

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.07.013

禹文东, 吴涛, 罗云建, 等. 城镇化进程中耕地时空格局演化及其驱动机制研究——以扬州市为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(7): 147-159.

# 城镇化进程中耕地时空格局演化及其驱动机制研究

## ——以扬州市为例

禹文东, 吴涛, 罗云建, 李晓明

扬州大学 园艺园林学院, 江苏 扬州 225009

**摘要:** 快速城镇化导致我国的耕地面临数量持续减少、质量不断下降的风险, 而中小城市在这方面的表现尤为突出, 研究中小城市的耕地资源动态变化规律以及时空演变趋势, 对经济高质量发展形势下的耕地高质量使用与管理、生态保护和资源协调发展等意义重大. 运用 ArcGIS 空间分析与经济计量分析方法, 研究并揭示 2000—2020 年扬州市耕地时空演化的特征, 选用增强回归树 (Boosted Regression Trees, BRT) 算法分析了地理空间、社会及经济层面 13 个潜在驱动力因子对耕地变化的影响. 结果表明, ① 2000—2020 年扬州耕地净流失面积在不断扩大, 耕地流失较为严重的区域集中在扬州市区及 3 个区县的周边乡镇. ② 减少耕地的主要去向是建设占用, 且占用耕地主要分布在扬州的主城区及下辖县(市)城区的周边, 耕地的连片整体性受到不断破坏, 破碎化的趋势有不断增加的趋势. ③ 扬州耕地变化的时空特征是地理空间和社会经济因素综合作用的结果. 2000—2020 年扬州耕地的变化受经济因素的驱动作用明显, 特别是 2005—2010 年时段, 耕地变化受人均 GDP 影响较大, 而受自然因素的影响非常有限. 在新时代经济高质量发展形势下, 扬州市需要转变城镇发展用地的使用模式, 要从粗放式扩张向挖掘自身潜力转变, 要避免建设用地对优质良田的无序占用, 要进一步探索全市范围内耕地使用、生态空间保护的补偿机制, 为同类城市耕地高质量使用与管理提供借鉴.

**关键词:** 耕地; 时空特征; 景观格局; 驱动因素; 扬州

**中图分类号:** S341.1; F301.21 **文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2023)07-0147-13

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Spatiotemporal Pattern Evolution and Driving Mechanism of Cultivated Land in Urbanization Process

——Taking Yangzhou City as an Example

YU Wendong, WU Tao, LUO Yunjian, LI Xiaoming

College of Horticulture and Landscape Architecture, Yangzhou University, Yangzhou Jiangsu 225009, China

收稿日期: 2022-08-04

基金项目: 国家自然科学基金项目(31500388); 扬州市重点研发计划(社会发展)项目(YZ2019051); 大运河文化带建设研究院项目(DYH22ZL08).

作者简介: 禹文东, 博士, 讲师, 主要从事景观生态规划研究.

通信作者: 吴涛, 博士, 副教授.

**Abstract:** The rapid urbanization process has led to the continuous decrease in the area of cultivated land and the increase in the risk of land quality decline in China, especially in small and medium-sized cities. It is of great significance to study the dynamic change law and spatiotemporal evolution trend of cultivated land resources in small and medium-sized cities for the high-quality use and management of cultivated land, ecological protection and coordinated development of resources under the situation of high-quality economic development. ArcGIS spatial analysis and econometric analysis method were used to study and reveal the spatiotemporal evolution characteristics of cultivated land in Yangzhou from 2000 to 2020. Boosted regression tree algorithm was used to analyze the effects of potential driving forces of 13 factors at the geographical, social and economic levels on the change of cultivated land. ① In the past 20 years, the net loss area of cultivated land in Yangzhou has been expanding, and the regions with serious loss of cultivated land were concentrated in the urban area of Yangzhou and the surrounding towns of the three counties. ② The main direction of reducing cultivated land was construction occupation, and the occupied cultivated land was mainly distributed in the main urban area of Yangzhou and the surrounding areas of the subordinate counties (cities). The integrity of cultivated land was constantly destroyed, and the trend of fragmentation was increasing. ③ The spatiotemporal characteristics of cultivated land change in Yangzhou were the result of the combined effect of geographical space and socio-economic factors. The change of cultivated land in Yangzhou from 2000 to 2020 was obviously driven by economic factors, especially from 2005 to 2010. The change of cultivated land was greatly influenced by per capita GDP, while the influence of natural factors was very limited. Under the situation of high-quality economic development in the new era, Yangzhou needs to change the use mode of urban development land from extensive expansion to explore its own potential, to avoid the disorderly occupation of high-quality farmland by construction, and further explore the compensation mechanism of differentiated use of cultivated land and ecological space protection in the whole city, so as to provide reference for the high-quality use and management of cultivated land in similar cities.

**Key words:** cultivated land; spatiotemporal characteristics; landscape pattern; driving factors; Yangzhou city

耕地是人类生存的基础资源,事关全球的粮食安全,世界范围的工业化和城镇化发展使得耕地面积发生很大改变<sup>[1-4]</sup>。据统计,1961—2015年,全球人均耕地减少了37.5%<sup>[5]</sup>。同时,耕地也随之发生不同程度的质量下降,其面临的荒漠化、破碎化、盐渍化及边际化等威胁在不断加剧,特别是2000年后,耕地面积总量、人均耕地面积减少的国家数逐年增多,尤其是人口总量较大的诸如印度、中国、孟加拉国等发展中国家。

中国的经济高增长率所带来的城镇化进程导致耕地总量不断减少,特别是东部地区还受到农业结构调整与生态退耕等因素影响,多数地方的耕地数量减少的趋势更加明显,而耕地质量也随之有明显的下降。根据第三次全国国土调查结果显示,以2019年底为标准时点,中国耕地总面积约1.3亿 $\text{hm}^2$ ,近10年来耕地迅速减少,这在一定程度上影响我国的粮食安全<sup>[6]</sup>。为此,坚守18亿亩的耕地红线成为国家的既定政策,耕地保护政策也在逐步转型,更加注重耕地在数量、质量和生态等方面的综合保护<sup>[7]</sup>。

近年来耕地保护方面的研究较多地聚焦于其数量与质量的时空演化规律与机制,如不少学者在流域、区域或省域等宏观尺度上,对耕地时空演化特征及其驱动因素进行分析与探讨,这类研究部分是从统计数

据的角度来解析耕地变化规律,或者采用定量分析的方法,对区域内部耕地变化的空间动态性与分异性做进一步梳理和研究,进而识别耕地变化的驱动因素<sup>[8-11]</sup>。如张永生等<sup>[12]</sup>获取华北6省(市)的土地数据,在省域尺度上对2000—2010年耕地的景观格局进行分析与探讨,梁小丽等<sup>[13]</sup>揭示广西区域范围内一定时段耕地利用形态分异规律并识别其主要的驱动因素,王雨枫<sup>[14]</sup>对1990—2020年辽宁省耕地空间分布演化与影响机制做了分析与研究。此外,部分学者还以不同地域特有形态的耕地为研究对象,对其时空演化做了分析与研究。如选取了云南坡耕地<sup>[15]</sup>、原阳县黄河背河洼地耕地<sup>[16]</sup>、江苏里下河平原耕地<sup>[17]</sup>、陕西渭北旱塬区耕地<sup>[18]</sup>等。上述研究多数关注于宏观尺度或者特定类型的耕地资源,而对我国新时代经济发展背景下的中小城市的耕地时空演化规律较少涉及。

笔者认为要实现新时代我国经济的高质量、可持续发展目标,中小城市的高质量协同发展是核心,聚焦长三角地区,中小城市的高质量、特色与个性化发展,是一体化协同发展的关键环节和战略支撑。江苏省扬州市作为长三角地区的中等城市(次中心城市)正处于苏北与苏南经济发展的过渡地带,在承接大城市产业转移、疏解大城市生活压力、高效利用耕地、协调乡村振兴等方面发挥的作用具有典型性和代表性,为此,笔者选取扬州市耕地为研究对象,运用ArcGIS空间分析与经济计量分析方法,通过分析2000—2020年的时空演化规律,揭示其演化特征,找出其演化的驱动因素与机制,以期为同类型的城市耕地高质量使用与管理、自然资源优化配置、生态保护和协调发展等提供参考与借鉴。

## 1 研究区概况

扬州市(32°15′—33°25′N, 119°01′—119°54′E)地处江苏省中部,位于长江北岸、江淮平原南端,下辖邗江、广陵、江都、宝应、高邮和仪征等6个区(县),全市总面积6 591.21 km<sup>2</sup>,据第七次人口普查数据显示,截至2020年11月1日零时,扬州市常住人口为455.979 7万人,2020年扬州市地区生产总值达到6 048.33亿元。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

本研究以2020年行政区划为依据,以扬州市域范围的6个区(县)的83个镇、乡和街道为基本单元开展相关研究。本研究用到的土地数据来自中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>)开发的中国土地利用/土地覆盖遥感监测数据集(1970年至今),其空间分辨率为30 m。DEM数据来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),空间分辨率为30 m×30 m。利用ArcGIS 10.4,从DEM数据中提取研究区的海拔数据,并计算得出研究区的坡度数据。

地区生产总值、农村居民人均纯收入、第一产业增加值、第一产业构成、固定资产投资城镇人口、城镇化率等数据来源于《扬州市统计年鉴》(2000,2005,2010,2015,2020年),在ArcGIS 10.4中运用表链接功能与扬州市乡镇边界矢量文件结合。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 耕地的时空变化

1) 耕地净变化率。这一指标是用来衡量在某时期内耕地的变化程度,一般是用一定时期内耕地的净变化量与初期总量之间的比值来反映。公式表述如下:

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

式中:  $R$  为耕地净变化率;  $U_a$  为末期耕地总量,  $\text{km}^2$ ,  $U_b$  为初期耕地总量,  $\text{km}^2$ .

2) 耕地变化动态度. 本指标主要用来反映耕地在某个时期内的变化情况, 能够衡量耕地的稳定性, 其值越高则耕地越趋向于不稳定. 公式<sup>[19]</sup>如下:

$$m = \frac{U_a - U_b}{U_b} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (2)$$

式中:  $m$  为耕地变化动态度;  $T$  为研究时长, a.

3) 核密度分析. 这个非参数的方法是用来估计概率密度函数, 能够表征耕地的空间集聚状态. 一般是将起始耕地信息处理为像元大小 300 m 的栅格数据, 并将其转化为点数据, 再进行核密度的分析, 计算公式<sup>[20-21]</sup>如下:

$$f_n = \frac{i}{nh} \sum_{i=1}^n k \left( \frac{x - x_i}{h} \right) \quad (3)$$

式中:  $f_n$  为耕地地块分布核密度测算值;  $k$  为核密度函数;  $h$  为带宽;  $n$  为耕地点数据的数量;  $x - x_i$  为耕地点  $x$  到样本点  $x_i$  的间距.

### 2.2.2 景观格局指数计算

景观格局指数是采用定量指标来表征景观格局的基本信息, 并能反映其结构组成以及空间基本格局特征<sup>[22]</sup>. 通过对耕地图斑信息的统计可以获得耕地数量变化的基本情况, 但其空间变化的特征不能仅通过数量变化来反映, 耕地变化过程会导致景观形状复杂、破碎等一系列威胁耕地质量的问题, 进而影响耕地的功能, 而景观格局指数则可以测度这些基本特征. 景观格局指数是景观格局信息的高度概括, 并通过景观指标量化表达, 进而呈现出景观格局及其空间分布状态, 在耕地时空演化研究中被广泛使用<sup>[23]</sup>.

借鉴近年来其他学者的研究成果<sup>[24]</sup>, 综合考虑扬州的自然条件与社会经济发展现状, 本研究选取了 8 个主要的景观指数, 即斑块数量(NP)、斑块密度指数(PD)、景观形状指数(LSI)、聚类指数(CLUMPY)、斑块凝聚度指数(COHESION)、景观分割指数(DIVISION)、聚集指数(AD)以及分离度指数(SPLIT), 通过 Fragstats 软件对上述指标数值进行计算分析, 进而研究区域内耕地格局变化与破碎化的情况.

### 2.2.3 驱动力分析

1) 驱动力影响因子的选取. 耕地的变化是各种驱动力综合影响、相互作用的结果, 变化的主要影响因素是自然条件和社会经济发展情况<sup>[25-27]</sup>. 本研究选取了 13 个影响耕地变化的因子, 包括地理空间中的 6 个因子, 即海拔、坡度、距水体距离、距建成区距离、距市中心距离以及距区县核心区距离; 经济因素中的 2 个因子, 即人口与人口密度; 社会因素中的 5 个因子, 即人均 GDP、财政收入、第一产业占比、第二产业占比以及第三产业占比, 选用增强回归树(Boosted Regression Trees, BRT)算法来定量揭示上述 13 个因子的潜在驱动力对耕地变化的影响.

2) 样本点的提取. 将各时间段(2000, 2005, 2010, 2015, 2020 年)的土地利用图层进行叠加, 把经耕地转出为其他用地的像元赋值为 1, 仍是耕地的地类赋值为 0. 采用 ArcGIS 中创建随机点的工具模块, 随机在耕地转出及不变的像元中, 分别抽取 500 个样本点. 利用 ArcGIS 的空间统计工具箱中的近邻分析工具, 计算每个样本点到水体、建成区、市中心、区县核心区的欧几里得距离, 利用空间分析工具箱中的值提取至点工具, 提取每个样本点的海拔和坡度, 运用标识工具将乡镇的经济社会数据赋予样本点.

3) 驱动力分析. 本研究选用 BRT 算法来定量揭示上述影响因子的潜在驱动力对耕地变化的影响. 为获得可信的分析结果, 需要合理设置 5 个参数, 即交叉验证折数、损失函数形式、学习速率、交互深度(又称树复杂性)以及重抽样比例. 在判断耕地能否转出的应用实践中, 采用较为实用的 Bernoulli 分布方法,

并结合本研究特点将重抽样品的比例设定为0.5、交叉验证的折数设定为10。其中,学习速率和交互深度需要根据数据的实际情况进行多次比较来确定,并需满足至少1 000个分类树的要求。为此,本研究分别设置学习速率的梯度为0.1,0.05,0.01,0.005,树复杂性的梯度为1,2,3,4,5,6,7,而后通过选取不同的学习速率和交互深度来对模型进行调优。经过多次调试,最终确定BRT算法的最优参数组合是学习速率为0.005和交互深度为5。

### 3 结果与分析

#### 3.1 不同时期耕地整体数量变化与空间特征

##### 3.1.1 耕地总体数量变化特征分析

扬州的耕地面积在2000—2020年期间有持续下降的趋势,总面积减少了约4.45万 $\text{hm}^2$ (表1),全市人口在这一时期变化幅度较小,相对2000年,2020年的户籍人口有小幅下降,耕地的减少速度大于户籍人口减少速度,这也使得全市人均耕地面积21年间下降了约8%。这种变化对农业生产稳定性造成一定威胁。由于林地、草地、水体、未利用地等变化幅度较小,可以推断耕地减少的主要原因是城镇发展、农村居民点及区域性设施等建设用地的增加与扩张。此外,2010年以来,因江苏省城乡“增减挂钩”、集约用地等政策的实施,对全市耕地面积的快速缩减有较好的抑制作用。

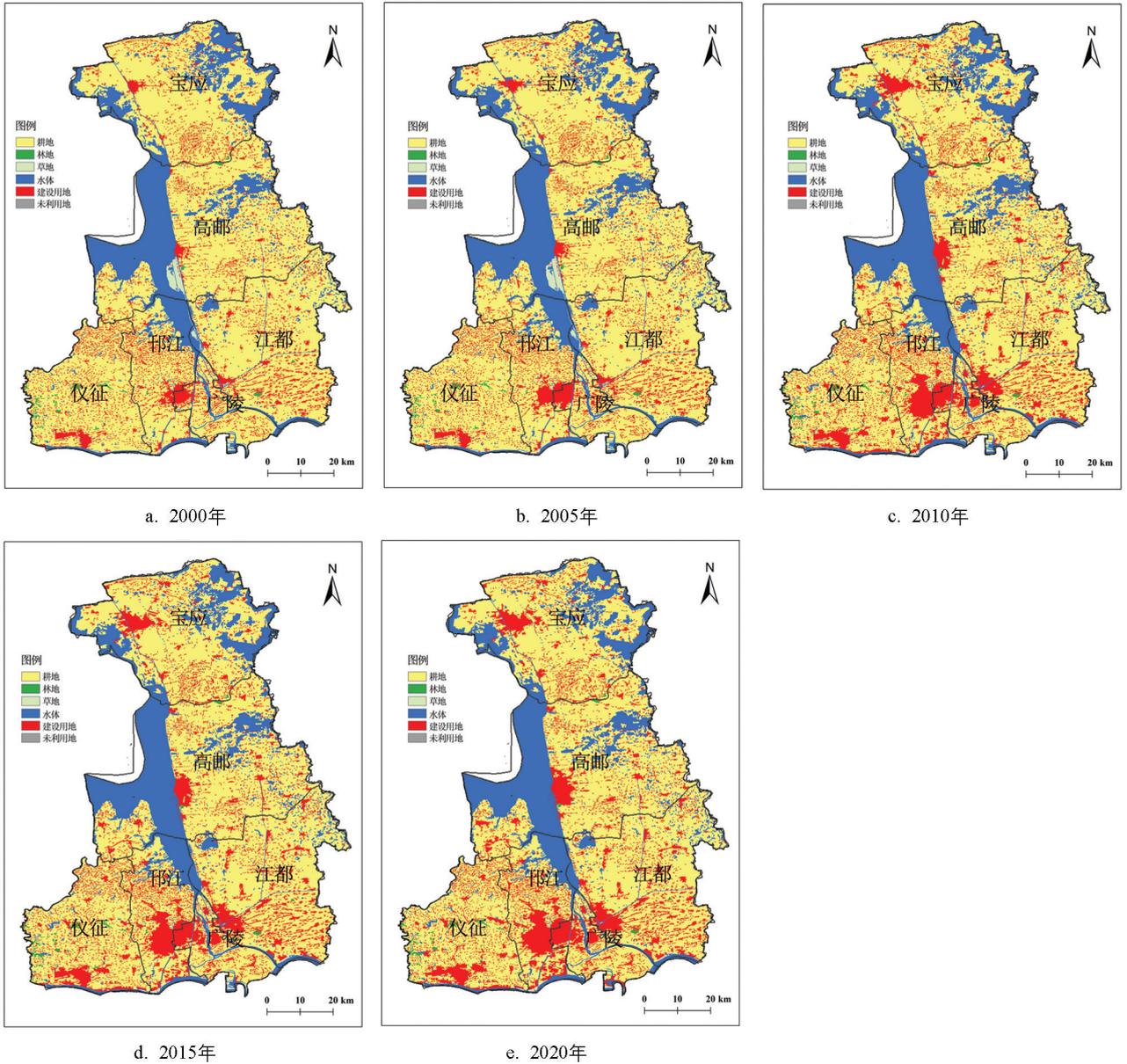
表1 2000—2020年5个时期扬州市各地类面积及占比情况

用地类型	2000年		2005年		2010年		2015年		2020年	
	面积/	比例/								
	$\text{hm}^2$	%								
耕地	456 554.34	69.46	450 960.48	68.61	421 570.08	64.14	418 261.23	63.64	412 030.53	62.69
林地	2 233.43	0.34	2 274.71	0.35	2 567.43	0.39	2 563.83	0.39	2 506.32	0.38
草地	4 788.45	0.72	4 716.27	0.72	1 544.13	0.23	1 545.84	0.24	1 320.66	0.20
水体	119 393.46	18.17	121 366.26	18.47	126 339.75	19.22	126 910.53	19.31	126 478.98	19.24
建设用地	74 030.58	11.26	77 684.85	11.82	104 982.93	15.97	107 722.53	16.39	114 691.32	17.45
未利用地	263.53	0.04	261.22	0.04	259.47	0.04	259.83	0.04	235.98	0.04
合计	657 263.79	100.00	657 263.79	100.00	657 263.79	100.00	657 263.79	100.00	657 263.79	100.00

从5个时期土地利用变化的空间分布(图1)来看,扬州的6个区县(市)的耕地面积均出现不同程度减少,其中高邮市和江都区的耕地面积减少值得关注,高邮市2000—2020年耕地减少面积高达9 030  $\text{hm}^2$ ,占扬州市耕地减少面积的20.23%,这同高邮的快速城镇化有关,而江都区的耕地也减少了8 972  $\text{hm}^2$ ,经过调查这些减少的耕地多是城区周边及近郊较为优质的耕地,而村庄布局优化、庄台合并、农用地内部调整等往往是耕地增加的主要原因,这也真实反映了扬州减少的耕地多为高质量农田,而增加的往往是庄台复垦地或者养殖场整治地等,其质量优劣不一。

##### 3.1.2 耕地净变化率特征

由图2可以看出,扬州在2000—2005年及2015—2020年2个时段耕地变化具有中部减少而东西部增加的特点;在2005—2010年时段耕地则呈现净流出现象,很多区域耕地的净流出率超过1%,仅有宝应县的2个乡镇及广陵区的1个乡镇有较大幅度的增加,其他的基本都处于流失状态,2010—2015年时段扬州的耕地净流出区域有较大幅度缩小,甚至有些区域耕地面积还略有增加,但整体来看,耕地仍然呈现净流出之势。总之,近21年来扬州耕地整体呈现净流出状态,流失面积持续扩大,以扬州市区及3个区县周边乡镇的耕地流失较为严重,可以看出快速城镇化带来的城市扩张是扬州市耕地流失的主要原因。

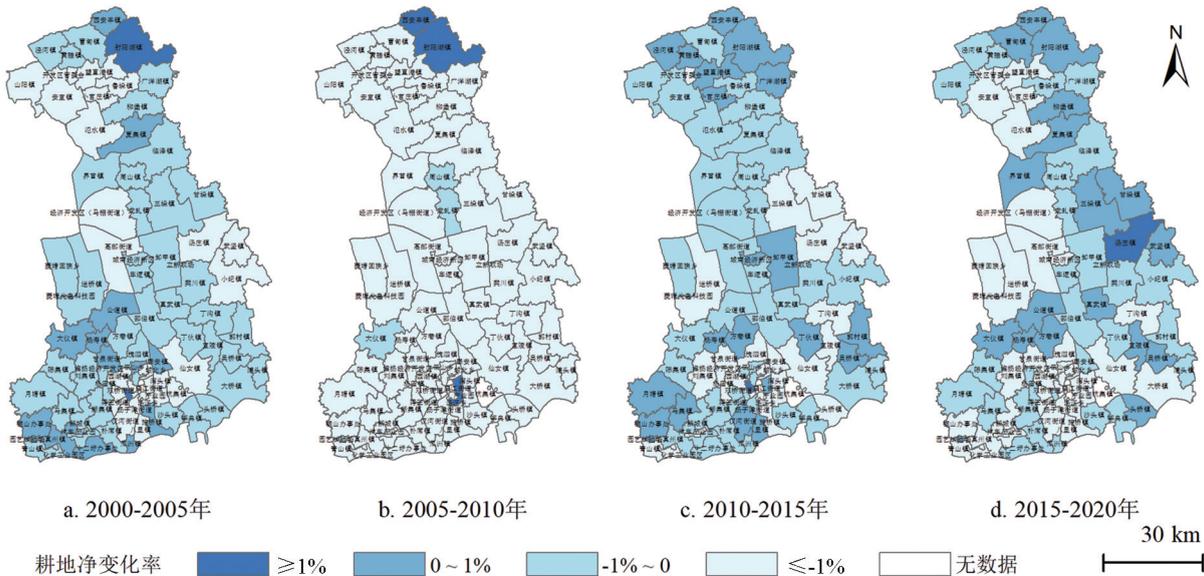


审图号为: GS(2016)2893 号, 底图无修改。

图 1 扬州市 2000—2020 年土地利用变化

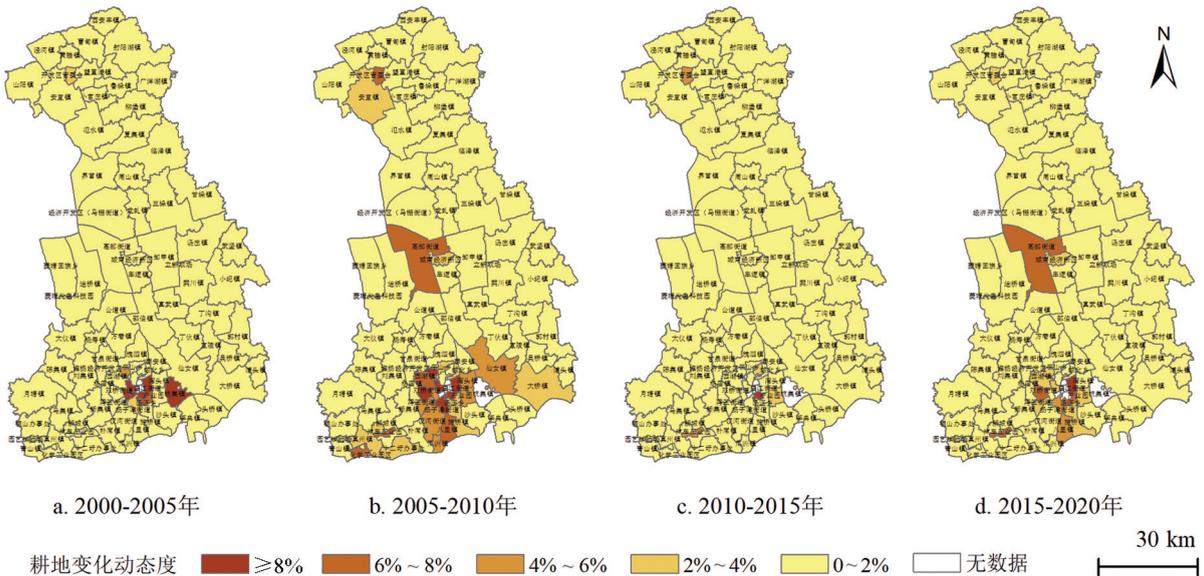
### 3.1.3 耕地变化动态度分析

从图 3 可以看出, 2000—2020 年时段耕地变化动态度超过 6% 的区域主要集中在扬州主城区, 其他多数区域的耕地变化动态度多停留在 2% 以内, 扬州市的耕地变化在 2005—2010 年时段最为突出, 主要体现在仪征市区南部区域到邗江区、广陵区及江都区的南部区域, 其耕地变化动态度都超过 6%, 局部甚至大于 8%, 另外在高邮市区和宝应县城周边的耕地也有较大幅度的变化, 2010—2015 年整个扬州市的耕地变化动态度绝大多数都保持在 2% 以内, 2015—2020 年耕地变化动态度变化较大的区域一处集中在高邮市区周边, 另一处则是江都区和广陵区融合发展的区域, 这一时段恰好是江广融合发展的时期, 耕地变化十分明显。总体来说, 扬州耕地变化动态度在 2000—2020 年时段基本处于中等变化幅度, 全市耕地资源的稳定性有一定幅度下降, 位于南部的扬州主城区及仪征市的耕地动态变化度相对较大, 而相应时期的耕地净变化率波动特征与之基本对应。



审图号为: GS(2016)2893号, 底图无修改。

图 2 扬州市 2000—2020 年耕地净变化率



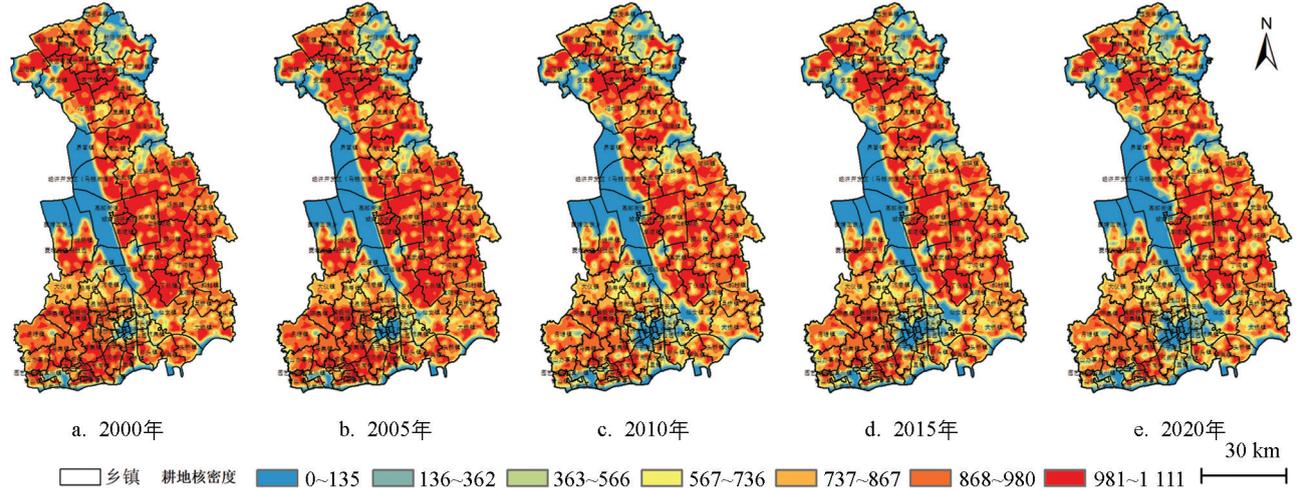
审图号为: GS(2016)2893号, 底图无修改。

图 3 扬州市 2000—2020 年耕地动态度变化

### 3.2 耕地空间集聚分析

应用核密度分析对扬州耕地的空间集聚状况进行分析研究, 对其核密度值(带宽  $h=5\ 325\ \text{m}$ )进行计算分析. 该值可以反映耕地的空间聚集或离散的状况, 值越小则耕地越离散, 反之则越聚集. 结果表明, 扬州市耕地核密度值范围为  $0 \sim 1\ 111$  点/ $\text{km}^2$  (图 4), 依据自然断点法可将核密度值划分为 7 个等级: 极低密度区 ( $0 \sim 135$  点/ $\text{km}^2$ )、低密度区 ( $136 \sim 362$  点/ $\text{km}^2$ )、中低密度区 ( $363 \sim 566$  点/ $\text{km}^2$ )、中密度区 ( $567 \sim 736$  点/ $\text{km}^2$ )、中高密度区 ( $737 \sim 867$  点/ $\text{km}^2$ )、高密度区 ( $868 \sim 980$  点/ $\text{km}^2$ )、极高密度区 ( $981 \sim 1\ 111$  点/ $\text{km}^2$ ). 从图 4 可以看出, 扬州市耕地的空间分布在不同区域的差异较为显著, 中西部湖泊较多, 邵伯湖、高邮湖、宝应湖分布在扬州的中西部边界位置, 东北角(即宝应县东北区域)河流湖泊分布也较多, 因此, 耕地核密度极低的区域主要分布在这些位置. 另外通过 5 个时期的耕地核密度图分析, 可以发现扬州主城区的耕地核密度极低的区域在持续扩大, 西部(仪征和邗江区域)的高密度区和

极高密度区在逐步变小,出现了破碎化的趋势。中东部地区(高邮和江都的北部区域)耕地在初期以极高密度区域为主,连片整体度较好,但在 2010,2015,2020 年时间节点,耕地极高密度区的范围在持续变小,在空间上也出现扩散的态势,而中高、中密度区范围也在持续扩张。这进一步显示扬州耕地的空间核密度首先是受自然条件的影响和限制,其次城市扩张、工业发展及农业产业结构优化等因素对其影响也较为显著。



审图号为: GS(2016)2893 号,底图无修改,单位:点/ $\text{km}^2$ 。

图 4 2000—2020 年扬州市耕地核密度值分布

### 3.3 耕地景观格局变化分析

如表 2 所示,扬州耕地在 2000—2020 年时段破碎化程度在持续加剧,斑块数量(NP)在 2000—2020 年共增加了 42 个,斑块密度指数(PD)在 2005—2010 年从 0.02 水平上升至 0.03 水平后趋于稳定。景观形状指数(LSI)则表现出持续增大的态势,揭示出耕地斑块的形状复杂化与不规则化。占用耕地并使得原有图斑割裂化,进而连通性降低,使得耕地斑块的平均面积进一步减少,这些成为扬州耕地破碎化加剧的主要原因之一。景观形状指数(LSI)在 2010 年后的变化逐步趋缓,可能原因是此后的各项保护耕地的举措发挥效力,2010 年后的时段内扬州耕地保护意识持续加强,无序占用耕地的情况变少,注重耕地的整体连片性,一定程度上优化了耕地的景观格局。景观分割指数(DIVISION)从 0.81 增加至 0.84,聚类指数(CLUMPY)、聚集指数(AD)与斑块凝聚度指数(COHESION)的值均在持续减少,而分离度指数(SPLIT)值则从 5.32% 增至 6.31%,这些变化都表明耕地斑块出现了离散的趋势,耕地的破碎化程度在加大。总体来说,扬州耕地的空间分布呈现集聚的状态,斑块的凝聚度也较好,但随着城市的加速发展,耕地数量持续减少,其空间集聚程度也在城镇化进程中不断受到削弱。

表 2 扬州市 2000—2020 年耕地景观格变化指数表

景观格局指数	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	2020 年
斑块数量(NP)	171.00	162.00	202.00	213.00	213.00
斑块密度指数(PD)	0.026	0.025	0.031	0.032	0.032
景观形状指数(LSI)	52.82	53.29	57.50	57.70	57.96
景观分割指数(DIVISION)/%	0.81	0.82	0.84	0.84	0.84
聚集指数(AD)/%	97.70	97.66	97.39	97.37	97.34
聚类指数(CLUMPY)	0.93	0.93	0.94	0.93	0.93
分离度指数(SPLIT)/%	5.32	5.42	6.08	6.17	6.31
斑块凝聚度指数(COHESION)/%	99.96	99.96	99.95	99.95	99.95

### 3.4 驱动力分析

自然、经济和社会等因素对耕地变化有一定的影响, 而各因素之间既相互关联又相互限制, 其综合的作用和影响改变了土地使用状况, 进而对耕地数量与质量也产生了影响<sup>[28]</sup>. 选取扬州耕地的 4 个时段 (2000—2020 年的每 5 年), 采用 BRT 方法分别对其时空演化的驱动力进行分析与研究. 结果表明, 选择的 13 个因子可以较好地阐明扬州耕地时空演化的主要原因, 其阐述力分别达到 73%, 78%, 79% 和 76%, 训练数据和检验数据的 AUC 值常用作模型的评价标准, 取值范围为 0.5~1, 值越大则检测方法真实性越高, 本研究均在 0.85 以上, 对扬州耕地的转出能作出较好的阐述.

地理空间的 6 个因子对耕地时空变化的影响最大, 其在 4 个时段的相对影响分别为 84%, 77%, 75% 和 72%, 呈现出减小的趋势 (图 5).

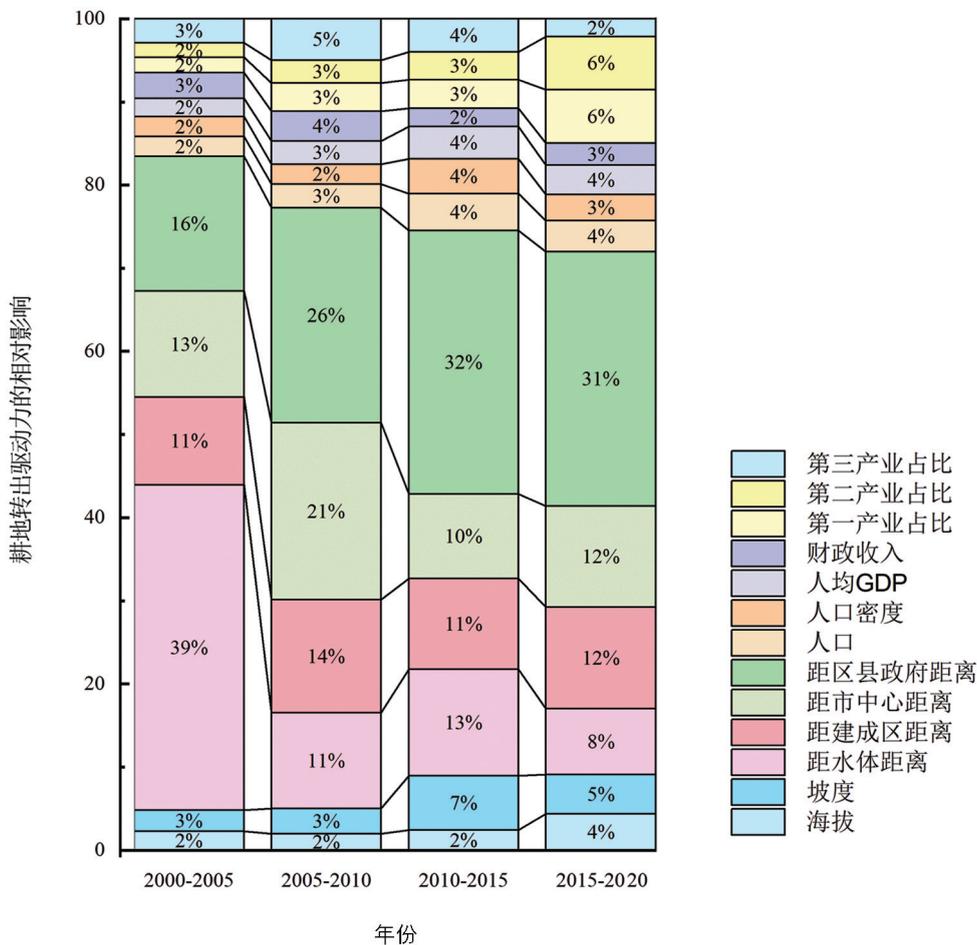


图 5 2000—2020 年扬州市耕地转出驱动力的相对影响

在这些地理空间因子中, 影响最小的是海拔 (2%~4%)。2005—2010 年, 海拔增加时有部分土地转化为耕地, 但海拔 10 m 以上的土地没有显著的改变, 其他的时段海拔对耕地转化的影响不显著 (图 6); 距水体距离这一因子对耕地转化的影响范围为 8%~39%, 其对 2000—2005 年时段的耕地转化影响较为明显, 距离水体越近的土地转化成耕地的可能性越大, 而在其他时段这种影响较小; 距市中心距离和距建成区距离这两个因子的相对影响表现出先增后减的趋势, 前者从 2000—2005 年时段的 13% 增大到 2005—2010 年时段的 21%, 然后又减至 2010—2015 年时段的 10%, 后者从 2000—2005 年时段的 11% 增大到 2005—2010 年时段的 14%, 然后又减至 2010—2015 年时段的 11%。这些变化表明两个因子对耕地转化有明显的影响, 即越靠近市中心和建设用地的耕地转变成建设用地的可能性越大 (图 6); 距区县核心区距离的相对影响随着 4 个时段的推移逐步变大, 分别为 16%, 26%, 32%, 31%, 其中 2010—2015 年时段影响最大, 这

—因子对耕地变化的影响结果与距市中心距离和距建成区距离两个因子的影响作用类似.

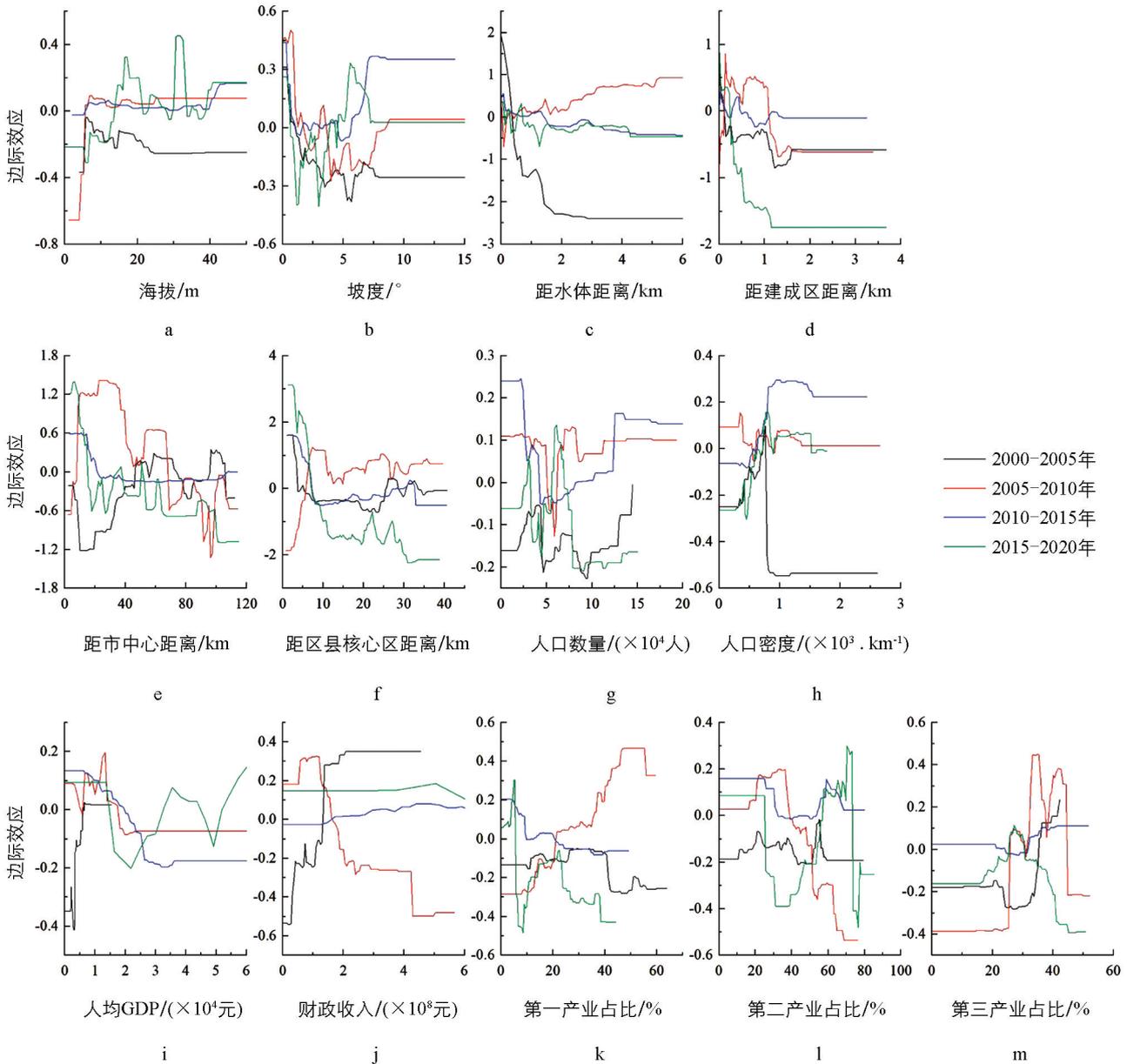


图 6 2000—2020 年扬州市耕地转出驱动力的边际效应

关于经济的影响, 2015—2020 年时段比 2000—2005 年时段显著增加了 9%, 相较于地理空间而言, 其影响的幅度相对较小. 第一产业占比和第二产业占比这两个因子在整个经济因子中的影响幅度最大(2%~6%), 其他因子的影响幅度相对较低(2%~5%). 在 2000—2005 年时段, 财政收入增加使得其他地类向耕地转化, 但在 2005—2010 年的时段耕地却在减少, 其他两个时段的影响则相对较小; 人均 GDP 对耕地变化也有一定的影响, 2000—2005 年时段人均 GDP 增加促进耕地增多, 2000—2005 年时段反之. 2005—2010 年时段第一产业占比增加对耕地增加有较为明显的促进作用, 但其他时段这一影响却很小; 2005—2010 年时段的第二产业占比增加对耕地减少的影响作用较大; 第三产业占比小于 20% 时, 对耕地变化影响不明显. 占比在 20%~40% 之间时, 即在 2000—2015 年间对耕地增加有显著的促进作用, 而在 2015—2020 年却加速了耕地的流失. 当第三产业占比超过 40% 时, 对耕地增加总体呈现出显著的抑制作用.

相对于地理空间和经济因素而言, 社会因子的影响最小, 对耕地影响表现出先增后减的趋势, 由 4%

(2000—2005年时段)增加到8%(2010—2015年时段),随后又降低到7%(2015—2020年时段)。在整个时段内人口数量及人口密度两个因子对耕地变化的影响起到先促进后抑制的效果。

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

本研究对不同时期的扬州耕地变化情况进行分析与研究,在宏观层面揭示了耕地时空演化的基本特征,并采用BRT算法对耕地变化的驱动机制做了定量研究。结果显示,2000—2020年时段,扬州耕地数量呈现逐步减少的态势,21年间共减少44 523.81 hm<sup>2</sup>,而减少的耕地多数是转成建设用地,其次是林地和水体<sup>[29]</sup>。一般而言,耕地空间格局多数情况下取决于地理空间因子,而控制着耕地转化的数量、时空演变的方向与速度的因子往往是社会和经济因子。

扬州耕地面积自2000年以来大幅减少,其主要受地理空间因子的影响。这些因子包括距水体距离、距建成区距离、距市中心距离以及距区县核心区距离等。而社会经济因子,诸如人均GDP、人口及财政收入等对耕地面积也有不同程度的作用和影响。耕地与人类的经济社会发展密切相关,其受不同地理空间的作用和影响较大,故而各类区域耕地变化的驱动力表现出较为明显的差异。如潘佩佩等<sup>[30]</sup>认为1985—2015年期间太湖流域的经济发展区建设用地扩张与耕地的减少具有空间对应的关系,经济发展导致的建设占用则是耕地减少的主要原因,而周翔等<sup>[31]</sup>认为江苏苏锡常区域耕地减少的主要原因是地理空间因子,如距中心城区距离、邻域效应以及交通可达性等。

目前对耕地景观格局特征识别是耕地质量评价的主要依据。空间动态性及时空转移等是耕地资源多样演化的基本特征。随着人类社会与经济的高质量发展,耕地与其他地类的转化越发变得频繁而复杂<sup>[32]</sup>,仅仅依赖简单的数量统计或者单一的质量监测,难以与实际耕地变化情况相吻合<sup>[33]</sup>。当前的经济社会发展带来耕地破碎化的问题,不仅影响规模化农业发展,也难以有效发挥耕地的生态及生产功能。蔡汉等<sup>[34]</sup>以江苏扬州的耕地景观为例,通过对景观安全指数的构建与研究,分析出快速城镇化地区耕地景观生态安全格局时空演变特征及其驱动机制和空间差异。本研究选取了8个景观指数来分析与研究扬州耕地的破碎化程度及特征,为更好开展扬州的耕地保护提供借鉴。

随着经济及城镇化的进一步发展,扬州对建设用地的需求在增加,同时还要面临生态环境保护的压力,这对相关的主管部门提出了更高的要求,即要能够应用经济、社会或者法律、技术等手段与方法,提升耕地质量,优化耕地空间布局,有效落实耕地保护政策,对“三条红线”,即永久基本农田线、生态保护线、城镇开发边界线做好科学划定,进而建立长效的耕地保护机制,强化资源集约利用,促进社会经济与资源环境的协同发展<sup>[13]</sup>。此外,采用产权流转、农业产业结构调整等方式与方法对土地利用加以调控,对当前乡村振兴实践具有现实意义。本研究从耕地时空演化的视角分析研究了扬州耕地变化过程及其影响因素,对其具体的驱动力进行分析与探讨,未来将进一步对耕地质量、连片集中度、规模效益、生态投入与收益等方面做分析与研究<sup>[35-37]</sup>,为此类中小城市经济高质量发展下形势如何进行耕地资源的有效利用与路径调控提供理论依据。

### 4.2 结论

2000—2020年间,扬州地区的耕地净流失面积逐渐增加,主要发生在扬州市区和3个区县的周边乡镇。建设活动是导致耕地减少的主要原因,尤其是在扬州市主城区和其县(市)城区周边。这种占用行为导致耕地连片性和整体性不断受损,使耕地的破碎化程度不断加剧。分析数据表明,扬州市的土地整治、耕地保护初见成效,主要表现在耕地斑块的破碎化趋势进一步趋向缓慢,聚类指数、聚集指数与斑块凝聚度指数等3个指数的数值变化幅度也在不断变小。经BRT算法分析表明,地理空间和社会经济因素共同作用

呈现出扬州耕地时空演化特征结果。在自然因子,如海拔、水体等条件的限定与影响下,道路交通、距建成区距离、人口以及人均 GDP 等地理空间和经济社会因子也驱动着耕地的时空演化。在新时代高质量发展形势下,扬州要转变城镇发展理念,工业及城市扩展需要由外延扩张式转变为内涵挖潜式,减少或避免对高质量耕地的占用,并进一步探索基于区域差异化的耕地质量提升与保护的相关策略,建立起切实可行的耕地生态补偿机制<sup>[38]</sup>,为促进同类型城市的自然资源优化配置、生态保护以及耕地高质量使用与管理等方面提供参考与借鉴。

#### 参考文献:

- [1] 满卫东,王宗明,刘明月,等. 1990—2013 年东北地区耕地时空变化遥感分析 [J]. 农业工程学报, 2016, 32(7): 1-10.
- [2] SHI W J, TAO F L, LIU J Y, et al. Has Climate Change Driven Spatio-Temporal Changes of Cropland in Northern China since the 1970s? [J]. Climatic Change, 2014, 124(1): 163-177.
- [3] CONWAY T M. The Impact of Class Resolution in Land Use Change Models [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2009, 33(4): 269-277.
- [4] LAMBIN E F, MEYFROIDT P. Land Use Transitions: Socio-Ecological Feedback Versus Socio-Economic Change [J]. Land Use Policy, 2010, 27(2): 108-118.
- [5] 杨秉珣,董廷旭. 世界耕地面积变化态势及驱动因素分析——以 21 个国家为例 [J]. 世界农业, 2017(3): 51-57, 84.
- [6] 宋小青,欧阳竹. 耕地多功能内涵及其对耕地保护的启示 [J]. 地理科学进展, 2012, 31(7): 859-868.
- [7] 彭文龙,吕晓,辛宗斐,等. 国际可持续集约化发展经验及其对中国耕地保护的启示 [J]. 中国土地科学, 2020, 34(4): 18-25.
- [8] 魏成国,黄义忠,牟禹恒,等. 景观生态视角下的耕地细碎化及土地整治分区——以文山壮族苗族自治州为例 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2022, 47(9): 82-90.
- [9] 成筱溪,李效顺,和伟康,等. 河南省县域土地利用适宜度空间格局特征及分区调控 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(11): 153-165.
- [10] 鲍文楷,杨园园,邹利林. 快速城镇化地区土地利用变化强度及驱动力新特征——以京津冀地区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(10): 124-134.
- [11] 张英男,龙花楼,戈大专,等. 黄淮海平原耕地功能演变的时空特征及其驱动机制 [J]. 地理学报, 2018, 73(3): 518-534.
- [12] 张永生,欧阳芳,袁哲明. 华北农田生态系统景观格局的演变特征 [J]. 生态科学, 2018, 37(4): 114-122.
- [13] 梁小丽,屠爽爽,万诗梦,等. 广西耕地利用形态时空演变格局与驱动因素研究 [J]. 湖北农业科学, 2021, 60(2): 72-78.
- [14] 王雨枫. 辽宁省耕地利用的时空演变特征分析及对策 [J]. 东北大学学报(自然科学版), 2022, 43(1): 141-146.
- [15] 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.
- [16] 王秀丽,杨一鸣,陈伟强,等. 原阳县黄河背河洼地耕地景观格局演变研究 [J]. 河南农业大学学报, 2020, 54(5): 853-861.
- [17] 刘玉卿,张华兵,孙小祥,等. 1980—2018 年江苏里下河平原景观格局时空变化及其热点分析 [J]. 浙江农林大学学报, 2022, 39(1): 105-114.
- [18] 夏利恒,刘京,尉芳,等. 陕西渭北旱塬区耕地时空格局变化分析 [J]. 农业工程学报, 2021, 37(5): 256-264.
- [19] 张译,杨伯钢,王森,等. 京津冀地区林地空间变化及驱动力研究 [J]. 测绘科学, 2020, 45(9): 104-110.
- [20] 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.
- [21] 孟祥凤,王冬艳,李红. 东北老工业城市建设占用耕地驱动力分析 [J]. 农业工程学报, 2018, 34(11): 225-233.

- [22] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级 [M]. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2007: 102-158.
- [23] 祖健, 张蚌蚌, 孔祥斌. 西南山地丘陵区耕地细碎化特征及其利用效率——以贵州省草海村为例 [J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(1): 104-113.
- [24] 唐文彬, 王佑汉, 李谦. 基于景观指数的耕地细碎化研究——以四川盆地5个典型村为例 [J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2019, 40(4): 413-419.
- [25] 陈铸, 傅伟聪, 黄钰麟, 等. 福州市土地利用景观格局变化及驱动力研究 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2020, 45(1): 99-107.
- [26] 戈大专, 龙花楼, 杨忍. 中国耕地利用转型格局及驱动因素研究——基于人均耕地面积视角 [J]. 资源科学, 2018, 40(2): 273-283.
- [27] 王国刚, 刘彦随, 陈秧分. 中国省域耕地集约利用态势与驱动力分析 [J]. 地理学报, 2014, 69(7): 907-915.
- [28] 杨春艳, 沈渭寿, 王涛. 近30年西藏耕地面积时空变化特征 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 264-271.
- [29] 车通, 罗云建, 李成. 扬州城市建设用地扩张的时空演变特征及其驱动机制 [J]. 生态学杂志, 2019, 38(6): 1872-1880.
- [30] 潘佩佩, 杨桂山, 王晓旭, 等. 典型经济快速发展区耕地变化区域分异研究 [J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(10): 1587-1596.
- [31] 周翔, 韩骥, 孟醒, 等. 快速城市化地区耕地流失的时空特征及其驱动机制综合分析——以江苏省苏锡常地区为例 [J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1191-1202.
- [32] 曲胜秋, 刘艳芳, 银超慧, 等. 1990—2015年福建省耕地变化的空间格局分析 [J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(4): 587-598.
- [33] SONG W, LIU M L. Farmland Conversion Decreases Regional and National Land Quality in China [J]. Land Degradation and Development, 2017, 28(2): 459-471.
- [34] 蔡汉, 朱权, 罗云建, 等. 快速城镇化地区耕地景观生态安全格局演变特征及其驱动机制 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2020, 44(5): 181-188.
- [35] 苏康传, 杨庆媛, 张佰林, 等. 山区农村土地利用转型与小农经济变迁耦合机理 [J]. 地理研究, 2019, 38(2): 399-413.
- [36] 雷金睿, 陈宗铸, 陈小花, 等. 1980—2018年海南岛土地利用与生态系统服务价值时空变化 [J]. 生态学报, 2020, 40(14): 4760-4773.
- [37] 王桂民, 陈聪, 曹光乔, 等. 中国耕地流转时空特征及影响因素分解 [J]. 农业工程学报, 2017, 33(1): 1-7.
- [38] 吕晓, 牛善栋, 李振波, 等. 中国耕地集约利用研究现状及趋势分析 [J]. 农业工程学报, 2015, 31(18): 212-224.

责任编辑 包颖