

基于 Moran's I 的安徽省太湖县耕地质量时空格局分析

李子杰, 高沪宁, 丁琪洵, 费坤, 丁世伟, 马友华

(安徽农业大学 资源与环境学院, 安徽 合肥 230036)

摘要: [目的] 探究耕地质量时空格局演变规律, 为各级土地管理部门进行耕地分区利用与保护提供决策依据, 为提升耕地质量和优化土地空间布局提供参考。[方法] 基于安徽省太湖县 2008 年及 2018 年耕地质量等级评价成果, 以 ArcGIS 和 GeoDa 为平台, 利用时间序列法和空间自相关分析等研究方法, 分别从全局自相关和局部自相关两方面分析太湖县 10 a 跨度的耕地质量时空格局变异情况, 划分制定 4 类分区管理方案: 限制建设区、综合改良区、适度改良区和重点整治区, 并有针对性地提出符合实际情况的耕地管护措施。[结果] ① 2008—2018 年, 太湖县总耕地面积增加 6 474.45 hm²; ② 2008 年及 2018 年全局自相关 Moran's I 分别为: 0.419 478, 0.288 328, Z 得分分别为: 8.677 693, 5.527 830; ③ 在空间分布上太湖县耕地质量空间正相关类型多以“组团”聚类形式出现, 负相关类型无明显集中区域。[结论] 太湖县 10 a 时间跨度上耕地面积增加了 6 474.45 hm², 耕地资源的 10 a 平均变化率 $P=1.65\%$, 耕地质量平均等级提升 1.68 等; 在空间分布上呈显著空间自相关特征和空间聚集特征。

关键词: Moran's I 指数; 耕地质量; 空间自相关; GIS; 时空变化; 安徽省太湖县

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2021)03-0350-07

中图分类号: F301.21

文献参数: 李子杰, 高沪宁, 丁琪洵, 等. 基于 Moran's I 的安徽省太湖县耕地质量时空格局分析[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 350-356. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2021.03.045; Li Zijie, Gao Huning, Ding Qixun, et al. Analysis on temporal and spatial patterns of cultivated land quality based on Moran's I in Taihu County, Anhui Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021, 41(3): 350-356.

Analysis on Temporal and Spatial Patterns of Cultivated Land Quality Based on Moran's I in Taihu County, Anhui Province

Li Zijie, Gao Huning, Ding Qixun, Fei Kun, Ding Shiwei, Ma Youhua

(School of Resources and Environment, Anhui Agricultural University, Hefei, Anhui 230036, China)

Abstract: [Objective] The evolution of temporal and spatial patterns of cultivated land quality was explored in order to provide a basis for decision-making by land management departments at all levels to rationally use and protect cultivated land, and to provide a reference for improving the quality of cultivated land and optimizing the spatial layout of land. [Methods] Based on the evaluation results of arable land quality in Taihu County, Anhui Province in 2008 and 2018, research methods such as time series methods and spatial autocorrelation analysis with ArcGIS and GeoDa platforms were used to analyze the variation in temporal and spatial patterns of cultivated land quality in Taihu County over a ten-year period from global autocorrelation and local autocorrelation. Four types of zoning management plans: restricted construction areas, comprehensive improvement areas, moderate improvement areas, and key remediation areas were devised and formulated, as well as management and protection measures that would meet actual conditions for cultivated land. [Results] ① From 2008 to 2018, the total arable land area of Taihu County increased by 6 474.45 hectares; ② The coefficients of global autocorrelation Moran's I in 2008 and 2018 were 0.419 478 and 0.288 328, respectively, and the Z scores were 8.677 693 and 5.527 830, respectively; ③ The positive correlation types

收稿日期: 2020-12-03

修回日期: 2021-01-28

资助项目: 安徽省教育厅高校协同创新项目“国产高分辨率对地观测系统安徽区域综合应用示范—高分背景下安徽省耕地质量智慧管理与大数据应用”(GXXT-2019-047)

第一作者: 李子杰(1995—), 男(汉族), 安徽省郎溪县人, 硕士研究生, 研究方向为资源环境信息技术。Email: 458060783@qq.com。

通讯作者: 马友华(1962—), 男(汉族), 安徽省霍邱县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事农业资源与环境等方面的研究。Email: yhma2020@qq.com。

of cultivated land quality in Taihu County mostly appeared in the form of cluster, while the negative correlation types had no obvious concentrated areas. [Conclusion] The area of cultivated land in Taihu County increased by 6 474.45 hectares over the ten-year period. The average annual change rate (P) of cultivated land resources was 1.65%, and the average grade of cultivated land quality increased by 1.68. The spatial distribution showed significant spatial autocorrelation characteristics and space gathering features.

Keywords: Moran's I ; cultivated land quality; spatial autocorrelation; geographic information system (GIS); spatiotemporal changes; Taihu County of Anhui Province

耕地作为不可再生的自然资源,是中国农业长期发展的基本保障,是人类赖以生存和发展的最重要的物质基础。耕地的质量不仅关系到土壤环境和农产品安全,而且在保障粮食安全、生态安全以及农业可持续发展等方面也具有重要作用^[1-4]。

近年来,国内外主要将耕地数量、质量、生态三位一体的保护,耕地质量评价指标体系的构建以及耕地监测与管理等方面作为耕地研究的热点。其中,国内宋艳华等^[5]以河南省为研究区域,采用相关系数法研究耕地质量演变规律及其影响因素;韩宗伟等^[6]通过建立耕地模糊优选模型与理想点法构建评价模型,对贵州省各年的耕地质量进行评价,将 CA-Markov 模型和 GIS 空间分析功能相结合,模拟推测出贵州省 2020 年耕地质量及空间分布状况^[5];马建辉等^[7]基于限制系数法,考虑耕地等别的各类限制因素,划分耕地等别和监测控制区,并从不同角度进行监测评价。国外研究中,2003 年 Overmars 等^[8]首次利用空间自相关分析的方法研究土地利用变化,同时建立空间自回归模型进行辅助判定。Bogunovic I 等^[9]利用空间自相关的方法研究了克罗地亚中部地区土壤 pH 及植物各种中微量元素的空间变异性,绘制养分图,并为今后耕地的应用提供有用的信息;Singh A K 等^[10]对耕地土壤进行评估,研究土地利用类型对耕地土壤环境质量和植物生产可持续性发展的影响。

国内外对于耕地质量的研究从内容、尺度、评价方法等方面的研究都日趋成熟,但关于县域、乡镇和村级尺度的研究相对较少,传统的研究分析方法很难准确地反映小范围内耕地质量的时空演变,尤其是山地与平原相结合的地区^[11]。耕地质量常受到地形地貌、灌排条件、生物多样性和土壤清洁程度等多方面的影响,而传统的耕地质量研究方法从空间关联角度定量研究耕地质量空间属性能力较弱,无法从空间分布的角度提升和保护耕地^[12]。

安徽省太湖县的地貌类型多样,区域耕地质量空间差异性具有典型性。基于人多地少的县情,太湖县耕地长期高强度、超负荷利用,导致目前耕地质量堪忧的现状。因此耕地质量的分区保护也尤为关键。

因此本文基于 ArcGIS 和 GeoDa^[12] 平台,以安徽省太湖县 2008 年和 2018 年的耕地质量等级评价成果为研究对象,采用空间自相关的分析方法,从全局空间自相关和局部空间自相关两个方向入手,对太湖县的耕地质量空间分布格局进行研究,从而更加全面地阐述耕地质量在时空上的变化规律。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

太湖县坐落于安徽省西南部,大别山山脉以南,介于北纬 30°09' 至 30°46' 和东经 115°45' 至 116°30' 之间。东与潜山、怀宁相邻,南与望江、宿松相连,西与湖北蕲春、英山接壤,北与岳西相交。全县地形复杂,整个地势依次为中山、低山、丘陵、高岗地、平原、湖泊呈阶梯式下降,并沿县界向中部长河及其支流倾斜,是一个以低山丘陵为主的山区县(图 1)。

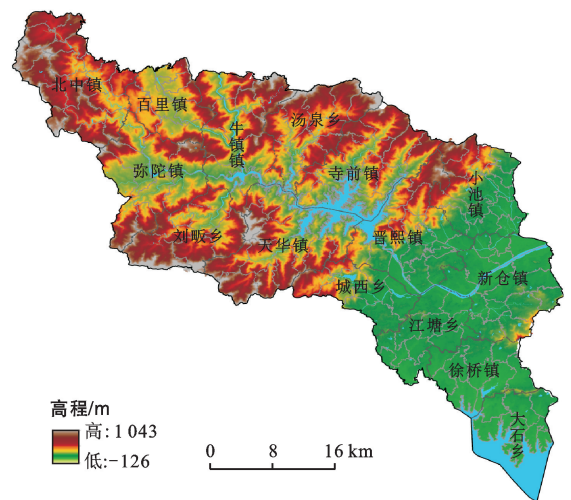


图 1 安徽省太湖县地形图

截至 2018 年,太湖县行政区划面积 2.04×10^5 hm^2 , 包括 15 个乡镇, 184 个行政村和 12 个居委会, 农业人口约 5.10×10^5 。根据第二次土壤普查结果,太湖县土壤类型共划分为 7 个土类, 13 个亚类, 43 个土属和 70 个土种。

1.2 数据来源

本研究以安徽省太湖县为例,时间节点为 2008

年和 2018 年,涉及数据主要包括:① 基础图件数据,包括土壤图、DEM 数据(30 m),2018 年耕地质量等级评价采样点信息、耕地质量监测数据;② 数据库数据,包括 2018 年国土变更调查农村土地调查数据库、第二次全国土地调查数据库、2008 年地力评价数据库;③ 社会经济数据,包括太湖县 2008 年、2018 年统计年鉴、耕地生产与管理投入数据。

2 研究方法

2.1 耕地质量等级评价

中国首部耕地质量等级评价的国家标准《耕地质量等级》(GB/T33469-2016)明确定义了耕地质量等级评价是基于耕地地力情况、田间基础设施和耕地健康 3 方面,对其满足农产品持续产出和质量安全的能力进行评定,是基于 GIS 技术,通过选取“N+X”的指标模式,利用层次分析法^[14]和隶属度函数模型^[15]对耕地进行的综合评价。

2.2 耕地数量变化的时间序列分析法

时间序列分析法是通过分析耕地面积随时间变化的情况,并揭示其发展变化规律,预测耕地未来变化情况的方法^[16]。其变化率指数反映出耕地面积在研究时间段内的变化情况,通过分析耕地面积变化率指数可以获取研究区域内耕地面积多年变化的趋势和特征。耕地资源平均变化率是指研究期内耕地面积的平均变化率,其计算公式为

$$P = \frac{S_b - S_a}{S_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: P 是指多年耕地面积的平均变化率(%); S_a 是指研究期开始时研究区的耕地面积(hm^2); S_b 是指研究期结束时的耕地面积(hm^2); T 是指较长的研究期。

2.3 耕地空间分布的空间自相关模型

莫兰指数是研究空间相关性的一项重要指标,分为全局莫兰指数和局部莫兰指数。全局莫兰指数是指经过方差归一化后的有理数,其值在 $-1.0 \sim 1.0$ 之间,该指标可以判断出区域内属性值的分布是聚类、离散还是随机模型。在进行局部莫兰指数时会出现高值和低值两种类型,研究单元内有相似成分在空间集聚(高值或低值)可以用高值表示,相反研究单元有不相似的成分在空间集聚,则用低值来表示^[17-19]。

全局莫兰指数计算公式:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

局部莫兰指数计算公式:

$$I = \frac{n^2}{\sum_i \sum_j w_{ij}} \times \frac{(x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_j (x_j - \bar{x})^2} \quad (3)$$

式中: n 是研究区域空间单元样本个数,总和 W_{ij} 表示的是研究范围内每个空间单位 i 与空间单位 j 的权重矩阵。耕地质量评价得分在 i, j 处的表示分别记作 x_i 与 x_j ,关于研究区域内的耕地质量评价得分的平均值表示为 \bar{x} 。

这里提到的相关是指相互关系,正相关随自变量增长会带动因变量增长,是可变的。负相关随自变量的增长使得因变量减少。所以空间上的正相关,既是对空间分布的位置进行积累,也是更加显著的相关性。相反,空间上的负相关随离散的空间分布位置分布,相关性就更为显著了。

全局自相关主要由 Z 得分和 P 值的正负大小决定。Moran's I 值的正负决定全局自相关的整体趋势是离散,或是聚类。当 Moran's $I > 0$ 时,空间分布呈正相关,其值越大,空间相关性越明显,表明研究对象具有空间聚合特征;当 Moran's $I < 0$ 时,空间分布为负相关,其值越小,空间差异性越明显,表明研究对象具有空间分散特征;当 Moran's $I = 0$ 时,空间分布存在随机性,即研究对象呈现随机分布状态。 Z 值用来检验显著性水平,当 $Z > 1.96$ 或 $Z < -1.96$ 时,表明耕地质量在空间上存在显著的空间自相关性。局部自相关主要利用 GeoDa 空间数据分析软件实现局部莫兰指数,主要以显著性地图, LISA 聚类地图,箱图, Moran 散点图反映研究对象的局部自相关性^[20-21]。其中 LISA 聚类图和 Moran 散点图最能直接反映研究区域间属性的关联性。

3 结果与分析

3.1 耕地数量与质量等级变化

3.1.1 耕地数量变化 2008 年太湖县耕地面积为 $39\,233.53 \text{ hm}^2$,2018 年太湖县耕地面积为 $45\,707.98 \text{ hm}^2$,10 a 时间跨度上太湖县耕地面积增加了 $6\,474.45 \text{ hm}^2$,平均变化率 $P = 1.65\%$ 。

其变化主要是因 2008 年以前太湖县开展了数次以耕地养分为主要内容的调查,对指导当地农业生产、开展平衡配套施肥起到了积极作用。但是,由于调查中使用了较旧的技术路线,调查结果的表达和应用受到很大限制。此外,调查对象主要是大田作物,调查内容仅限于常规营养元素。调查方法和结果不适应太湖县种植结构调整、农业产业结构调整的快速发展,也不能满足种植结构调整和可持续农业产业发展的需要。

2008年以后农业部测土配方施肥^[22-23]项目为促进太湖农业持续发展提供了机遇,满足了太湖县开展耕地地力调查与质量评价,推广测土配方施肥技术,发展农业生产,提高农民收入的迫切需求。太湖县耕地面积的增加主要是以政府政策为主要驱动力。

3.1.2 耕地质量等级变化 通过特尔菲法^[24]和层次分析法确定太湖县耕地质量等级评价指标及其权重,以模糊综合评价法^[25-26]建立隶属函数模型并计算各

评价指标隶属度,将隶属度(评价分值)与对应权重系数相乘,所得乘积累加和即为各个评价单元耕地质量综合指数,最后依据综合指数大小对各评价单元耕地质量做出评价。将2008年及2018年太湖县耕地质量等级评价结果划分为3种类型:高等质量类型即高产田(1—3等级耕地),中等质量类型即中产田(4—6等级耕地)和低等质量类型即低产田(7—10等级耕地),其对比情况如表1所示。

表1 2008年与2018年太湖县耕地质量等级对比

类型	2008年耕地质量		2018年耕地质量		差值(2018—2008年)
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	
高等质量(高产田)	2 072.38	5.28	11 207.65	24.52	9 135.27
中等质量(中产田)	14 271.60	36.38	23 037.74	50.40	8 766.14
低等质量(低产田)	21 889.56	55.79	11 462.60	25.08	-10 426.96
合计	39 233.53	100.00	45 707.98	100.00	6 474.45
平均耕地质量等级	6.75		5.07		-1.68

如图2—3所示,2008年太湖县耕地质量综合等级为6.75等,2018年太湖县耕地质量综合等级为5.07等。太湖县耕地质量在空间分布上呈现出一定的聚集性规律,受地形地貌影响,县域东南部平原丘陵区域的耕地质量等级普遍高于西北部山地区域。太湖县1—3等地主要分布在泊湖及皖河流域的新仓镇、

小池镇、江塘乡和徐桥镇;8—10等地主要分布在花亭湖水库上游的北中镇、百里镇、弥陀镇、牛镇镇和刘畈乡。从时间跨度上看,近10a来,由于太湖县大力推进耕地质量保护和改善,通过完善农田田间设施水平、提高耕地基本肥力等途径,耕地环境和耕地质量得到了改善和优化,10a间耕地质量综合等级提高了1.68等。

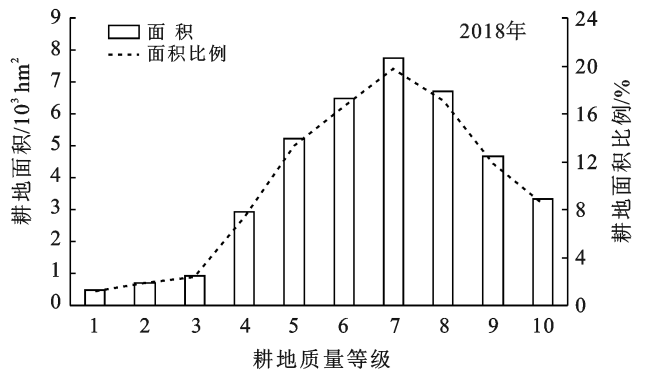
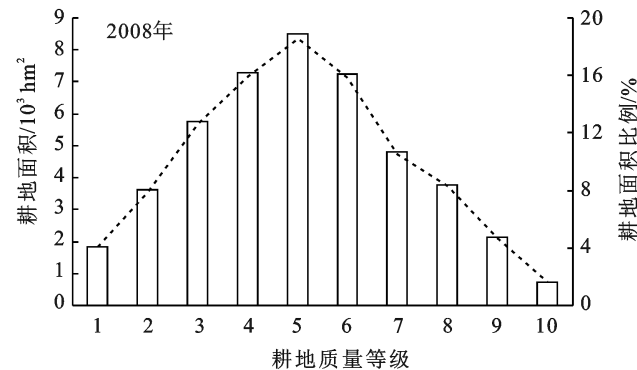


图2 2008年及2018年太湖县耕地质量等级面积比例

3.2 耕地质量空间自相关

3.2.1 全局自相关 Moran's *I* 值、*Z* 得分和 *p* 值3者之间的大小关系如表2所示(其中*Z*得分和Moran's *I*都反映出研究数据具有明显的规律性),2008年Moran's *I*=0.419 478>0,*Z*得分=8.677 693,太湖县耕地质量等级在全局自相关上成聚类趋势,呈现显著相关性,具有空间正相关。2018年Moran's *I*=0.288 328>0,*Z*得分=5.527 830,太湖县耕地质量等级在全局自相关上依旧成聚类趋势,呈现显著的空

间正相关性,但相比于2008年耕地质量等级评价结果相关性有所下降。

表2 2008年与2018年太湖县全局空间自相关对比

研究年份	Moran's <i>I</i>	<i>Z</i> 得分	全局分布	全局自相关性
2008年	0.419 478	8.677 693	聚类趋势	显著空间正相关
2018年	0.288 328	5.527 830	聚类趋势	显著空间正相关

3.2.2 局部空间自相关 LISA 聚类 根据LISA聚类分布(图4)显示,2008年太湖县耕地质量等级有超

过 50% 的行政村空间自相关为不显著,其中成聚合型(高一高型和低一低型)分布的行政村占 22.83%,离散型(高一低型和低一高型)分布的行政村占 7.07%。结合 LISA 聚类图可以看出高一高型主要分布在水域

附近的晋熙镇、城西乡、天华镇、新仓镇、徐桥镇和弥陀镇河口村;低一低型主要分布在花亭湖水库中上游附近的寺前镇、北中镇、百里镇、牛镇镇、弥陀镇、刘畈乡、汤泉乡和小池镇程岭村。

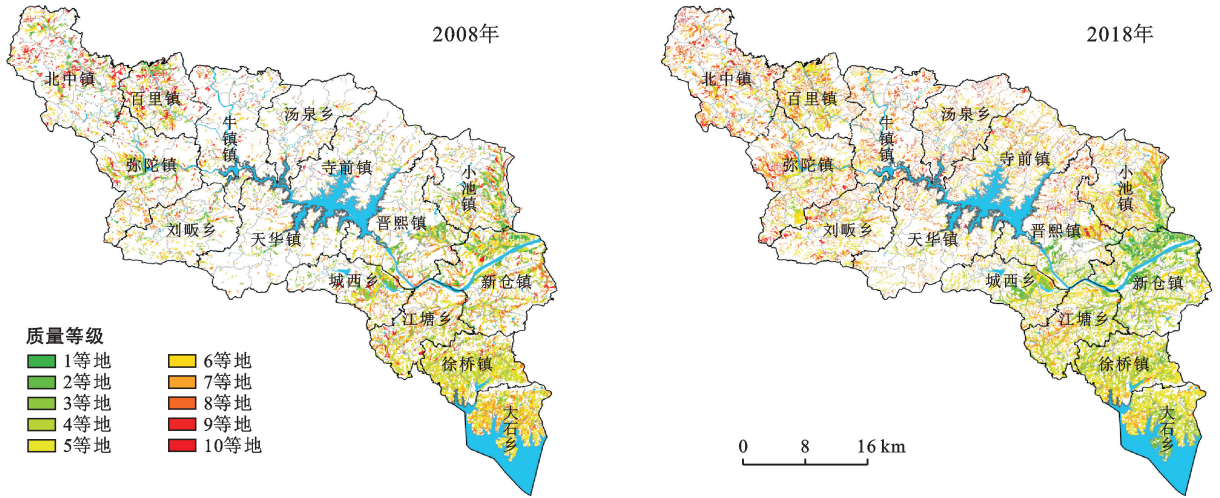
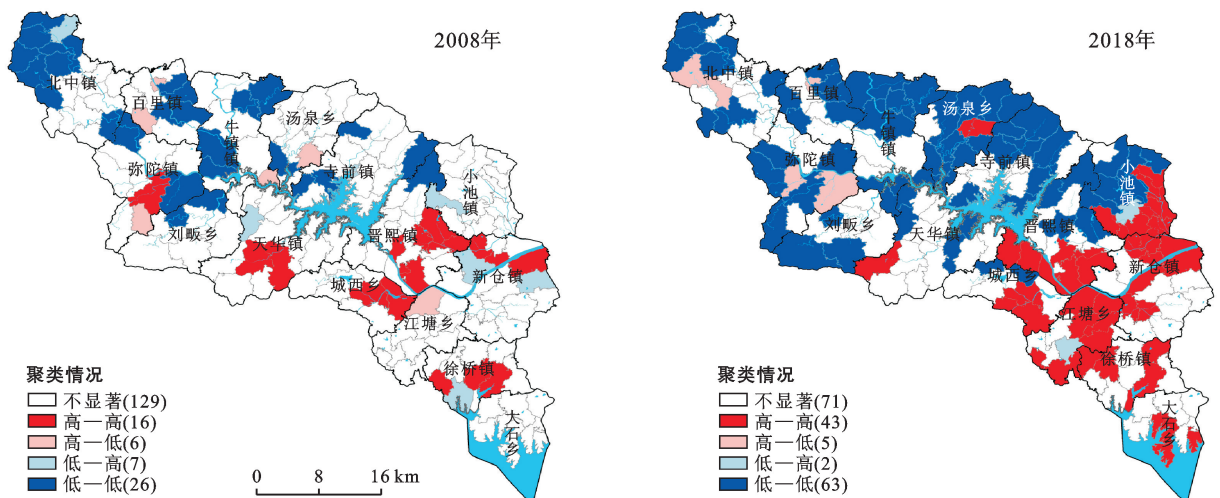


图 3 2008—2018 年太湖县耕地质量等级分布

2018 年太湖县耕地质量等级有 38.59% 的行政村空间自相关为不显著,其中成聚合型(高一高型和低一低型)分布的行政村占 57.61%;离散型(高一低型和低一高型)分布的行政村占 3.80%。结合 LISA 聚类图可以看出高一高型主要分布在水域附近的小池镇、晋熙镇、城西乡、新仓镇、江塘乡、徐桥镇、大石乡、汤泉乡苗石村和天华镇黄庙村;低一低型主要分布在花亭湖水库附近和西北部山区的北中镇、百里镇、牛镇镇、汤泉乡、寺前镇、弥陀镇、刘畈乡、天华镇、晋熙镇和城西乡凉亭村。

太湖县地形地势为西北高,东南低。西北以山地为主,东南以平原丘陵为主。从 2008—2018 年 10 a 的

LISA 图(图 4)变化情况来看,高一高型主要分布在太湖县的东南地区,其中平原和丘陵地区的稻田占较大比例,耕地质量等级较高,且地势平缓,有利于现代农业耕作管理模式,且灌溉、水利设施建设较完备,耕地利用率较高;低一低型主要分布在海拔多达 400 m 以上的西北地区,耕地质量等级较低;太湖县地处大别山脉,地形起伏较大,田间管理难度较大。太湖县城区位于晋熙镇,以此为界,东南地区交通便利,其中 246 省道、105 国道、沪渝高速相互贯通,有利于提高耕地的经济效益。在西北部山区,只有两条省道 362,211 交叉其中,交通相对落后,境内的运输条件限制了耕地综合发展,降低耕地质量等级。



注:括号内数字为行政村的数量(个)。

图 4 2008—2018 年太湖县耕地质量等级 LISA 聚类特征

4 讨论与结论

4.1 讨论

根据空间极化理论,随着事物发展变化,同一极化层内部单元趋同,不同极化层单元趋异;且同一极化层内各单元对周边单元产生两种效应:一是优势单元对周边单元的阻碍作用;二是推进作用和周边优势单元对中心单元的带动作用^[27]。相关研究往往基于该理论及实践,依据空间扩散(高一高,低一低型)和空间极化(高一低,低一高型)效应,对空间自相关后的结果进行分区划定,并提出分区保护方案^[28-29]。本研究基于空间极化理论,结合太湖县的耕地质量等级评价结果和局部自相关分析结果对太湖县耕地划分出 4 类分区管理方案:限制建设区、综合改良区、适度改良区和重点整治区。并基于 2018 年分析结果,从自然条件、耕地资源利用、产出效益等角度,分别提出符合实际情况的耕地管护措施。

(1) 以白沙村、观音村为例的 43 个高一高型的行政村区域耕地质量等级较高且分布相对集中,可设置限制建设区,禁止非农建设。

(2) 以王田村、大竹村为例的 63 个低一低型行政村区域耕地质量等级相对较低,建立综合改良区,

全面综合考虑耕地现状和农业转产建设的理想区。

(3) 以玉岭村为例的高一低型聚集区域表明,耕地质量高的区域被耕地质量低的区域包围,根据空间极化理论,耕地质量差的区域会对耕地质量高的地区产生一定的负面影响,使高一低型聚集逐渐演化成低一低型聚集,因此,需重点保护耕地质量较好区域,属于高一低型聚集的区域应当划分为适度改良区,对耕地质量较差区域进行改良、可适度开展非农建设。

(4) 低一高型聚集由于是耕地质量较差的区域被耕地质量较高的区域包围,因耕地质量较高的区域的推进,耕地质量较低的区域极易向高耕地质量区域转化,该种聚集区域作为重点整治区,需重点改善耕地质量较低地块的自然条件,尽量避免非农业建设,使之向 HH 型转变。基于局部空间自相关类型组合的太湖县耕地质量分区表见表 3。

(5) 在耕地保护工作中,应重点对高一高,低一低,高一低,低一高 4 种不同聚集形态采取对应的工作方案,在实际耕地保护分区及耕地资源合理利用方案制定中,需结合实际情况选择适宜的分区方案,因地制宜,对耕地区域位置空间集聚性进行精准表达,最终实现分区管理的精确化。

表 3 基于局部空间自相关类型组合的 2018 年太湖县耕地质量分区

空间自相关类型	典型区域	分区方案	保护方案
高一高	白沙村、观音村、界址村、塔山村、白云村、新丰村、五合村等 43 个村	限制建设区	划入限制建设区,加大耕地保护,禁止非农建设
低一低	望天村、大竹村、朱湾村、田家村、南阳村、横路村、西河村等 63 个村	综合改良区	全面综合考虑地区耕地现状、农转用建设理想区域
高一低	玉岭村、玉珠村、东口村、真君村、弥陀村	适度改良区	重点保护耕地质量较好的区域,改良质量较差区域、可适度进行非农建设
低一高	龙寨村、百鸣村	重点整治区	重点改良低质量耕地的条件,避免非农建设

4.2 结论

本文对太湖县 2008 年和 2018 年的耕地质量等级进行评价,分析其时间变化情况,并基于 Moran's I 分析了太湖县耕地质量的空间分布特征,结合局部自相关结果提出太湖县分区保护方案。

(1) 太湖县 2018 年耕地质量等级(5.07)优于 2008 年耕地质量等级(6.75),总体提高 1.68 等。主要原因是全县 2008 年以来大力推广测土配方施肥,培肥土壤。并在 15 a 以来兴建高标准农田,西北部山区的水利条件设施日趋完备,东南部河流下游平原地区开展的农田整治项目,使得全县耕地质量等级有了显著提高。后续应继续增强对基本农田的保护,加大耕地土壤污染防治工作,从多方面加强耕地质量提

升与保护力度。

(2) 从太湖县耕地质量等级全局自相关结果来看,2018 年整体上呈聚类趋势,呈现显著空间正相关性,相比 2008 年耕地质量等级相关性有所上升。

(3) 从太湖县耕地质量等级在局部自相关结果来看,2018 年聚集型(高一高型,低一低型)的分布相比于 2008 年明显增加,而离散型(高一低型,低一高型)的分布较 2008 年明显减少。基于局部自相关的结果将太湖县耕地分为限制建设区、综合改良区、适度改良区和重点整治区进行分区管理和保护。

[参 考 文 献]

[1] 奉婷,张凤荣,李灿,等.基于耕地质量综合评价的县域基

- 本农田空间布局[J].农业工程学报,2014,30(1):200-210,293.
- [2] 沈仁芳,陈美军,孔祥斌,等.耕地质量的概念和评价与管理对策[J].土壤学报,2012,49(6):1210-1217.
- [3] 卫新东,宋林韩,王筛妮,等.黄河西岸陕西各县市耕地质量时空变化特征及其分异规律[J].水土保持研究,2021,28(2):326-334.
- [4] 孙秀锋,施开放,刁承泰,等.重庆市耕地生态承载力水平时空差异分析[J].环境科学学报,2013,33(11):3181-3188.
- [5] 宋艳华,王令超.河南省耕地质量时空演变及驱动力研究[J].河南科学,2016,34(9):1572-1578.
- [6] 韩宗伟,卢德彬,杨建,等.贵州省耕地质量时空格局及变化趋势分析[J].水土保持研究,2017,24(6):154-159.
- [7] 马建辉,吴克宁,赵华甫,等.基于农用地分等的耕地质量动态监测体系研究[J].中国农业资源与区划,2013,34(5):133-139.
- [8] Overmars K P, de Koning G H J, Veldkamp A. Spatial autocorrelation in multi-scale land use models [J]. Ecological Modelling, 2003,164(2/3): 257-270.
- [9] Bogunovic I, Mesic M, Zgorelec Z, et al. Spatial variation of soil nutrients on sandy-loam soil [J]. Soil and Tillage Research, 2014,144:174-183.
- [10] Singh A K, Bordoloi L J, Kumar M, et al. Land use impact on soil quality in eastern Himalayan region of India [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2014,186(4):2013-2024.
- [11] 朱海娣,王丽,马友华,等.基于 GIS 的合肥市耕地地力评价[J].中国农业资源与区划,2019,40(8):64-73.
- [12] 孙晓兵,孔祥斌,温良友.基于耕地要素的耕地质量评价指标体系研究及其发展趋势[J].土壤通报,2019,50(3):739-747.
- [13] Wang Qiang, Yang Shanlian, Zheng Menglei, et al. Effects of vegetable fields on the spatial distribution patterns of metal (loid) s in soils based on GIS and Moran's *I* [J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019,16(21):4095.
- [14] 向欣,罗煜,程红胜,等.基于层次分析法和模糊综合评价的沼气工程技术筛选[J].农业工程学报,2014,30(18):205-212.
- [15] Kwon W, Jin Y, Lee S M. PI-type event-triggered H_{∞} filter for networked T-S fuzzy systems using affine matched membership function approach [J]. Applied Mathematics and Computation, 2020,385:125420.
- [16] 周辉,王卫东,李星敏,等.基于长时间序列 NDVI 的陕西省耕地复种指数遥感监测分析[J].干旱地区农业研究,2014,32(3):189-195.
- [17] 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.
- [18] 汤江龙,范佳旭,郭恩泽.基于 Moran's *I* 指数的耕地质量空间相关分析:以于都县为例[J].东华理工大学学报(自然科学版),2019,42(4):406-411.
- [19] Feng Yongjiu, Chen Lijuan, Chen Xinjun. The impact of spatial scale on local Moran's *I* clustering of annual fishing effort for *Dosidicus gigas* offshore Peru [J]. Journal of Oceanology and Limnology, 2019,37(1): 330-343.
- [20] 郑德凤,郝帅,孙才志.基于 DEA-ESDA 的农业生态效率评价及时空分异研究[J].地理科学,2018,38(3): 419-427.
- [21] 王雪青,陈媛,刘炳胜.中国区域房地产经济发展水平空间统计分析:全局 Moran's *I*, Moran 散点图与 LISA 集聚图的组合研究[J].数理统计与管理,2014,33(1): 59-71.
- [22] 高祥照.我国测土配方施肥进展情况与发展方向[J].中国农业资源与区划,2008,29(1):7-10.
- [23] 自由路,杨俐苹.我国农业中的测土配方施肥[J].土壤肥料,2006(2):3-7.
- [24] Deveci M, Özcan E, John R, et al. A study on offshore wind farm siting criteria using a novel interval-valued fuzzy-rough based Delphi method [J]. Journal of Environmental Management, 2020,270:110916.
- [25] 杨文娜,任嘉欣,李忠意,等.主成分分析法和模糊综合评价法判断喀斯特土壤的肥力水平[J].西南农业学报,2019,32(6):1307-1313.
- [26] 赵映慧,修春亮,姜博,等.1990 年代以来空间极化研究综述[J].经济地理,2010,30(3):383-387.
- [27] 汪晓燕,赵小敏,郭熙,等.基于空间自相关的贵溪市耕地保护分区研究[J].浙江农业学报,2017,29(3):489-497.
- [28] 陈藜藜,宋戈,邹朝晖,等.基于改进局部空间自相关分析的萝北县耕地保护分区[J].资源科学,2016,38(10): 1871-1882.
- [29] 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:以陇南市武都区为例[J].中国农学通报,2015, 31(36):131-138.