

引用格式: 张忠启, 沈正平. 江苏省耕地压力时空特征及变化趋势[J]. 资源科学, 2023, 45(3): 512-523. [Zhang Z Q, Shen Z P. Spatiotemporal characteristics and change of cultivated land pressure in Jiangsu Province[J]. Resources Science, 2023, 45(3): 512-523.] DOI:10.18402/resci.2023.03.04

# 江苏省耕地压力时空特征及变化趋势

张忠启, 沈正平

(江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 徐州 221116)

**摘要:**【目的】本文旨在查明江苏全省及各区域耕地压力的时空特征及变化趋势,为耕地资源合理利用和保护提供科学依据。【方法】选用压力指数模型、泰尔指数、灰色模型等方法,分析2000年、2005年、2010年、2015年和2020年5个年份的江苏耕地压力时空特征及影响因子,并对2025年、2030年进行预测。【结果】研究表明:①研究期内全省耕地压力指数处于0.94~1.07之间,总体处于预警压力区;全省耕地压力泰尔指数呈增加趋势,各市耕地压力空间分异增大,苏南、苏中、苏北区域之间极不平衡,由南至北快速降低。②在耕地压力的影响因子中,粮农比、人均耕地、粮食单产均达到极显著水平,其中粮农比起到决定性作用,说明在其他因子相对稳定的条件下,粮农比是全省粮食生产的关键变量。③趋势分析表明2025年、2030年全省耕地压力将缓慢下降,但仍处于预警压力区,其中无锡、常州2市耕地压力增加较快,其余各市均出现不同程度下降。【结论】江苏省耕地压力水平整体较高,且各区域间差异大,粮农比对耕地压力影响最大,这一结果对江苏省未来缓解耕地压力、保障粮食安全指明了方向。

**关键词:** 耕地压力; 时空特征; 粮食安全; 变化趋势; 江苏省

DOI: 10.18402/resci.2023.03.04

## 1 引言

面对百年变局、世纪疫情和俄乌冲突等深刻复杂变化的国际形势,中国只有筑牢粮食安全这一国家安全根基,才能有效抵御各类风险挑战<sup>[1,2]</sup>。耕地作为粮食生产的基本条件,其数量和质量变化对粮食生产具有关键性影响<sup>[3,4]</sup>。为确保国家粮食安全,2022年中央一号文件提出了更严格的耕地保护要求,明确落实“长牙齿”的耕地保护硬措施,耕地保护目标成为中央考核地方政府的刚性指标,实行一票否决、终身追责<sup>[5]</sup>。由于自然条件和社会经济发展状况不同,中国各地区耕地资源面临的压力存在差异<sup>[5,6]</sup>。查明区域耕地压力特征是科学制定耕地资源保护和保障粮食安全的重要基础。

中国国情决定了耕地保护的严肃性和艰巨性,多年来已有学者从不同角度开展了耕地与粮食安全的相关研究<sup>[7-9]</sup>。①关于耕地数量和质量的研究。

余振国等<sup>[10]</sup>总结了我国非农建设占用耕地趋势和耕地质量现状,分析了粮食安全与耕地的数量和质量关系。刘洪彬等<sup>[11]</sup>对耕地数量、质量和生态多维视角下东北黑土地现状进行了分析,发现建设占用是耕地数量减少的最大威胁,有机质补充缺乏是耕地质量退化的主要原因,水蚀风蚀是耕地生态环境的关键风险。Cheng等<sup>[12]</sup>基于2010年和2020年GlobeLand30数据研究了中国耕地资源总量、耕地开发利用程度、耕地利用率动态变化程度的时空变化特征,发现内蒙古和新疆的耕地面积增幅最大,而山东、河北、广东、河南和浙江的耕地面积降幅最大,全国耕地利用重心的时空迁移呈现西移北移趋势。②关于耕地变化驱动机制的研究。刘旭华等<sup>[13]</sup>在国家尺度上对各类型区的耕地变化驱动因素进行了定量分析,指出全国耕地变化是在地理背景制约下、气候系统和社会经济系统变化共同驱动下发

收稿日期: 2022-09-05; 修订日期: 2022-12-16

基金项目: 江苏省社会科学基金项目(21GLD004); 江苏高校优势学科建设工程资助项目。

作者简介: 张忠启,男,江苏丰县人,博士,副教授,主要从事耕地资源评价相关研究。E-mail: zhangzq128@126.com

通讯作者: 沈正平,男,江苏宝应县人,教授,主要从事经济地理与区域发展研究。E-mail: zhengpingshen@163.com

2023年3月

生的。Tweeten等<sup>[14]</sup>研究了美国1949—1992年耕地数量动态变化过程,发现城市化进程是影响山区和西部沿海地区土地利用和耕地数量变化的主要驱动力。张英男等<sup>[15]</sup>分析了黄淮海平原耕地时空特征及驱动机制,认为城镇化与工业化进程中人口和产业的转型对耕地功能演化及时空变化起到决定性作用。③关于耕地保护的研究。陈美球<sup>[16]</sup>认为提高全民耕地保护意识、完善耕地保护机制、培育耕地保护监管主体、加强耕地用途管制、加大保护性耕作技术应用等是实现耕地保护的现实路径。Xie等<sup>[17]</sup>研究认为,政府和农民都是耕地保护的主要参与者,政府应采用符合实际的动态补贴策略,激励农民保护耕地的积极性,才能真正实现耕地保护的可持续性。孔祥斌等<sup>[3]</sup>梳理了中国耕地保护政策动态演进过程,认为现行耕地保护制度主要围绕耕地数量保护展开,并开始向数量、质量、生态三位一体化保护的方向演进。

综上所述,中国耕地压力受到自然因素和社会经济因素的共同影响,耕地保护逐渐走向全面和可持续。从研究的区域看,当前研究多集中在全国粮食主产区,如东北地区,以及河南、山东等产粮大省。江苏作为经济发达省份,虽然土地面积较小,但省内耕地面积占比全国最高,粮食产量一直位居全国前列。2021年江苏省粮食产量达3746.1万t,接近最大产粮省份——黑龙江省的一半<sup>[18]</sup>,在实现全省粮食自给的基础上,还就近向上海、浙江、福建等省份供应大量商品粮,为国家粮食安全做出了重要贡献,习近平总书记称赞“这对一个东部沿海省份来说很不简单”。相较于其他产粮大省,江苏人多地少,工业化、城镇化发展快且水平高,长期以来存在耕地保护的巨大压力。随着工业化、城镇化的深入发展和生育政策的全面放开,江苏人地矛盾和粮食产销形势将会十分紧张。《江苏“十四五”规划纲要》提出到2025年全省耕地保有量完成国家下达指标,粮食综合生产能力大于740亿斤,均为约束性指标。为了确保这两项指标的如期达成,继续为国家粮食安全作出江苏贡献,深化耕地压力研究势在必行。本文聚焦耕地压力,选取2000年、2005年、2010年、2015年、2020年等5个年份,对江苏全省及

各地区耕地压力时空特征及影响因子进行定量分析,并在此基础上预测2025年、2030年耕地压力变化趋势,以期为加强耕地安全和粮食安全提供决策参考依据。

## 2 研究区概况、数据来源与研究方法

### 2.1 研究区概况

江苏为中国东部沿海省份,地处116°21'E—121°56'E,30°45'N—35°08'N,分别与上海市、浙江省、安徽省、山东省接壤。全省陆地面积 $10.7\times 10^4$  km<sup>2</sup>,占全国1.12%;常住人口8477万人,占全国6.0%。地跨长江、淮河两大水系,湖泊众多,地势平坦,全省耕地 $408.5\times 10^4$  hm<sup>2</sup>,占土地总面积38.2%。全省属于东亚季风气候区,处在亚热带和暖温带的气候过渡地带,年降水量为704~1250 mm,雨热同期且充沛,农业生产条件得天独厚,是中国产粮大省之一,2021年粮食产量连续8年超 $3.5\times 10^8$  kg<sup>[19]</sup>,自给有余。全省下辖苏州、无锡、常州、南京、镇江、扬州、泰州、南通、徐州、淮安、盐城、连云港和宿迁13个地级市,其经济总量(GDP)全部进入全国百强,综合实力百强县数量多年位居全国第一,地区发展与民生指数(DLI)居全国省域第一<sup>[20]</sup>,但人均耕地仅约0.048 hm<sup>2</sup>,只有全国平均水平的53%。受地理环境、区位条件和历史文化等因素影响,区域发展存在明显不平衡不充分问题。苏南地区凭借多种优势成为中国现代化建设示范区,但人地矛盾问题突出,2020年人均耕地不足0.020 hm<sup>2</sup>,耕地压力问题突出;另一方面,苏中、苏北地区发展还不够充分,与苏南差距较大,而耕地压力相对缓和,人均耕地分别为0.046 hm<sup>2</sup>和0.087 hm<sup>2</sup>。

### 2.2 数据来源

本文选取2000年、2005年、2010年、2015年、2020年等5个代表性年份,数据源于相应年份后一年的江苏统计年鉴、江苏省农村统计年鉴及各市统计年鉴。耕地压力指数计算采用人口数量、人均耕地面积、农作物种植面积、粮食播种面积、粮食单产、复种指数等5个变量,其中人均耕地面积、复种指数经计算而得;耕地压力指数的影响因子分析采用人均耕地面积、粮农比(即粮食播种面积与农作物总面积的比值)、粮食单产、化肥施用量、农民人

均可支配收入和城市化水平等6个变量,其中粮农比由计算得到,其他变量数据来自官方发布的国民经济和社会发展统计公报。

## 2.3 研究方法

### 2.3.1 区域划分

本文在空间分析上采用全省、区域、市域3种尺度。其中,区域划分为苏南、苏中、苏北3个地区,苏南地区包括南京、无锡、常州、苏州和镇江5市,全部位于长江以南;苏中地区包括南通、扬州和泰州3市,主要处在长江和淮河之间;苏北地区包括徐州、淮安、盐城、连云港、宿迁5市,主要位于淮河以北<sup>[21]</sup>。

### 2.3.2 耕地压力指数模型

耕地压力指数是衡量一个地区在满足粮食生产情况下耕地资源紧张程度的重要指标。本文通过该指数来表征江苏全省及13个设区市的耕地资源压力演变状况。耕地压力指数实际上是最小人均耕地面积与实际人均耕地面积的比值<sup>[5,22]</sup>,其具体公式为:

$$K = S_{\min} / S_a \quad (1)$$

式中: $K$ 为耕地压力指数; $S_{\min}$ 为最小人均耕地面积( $\text{hm}^2$ ); $S_a$ 为实际人均耕地面积( $\text{hm}^2$ )。  $K$ 值越大,表明耕地压力越大。根据 $K$ 值大小,将耕地压力水平划分为5个区间:  $0.0 < K < 0.9$  为安全压力区,  $0.9 \leq K < 1.0$  为预警压力区,  $1.0 \leq K < 1.5$  为轻度压力区,  $1.5 \leq K < 2.0$  为中度压力区,  $K \geq 2.0$  为高度压力区<sup>[23]</sup>。

最小人均耕地面积( $S_{\min}$ )是指在一定区域范围内,为了满足该区域内人们维持正常生活粮食消费需求所需的耕地面积,即为了保障该区域粮食安全所需的耕地面积底线,是食物自给率、食物消费水平、食物综合生产能力等因子的函数。最小人均耕地面积的公式如下:

$$S_{\min} = \beta \frac{C}{pqk} \quad (2)$$

式中: $\beta$ 为粮食自给率(%); $C$ 为人均粮食需求量( $\text{kg}$ ),本文选择国际公认的400 kg粮食安全线作为计算依据<sup>[24]</sup>;  $p$ 为单位面积粮食产量( $\text{kg}/\text{hm}^2$ );  $q$ 为粮农比; $k$ 为复种指数(%)。

### 2.3.3 耕地压力空间分异泰尔指数

引入泰尔指数( $T$ )测度江苏全省和苏南、苏中和苏北各区域耕地压力在空间上的整体差异性<sup>[25,26]</sup>。

其计算公式如下:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{\mu} \ln \frac{K_i}{\mu} \quad (3)$$

式中: $n$ 为设区市个数; $K_i$ 为第 $i$ 个设区市的耕地压力指数; $\mu$ 为全部设区市的耕地压力指数平均值。 $T$ 值大于等于0, $T$ 值越大,表明各市之间的耕地压力差异越大。

### 2.3.4 耕地压力影响因子分析

为找出影响耕地压力变动的关键因素,本文参考张慧等<sup>[25]</sup>和罗海平等<sup>[9]</sup>构建的中国耕地压力影响因子模型,充分考虑耕地生产力和社会经济因素对耕地压力可能产生的影响,选取人均耕地面积、粮农比、粮食单产、化肥施用量、农民人均可支配收入和城市化水平6个代表性因子构建影响因素回归模型,对全省及各区域的耕地压力指数的影响进行分析,探讨各因子对耕地压力的影响程度。模型公式为:

$$\ln K_t = \beta_0 + \beta_1 \ln A_t + \beta_2 \ln G_t + \beta_3 \ln Y_t + \beta_4 \ln F_t + \beta_5 \ln I_t + \beta_6 \ln U_t + e_t \quad (4)$$

式中: $K_t$ 为第 $t$ 年的耕地压力指数; $\beta_0$ 为常数项; $A_t$ 为人均耕地面积; $G_t$ 为粮农比; $Y_t$ 为粮食单产; $F_t$ 为化肥施用量; $I_t$ 为农民人均可支配收入; $U_t$ 城市化水平6个影响因素的回归系数; $\beta_1 - \beta_6$ 分别为各变量的回归系数; $e_t$ 为随机误差项。

### 2.3.5 耕地压力预测的GM(1,1)模型

通过灰色系统模型可对全省及各市未来耕地压力进行预测。灰色系统模型是一种可对含有已知信息和未知信息的系统进行预测的模型,在预测未来耕地压力指数时较为可靠<sup>[27,28]</sup>。本文基于2000年、2005年、2010年、2015年、2020年等5个年份的耕地压力指数,运用灰色GM(1,1)预测模型对2025年和2030年全省和各市的耕地压力指数进行预测,其表达式如下:

$$X_t^1 = \left[ X(1) - \frac{o}{m} \right] e^{-mt} + \frac{o}{m} \quad (5)$$

式中: $X$ 为原始数据序列; $m$ 为发展系数,用来控制系统发展态势的大小; $o$ 为灰色作用量,用来反映资料变化的关系。预测模型采用残差检验,  $\varepsilon(j) = \frac{x^0(j) - \hat{x}^0(j)}{x^0(j)}$  ( $j=1, 2, \dots, J$ ), 若 $\varepsilon(j) \leq 0.1$ ,表明模型优良;若 $0.1 < \varepsilon(j) \leq 0.2$ ,表明模型较好;若 $\varepsilon(j) > 0.2$ 时,表明



2023年3月

模型不合格。

3 结果与分析

3.1 全省及各地区耕地与粮食生产状况

2020年江苏全省及各地区耕地和粮食生产情况如表1所示。可以看出,全省耕地分布极不均衡,苏北地区耕地占比最高,达到全省耕地面积的63.6%;其次是苏中地区,占全省耕地面积的18.8%;而苏南地区仅占全省的17.6%。从各区域粮食产量来看,苏北地区粮食产量占全省总产量的65.5%,与其耕地面积占比较为一致;苏中地区粮食产量占全省的23.9%,高于其耕地面积占比,这与该地区较高的粮食单产和粮食播种面积占耕地面积较大密切相关;苏南地区的粮食产量占全省的比例仅为10.6%,远低于其耕地占比,这与该地区城市密集、蔬菜瓜果种植面积较大而粮食种植面积相对较小等因素有关。从各市来看,盐城和淮安的耕地占比最高,分别达到16.2%和15.6%,其粮食产量的比重分别高达18.8%和12.9%;而无锡和常州的耕地面积占比最小,分别仅为2.7%和2.9%,粮食产量也分别低至1.3%和1.8%。

3.2 全省及各地区耕地压力指数

依据耕地压力模型及相关数据,得到2000年、2005年、2010年、2015年和2020年的全省及各设区市耕地压力指数如表2所示。全省耕地压力指数在

1.00上下波动,其中自2000年的0.94上升至2005年的1.07,压力水平由预警压力上升为轻度压力水平,之后整体呈下降趋势,均在0.90~1.00之间,处于预警压力水平,表明江苏省当前实际人均耕地面积仅略高于最小人均耕地面积,从粮食生产角度看面临一定的潜在风险。从各地区看,苏南地区的耕地压力指数最高,其中无锡市近些年的耕地压力指数最大,自2000年的1.29一直增长至2020年的2.34,其压力水平也由轻度上升至中度和高度压力水平;南京和苏州两市耕地压力指数一直较高,大多数年份均处于中度压力水平及以上;镇江市各年份耕地压力指数在苏南地区各市中耕地压力最小。苏中地区由于经济发展水平和人口密度明显低于苏南地区,其耕地压力指数也明显低于苏南。其中,南通市的耕地压力相对较大,各年份的耕地压力指数均高于1.00,处于轻度压力区。扬州市的耕地压力指数最低,处于0.63~0.77之间,属于安全压力区;泰州市耕地压力指数略高于扬州市,处于0.73~0.84,属于安全压力区。苏北地区耕地面积最大,且经济发展水平落后于苏中和苏南地区,故其耕地压力在各地区中最小,其中徐州市的耕地压力指数相对较大,由2000年1.14、2005年1.27逐渐降至2020年的1.00左右,整体上处于轻度压力区。其他各市的耕地压力指数均处于安全压力区,其中淮安市的耕地

表1 2020年江苏省各地区耕地和粮食生产情况统计

Table 1 Statistics of cultivated land and grain production in various regions of Jiangsu Province, 2020

区域	城市	面积/km <sup>2</sup>	人口/万人	耕地面积占全省比例/%	粮食产量占全省比例/%
苏南	苏州	8675	1275.0	4.4	2.3
	无锡	4627	746.4	2.7	1.3
	常州	4372	528.0	2.9	1.8
	南京	6587	932.0	4.5	2.6
	镇江	3840	321.1	3.1	2.5
苏中	扬州	6591	456.1	5.6	7.6
	泰州	5788	451.7	5.7	7.4
	南通	10549	772.8	7.5	9.0
苏北	徐州	11756	908.4	11.8	13.3
	淮安	10030	455.9	15.6	12.9
	盐城	16931	671.1	16.2	18.8
	连云港	7616	459.9	7.5	9.7
	宿迁	8524	498.6	12.5	10.8
全省		107200	8477.0	100.0	100.0

表2 2000—2020年江苏省各地区不同时期耕地压力指数

Table 2 Pressure index of cultivated land in different periods in various regions of Jiangsu Province, 2000-2020

区域	城市	年份	实际人均耕地面积/(hm <sup>2</sup> /人)	最小人均耕地面积/(hm <sup>2</sup> /人)	耕地压力指数K	耕地压力水平
全省		2000	0.068	0.064	0.94	预警压力区
		2005	0.063	0.067	1.07	轻度压力区
		2010	0.060	0.058	0.97	预警压力区
		2015	0.055	0.054	0.99	预警压力区
		2020	0.054	0.052	0.96	预警压力区
苏南	苏州	2000	0.052	0.085	1.63	中度压力区
		2005	0.041	0.077	1.89	中度压力区
		2010	0.040	0.061	1.52	中度压力区
		2015	0.035	0.055	1.58	中度压力区
		2020	0.031	0.054	1.73	中度压力区
	无锡	2000	0.040	0.052	1.29	轻度压力区
		2005	0.033	0.059	1.76	中度压力区
		2010	0.029	0.056	1.91	中度压力区
		2015	0.029	0.060	2.06	高度压力区
		2020	0.027	0.064	2.34	高度压力区
	常州	2000	0.065	0.053	0.82	安全压力区
		2005	0.055	0.061	1.12	轻度压力区
		2010	0.047	0.050	1.06	轻度压力区
		2015	0.040	0.050	1.22	轻度压力区
		2020	0.039	0.060	1.52	中度压力区
	南京	2000	0.056	0.078	1.39	轻度压力区
		2005	0.041	0.095	2.31	高度压力区
		2010	0.038	0.076	1.98	中度压力区
		2015	0.037	0.069	1.87	中度压力区
		2020	0.032	0.064	1.98	中度压力区
	镇江	2000	0.068	0.054	0.79	安全压力区
		2005	0.065	0.064	0.99	预警压力区
		2010	0.063	0.050	0.79	安全压力区
		2015	0.063	0.047	0.75	安全压力区
		2020	0.059	0.047	0.80	安全压力区
苏中	扬州	2000	0.070	0.053	0.76	安全压力区
		2005	0.067	0.052	0.77	安全压力区
		2010	0.065	0.044	0.67	安全压力区
		2015	0.064	0.040	0.63	安全压力区
		2020	0.065	0.042	0.64	安全压力区
	泰州	2000	0.064	0.053	0.84	安全压力区
		2005	0.063	0.052	0.83	安全压力区
		2010	0.063	0.045	0.73	安全压力区
		2015	0.061	0.044	0.73	安全压力区
		2020	0.060	0.046	0.77	安全压力区
	南通	2000	0.062	0.066	1.08	轻度压力区
		2005	0.061	0.074	1.21	轻度压力区
		2010	0.058	0.066	1.14	轻度压力区

续表 2

区域	城市	年份	实际人均耕地面积/(hm <sup>2</sup> /人)	最小人均耕地面积/(hm <sup>2</sup> /人)	耕地压力指数K	耕地压力水平
苏北	南通	2015	0.058	0.062	1.08	轻度压力区
		2020	0.052	0.058	1.12	轻度压力区
	徐州	2000	0.068	0.078	1.14	轻度压力区
		2005	0.065	0.082	1.27	轻度压力区
		2010	0.063	0.062	0.99	预警压力区
		2015	0.059	0.060	1.01	轻度压力区
		2020	0.059	0.059	1.00	轻度压力区
	淮安	2000	0.097	0.055	0.57	安全压力区
		2005	0.092	0.052	0.56	安全压力区
		2010	0.091	0.044	0.48	安全压力区
		2015	0.087	0.043	0.49	安全压力区
		2020	0.089	0.041	0.47	安全压力区
	盐城	2000	0.100	0.065	0.65	安全压力区
		2005	0.097	0.067	0.69	安全压力区
		2010	0.096	0.057	0.60	安全压力区
		2015	0.094	0.050	0.53	安全压力区
		2020	0.103	0.049	0.47	安全压力区
	连云港	2000	0.083	0.062	0.75	安全压力区
		2005	0.079	0.050	0.64	安全压力区
		2010	0.074	0.044	0.59	安全压力区
		2015	0.071	0.044	0.59	安全压力区
		2020	0.073	0.043	0.57	安全压力区
	宿迁	2000	0.089	0.057	0.64	安全压力区
		2005	0.084	0.056	0.68	安全压力区
		2010	0.080	0.045	0.57	安全压力区
		2015	0.074	0.044	0.60	安全压力区
		2020	0.073	0.044	0.60	安全压力区

压力最小,其所有年份的压力指数均低于0.60;盐城和宿迁两市的耕地压力指数均未超过0.70,略高于淮安。可以看出,江苏省耕地压力呈现自南往北快速降低的趋势特征(图1),主要原因在于苏南地区工业化和城镇化一直走在全省和全国前列,使得耕地受到大量挤占,耕地压力最高;苏北地区工业化和城镇化水平相对较低,且地域辽阔,后备耕地资源丰富,耕地压力最小,是全省粮食生产的主阵地;苏中地区工业化和城镇化水平处于苏南和苏北之间,故其耕地压力也居于两地区之间。

3.3 全省耕地压力空间分异泰尔指数

通过泰尔指数测度的江苏省及各地区耕地压力空间分异特征如图2所示。可以看出,全省耕地压力空间差异性随时间呈逐渐上升趋势,由2000年

的0.29上升至2020年的0.49,表明各设区市之间的耕地压力指数之间差异呈现扩大趋势。苏南地区的泰尔指数先升高后下降,这主要是因为该区域内各城市的耕地压力指数增幅差别较大,拉大了区域内各市耕地压力之间的差异;而2010年之后,常州市的耕地压力指数快速增加,使之与无锡、南京、苏州等市的差异大幅减小,进而降低了区域内耕地压力指数的整体差异性。苏中地区的耕地压力泰尔指数也呈现先增加后降低的趋势,这是由于南通市耕地压力指数初始值较高,且2000—2010年期间南通耕地压力增幅相对较大,而扬州和泰州两市的耕地压力指数呈现较大幅度的下降,造成了3市之间耕地压力的差异程度增大;而2010年之后,南通市通过增加粮农比使得耕地压力指数逐渐回落,缩小

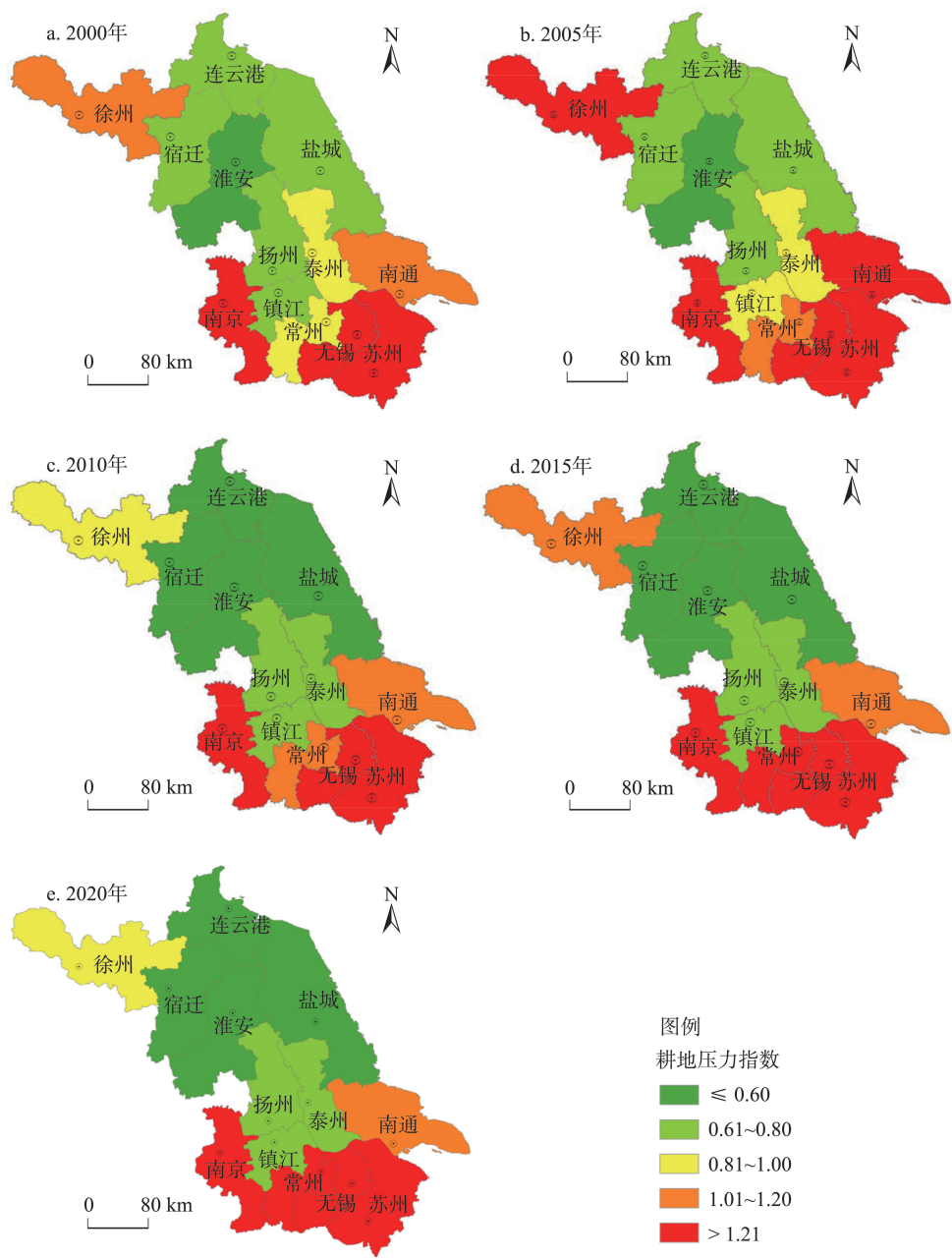


图1 2000—2020年江苏省各设区市耕地压力空间分布图

Figure 1 Spatial distribution of cultivated land pressure in the cities of Jiangsu Province, 2000-2020

了与其他两市之间的差异,进而造成了泰尔指数的降低。苏北地区耕地压力的泰尔指数在0.25左右波动,2000年至2005年泰尔指数由0.22上升至0.28,这主要是由于这5年间苏北各市的耕地面积普遍出现减少,徐州和盐城两市的降幅相对较大,造成各市之间耕地压力指数差距拉大;随着耕地保护措施的升级,同时粮食单产也多年持续提升,苏北各市的耕地压力指数均出现明显下降,其中压力

指数较高的徐州市下降幅度高于其他4市,使得各市之间耕地压力差异减小,故苏北地区2010年泰尔指数回落至0.23;2010年之后,徐州市的耕地压力指数稳定在1.00左右,苏北其他各市逐步下降,故2015年和2020年苏北耕地压力泰尔指数又逐渐回升至0.24和0.26。

3.4 全省及各地区耕地压力主要影响因素

基于人均耕地面积、粮农比、粮食单产、化肥施

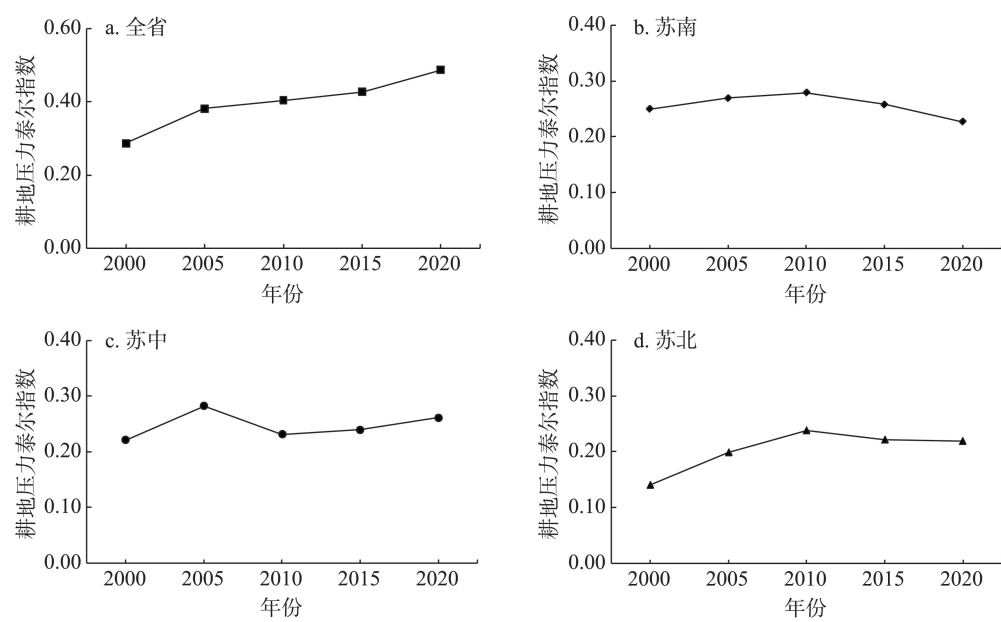


图2 2000—2020年江苏省及不同地区耕地压力泰尔指数

Figure 2 Theil index of cultivated land pressure in Jiangsu Province and its three regions, 2000-2020

用量、农民人均可支配收入和城市化水平等影响因子数据,江苏省及各区域的耕地压力多元回归分析结果如表3所示。从全省范围看,粮农比、人均耕地和粮食单产对耕地压力的影响达到极显著水平( $p<0.01$ ),其中粮农比的系数绝对值最高,达到2.048,说明对于全省耕地面积变化不大的情况下,增加粮农比是减轻耕地压力、保障粮食安全的最有效路径。化肥施用量对耕地压力的影响达到显著水平( $p<0.05$ ),但影响不及上述几个因子。从苏南地区看,人均耕地面积、粮农比和粮食单产对耕地压力

的影响达到极显著水平( $p<0.01$ ),其他各因子影响不显著。除了上述3个因子对苏中地区耕地压力影响也达到极显著外( $p<0.01$ ),城市化水平的影响也达到了极显著影响( $p<0.01$ ),这是因为相对于苏南地区,苏中地区近20年城市化进程快速推进,城镇建设用地扩张对耕地产生了挤压作用,对耕地压力影响较大。相对于苏南和苏中地区而言,苏北地区除人均耕地面积和粮农比影响达到极显著外( $p<0.01$ ),化肥施用量的影响仅达到了显著水平( $p<0.05$ ),这说明苏北地区由于耕地面积集中,在农业

表3 江苏省及各地区耕地压力指数影响因素回归分析

变量	全省	苏南	苏中	苏北
人均耕地面积	-0.723**	-1.477**	-0.488**	-0.442**
粮农比	-2.048**	-2.603**	-1.310**	-1.278**
粮食单产	0.001**	-0.003**	-0.002**	0.001
化肥施用量	0.010*	0.010	-0.004	0.011*
农民人均可支配收入	$2.076\times10^{-6}$	$1.974\times10^{-6}$	0.001	0.001
城市化水平	0.004	0.001	0.005**	-0.002
常数项	2.997**	4.814	3.237	2.062
Adjusted R	0.892	0.892	0.988	0.915
F-statistic	89.126	34.122	193.403	43.881
Prob.(F)	0.000	0.000	0.000	0.000

注: \*、\*\*分别代表估计量在0.05和0.01水平下的显著。



管理由粗放到精细的转变过程中,化肥施用量对粮食增产起到了重要作用,但化肥施用量的影响明显弱于前两因子,而在苏南和苏中地区对耕地压力的未达到显著水平,表明现阶段化肥投入增加对粮食增产的边际效应接近极限,靠化肥投入对粮食增产不可持续。整体上看,粮农比和人均耕地面积对于全省及各地区耕地压力和粮食安全最为重要,其中粮农比是影响粮食产量的关键变量,这充分说明在一定时期内粮食单产难以快速提高的前提下,提升粮农比和严守耕地红线是确保江苏粮食安全的最关键举措。

### 3.5 全省及各地区耕地压力预测

基于2000年、2005年、2010年、2015年和2020年全省和各设区市耕地压力指数,利用GM(1,1)模型对2025年和2030年耕地压力指数的预测结果如图3所示。经残差检验,模型对前5个时段的预测残差均小于0.1,表明模型预测结果较为可靠。从预测结果看,江苏省耕地压力整体上呈现缓慢下降趋势,2025年和2030年耕地压力指数 $K$ 值分别为0.92和0.90,依然处在预警压力区间。省内各地区间耕地压力的差异难以缩小。苏南地区由于产业规模大和城市化水平高,且还处于不断强化过程中,未来10年的耕地压力依然巨大,其中无锡市的耕地压力持续上升,2025和2030年的 $K$ 值将超过2.5,处于高度压力区;常州、南京和苏州3市的 $K$ 值处于1.5至2.0之间,处于中度压力区;镇江市的耕地压力依然较小, $K$ 值分别为0.68和0.63,仍处于安全压力

区。未来10年苏中地区的耕地压力大幅低于苏南地区,其中南通市耕地压力指数出现回落趋势,但 $K$ 值在2025年和2030年分别为1.05和1.02,依然处于轻度压力区间,明显高于扬州和泰州两市。苏北地区各市耕地压力在未来10年均出现不同程度的下降,5个设区市的 $K$ 值均在0.9以下,处于安全压力区,其中徐州市的耕地压力相对较大,2025年和2030年耕地压力指数略低于0.9,而淮安和盐城两市的耕地压力最低,其耕地压力指数均低于0.5,连云港和宿迁两市的耕地压力指数居中,处于0.5~0.6之间。苏北地区的耕地压力指数下降主要得益于各市坚持实行最严格的耕地保护政策,同时苏北地区为改善农民居住条件,近些年开始统筹推进集中居住,对原分散村落进行整理复垦,使得耕地持续增加,对降低耕地压力指数具有重要贡献。

## 4 结论与政策建议

### 4.1 结论

本文分析了不同时段江苏全省及各地区耕地压力时空演变特征,揭示了其影响因素,并对未来耕地压力指数进行了预测。主要得出以下结论:

(1)全省耕地压力指数除2005年外均在0.90~1.00之间,整体上处于预警压力区。各地区间耕地压力极不平衡,苏南地区在各年份均大幅高于苏中和苏北地区。随着时间变化,苏南的耕地压力整体上呈上升趋势,苏中的耕地压力整体上呈先上升后降低趋势,而苏北各市耕地压力均呈缓慢下降。全省耕地压力的空间分异持续增大。

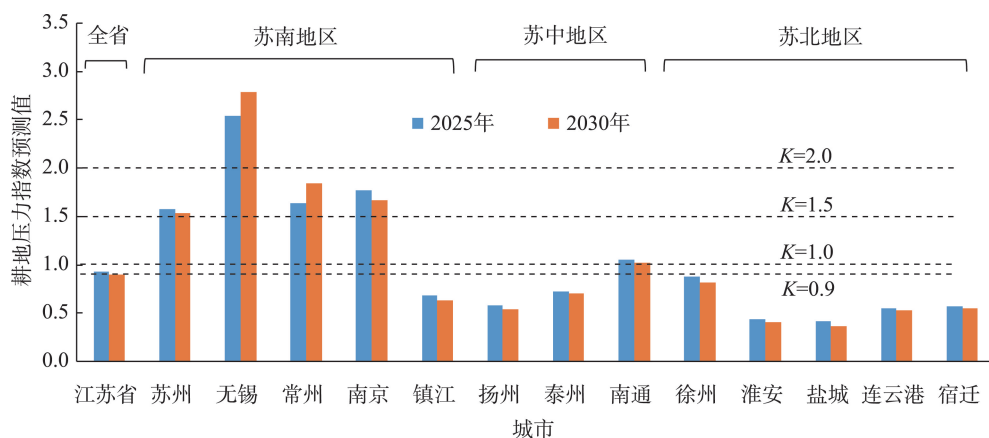


图3 2025、2030年江苏省及各地区耕地压力预测结果

Figure 3 Prediction of cultivated land pressure in Jiangsu Province and various regions and cities, 2025 and 2030

2023年3月

(2)全省及各地区耕地压力的影响因子分析表明,粮农比对全省和各区域耕地压力的影响最大,均达到了极显著水平( $p<0.01$ );其次是粮食单产,对全省和苏南、苏中地区的影响也分别达到了极显著水平( $p<0.01$ )。此外,城市化水平和化肥施用量分别对苏中和苏北地区耕地压力的影响达到了极显著影响( $p<0.01$ )和显著水平( $p<0.05$ ),而农民人均可支配收入对耕地压力的影响未达到显著水平。研究表明,稳定和提升粮农比对于缓解区域耕地压力及保障粮食产量尤为关键,这对长三角地区乃至东部沿海经济发达地区同样具有重要参考意义。

(3)全省耕地压力未来10年将呈现缓慢下降趋势,但耕地压力依然处在预警压力区。苏南、苏中和苏北3个地区之间的耕地压力变化趋势不同,苏南地区的耕地压力依然远高于苏中和苏北地区,除镇江外,其余4市均处于中度或高度压力区。苏中地区各市的耕地压力均逐步下降,其中扬州和泰州两市稳定在安全压力区,而南通市依然处于轻度压力区。苏北地区耕地压力依然在全省各区域中最小,5市耕地压力将逐步下降,且全部进入安全压力区。

#### 4.2 政策建议

耕地压力计算结果表明,江苏全省耕地压力整体处于预警压力区,为减缓耕地压力,应当采取以下措施:

(1)稳定并适度提升耕地的粮农比。全省要确保粮食播种面积,逐级压紧压实生产任务,通过有力措施鼓励和引导农民和种粮大户,扩大粮食作物种植面积比例;在一些传统经济作物种植区,着力优化农作制度,引导实施粮经结合高效模式,提高农田复种指数,增加粮食播种面积。

(2)确保人均耕地面积不下降。随着全省人口的持续增长,为使人均耕地面积不下降,必须在稳定当前耕地面积的基础上,尽可能地通过土地整理复垦等手段增加全省耕地面积,尤其是苏北地区应以实施农民集中居住为契机,有效推进农村居民点整理复垦工作。

(3)持续在粮食单产上做文章。江苏人均耕地面积十分有限,在适度增加粮农比的同时,必须依靠提升单产达到粮食总产量增加目标。各地应在

加快高标准农田建设的基础上,通过引导农民选择优良品种,实行配方施肥,围绕耕、整、播、收等环节实施精细化管理等措施,真正实现“藏粮于地、藏粮于技”。此外,各地还要认真落实国家和省份制定的粮食生产各项扶持政策,制定配套发展措施,充分调动种粮主体的积极性,促进全省粮食产量持续增长,进一步减缓耕地压力,提高全省粮食保障能力,全方位夯实粮食安全之基。

#### 参考文献(References):

- [1] 梁鑫源, 金晓斌, 韩博, 等. 藏粮于地背景下国家耕地战略储备制度演进[J]. 资源科学, 2022, 44(1): 181–196. [Liang X Y, Jin X B, Han B, et al. Evolution of the national cultivated land strategic reserve system under the background of storing grain in the land [J]. Resources Science, 2022, 44(1): 181–196.]
- [2] 仇焕广, 雷馨圆, 冷淦潇, 等. 新时期中国粮食安全的理论辨析[J]. 中国农村经济, 2022, 38(7): 2–17. [Qiu H G, Lei X Y, Leng G X, et al. A comprehensive theoretical analysis of grain security in the new era[J]. Chinese Rural Economy, 2022, 38(7): 2–17.]
- [3] 孔祥斌, 陈文广, 温良友. 以耕地资源三个安全构筑大国粮食安全根基[J]. 农业经济与管理, 2022, 13(3): 1–12. [Kong X B, Chen W G, Wen L Y. Building foundation of China's grain security with three security of cultivated land resources[J]. Agricultural Economics and Management, 2022, 13(3): 1–12.]
- [4] Kuang W H, Liu J Y, Tian H Q, et al. Cropland redistribution to marginal lands undermines environmental sustainability[J]. National Science Review, 2022, 9(1): 66–78.
- [5] 张颖诗, 冯艳芬, 王芳, 等. 广东省耕地非粮化的时空分异及其驱动机制[J]. 资源科学, 2022, 44(3): 480–493. [Zhang Y S, Feng Y F, Wang F, et al. Spatiotemporal differentiation and driving mechanism of cultivated land non-grain conversion in Guangdong Province[J]. Resources Science, 2022, 44(3): 480–493.]
- [6] 王艳, 张安录. 长江经济带耕地压力时空演变规律与趋势[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(2): 461–471. [Wang Y, Zhang A L. Temporal and spatial evolution and trend of cultivated land pressure in the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(2): 461–471.]
- [7] 于昊辰, 曾思燕, 王庆宾, 等. 多情景模拟下新时代中国耕地保护底线预测[J]. 资源科学, 2021, 43(6): 1222–1233. [Yu H C, Zeng S Y, Wang Q B, et al. Forecast on China's cultivated land protection baseline in the new era by multi-scenario simulations [J]. Resources Science, 2021, 43(6): 1222–1233.]
- [8] 杜国明, 薛濡壕, 于凤荣. 耕地集约利用转型的理论解析[J]. 资源科学, 2022, 44(3): 425–435. [Du G M, Xue R H, Yu F R. Theoretical analysis of the transformation of intensive land use [J]. Resources Science, 2022, 44(3): 425–435.]

- retical analysis of farmland intensive use transition[J]. *Resources Science*, 2022, 44(3): 425–435.]
- [9] 罗海平, 何志文, 周静逸. 粮食主产区耕地压力时空分异及驱动因子识别[J]. *统计与决策*, 2022, 38(4): 79–83. [Luo H P, He Z W, Zhou J Y. Spatial and temporal variation of cultivated land pressure in major grain producing areas and identification of driving factors[J]. *Statistics & Decision*, 2022, 38(4): 79–83.]
- [10] 余振国, 胡小平. 我国粮食安全与耕地的数量和质量关系研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2003, 19(3): 45–49. [Yu Z G, Hu X P. Research on the relation of food security and cultivated land's quantity and quality in China[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2003, 19(3): 45–49.]
- [11] 刘洪彬, 李顺婷, 吴梦瑶, 等. 耕地数量、质量、生态“三位一体”视角下我国东北黑土地保护现状及其实现路径选择研究[J]. *土壤通报*, 2021, 52(3): 544–552. [Liu H B, Li S T, Wu M Y, et al. Current situation and perspectives of black soil protection from the integrated angle of quantity, quality, and ecology in Northeast China[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52(3): 544–552.]
- [12] Cheng H, Wang X W, Chen D L, et al. Research on spatial-temporal variations of cultivated land in China based on globeland30[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2022, 10: 1–11.
- [13] 刘旭华, 王劲峰, 刘纪远, 等. 国家尺度耕地变化驱动力的定量分析方法[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(4): 56–60. [Liu X H, Wang J F, Liu J Y, et al. Quantitative analysis approaches to the driving forces of cultivated land changes on a national scale[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2005, 21(4): 56–60.]
- [14] Tweeten L G, Amponsah W A. Alternatives for small farm survival: government policies versus the free market[J]. *Journal of Agricultural & Applied Economics*, 1996, 28(1): 88–94.
- [15] 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. [Zhang Y N, Long H L, Ge D Z, et al. Spatio-temporal characteristics and dynamic mechanism of farmland functions evolution in The Huang-Huai-Hai Plain[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 518–534.]
- [16] 陈美球. 构建耕地共同保护机制: 理论基础、制约因素与实现路径[J]. *农业经济与管理*, 2022, 13(3): 13–19. [Chen M Q. Construction of common protection mechanism of cultivated land: theoretical basis, restrictive factors and realization path[J]. *Agricultural Economics and Management*, 2022, 13(3): 13–19.]
- [17] Xie H, Wang W, Zhang X. Evolutionary game and simulation of management strategies of fallow cultivated land: A case study in Hunan province, China[J]. *Land Use Policy*, 2018, 71: 86–97.
- [18] 刘媛, 朱方林, 张露. 新形势下江苏省提高粮食有效供给能力的对策研究[J]. *江西农业学报*, 2022, 34(9): 225–230. [Liu Y, Zhu F L, Zhang L. Study on countermeasures of improving grain effective supply capacity in Jiangsu Province under new situation[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2022, 34(9): 225–230.]
- [19] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴 2021[M]. 中国统计出版社, 2021. [Jiangsu Provincial Bureau of Statistics. *Jiangsu Statistical Yearbook of 2021*[M]. China Statistics Press, 2021.]
- [20] 马晓冬, 胡颖, 黄彪. 江苏省乡村绿色发展的时空特征及影响因素[J]. *经济地理*, 2022, 42(4): 159–167. [Ma X D, Hu Y, Huang B. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of rural green development in Jiangsu Province[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(4): 159–167.]
- [21] 仇蕾, 崔韵文. 江苏省生态足迹动态分解及区域差异[J]. *长江流域资源与环境*, 2018, 27(6): 1388–1396. [Qiu L, Cui Y W. Analysis on the dynamic decomposition of ecological footprint and its regional difference in Jiangsu Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(6): 1388–1396.]
- [22] 陈薇, 张跃. 安徽省耕地压力分析及趋势预测[J]. *干旱区地理*, 2010, 33(5): 831–836. [Chen W, Zhang Y. Analysis and trend forecast of cultivated land pressure in Anhui Province[J]. *Arid Land Geography*, 2010, 33(5): 831–836.]
- [23] 张文信, 张惠中, 程伟亚, 等. 山东省耕地压力指数动态分析与预测[J]. *山东农业大学学报(自然科学版)*, 2021, 52(4): 654–659. [Zhang W X, Zhang H Z, Cheng W Y, et al. Dynamic analysis and prediction for the cultivated land pressure index in Shandong Province[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2021, 52(4): 654–659.]
- [24] 唐华俊, 李哲敏. 基于中国居民平衡膳食模式的人均粮食需求量研究[J]. *中国农业科学*, 2012, 45(11): 2315–2327. [Tang H J, Li Z M. Study on per capita grain demand based on Chinese reasonable dietary pattern[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2012, 45(11): 2315–2327.]
- [25] 张慧, 王洋. 中国耕地压力的空间分异及社会经济因素影响[J]. *地理研究*, 2017, 36(4): 731–742. [Zhang H, Wang Y. Spatial differentiation of cropland pressure and its socio-economic factors in China[J]. *Geographical Research*, 2017, 36(4): 731–742.]
- [26] 罗文斌, 楚雪莲, 唐沛, 等. 城市公园用地增长的时空分异及其驱动因素: 基于湖南省城市面板数据的实证分析[J]. *经济地理*, 2021, 41(12): 74–83. [Luo W B, Chu X L, Tang P, et al. Spatial and temporal differentiation of urban park land growth and its driving factors: Empirical analysis based on urban panel data of Hunan Province[J]. *Economic Geography*, 2021, 41(12): 74–83.]
- [27] 李嘉诺, 程毛林. 拓展的灰色GM(1,1)模型及其应用[J]. *苏州科技大学学报(自然科学版)*, 2021, 38(4): 35–40. [Li J N, Cheng M L. The expansion of grey GM (1,1) model and its application[J]. *Suzhou University of Science and Technology (Natural Science Edition)*, 2021, 38(4): 35–40.]
- [28] 金鑫, 李维刚. 黑龙江省耕地压力指数分析及趋势预测[J]. *东北农业大学学报*, 2021, 52(3): 76–86. [Jin X, Li W G. Analysis of arable land pressure index and its trend prediction of Heilongjiang Province[J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2021, 52(3): 76–86.]

# Spatiotemporal characteristics and change of cultivated land pressure in Jiangsu Province

ZHANG Zhongqi, SHEN Zhengping

(School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** [Objective] Jiangsu Province is an important area for food production in the southeastern coastal provinces of China. [Methods] With the continuous development of industrialization and urbanization and potential population growth, the conflict between population and cultivated land in the province will become very tense. It is necessary to strengthen the research on cultivated land pressure. In this study, the cultivated land pressure index (CLPI) model, Thiel index, and grey model were used to analyze the temporal and spatial characteristics and influencing factors of cultivated land pressure in Jiangsu in five years since 2000, and to predict the situation for 2025 and 2030. [Results] The results show that: (1) The CLPI of the province is between 0.94 and 1.07, which is generally in the early-warning pressure level. The Theil index of the CLPI in the province showed an increasing trend, and the city-level variation of CLPI was increasing. There is a great imbalance between Southern, Central, and Northern Jiangsu, and the CLPI decreases rapidly from south to north. (2) Among the influencing factors of cultivated land pressure, per capita food production, per capita cultivated land, and grain yield per unit area have reached a very significant level, among which per capita food production played a decisive role in determining cultivated land pressure. It indicates that per capita food production is the key variable of grain production in Jiangsu Province under the condition that other factors are relatively stable. (3) Trend analysis showed that the CLPI of the whole province will slowly decrease but remain in the early- warning pressure area in 2025 and 2030. [Conclusion] The CLPI of Wuxi and Changzhou Cities will increase rapidly, and CLPI will decline to varying degrees in other cities.

**Key words:** cultivated land pressure; spatiotemporal characteristics; food security; variation trend; Jiangsu Province