表现为高值的空间单元被低值的空间单元所包围的空间联系形式。用 Moran 散点图与 LISA 显著性水平相结合的方法,能够绘制 Moran 显著性水平图,具有显著性水平的 LISA 区域可以显现,局部空间的异质状况就可以测度,同时诊断局部空间集聚的“热点”与“冷点”。

2 结果与分析

2.1 松山区耕地时空演变特征

2.1.1 耕地资源时间序列演变。由图 1 和图 2 可知,松山区耕地面积总体变化态势是急剧增加—增加—减少的变化过程。1990—2000 年松山区新增耕地净增速度最快的时期,耕地开垦量与净增量都达到了峰值,共增长了 34 459.02 hm²,增长率为 28.05%,其中水浇地增长率为 54.85%,增长最快;其次是旱地增长率为 18.36%。2000—2010 年,耕地总量增加幅度有所减缓,共增加了 23 911.47 hm²,增长率为 15.20%,其中,水浇地的增长速度最快,增长率为 33.45%,而水田则减少了 36.33%,旱地增加了 6.50%。2010—2020 年耕地呈现减少态势,减少了 7.13%。影响耕地演变的主要因素是国家政策,在 20 世纪 90 年代初期,由于畜牧产品的市场价格的严重下跌,国家对农产品市场价格的保护,开荒种地比经营畜牧业能够带来更高收益,导致出现了大面积的开荒。2000 年之后,各地大量过度开垦开荒使得生态环境日益恶化,国家和各级政府都采取了积极的应对措施,在生态脆弱区和农牧交错区实施退耕还林还草措施,使研究区耕地增加的趋势有所减缓,随着经济的快速发展及城镇化水平的不断提高,2010—2020 年耕地出现了减少的态势。

由图 3 可知,1990—2000 年,耕地增长率超过 50% 的乡镇有王府镇、当铺地满族乡、太平地镇、初头朗镇和安庆镇,耕地增长率超过 20% 的乡镇有大庙镇、夏家店乡、哈拉道口镇、岗子乡、老府镇和上官地镇,而耕地呈现减少的乡镇有大夫营子乡、穆家营子镇和城子乡。据文献记载,主要源于 1995 年以来松山区存在持续的垦荒现象,导致耕地在不断增长。由于不当开发利用导致土地退化及沙化严重而出现耕地撂荒行为,农地生产力下降,生态环境随之恶化。2000—2010 年,岗子乡、夏家店乡和上官地镇耕地依然在增长,而穆

家营子镇耕地减少 29.43%，主要由于穆家营子镇属于城郊区，建设用地占用了大量的优质耕地；同时王府镇、大庙镇、城子乡和大夫营子乡耕地也在减少。2010—2020 年，大夫营

子乡、城子乡和穆家营子镇耕地减少速度较快，城子乡和穆家营子镇减少的耕地主要转化为建设用地，大夫营子乡耕地退化现象严重，部分耕地退耕还林还牧。

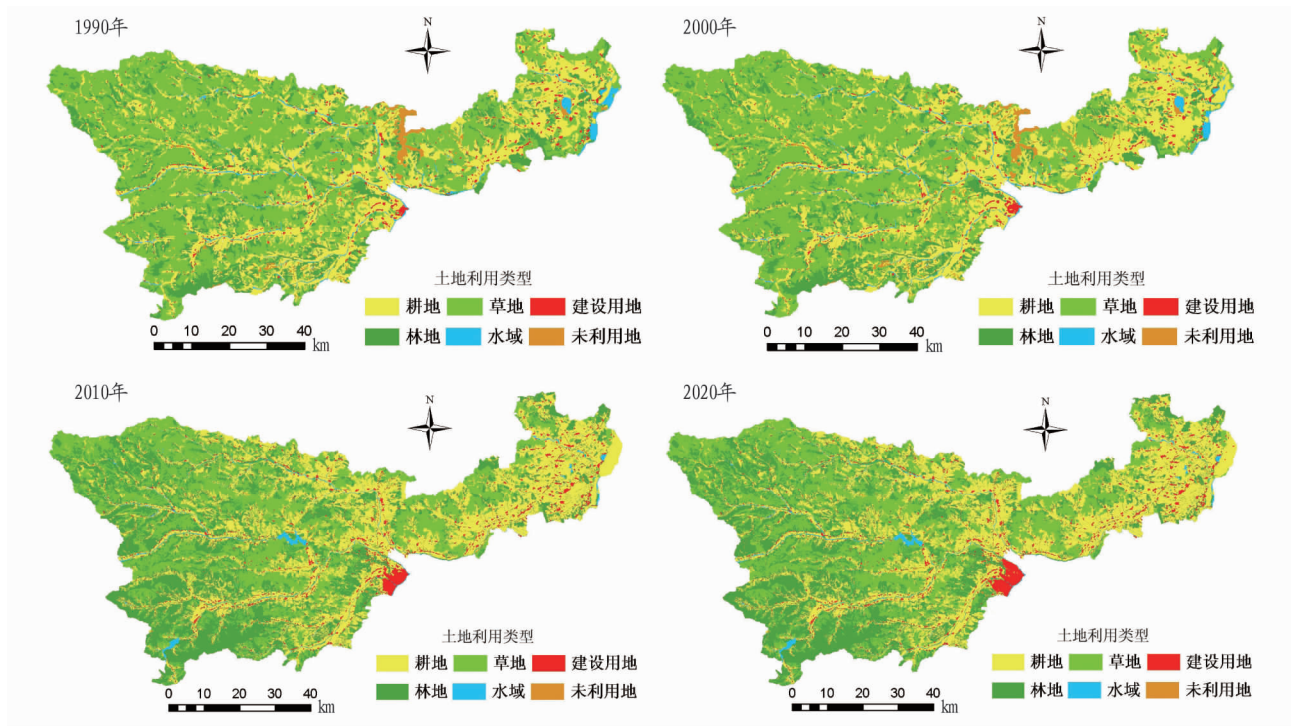


图 1 不同时期土地利用类型

Fig.1 Types of land use in different periods

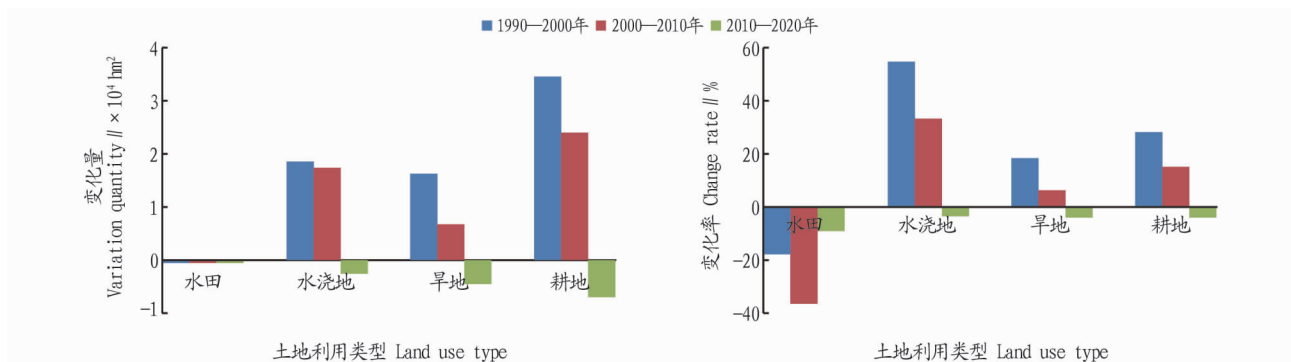


图 2 1990—2020 年松山区耕地面积变化量和变化率

Fig.2 Variation quantity and change rate of cultivated land area in Songshan District from 1990 to 2020

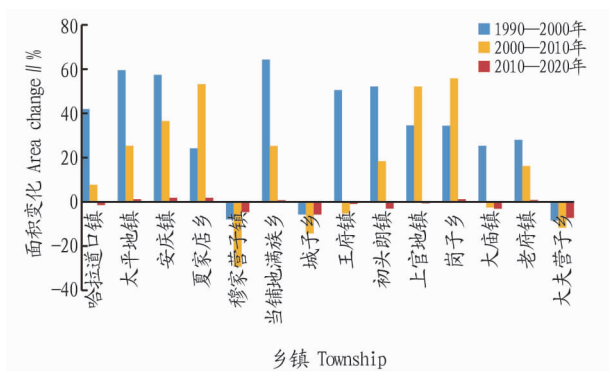


图 3 1990—2020 年各乡镇耕地面积变化

Fig.3 Changes of cultivated land area of each township from 1990 to 2020

2.1.2 各乡镇耕地变化速度分析。利用 4 期的耕地数据,运用公式(1)计算了各乡镇的耕地动态度(图 4)。依据计算结果,将各个乡镇的耕地变化速度划分为 3 个级别,具体如下:
 ①耕地动态度处于 $[-4.79\%, 0)$ 是耕地面积减少区,主要有城子乡、大庙镇、穆家营子镇和大夫营子乡。城子乡和穆家营子镇耕地减少主要是位于城郊区,由于建设用地的不断扩张而占用了大量的耕地,耕地的后备资源严重不足而未能及时补充,从而导致耕地减少。大庙镇和大夫营子乡处于山地丘陵区,部分耕地为坡耕地,极易产生水土流失,土壤肥力下降,生产率低,被弃耕撂荒及退耕,导致耕地减少。
 ②耕地动态度处于 $[0, 3.00\%)$ 是耕地面积缓慢增长区,主要有老府镇、哈拉道口镇和王府镇。为了保持耕地总量动态平衡,实施生态灾毁补充耕地和“占一补一”的制度,这 3 个乡镇大量开垦后各耕

地资源,所以耕地有小幅增加。③耕地利用动态处于 $[3.00\%,4.91\%]$ 是耕地面积快速增长区,主要有7个乡镇,主要分布于松山区的中东部,海拔较低及地势平坦,耕地后备资源充足,主要以传统农业为主,由于设施农业的快速发展,在经济利益驱使下,大面积的开垦导致耕地数量大幅增加。

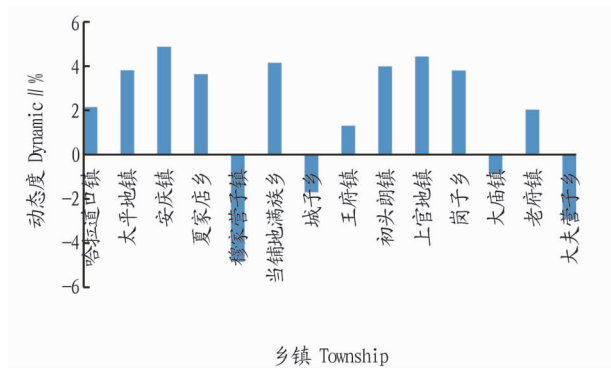


图4 1990—2020年各乡镇耕地动态度

Fig.4 Cultivated land dynamic of each township from 1990 to 2020

2.2 耕地变化的空间自相关分析

2.2.1 耕地变化的全局空间自相关分析。通过 GeoDa 软件,计算得到松山区 1990—2000、2000—2010、2010—2020 年 3 个时间段耕地面积变化的全局 Moran's I 指数,通过显著性检验($\alpha=0.05$),3个时间段耕地面积变化的全局 Moran's I 指

数分别为 0.146、0.176 和 0.188,表明松山区耕地面积在空间上整体变化呈现显著的空间聚集特征,耕地变化显著的区域其周边区域的耕地变化也呈现相似特征。由于 3 个时间段的 Moran's I 指数持续上升,表明松山区耕地变化在空间上的聚集态势不断加强。

2.2.2 耕地面积变化的局部空间自相关分析。基于 GeoDa 软件计算松山区 3 个时间段各乡镇耕地变化的局部 Moran's I 指数,并进行显著性检验。从图 5 可以看出,1990—2000 年松山区各乡镇耕地面积变化的局部 Moran's I 指数分布在 $[-1.3029,2.8717]$;6个乡镇的耕地变化呈现显著的空间集聚性,而8个乡镇耕地变化呈现显著的空间异质性,与相近区域耕地变化存在明显差异。2000—2010年各乡镇耕地变化的局部 Moran's I 指数分布在 $[-1.6756,3.5837]$,有8个乡镇的耕地变化呈现显著的集聚性,其他乡镇与临近区域的耕地变化存在明显差异;2010—2020年各乡镇耕地变化的局部 Moran's I 指数分布在 $[-1.4327,3.1671]$,有7个乡镇的耕地变化呈现明显的空间集聚性。2000—2020年各乡镇的局部 Moran's I 指数的正值所占比重在增加,表明各乡镇耕地变化在空间上集聚性在增强。各乡镇耕地演变格局呈现显著的空间分异性,1990—2000年松山区东部各乡镇耕地变化具有较明显的集聚性,2000—2020年集聚性逐渐转移到松山区的中南部地区。

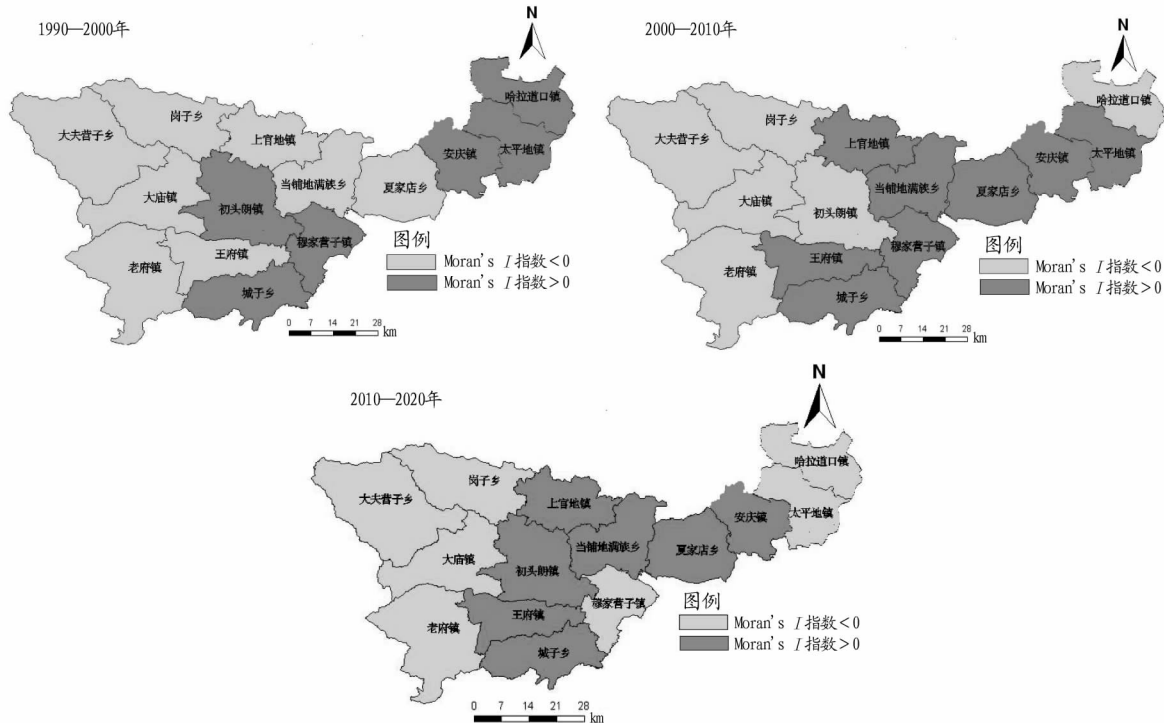


图5 不同时间段各乡镇耕地变化的局部 Moran's I 指数空间分布

Fig.5 Spatial distribution of local Moran's I index of cultivated land change in each township in different time periods

为反映各个乡镇耕地演变的空间自相关程度,通过 Moran 散点图,绘制了各乡镇耕地变化的 LISA 聚类图(图 6),通过 LISA 聚类图,能直观地揭示各个乡镇单元的集聚模式。计算 Anselin Local Moran's I 指数,通过显著性检验,表明研

究区 1990—2000 年耕地变化空间集聚性不明显,而 2000—2020 年耕地变化在空间分布上集聚性较为显著,表现为正的空间自相关性。

(1) 第一象限为高值聚集区(H-H 类型区),在此类型区

的各乡镇耕地变化的空间差异不显著,各乡镇的耕地变化呈现正的空间自相关,表明各乡镇与周边乡镇的耕地变化幅度都较大。1990—2000年安庆镇、哈拉道口镇、初头朗镇和太平地镇耕地变化属于高值聚集区;2000—2010年上官地镇、太平地镇、当铺地满族乡、安庆镇和夏家店乡耕地变化属于高值聚集区;2010—2020年当铺地满族乡、哈拉道口镇、安庆镇、太平地镇和夏家店乡属于高值聚集区。以上乡镇主要集中在松山区的东中部,总体趋势表现为耕地增加较快地区从松山区东北部转移到东中部地区。

(2)第二象限为低值离群点区(L-H类型区),在此类型区的各乡镇耕地变化空间差异显著,各乡镇的耕地变化表现为负的空间自相关,各乡镇耕地变化比周边乡镇耕地变化慢,出现了局部的异质“冷点”。1990—2000年夏家店乡、大夫营子乡、大庙镇和老府镇耕地变化属于低值离群点区,这些乡镇主要分布于松山区的西北部。2000—2020年耕地变化分布于低值离群点区的乡镇有大夫营子乡、哈拉道口镇和大庙镇。

(3)第三象限为低值聚集区(L-L类型区),在此类型区的各乡镇耕地出现减少趋势,分布于此类型区的乡镇与其周

边乡镇相比较,耕地面积变化相对缓慢,耕地变化的局部空间差异不显著,表现为正的空间自相关性。1990—2000年穆家营子镇和城子乡分布于此类型区,2000—2020年穆家营子镇、初头朗镇、城子乡和王府镇分布于此类型区。低值聚集区逐渐由松山区南部向北部扩展。

(4)第四象限为高值离群点区(H-L类型区),在此类型区的各乡镇耕地面积变化局部空间差异性较为显著,表现为负的空间自相关,各乡镇耕地变化比周围乡镇耕地变化幅度大,形成局部的异质“热点”。1990—2000年当铺地满族乡、岗子乡、上官地镇和王府镇属于高值离群点区;2000—2010年岗子乡、老府镇和初头朗镇属于高值离群点区;2010—2020年属于高值离群点区的乡镇有岗子乡、上官地镇和老府镇,以上乡镇主要零星分散于松山区的北部和西部。

3 结论与讨论

(1)松山区耕地面积经历了急剧增加—增加—减少的态势,城郊地区的耕地呈现减少趋势,耕地演变的空间差异性显著。依据耕地动态对14个乡镇的耕地变化速度进行分级,分为耕地面积减少区、耕地面积缓慢增长区、耕地面积快速增长区,揭示耕地快速增长的动因为经济利益的驱使。

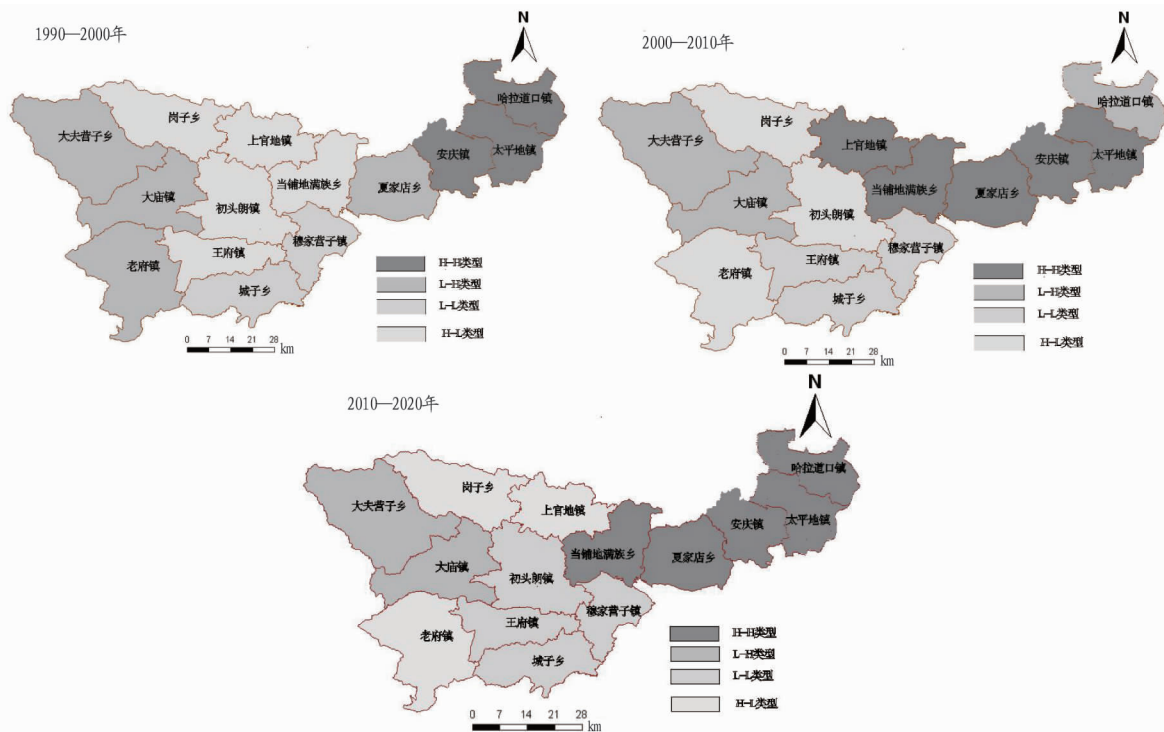


图6 不同时间段各乡镇耕地变化的LISA聚类图

Fig.6 LISA cluster diagram of cultivated land change in each township in different time periods

(2)松山区耕地演变空间分布存在显著正相关,耕地变化明显的区域其相邻区域也呈现相同特征,空间集聚态势呈现“弱(1990—2000年)—强(2000—2010年)—强(2010—2020年)”的态势;耕地演变低值或周围高值的乡镇表现出明显集聚态势,局部空间异质性有所增强;各乡镇的LISA聚类图直接反映各个乡镇耕地面积变化的集聚模式,“L-H”集聚相对稳定,部分“H-L”集聚逐渐向“L-L”集聚转变;松山区耕地面积变化在空间分布上的集聚态势在不断加强,且积

聚态势由东部各乡镇转移到中南部地区。

(3)耕地演变驱动机制较为错综复杂,既有自然因素的影响,也受人类活动干扰,需要进一步开展耕地驱动机制研究,尤其是不同空间尺度内的耕地演变,其驱动机制是否具有空间尺度效应,探索多空间尺度内耕地利用管理模式。

参考文献

[1] 霍仁龙,杨煜达,满志敏.1700—1978年云南山地掌鸠河流域耕地时空演变的网格化重建[J].地理学报,2020,75(9):1966—1982.

(下转第80页)

胞中并获得成功表达。更多突变位点的发现,尤其是高度保守区域氨基酸突变能否导致蛋白功能变化为进一步探索肥胖的原因提供了更多信息。针对肥胖患者饮食调控的治疗过程中,手术治疗并未在长期临床效果中获益,更加强调了 MC4R 激动剂药物治疗的重要性,且只有通过基因筛查后才可以评估患者是否适合手术治疗。因此,针对治疗肥胖患者的药物研发更加重要。筛选导致肥胖的危险基因,当前不仅是为了研究常规治疗肥胖药物,甚至可为儿科内分泌学筛选导致肥胖的基因提供指导意见^[16]。因此,可以通过基因突变位点的筛查,对存在 MC4R 基因突变的儿童进行前期干预,包括饮食、运动及药物干预。综上所述,该研究为 MC4R 基因突变引起蛋白功能变化、MC4R 与配体结合后 2 个信号传导通路之间联系机制提供了前期科研基础,同时为临床上研发治疗肥胖药物及从儿童期预防肥胖的前期干预提供了科研数据。

参考文献

- [1] CAI M Y, HRUBY V J. The melanocortin receptor system: A target for multiple degenerative diseases [J]. *Current protein and peptide science*, 2016, 17(5): 488-496.
- [2] HAINER V, ALDHOON HAINEROVÁ I, KUNEŠOVÁ M, et al. Melanocortin pathways: Suppressed and stimulated melanocortin-4 receptor (MC4R) [J]. *Physiol optical res earch*, 2020, 69(S2): S245-S254.
- [3] AYERS K L, GLICKSBERG B S, GARFIELD A S, et al. Melanocortin 4 receptor pathway dysfunction in obesity: Patient stratification aimed at MC4R agonist treatment [J]. *The journal of clinical endocrinology & metabolism*, 2018, 103(7): 2601-2612.
- [4] GAVINI C K, COOK T M, RADEMACHER D J, et al. Hypothalamic C2-do-

- main protein involved in MC4R trafficking and control of energy balance [J]. *Metabolism clinical and experimental*, 2020, 102: 1-11.
- [5] AFSHIN A, FOROUZANFAR M H, REITSMA M B, et al. Health effects of overweight and obesity in 195 countries over 25 years [J]. *The New England journal of medicine*, 2017, 377(1): 13-27.
- [6] PICHÉ M E, TCHERNOF A, DESPRÉS J P. Obesity phenotypes, diabetes, and cardiovascular diseases [J]. *Circulation research*, 2020, 126(11): 1477-1500.
- [7] YU K P, LI L, ZHANG L, et al. Association between MC4R rs17782313 genotype and obesity: A meta-analysis [J]. *Gene*, 2020, 733: 1-9.
- [8] LOTTA L A, MOKROSI NSKI I, DE OLIVEIRA E M, et al. Human gain-of-function MC4R variants show signaling bias and protect against obesity [J]. *Cell*, 2019, 177(3): 597-607.
- [9] MANKOWSKA M, NOWACKA-WOSZUK J, GRACZYK A, et al. Polymorphism and methylation of the MC4R gene in obese and non-obese dogs [J]. *Molecular biology reports*, 2017, 44(4): 333-339.
- [10] 王光川, 巴彩凤, 苏荣健, 等. 犬黑皮质素受体 4 真核表达载体的构建及表达 [J]. *安徽农业科学*, 2008, 36(31): 13564-13567.
- [11] GONÇ ALVES J P, PALMER D, MELDAL M. MC4R agonists: Structural overview on antiobesity therapeutics [J]. *Trends in pharmacological sciences*, 2018, 39(4): 402-423.
- [12] PAISDZIOR S, DIMITRIOU I M, SCHÖPE P C, et al. Differential signaling profiles of MC4R mutations with three different ligands [J]. *International journal of molecular sciences*, 2020, 21(4): 1-20.
- [13] KIM K S, REECY J M, HSU W H, et al. Functional and phylogenetic analyses of a melanocortin-4 receptor mutation in domestic pigs [J]. *Domestic animal endocrinology*, 2004, 26(1): 75-86.
- [14] 李星润, 兰国湘, 王孝义, 等. 猪 MC4R 基因 Asp298Asn 位点多态性及其与生长性状的关联 [J]. *畜牧与兽医*, 2016, 48(2): 23-27.
- [15] 魏嘉, 王光川, 武洁, 等. 犬 MC4R 突变体 D90N 真核表达载体的构建及表达 [J]. *安徽农业科学*, 2010, 38(12): 6118-6121, 6124.
- [16] RAFFAN E, DENNIS R J, O'DONOVAN C J, et al. A deletion in the canine POMC gene is associated with weight and appetite in obesity-prone labrador retriever dogs [J]. *Cell metabolism*, 2016, 23(5): 893-900.

(上接第 49 页)

- [18] 张洪江, 程金花, 余新晓, 等. 贡嘎山冷杉纯林枯落物储量及其持水特性 [J]. *林业科学*, 2003, 39(5): 147-151.
- [19] 夏江宝, 陆兆华, 高鹏, 等. 黄河三角洲滩地不同植被类型的土壤贮水功能 [J]. *水土保持学报*, 2009, 23(5): 72-75, 95.
- [20] 郑子成, 张锡洲, 李廷轩, 等. 玉米生长期土壤抗蚀性特征及其影响因素分析 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30(4): 100-108.
- [21] 白秀梅, 韩有志, 郭汉清. 关帝山不同植被恢复类型土壤抗蚀性研究 [J]. *水土保持学报*, 2014, 28(2): 79-84.
- [22] 袁颖丹, 郭晓敏, 陈煦, 等. 武功山山地草甸不同海拔高度土壤机械组成与养分特性关系 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2017, 37(7): 118-122.

- [23] 陈爱民, 严思维, 林勇明, 等. 泥石流频发区不同林龄新银合欢土壤抗蚀性评价 [J]. *北京林业大学学报*, 2016, 38(9): 62-70.
- [24] 吴丽丽, 张仁陟, 康立军. 紫色丘陵区坡耕地生物埂的土壤抗蚀性综合评价 [J]. *中国生态农业学报*, 2014, 22(11): 1310-1317.
- [25] 韩贞贵, 毛天旭, 屠丹, 等. 长江源区草地覆盖变化对土壤团聚体分布及稳定性的影响 [J]. *草地学报*, 2020, 28(3): 801-807.
- [26] 闫思宇, 王景燕, 龚伟, 等. 川南山地林分变化对土壤物理性质和抗蚀性的影响 [J]. *长江流域资源与环境*, 2016, 25(7): 1112-1120.
- [27] 黄进, 杨会, 张金池. 桐庐生态公益林主要林分类型土壤抗蚀性研究 [J]. *水土保持学报*, 2010, 24(1): 49-52, 64.
- [28] 邱陆瑜. 浙江省瓯江流域源头区林地土壤抗蚀特性及影响因素研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2016.

(上接第 66 页)

- [2] 宋戈, 张文琦. 粮食作物种植视域下东北粮食主产区耕地利用的时空分化特征 [J]. *农业工程学报*, 2020, 36(15): 1-8.
- [3] 苏锐清, 曹银贵, 王文旭, 等. 京津冀潮白河区域 2001—2017 年耕地利用变化时空特征分析 [J]. *农业资源与环境学报*, 2020, 37(4): 574-582.
- [4] 谭木魁, 韩思雨, 张路. 粮食安全视角下粮食主产区耕地休耕规模及动态仿真研究 [J]. *中国土地科学*, 2020, 34(2): 9-17.
- [5] 盛艳, 姚云峰, 秦富仓. 基于地形因素的赤峰市乡土地利用空间格局变化 [J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2014, 42(5): 388-393.
- [6] 孙聪康, 徐俊丽, 余敦, 等. 多尺度下崇义县耕地质量空间分布差异特征研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2019, 27(4): 601-612.
- [7] 杨建宇, 徐凡, 赵龙, 等. 基于综合质量空间自相关性分析的耕地保护分区方法 [J]. *农业机械学报*, 2017, 48(3): 156-163.
- [8] 朱磊, 杨爱民, 夏鑫鑫, 等. 基于空间自相关的 1975—2015 年玛纳斯河流域耕地时空特征变化分析 [J]. *中国生态农业学报*, 2020, 28(6): 887-899.
- [9] 李灿, 黄萌萌. 基于空间自相关的丘陵山区耕地质量保护分区 [J]. *国土资源科技管理*, 2020, 37(2): 106-115.
- [10] 范晓峰. 基于耕地质量指数局部空间自相关的耕地保护分区研究: 以敦化市为例 [J]. *西部大开发(土地开发工程研究)*, 2018, 3(12): 7-12.
- [11] 姜广辉, 张瑞娟, 张翠玉, 等. 基于空间集聚格局和边界修正的基本农田保护区划定方法 [J]. *农业工程学报*, 2015, 31(23): 222-229.

- [12] 刘彦文, 刘成武, 何宗宜, 等. 基于像元尺度耕地质量局部空间自相关的基本农田划定 [J]. *农业机械学报*, 2019, 50(5): 260-268, 319.
- [13] 杜婉婷, 李淑杰, 曹竞文, 等. 多尺度下的珲春市耕地质量空间自相关分析 [J]. *东北师大学报(自然科学版)*, 2018, 50(4): 134-141.
- [14] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 土地利用现状分类: GB/T 21010—2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [15] 何炬, 张雪松. 县·乡镇两级尺度下耕地质量空间自相关分析: 以湖北省广水市为例 [J]. *安徽农业科学*, 2018, 46(14): 7-11.
- [16] SONG W, WU K N, ZHAO H F, et al. Arrangement of high-standard basic farmland construction based on village-region cultivated land quality uniformity [J]. *Chinese geographical science*, 2019, 29(2): 325-340.
- [17] 张晗, 赵小敏, 欧阳真程, 等. 基于空间自相关的耕地质量空间差异特征及耕地保护分区: 以江西省上高县为例 [J]. *水土保持研究*, 2018, 25(1): 304-312.
- [18] 李武艳, 朱从谋, 王华, 等. 浙江省耕地质量多尺度空间自相关分析 [J]. *农业工程学报*, 2016, 32(23): 239-245, 315.
- [19] 李国煜, 张廷玉, 钟通. 基于耕地质量指数空间自相关的耕地保护分区: 以福清市为例 [J]. *绿色科技*, 2016(14): 208-213.
- [20] 任平, 吴涛, 周介铭. 基于 GIS 和空间自相关模型的耕地空间分布格局及变化特征分析: 以成都市龙泉驿区为例 [J]. *中国生态农业学报*, 2016, 24(3): 325-334.