

单捷,邱琳,田苗,等. 基于景观指数和核密度估算的江苏省耕地空间分布特征分析[J]. 江苏农业学报, 2023, 39(9): 1872-1882.
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2023.09.009

基于景观指数和核密度估算的江苏省耕地空间分布特征分析

单捷, 邱琳, 田苗, 王志明, 王晶晶, 卢必慧, 黄晓军

(江苏省农业科学院农业信息研究所, 江苏 南京 210014)

摘要: 耕地空间分布特征和耕地集聚程度, 可以为制定合理有效的耕地保护、耕地资源利用政策提供理论依据。本研究利用高精度耕地地块数据, 采用耕地指数、景观指数、核密度估算和空间自相关等方法对江苏省耕地的空间分布特征进行分析。结果表明: ①江苏省耕地指数空间分布呈北高南低的特征, 耕地高比重区分布于苏北和苏中, 低比重区分布于苏南; 耕地指数的空间分布整体上具有较强的空间正相关, 呈显著的集聚状态; 耕地高比重集聚区分布在苏北, 低比重集聚区分布在苏南。②江苏省耕地景观指数的空间分布差异明显, 平均斑块面积指数排序为苏北>苏中>苏南; 斑块密度指数和边界密度指数排序为苏中>苏北>苏南; 面积加权平均形状指数和面积加权平均分维数排序为苏南>苏中>苏北; 边界密度指数和面积加权平均分维数在空间分布上具有显著的空间正相关; 平均斑块面积指数、斑块密度指数和面积加权平均形状指数的空间自相关性均不显著。③江苏省 50% 以上地区耕地的平均斑块面积指数、面积加权平均形状指数和面积加权平均分维数随着耕地密度的增大而升高; 全省 70% 以上地区耕地的边界密度指数和斑块密度指数随着耕地密度的增大呈先上升再下降的趋势。

关键词: 耕地; 景观指数; 核密度估算; 空间自相关

中图分类号: F301.21; S127; P901

文献标识码: A

文章编号: 1000-4440(2023)09-1872-11

Analysis of spatial distribution characteristics of cultivated land based on landscape indices and kernel density estimation in Jiangsu province

SHAN jie, QIU Lin, TIAN Miao, WANG Zhi-ming, WANG Jing-jing, LU Bi-hui, HUANG Xiao-jun

(*Institute of Agricultural Information, Jiangsu Academy of Agricultural Sciences, Nanjing 210014, China*)

Abstract: Spatial distribution characteristics and aggregation degree of cultivated land can provide theoretical reference for making reasonable and effective policies of land protection and land resources utilization. In this study, the spatial distribution characteristics of cultivated land in Jiangsu province was analyzed by using cultivated land plots data with high precision, based on methods such as cultivated land index, landscape index, kernel density estimation and spatial autocorrelation. The results showed that, 1) the spatial distribution of cultivated land index of Jiangsu province was high in the north area and low in the south area. The lands with high cultivated land indices were distributed in Northern and Central Jiangsu province, and the lands with low cultivated land indices were distributed in Southern Jiangsu province. The spatial distribution of cultivated land indices showed obvious positive spatial correlation effect on the whole and exhibited significant aggregation pattern. The aggregation area with high cultivated land indices distributed in Northern Jiangsu province and the aggregation area with low cultivated land indices distributed in Southern Jiangsu province. 2) The spatial distribution of landscape indices in different regions of Jiangsu province were obviously different. The ranking for mean patch area (MPS) index was Northern Jiangsu province > Central Jiangsu province > Southern Jiangsu province. The ranking for patch density (PD) index and edge density (ED) index was Central Jiangsu province > Northern Jiangsu province >

收稿日期: 2022-11-24

基金项目: 江苏省农业科技自主创新基金项目 [CX(22)2001]

作者简介: 单捷 (1986-), 女, 江苏南京人, 硕士, 助理研究员, 主要从事农业遥感研究。(E-mail) shanjie@jaas.ac.cn

通讯作者: 邱琳, (E-mail) qiulin@jaas.ac.cn

ince were obviously different. The ranking for mean patch area (MPS) index was Northern Jiangsu province > Central Jiangsu province > Southern Jiangsu province. The ranking for patch density (PD) index and edge density (ED) index was Central Jiangsu province > Northern Jiangsu province >

Southern Jiangsu province. The ranking for area weighted mean shape index (*AWMSI*) and area weighted mean patch fractal dimension (*AWMPFD*) was Southern Jiangsu province > Central Jiangsu province > Northern Jiangsu province. Both *ED* and *AWMPFD* had significant positive spatial correlation in spatial distribution. The spatial autocorrelations of *MPS* index, *PD* index and *AWMSI* were not significant. 3) *MPS* index, *AWMSI* and *AWMPFD* of cultivated land in 50% area of Jiangsu province rose with the increase of cultivated land density. With the increase of cultivated land density, *ED* index and *PD* index of cultivated land rose first and then decreased in approximately 70% area of Jiangsu province.

Key words: cultivated land; landscape indices; kernel density estimation; spatial autocorrelation

耕地是人类繁衍生息和生存发展的基础性资源,也是农业生产最基本的物质条件,更是粮食安全的关键保障^[1]。随着中国城镇化建设进程的加快,部分耕地转变为建设用地、工矿用地,全国耕地总面积呈现出逐年减少的态势。《第三次全国国土调查主要数据公报》显示,截至2019年底,中国的耕地面积为 $1.279 \times 10^8 \text{ hm}^2$,比2009年减少了 $7.523 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。为有效加强耕地资源保护,促进耕地质量持续提升,国家相关部门先后出台了《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》、《中共中央、国务院关于做好2022年全面推进乡村振兴重点工作的意见》等一系列政策文件,明确提出“坚持最严格的耕地保护制度”、“落实‘长牙齿’的耕地保护硬措施”、“严守18亿亩耕地红线”。政府对耕地资源保护的高度重视以及耕地资源保护面临的现实困境,都需要加强对耕地资源利用与保护的科学研究,这对于合理规划、科学管理和有效利用耕地资源具有重要意义。

围绕耕地资源的利用与保护,近20年来国内外学者也开展了一系列研究,重点聚焦在耕地的时空变化与驱动力^[2-5]、耕地景观与生态安全^[6-8]、耕地集约利用与整理^[9-11]等方面。近年来,景观生态学方法和地理空间分析方法被广泛应用于耕地资源时空格局变化研究中,任平等^[12]采用核密度估算和空间自相关等研究方法开展耕地空间分布格局及其变化特征研究。李黎等^[13]运用核密度估算和景观指数揭示了都江堰市耕地的时空演变特征。张扬等^[14]结合核密度估算和空间自相关等方法研究喀斯特山区耕地分布与时空演变规律及其驱动因素。目前,已有的关于江苏省耕地时空分布特征的研究中,所用的耕地数据多为各类统计数据^[15-18],但统计数据并不能体现耕地地块的形状特征和空间分布特征,而利用遥感数据进行江苏省耕地空间分布特征分析的研究并不多见。基于此,本研究拟以江苏省耕地为研究对象,利用遥感数据提取高精度耕地地块,综合运用耕地指数、景观指数、核密度估算、

空间自相关等方法,揭示江苏省耕地的空间分布特征,以为江苏省耕地的空间格局优化、耕地资源的合理利用以及耕地管理政策的制定提供理论基础。

1 研究区概况与数据来源

1.1 研究区概况

江苏省地处中国大陆东部沿海地区,北纬 $30^{\circ}45' \sim 35^{\circ}08'$,东经 $116^{\circ}21' \sim 121^{\circ}56'$,是长江三角洲地区的重要组成部分。江苏省土地面积为 $1.072 \times 10^7 \text{ hm}^2$,其中耕地面积为 $4.099 \times 10^6 \text{ hm}^2$,土地资源以平原为主,土层深厚,肥力中上,农业生产条件得天独厚,适宜种植水稻、小麦等粮食作物,被称为“鱼米之乡”。

1.2 数据来源及处理

本研究以2012年覆盖江苏全省的RapidEye卫星影像为数据源,各期影像质量完好。首先对各期影像进行预处理,然后根据野外实地调查资料确定耕地和其他地类的解译标志,最后采用目视解译的方法对耕地地块进行人工勾绘,得到2012年江苏省耕地数据。在全省范围内随机建立220个 $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ 地面样方,采用亚米级差分全球定位系统(GPS)对地面样方进行实地测量,以实测结果对解译的耕地数据进行精度检验,解译精度高于98%。

本研究所用的江苏省行政区数据来源于全国地理信息资源目录服务系统中的1:250 000全国基础地理数据库。考虑到研究区耕地数据的统一性,本研究分别对江苏省各设区市内的市辖区进行合并,最终得到56个研究单元(图1)。

2 研究方法

2.1 耕地指数

为了准确揭示研究区耕地的空间分布特征,本研究采用耕地指数(R_i)^[18]分析耕地的空间分布特征,计算公式如下:

$$R_i = c_i / S_i \tag{1}$$

式中, c_i 表示第 i 个研究单元的耕地面积, S_i 表示第 i 个研究单元的总面积。

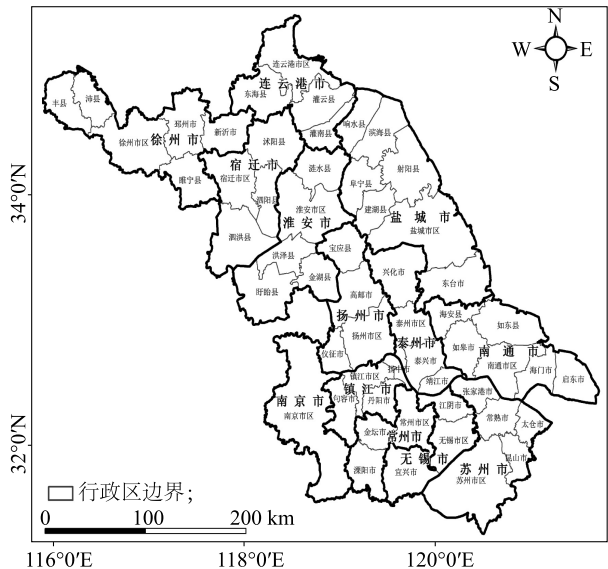


图 1 研究区研究单元示意
Fig.1 Schematic diagram of research units in study area

表 1 景观指数及其生态学意义
Table 1 Landscape indices and related ecological significance

景观指数	英文缩写	公式	含义
平均斑块面积	MPS	$MPS = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_{ij}$	反映某斑块类型的斑块平均面积,面积越小,斑块的破碎程度越高
斑块密度	PD	$PD = \frac{n}{A}$	反映单位面积上某斑块类型包含的斑块个数 ^[23] ,表征了景观空间结构的复杂性,值越大,斑块破碎程度越高
边界密度	ED	$ED = \frac{\sum_{j=1}^n e_{ij}}{A}$	反映单位面积上某斑块类型的边界长度 ^[23] 。数值越大,斑块分割程度越高,破碎程度也越高 ^[24]
面积加权平均形状指数	AWMSI	$AWMSI = \sum_{j=1}^n \left[\frac{0.25P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$	当某斑块类型中的所有斑块都是正方形时,数值为 1;随着斑块形状偏离正方形,数值也变大,斑块形状的复杂度越大 ^[25]
面积加权平均分维数	AWMPF	$AWMPF = \sum_{j=1}^n \left[\frac{2\ln(0.25P_{ij})}{\ln(a_{ij})} \left(\frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^n a_{ij}} \right) \right]$	取值范围为 1~2,当斑块全部为正方形时,数值为 1;值越接近 2,表示斑块形状的复杂程度越高 ^[25]

a_{ij} 为斑块类型 i 中单个斑块 j 的面积, e_{ij} 为斑块 j 的边界长度, P_{ij} 为斑块 j 的周长, n 为斑块类型 i 包含的斑块个数; A 为景观总面积。

式中, x_i 为变量在单元 i 处的值, \bar{x} 为变量 x 的平均值, w_{ij} 是空间权重函数。 I 值变化范围为 $(-1, 1)$, 大于 0 表示变量是空间正相关, 值越大, 空间相关性越强, 集聚分布越显著; 小于 0 表示空间负相关, 值越小, 空间相关性越小, 离散分布越明显; 当值接近 0 表示变量呈随机分布^[26]。

通常还要将 I 标准化为 Z , 即采用 Z 检验对其结果进行统计检验, 进一步判断变量空间相关的正负性。 Z 的计算公式如下:

2.2 景观指数

本研究参考相关方法^[19-21], 并结合研究区耕地的实际特点, 在斑块类型尺度水平上, 选取平均斑块面积、边界密度、斑块密度、面积加权平均形状指数和面积加权平均分维数等 5 个景观指数, 对江苏省耕地地块的形状特征进行分析, 各景观指数及生态学意义见表 1。

2.3 空间自相关

空间自相关常被用来分析某一变量在空间上的分布特征, 该方法通过判断变量的变化是否取决于其相邻位置的变化, 从而确定该变化是否具有空间自相关性^[22]。空间自相关方法按功能分为 2 类: 全局空间自相关和局部空间自相关。本研究借助该方法对研究区耕地的相关指数的空间分布特征进行分析。

2.3.1 全局空间自相关 莫兰指数 (Moran's I) 常被用于全局空间自相关分析, 其表达式为:

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

$$Z_I = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}} \tag{3}$$

式中, $E[I]$ 为期望值, $V[I]$ 为方差。当 Z 为正值且大于 1.96 时, 表明存在正的空间自相关, 呈集聚分布; 当 Z 值为负值且小于 -1.96 时, 表明存在负的空间自相关, 呈离散分布; 当 Z 取值在 $[-1.96, 1.96]$ 时, 空间自相关不明显, 呈随机分布^[27]。

2.3.2 局部空间自相关 由于全局 Moran's I 仅能描述变量的整体分布状况, 判断变量在空间是否有

集聚特征,但其并不能确切指出集聚在哪些地区。因此,本研究选取局部空间自相关指数 Local Moran's I 分析空间集聚区域,公式为:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{x})^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n W_{i,j} (x_j - \bar{x}) \quad (4)$$

$$Z_{I_i} = \frac{I_i - E[I_i]}{\sqrt{V[I_i]}} \quad (5)$$

式中, x_i 是要素 i 的属性, x_j 是要素 j 的属性, \bar{x} 是对应属性的平均值, $W_{i,j}$ 是空间权重函数。 I_i 为正值时, 研究单元 i 与周围相邻单元存在正相关性; I_i 为负值时, 研究单元 i 与周围相邻单元存在负相关性。

2.4 核密度估算

核密度估算 (Kernel density estimation, KDE) 利用核函数计算各样点 x_i 在以 h 为半径的圆内的各栅格单元中心点的密度贡献值^[28], 估算模型为:

$$f_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (6)$$

式中, h 为搜索半径或带宽, n 为带宽内样点的数量, $k(\cdot)$ 为核函数, $(x-x_i)$ 为估计点 x 到样本点 x_i 的距离。

2.4.1 粒度的选择 核密度估算前, 需要将矢量数据转换为栅格数据, 栅格数据粒度的大小会影响估算结果^[28]。本研究参考相关研究^[28-29], 选择矢量数据与栅格数据面积差最小时的粒度进行核密度估算。

2.4.2 带宽的确定 核密度估算时, h 增大, 估计点的密度会变得平滑, 但会掩盖密度的结构, h 减小时, 估计点密度变化突兀不平^[30]。相关研究^[28]选用基于“Silverman 经验规则”带宽估算公式确定搜索半径 (S_R), 计算公式为:

$$S_R = 0.9n^{-0.2} \left(S_D, D_m \sqrt{\frac{1}{\ln 2}} \right)_{\min} \quad (7)$$

式中, S_D 为标准距离, D_m 为中值距离, n 为带宽内样点的数量。本研究根据研究区耕地的特点, 并参考相关方法^[21], 经过对不同带宽的多次试验并与公式 (7) 进行对比, 确定最优带宽然后进行核密度估算。

3 结果与分析

3.1 耕地指数的空间分布特征

3.1.1 耕地指数空间分布分析 计算江苏省 56 个研究单元的耕地指数, 并采用自然断点法对其进行分级 (图

2): 低比重区 (0.096 7~0.179 1)、中低比重区 (0.179 2~0.364 6)、一般比重区 (0.364 7~0.477 5)、中高比重区 (0.477 6~0.560 8)、高比重区 (0.560 9~0.660 5)。江苏省耕地指数空间分布呈北高南低的特征, 中高比重区和高比重区主要分布于耕地资源丰富的苏北 5 市 (徐州市、宿迁市、连云港市、淮安市和盐城市), 一般比重区分布于苏中 3 市 (扬州市、泰州市和南通市), 低比重区和中低比重区分布于经济发展速度较快、城市化进程较快的苏南 5 市 (南京市、镇江市、常州市、无锡市和苏州市)。全省 56 个研究单元中, 处于低比重区的研究单元有 3 个, 处于中低比重区的有 13 个, 处于一般比重区的有 14 个, 处于中高比重区的有 12 个, 处于高比重区的有 14 个。可见, 全省 56 个研究单元在除低比重区以外的其他 4 个等级区分布的数量都较为平均。

3.1.2 耕地指数的全局空间自相关分析 利用 GeoDa 1.20 计算耕地指数的全局 Moran's I , 进行全局空间自相关分析。江苏省耕地指数全局 Moran's I 为 0.657, P 值为 0.001, Z 值为 7.814 5, 表明江苏省耕地空间分布具有很强的空间正相关, 呈现显著的集聚状态。

3.1.3 耕地指数的局部空间自相关分析 在 GeoDa 1.20 中计算耕地指数的局部 Moran's I , 分析其局部空间集聚特征。高-高型表示与耕地指数高值研究单元相邻的研究单元都为高值; 低-低型表示与耕地指数低值研究单元相邻的研究单元都为低值; 低-高型表示与耕地指数低值研究单元相邻的研究单元都为高值; 高-低型表示与耕地指数高值研究单元相邻的研究单元都为低值。

图 3 显示, 耕地指数局部正相关类型中, 高-高型和低-低型的研究单元各有 11 个; 高-高型集中分布于苏北的盐城市和连云港市; 低-低型集中分布于苏南的苏锡常 3 市; 局部负相关类型中, 高-低型和低-高型各有 1 个, 分别是苏南的丹阳市和苏北的连云港市区; 不显著型有 32 个, 这些地区的耕地指数在空间上呈随机分布。可见江苏省耕地高比重集聚区主要分布在苏北地区, 耕地低比重集聚区分布在苏南地区。

3.2 耕地景观指数的空间分布特征

3.2.1 耕地景观指数的空间分布分析 首先, 在 Arcgis 10.2 中将研究区的耕地矢量数据转换为空间分辨率为 10 m×10 m 的栅格数据, 再利用 Fragstats 4.2 计算景观指数并分级 (图 4)。由图 4 可以看出, 江苏省耕地平均斑块面积指数的分布特征是苏北>苏中>苏南, 指数较高的地区主要分布于苏北 5 市,

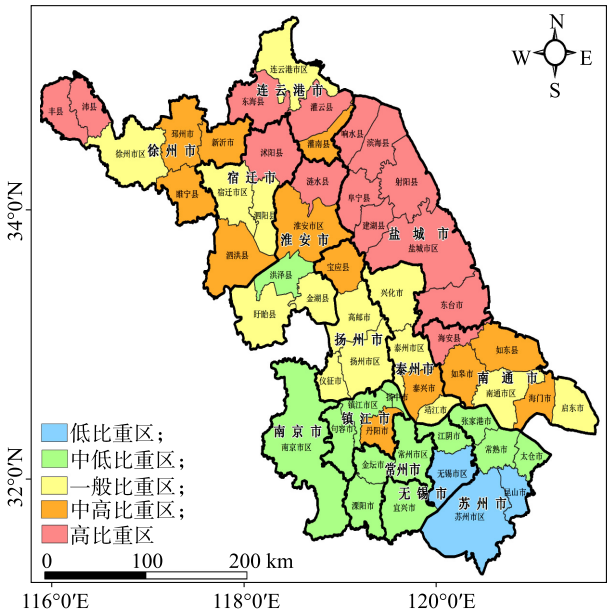


图 2 江苏省耕地指数空间分布

Fig.2 Spatial distribution of cultivated land index in Jiangsu province

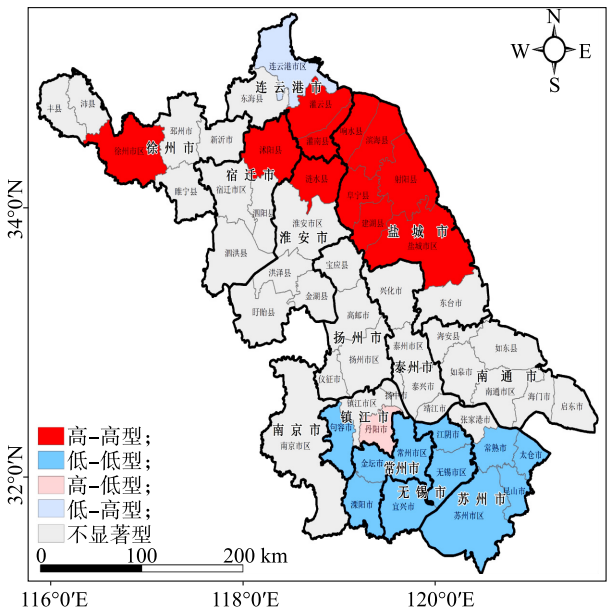


图 3 江苏省耕地指数集聚区分布

Fig.3 Spatial aggregation distribution of cultivated land index in Jiangsu province

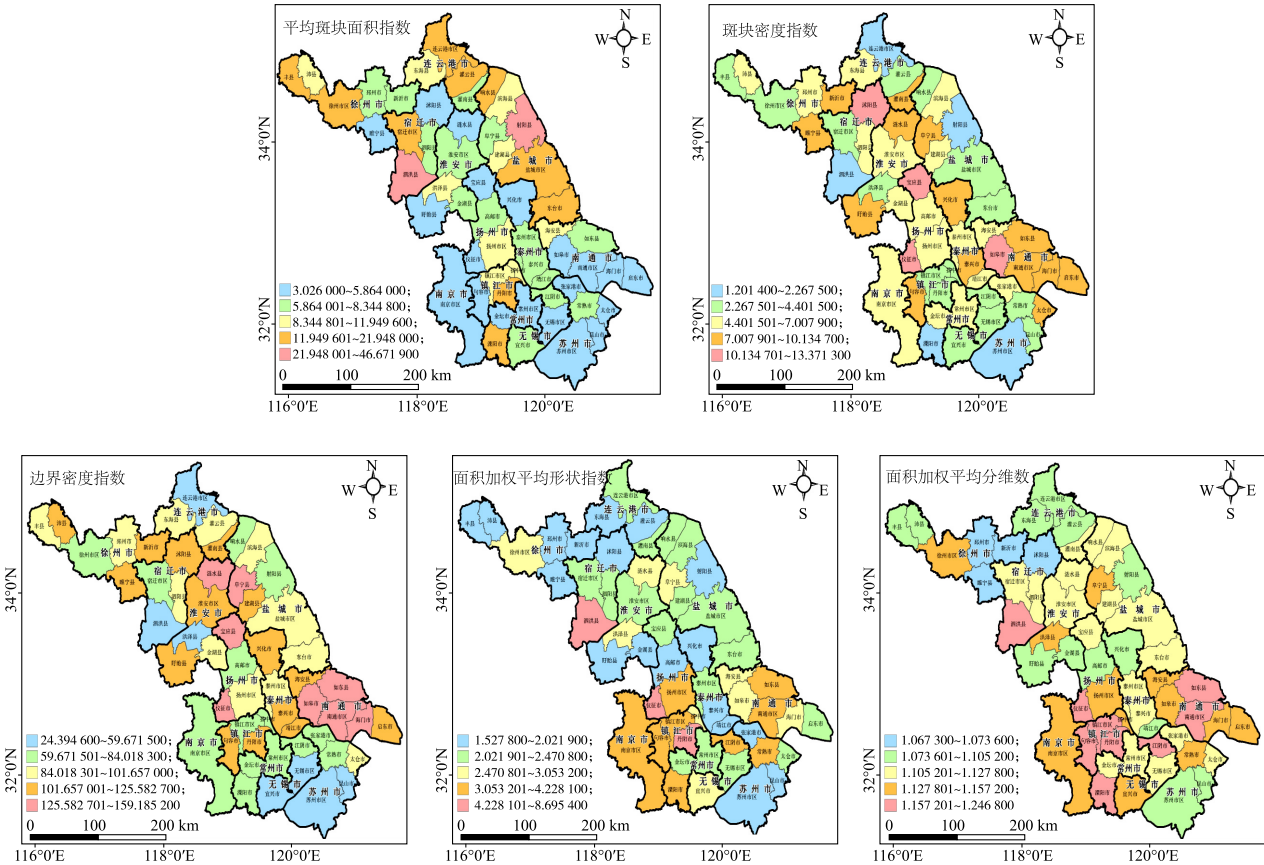


图 4 景观指数空间分布

Fig.4 Spatial distribution of landscape indices in Jiangsu province

指数较低的地区则集中分布在苏南 5 市。斑块密度指数和边界密度指数的分布特征均为苏中>苏北>苏南,除南通市整体较高以外,其他各市都有高有低。面积加权平均形状指数和面积加权平均分维数的分布特征相似,均为苏南>苏中>苏北,指数较高的地区分布在苏南的南京市和常州市以及苏中的南通市,苏北和苏中的指数均较低。可见,苏南耕地地块形状复杂度最大,破碎度最高,其次是苏中,苏北最小。

3.2.2 耕地景观指数的全局空间自相关分析 利用

表 2 全局空间自相关分析

Table 2 Analysis of global space autocorrelations

指数类型	平均斑块面积指数	斑块密度指数	边界密度指数	面积加权平均形状指数	面积加权平均分维数
全局 Moran's <i>I</i>	0.087 0	0.092 0	0.310 9	0.113 6	0.327 9
检验统计量(<i>Z</i>)	1.199 3	1.403 5	4.428 0	1.627 7	4.245 6

Moran's *I*:莫兰指数;*Z*:标准化后的莫兰指数。

3.2.3 耕地景观指数的局部空间自相关分析 利用 GeoDa 1.20 计算各景观指数的局部 Moran's *I* (图 5)。

平均斑块面积指数的局部正相关类型有 3 个,均为低-低型(南通市区、常熟市和高邮市);局部负相关类型有 3 个,其中高-低型 1 个(溧阳市),低-高型 2 个(泗阳县和盱眙县);其他 50 个均为不显著型。

斑块密度指数的局部正相关类型有 4 个,其中高-高型 1 个(如东县),低-低型 3 个(宜兴市、无锡市区和苏州市区);局部负相关类型有 1 个,为低-高型(高邮市);其他 51 个研究单元均为不显著型。

边界密度指数的局部正相关类型有 9 个,其中高-高型 4 个(集中分布在南通市),低-低型 5 个(集中分布在无锡市和苏州市);局部负相关类型有 1 个,为低-高型(高邮市);其他 46 个均为不显著型。

面积加权平均形状指数的局部正相关类型有 6 个,其中高-高型 3 个(南京市、镇江市区和扬中市),低-低型 3 个(东海县、新沂市和沭阳县);局部负相关类型有 3 个,其中高-低型 1 个(徐州市区),低-高型 2 个(常州市区和金坛市);其他 47 个均为不显著型。

面积加权平均分维数的局部正相关类型有 10 个,其中,高-高型 4 个(集中分布在南京市和镇江

市),低-低型 6 个(集中分布在徐州市、宿迁市和连云港市);局部负相关类型有 3 个,其中高-低型 1 个(徐州市区),低-高型 2 个(常州市区和金坛市);其他 43 个均为不显著型。

可见,无论是局部正相关类型还是局部负相关类型,边界密度指数和面积加权平均分维数所包含的研究单元个数均高于其他 3 个景观指数,这与全局 Moran's *I* 指数的结果一致。

3.3 基于核密度估算的景观指数空间分布特征

3.3.1 耕地核密度估算结果 本研究采用 5 km×5 km 的网格对研究区进行划分,计算每个网格内耕地比重并分级,据此建立耕地面积点状空间分布图(图 6a),从而进行核密度估算。最终得到耕地密度变化范围为 1 km² 0~84.037 2 点,并将耕地密度分为低密度区(1 km² 0~9.263 9 点)、中低密度区(1 km² 9.264 0~27.791 8 点)、中密度区(1 km² 27.791 9~45.658 0 点)、中高密度区(1 km² 45.658 1~61.208 2 点)和高密度区(1 km² 61.208 3~84.037 2 点)(图 6b)。

由图 6 可知,比重较高的耕地集中分布在中高密度区到高密度区,如苏北 5 市和苏中 3 市;比重较低的耕地分布在低密度区到中密度区,如苏南 5 市。全省 0.52%的耕地分布在低密度区,5.36%的耕地分布在中低密度区,19.60%的耕地分布在中密度区,37.93%的耕地分布在中高密度区,36.60%的耕

地分布在高密度区。可见,江苏省 70%以上的耕地集中分布在中高密度到高密度区。

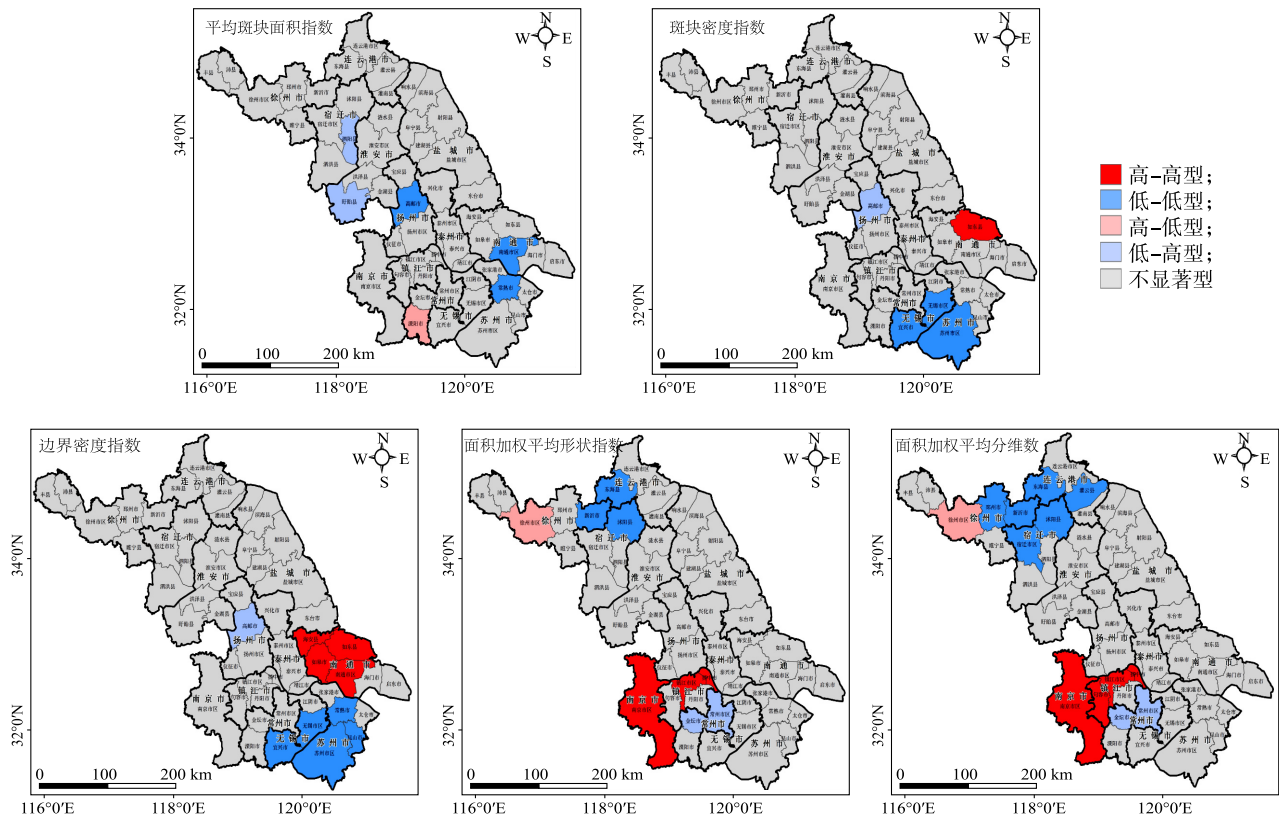
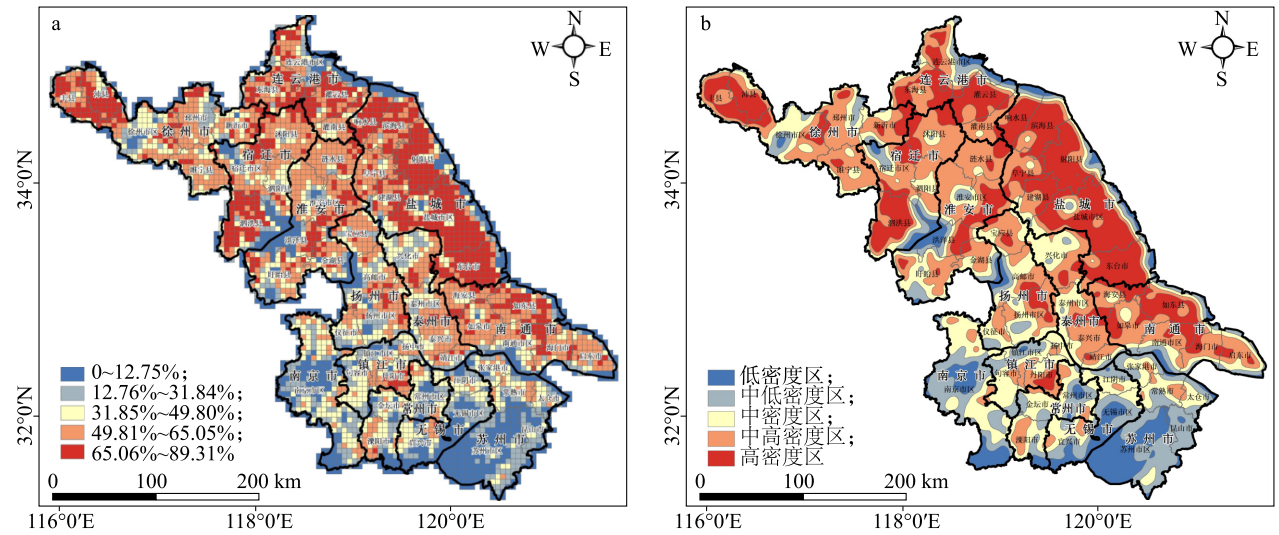


图 5 江苏省耕地景观指数集聚区分布
Fig.5 Spatial aggregation distribution of cultivated landscape indices in Jiangsu province



a:耕地比重;b:核密度估算结果。
图 6 耕地比重与核密度估算结果分布
Fig.6 Spatial distribution of cultivated land proportion and kernel density estimation results

分别对各耕地密度等级区分布的研究单元个数进行统计,由表 3 可知,随着耕地密度等级的提高,各密度区的分布范围呈先增大后减小的趋势。中密

度区分布范围最广,分布在全部 56 个研究单元中,低密度区分布的研究单元个数最少,只有 37 个。
对各个研究单元包含的耕地密度等级个数进行

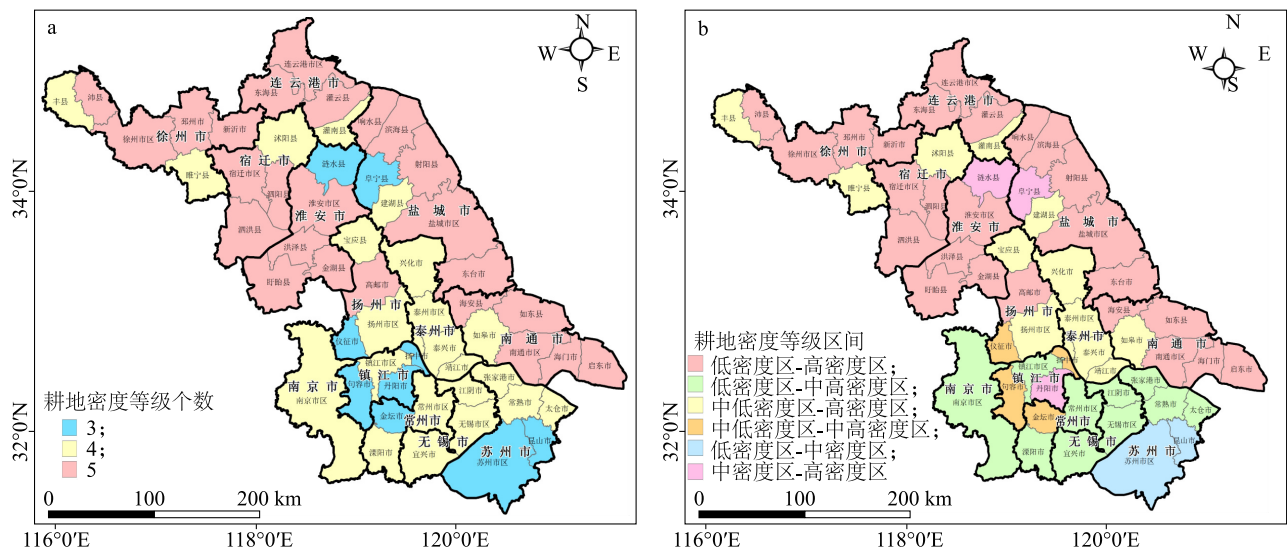
统计,由图 7 可知,全省 56 个研究单元中,25 个研究单元包含 5 个等级(低密度区至高密度区),约占所有研究单元的 44.6%,集中分布在苏北 5 市和苏中的南通市;22 个研究单元包含 4 个等级,占比约 39.3%,大部分集中分布在苏南 5 市(低密度区至中高密度区),少数分布于苏北和苏中(中低密度区至高密度区);9 个研究单元包含 3 个耕地密度等级,占比约 16.1%,集中分布在苏南的镇江市(中低密度区至中高密度区)、苏州市南部(低密度区至中密度区)。可见,苏北的耕地等级结构复杂且耕地密

度等级较高,其次是苏中,苏南的耕地等级结构简单且耕地密度等级较低。

表 3 不同耕地密度等级区分布的研究单元个数

Table 3 Number of research units for distribution of different cultivated land density grades

研究单元	低密度区	中低密度区	中密度区	中高密度区	高密度区
个数	37	53	56	54	40
占比(%)	66.07	94.64	100.00	96.43	71.43



a:各研究单元包含的耕地密度等级个数;b:各研究单元包含的耕地密度区间。

图 7 耕地密度等级空间分布

Fig.7 Spatial distribution of cultivated land density grade

3.3.2 不同耕地密度区的景观指数变化特征分析

分别对各研究单元内不同耕地密度等级区内的景观指数求平均值,由表 4 可知,随着耕地密度等级的

提高,各密度区的平均斑块面积指数的均值呈上升趋势,在高密度区达到峰值,其他 4 个景观指数的均值都是先上升后下降,在中高密度区达到峰值。

表 4 不同耕地密度区的景观指数的平均值统计

Table 4 Average value of landscape indices in cultivated lands with different densities

景观指数	低密度区	中低密度区	中密度区	中高密度区	高密度区
平均斑块面积指数	4.578 4	7.387 0	8.021 5	9.075 7	12.527 9
斑块密度指数	0.169 9	0.652 6	1.700 0	2.874 4	1.779 7
边界密度指数	1.427 7	6.946 6	23.784 8	42.897 8	36.216 0
面积加权平均形状指数	1.818 4	1.923 2	2.257 9	2.711 4	2.638 7
面积加权平均分维数	1.092 0	1.098 5	1.114 3	1.129 0	1.122 6

对不同耕地密度区内各研究单元的景观指数进行统计,分析各景观指数在不同密度区的变化特征

(图 8)。

(1)平均斑块面积指数:34 个研究单元的平均斑

块面积指数随着耕地密度的增加而增加,集中分布在徐州市、宿迁市、淮安市、扬州市、泰州市、南京市、镇江市和常州市等;7 个研究单元的平均斑块面积指数呈先上升再下降的趋势,集中分布于泰州市北部及其相邻的张家港市;7 个研究单元的平均斑块面积指数呈先上

升再下降最后再上升的趋势,主要分布于南通市中部和盐城市北部;8 个研究单元的平均斑块面积指数呈先下降再上升的趋势,分散分布于苏北、苏中和苏南。可见,全省 60% 地区耕地的平均斑块面积指数随着耕地密度由低到高逐渐增大。

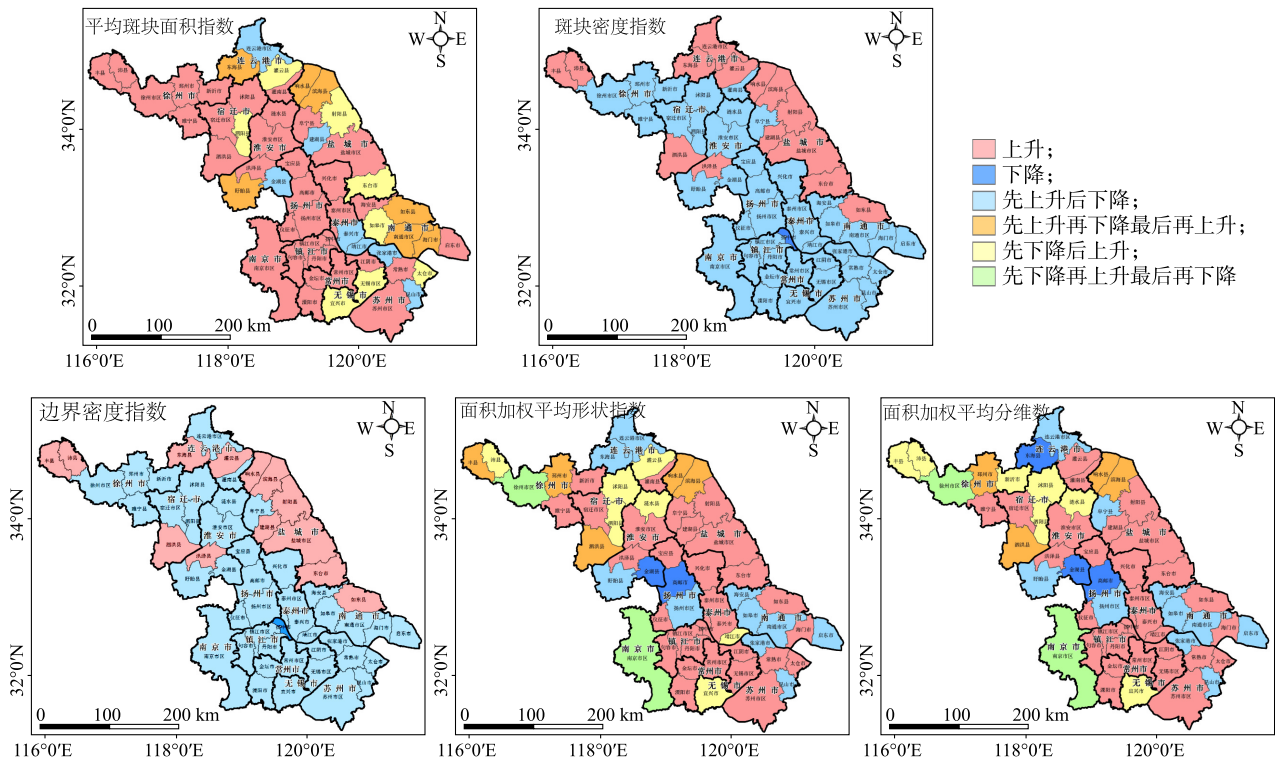


图 8 景观指数随耕地密度等级变化趋势空间分布

Fig.8 Spatial distribution of landscape indices changing with cultivated land density grade

(2) 斑块密度指数:14 个研究单元的斑块密度指数随着耕地密度的增加而增加,集中分布在沿海地区的连云港市和盐城市;41 个研究单元的斑块密度指数呈先上升再下降的趋势,集中分布在徐州市、宿迁市、淮安市、苏中 3 市和苏南 5 市;仅有扬中市的斑块密度指数下降。可见,全省 73% 地区耕地的斑块密度指数随着耕地密度由低到高逐渐增大再减小。

(3) 边界密度指数:13 个研究单元的边界密度指数随着耕地密度的增加而增加,集中分布在盐城市;42 个研究单元的边界密度指数呈先上升再下降的趋势,集中分布在徐州市、宿迁市、淮安市、苏中 3 市和苏南 5 市;仅有扬中市的边界密度指数下降。可见,全省 75% 地区耕地的边界密度指数随着耕地密度由低到高逐渐增大再减小。

(4) 面积加权平均形状指数:30 个研究单元的面积加权平均形状指数随着耕地密度的增加而增加,集中分布于盐城市、淮安市、徐州市与宿迁市的交界地区、泰州市、镇江市、常州市和苏州市;10 个研究单元的面积加权平均形状指数呈先上升再下降的趋势,集中分布在南通市和连云港市北部;2 个研究单元(金湖县和高邮市)的面积加权平均形状指数呈下降趋势;5 个研究单元的面积加权平均形状指数先上升再下降最后再上升,分散分布于徐州市、宿迁市和盐城市;7 个研究单元的面积加权平均形状指数先下降再上升,集中分布于宿迁市、连云港市和淮安市的交界地区;2 个研究单元(徐州市区和南京市区)的面积加权平均形状指数先下降再上升最后再下降。可见,全省 54% 地区耕地的面积加权平均形状指数随着耕地密度由低到高逐渐增大。

(5)面积加权平均分维数:30个研究单元的面积加权平均分维数随着耕地密度的增加而增加,集中分布于盐城市、淮安市、徐州市与宿迁市的交界地区、连云港市南部、泰州市、镇江市、常州市和苏州市;10个研究单元的面积加权平均分维数先上升再下降,集中分布在南通市;3个研究单元(金湖县、高邮市和东海县)的面积加权平均分维数呈下降趋势;4个研究单元(邳州市、泗洪县、响水县和滨海县)的面积加权平均分维数先上升再下降最后再上升;7个研究单元的面积加权平均分维数先下降再上升,集中分布于徐州市、宿迁市和淮安市交界处;2个研究单元(徐州市区和南京市区)的面积加权平均分维数先下降再上升最后再下降。可见,全省54%地区耕地的面积加权平均分维数随着耕地密度由低到高逐渐增大。

4 结 论

本研究以江苏省为研究区,利用高空间分辨率遥感影像提取耕地数据,在此基础上采用耕地指数、景观指数和多种空间分析方法,探讨江苏省耕地地块的空间分布特征,结论如下:

(1)耕地指数的空间分布特征:江苏省耕地指数空间分布呈现北高南低的特征,耕地高比重区集中分布于耕地资源丰富的苏中和苏北地区,耕地低比重区集中分布于经济发展速度较快、城市化进程较快的苏南地区。

(2)耕地指数的空间自相关特征:江苏省耕地指数的空间分布整体上呈现很强的空间正相关,呈显著的集聚状态;耕地高比重集聚区分布在苏北地区,耕地低比重集聚区分布在苏南地区。

(3)耕地景观指数的空间分布特征:平均斑块面积指数总体分布特征是苏北>苏中>苏南;斑块密度指数和边界密度指数总体分布特征为苏中>苏北>苏南;面积加权平均形状指数和面积加权平均分维数总体分布特征为苏南>苏中>苏北;苏南耕地地块形状复杂度最大,其次是苏中,苏北最小。

(4)耕地景观指数的空间自相关特征:边界密度指数和面积加权平均分维数存在明显的空间自相关,在空间分布上具有显著的正相关,集聚特征较为显著;平均斑块面积指数、斑块密度指数和面积加权平均形状指数的空间自相关不明显,没有明显的集聚特征。

(5)不同耕地密度区的耕地景观指数空间分布特征:江苏省70%以上的耕地集中分布在中高密度到高密度区;随着耕地密度等级的提高,各密度区的分布范围呈先增加后减少的趋势;全省50%以上地区耕地的平均斑块面积指数、面积加权平均形状指数和面积加权平均分维数随着耕地密度的增大而升高;全省70%以上地区耕地的斑块密度指数和边界密度指数随着耕地密度的增加先上升再下降。

同时,本研究还存在一定的不足,如未对形成耕地空间分布特征差异的原因进行分析,所以在后续的研究中将运用相关分析方法并结合苏北、苏中、苏南的自然、社会、经济等因素对其进行深入分析和探讨。另外,在今后的研究中,将对江苏省耕地地块数据进行实时更新,并运用如耕地重心模型、土地利用动态度指数模型、土地利用转移矩阵、地理加权回归模型等地理空间分析方法,对江苏省耕地资源的时空分布格局、演变特征及驱动力进行探索和分析,为耕地资源的可持续利用、合理规划和管理以及耕地保护政策的制定等提供科学依据。

参考文献:

- [1] 傅泽强,蔡运龙,杨友孝,等. 中国粮食安全与耕地资源变化的相关分析[J]. 自然资源学报,2001,16(4):313-319.
- [2] 张国平,刘纪远,张增祥. 近10年来中国耕地资源的时空变化分析[J]. 地理学报,2003,58(3):324-332.
- [3] 李景刚,何春阳,史培军,等. 近20年中国北方13省的耕地变化与驱动力[J]. 地理学报,2004,59(2):274-282.
- [4] 赵晓丽,张增祥,汪 潇,等. 中国近30a耕地变化时空特征及其主要原因分析[J]. 农业工程学报,2014,30(3):1-11.
- [5] 程维明,高晓雨,马 廷,等. 基于地貌分区的1990-2015年中国耕地时空特征变化分析[J]. 地理学报,2018,73(9):1613-1629.
- [6] 沈 萍. 江苏省土地生态安全预警演变与空间格局分析[J]. 中国农业资源与区划,2018,39(6):87-92.
- [7] 王 千,金晓斌,周寅康. 河北省耕地生态安全及空间聚集格局[J]. 农业工程学报,2011,27(8):338-344.
- [8] 束邱恺,高永年,刘友兆,等. 江苏沿海地区土地利用生态价值测算评估[J]. 地球信息科学学报,2016,18(6):787-796.
- [9] 刘婧鸣,侯现慧,王占岐,等. 耕地细碎化与耕地集约利用水平空间相关特征研究——以湖北省为例[J]. 中国土地科学,2017,31(12):51-59.
- [10] 刘 晶,金晓斌,徐伟义,等. 江苏省耕地细碎化评价与土地整治分区研究[J]. 地理科学,2019,39(5):817-826.
- [11] 张黎黎,李子君. 黄河三角洲耕地利用集约度变化及其驱动因素[J]. 中国农业资源与区划,2022,43(1):124-134.
- [12] 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.
- [13] 李 黎, 王会豪, 任 平. 基于核密度估算的都江堰耕地破碎化趋势及特征分析[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2017, 30(1): 72-76.
- [14] 张 扬, 周忠发, 黄登红, 等. 喀斯特山区耕地时空演变与影响因子分析[J]. 农业工程学报, 2020, 36(22): 266-275.
- [15] 李裕瑞, 徐海顺, 卞新民. 江苏省耕地面积变化及其驱动力动态研究[J]. 农业系统科学与综合研究, 2008, 24(2): 133-138.
- [16] 朱 晓, 李裕瑞, 卞新民. 江苏省耕地面积变化的时空特征[J]. 江苏农业学报, 2009, 25(1): 127-130.
- [17] 郭 杰, 欧名豪, 刘 琼, 等. 江苏省耕地资源动态变化及驱动力研究[J]. 长江流域资源与环境, 2009, 18(2): 139-145.
- [18] 李 鑫, 欧名豪. 江苏省耕地空间分布与变化研究[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(6): 730-734.
- [19] 陈红宇, 朱道林, 郎文聚, 等. 嘉兴市耕地细碎化和空间集聚格局分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 235-242.
- [20] 台晓丽, 肖 武, 张建勇, 等. 基于景观指数的巢湖流域各县区耕地细碎化研究[J]. 水土保持研究, 2016, 23(4): 94-98.
- [21] 陈正发, 史东梅, 何 伟, 等. 1980-2015年云南坡耕地资源时空分布及演变特征分析[J]. 农业工程学报, 2019, 35(15): 256-265.
- [22] 闫伯前, 秦 岭, 李作洲, 等. 中国栗疫病菌群体遗传结构的空自相关性分析[J]. 植物科学学报, 2003, 21(3): 238-244.
- [23] 郑新奇, 付梅臣. 景观格局空间分析技术及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [24] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明, 等. 景观生态学原理及应用[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2011.
- [25] 邬建国. 景观生态学——格局、过程、尺度和等级[M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [26] 刘湘南, 黄 方, 王 平. GIS空间分析原理与方法[M]. 2版. 北京: 科学出版社, 2008.
- [27] 万伟华. 基于县域尺度的浙江省耕地破碎化空间分异研究[J]. 环境生态学, 2021, 3(11): 15-21, 48.
- [28] 李鹏山, 吕雅慧, 张 超, 等. 基于核密度估计的京津冀地区耕地破碎化分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(5): 281-287.
- [29] 蔡为民, 肖 婷, 毕芳英, 等. 基于核密度估算的大都市耕地数量空间分布特征分析——以天津市为例[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(1): 152-160.
- [30] 蔡雪娇, 吴志峰, 程 炯. 基于核密度估算的路网格局与景观破碎化分析[J]. 生态学杂志, 2012, 31(1): 158-164.

(责任编辑: 陈海霞)