

基于空间马尔科夫链的粮食生产韧性 动态演进及趋势预测

郑家喜^{1,2},赵妍²,卫增^{2*}

(1.中南财经政法大学 WTO 与湖北发展研究中心,湖北武汉 430073;
2.中南财经政法大学 工商管理学院,湖北武汉 430073)



摘要 提高粮食生产韧性对保障粮食安全、加快建设农业强国具有重要意义。基于2005—2021年中国省级面板数据,构建粮食生产韧性评价指标体系进行水平测度,在此基础上深入分析其时空动态演进并展开趋势预测。研究表明:第一,考察期内中国粮食生产韧性水平总体呈现逐年提升态势,但近年来增速有所放缓。第二,各省份粮食生产韧性差异明显,整体呈现“东高西低”的特征,且总体差距在考察期内逐步扩大;总体差异主要来源于区域间差异,但2017年后区域间差异逐渐下降,区域内差异逐步成为造成总体差异的主要原因;分区之间发展不平衡问题较为严峻,区域内省际差异明显。第三,中国粮食生产韧性存在较为显著的空间相关性,表现出明显的高—高集聚和低—低集聚特征,即高水平省份多与一个或多个高水平省份相邻,而低水平省份邻域多为低水平省份。第四,各省份粮食生产韧性在短期内较难实现层级跨越;而在引入空间地理因素后,粮食生产韧性的稳定状态有动摇趋势,易表现出“强者恒强,弱者恒弱”的马太效应。

关键词 粮食生产;韧性;空间马尔科夫链;动态演进

中图分类号:F326.1 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-3456(2024)03-0104-14

DOI编码:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2024.03.009

粮食安全是“国之大者”。党的二十大报告再次指出确保中国人的饭碗牢牢端在自己手中,而现阶段我国粮食安全仍面临诸多挑战,尤其是百年变局交织、贸易保护主义抬头、逆全球化之风、地缘政治冲突、经济冲击以及极端气候等自然灾害频发的影响不断加大且相互关联,极大地增加了我国粮食生产压力。在此新形势下以及新时代农业强国建设对我国粮食安全提出了新要求,2023年中央一号文件进一步提出建设供给保障强、科技装备强、经营体系强、产业韧性强、竞争能力强的农业强国。显然,提升产业链韧性对于保障粮食安全、加快农业强国建设意义重大。而生产作为农业产业链的关键节点^[1]、粮食系统的重要环节^[2],强化粮食生产韧性对于保持农业产业有序发展、提升粮食系统应对冲击的能力,同时对稳住农业基本盘,加快建设农业强国具有重要作用。2023年我国粮食产量再创历史新高,达1.39万亿斤,受外部风险冲击、极端气候灾害、资源要素约束等多重影响,我国粮食产量仍能稳定增长,充分体现了“韧性”在粮食生产中所发挥的重要作用,2024年中央一号文件再次指出确保粮食安全,因此,科学把握中国粮食生产韧性的发展现状、空间分布特征、演进规律及发展趋势是农业强国建设中亟需研究的重大科学问题,对未来制定和提高粮食安全的相关政策具有重要的理论和现实意义。

“韧性”最早应用于物理学领域,后被Holling^[3]引入生态学领域,进而拓展到心理学、经济学等领域。在经济学研究中,学者围绕韧性的内涵^[4-5]、评价体系^[6-7]、测度方法^[8-9]以及提升路径^[10-11]展开了大量研究。随着韧性理论研究的不断深入,部分学者开始将研究视角由宏观经济韧性^[12-13]、区域经济韧

收稿日期:2023-11-15

基金项目:中央高校基本科研业务费专项“共同富裕背景下新型农村集体经济发展路径与支持政策研究”(2722024EJ034)。

*为通讯作者。

性^[14-15]、城市韧性^[16-17]聚焦到产业韧性^[18-19],并逐步延伸到粮食韧性。国内外学者主要从粮食系统韧性的概念与发展、测度与评价以及提升路径等方面展开了探索。Tendall等构建了粮食体系韧性的概念框架,认为其是粮食系统承受冲击的一种能力^[20],这种能力可由社会经济、生物物理以及生产多样性三方面构成^[21]。与此同时,部分学者通过构建评价指标体系的方式对粮食体系韧性的发展水平进行测度,并实证分析数字乡村建设^[22]和数字普惠金融^[23]对粮食体系韧性的影响。也有学者基于不同研究背景探索了增强我国粮食安全韧性的可行路径^[24]、全球粮食体系韧性治理对我国的启示^[25]以及如何在全球粮食体系转型中增强粮食安全韧性^[26]。此外,少数学者聚焦到粮食系统的生产和供应环节,除了对内涵和提升路径分析外^[27-28],还涉及其影响因素的深度剖析^[29]。

从现有文献来看,对粮食韧性的考察多着眼于粮食体系韧性、粮食安全韧性,而较少关注粮食生产韧性;同时有关粮食韧性的研究多基于内涵解读、发展水平测度、影响因素与提升路径探讨等常规视角,而少有分析其时空演变特征、区域差异以及动态演进趋势。有鉴于此,本文尝试对粮食生产韧性进行定义,在此基础上构建粮食生产韧性评价指标体系;采用熵值法科学测算我国及31个省份粮食生产韧性水平,并利用泰尔指数、核密度估计以及莫兰指数分析其区域差异与时空动态演进趋势;运用传统与空间马尔科夫链预测我国粮食生产韧性发展趋势。

一、研究方法与数据来源

1. 粮食生产韧性评价指标体系构建

参考郝爱民等^[22]提出的粮食体系韧性内涵,立足我国国情农情粮情,着眼于粮食系统生产环节,本文将粮食生产韧性定义为:粮食生产系统在面对自然环境、技术以及政策变化等各种不可预见的冲击时能够抵抗冲击,在冲击中适应恢复,且能够在超出系统适应能力时创新再造增长路径实现适应性发展的能力。基于对粮食生产韧性内涵的界定,在遵循科学性、全面性以及数据的可获得性原则的基础上,从抵抗力、适应力以及再造力三个维度构建包含6个子系统以及23个要素指标的粮食生产韧性综合评价指标体系。

抵抗力是指粮食生产系统抵御不确定性冲击的能力,在一定程度上反映粮食生产的综合能力,其主要由投入和产出两方面构成^[30],因此将抵抗力划分为粮食生产基础保障性、粮食生产能力稳定性两个二级指标。粮食生产基础保障性体现粮食生产条件,它是粮食生产活动顺利进行的重要保障,生产投入越稳定、生产基础保障越有力,系统抵抗冲击的能力越强,因此主要用有效灌溉面积、粮食播种面积、第一产业从业人员数以及农业机械总动力等刻画粮食生产状况与投入的指标加以衡量;粮食生产能力稳定性反映粮食生产的产出情况,是衡量粮食生产能力的重要指标之一,产出越稳定、粮食生产能力稳定性越高,表明系统抵抗能力越强,使用粮食产量波动系数、粮食人均占有量、单位播种面积粮食产量反映粮食生产稳定程度与规模的指标刻画粮食生产能力。

恢复力是指粮食生产系统受到冲击后吸收冲击并调整恢复的能力,包含粮食生产生态协调性和粮食生产可恢复性两个二级指标。粮食生产生态协调性旨在刻画粮食生产系统与生态环境系统二者之间的协调关系,二者的协调程度越高,粮食生产系统对生态环境系统的影响越小,受自然资源的刚性约束也越低,使得粮食生产的可持续性越强。为了保障粮食的正常供应,盲目使用农药、化肥、农膜等现象时有发生,这种以高生产要素投入实现粮食增产的方式是以牺牲农业资源与生态环境为代价的^[31],因此本文使用单位粮食播种面积农药使用量、农用柴油使用量、化肥施用量、农用塑料薄膜使用量和农业用水量作为负向指标来衡量粮食生产生态协调性;粮食生产可恢复性体现粮食生产在遭受外部冲击后恢复到正常生产水平的能力,主要从受灾程度、生态保护与恢复力度等方面体现,使用成灾/受灾面积、水土流失治理面积以及复种指数加以衡量。此外,经济增长作为推动粮食生产体系遭受外部冲击后恢复至原始状态的重要因素,能够反映地区粮食生产的发展活力^[29],使用农业总产值增加值作为代理指标。

再造力是指粮食生产系统不断调整、适应且能够在超出系统适应能力时创新再造增长路径实现适应性发展的能力,将再造力划分为粮食生产多样协作性、粮食生产创新性两个二级指标。2023年

中央一号文件进一步指出,树立大食物观,构建多元化食物供给体系,这在一定程度上要求粮食生产的多元性,而多样化的生产协作有利于调整粮食生产种植结构,适应城乡居民新的粮食消费结构以应对粮食生产的未来风险,创造粮食生产增长新的路径。本文选择农作物多元化、饲料粮播种面积占粮食播种面积比以及农林牧渔服务业产值/农林牧渔业总产值等指标表征粮食生产多元协作性,其中农作物多元化是指非粮作物播种面积/农作物总播种面积,饲料粮参考张小允等^[32]计算方法,以玉米和大豆为代表;粮食生产创新性主要反映资金和技术对粮食生产活动的支持,从而促进粮食生产提质增效,包含农业固定资产投资、财政农林水事务支出、农业科研支出和农业科技活动人员四个指标,其中,农业科研支出和农业科技活动人员参考邓灿辉等^[33]计算方法,即农业科研支出=R&D经费内部支出×(农业产值/农林牧渔业总产值)、农业科技活动人员=R&D人员×(农业产值/农林牧渔业总产值)。

粮食生产韧性评价指标体系及各指标权重如表1所示,同时对部分指标采用权重系数剥离法^[34]将粮食生产投入从广义的农业生产投入中剥离出来。

表1 粮食生产韧性评价指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	指标属性	权重	
抵抗力	粮食生产基础保障性	有效灌溉面积(A_1)/千公顷	正向	0.068	
		粮食播种面积(A_2)/千公顷	正向	0.059	
		第一产业从业人员数(A_3)/万人	正向	0.057	
		农业机械总动力(A_4)/万千瓦	正向	0.074	
	粮食生产能力稳定性	粮食产量波动系数(A_5)/%	负向	0.011	
		粮食人均占有量(A_6)/千克	正向	0.045	
		单位播种面积粮食产量(A_7)/(千克/公顷)	正向	0.017	
	恢复力	粮食生产生态协调性	单位粮食播种面积农药使用量(B_1)/(千克/公顷)	负向	0.017
			单位粮食播种面积农用柴油使用量(B_2)/(千克/公顷)	负向	0.004
			单位粮食播种面积化肥施用量(B_3)/(千克/公顷)	负向	0.009
单位粮食播种面积农用塑料薄膜使用量(B_4)/(千克/公顷)			负向	0.004	
		单位粮食播种面积农业用水量(B_5)/(万立方米/公顷)	负向	0.005	
再造力	粮食生产可恢复性	成灾/受灾面积(C_1)/%	负向	0.002	
		水土流失治理面积(C_2)/千公顷	正向	0.067	
		复种指数(C_3)/%	正向	0.018	
	粮食生产多样协作性	农业总产值增加值(C_4)/亿元	正向	0.067	
		农作物多元化(D_1)/%	正向	0.017	
		饲料粮播种面积占粮食播种面积比(D_2)/%	正向	0.050	
		农林牧渔服务业产值/农林牧渔业总产值(D_3)/%	正向	0.030	
		农业固定资产投资(D_4)/亿元	正向	0.114	
	粮食生产创新性	财政农林水事务支出(D_5)/亿元	正向	0.061	
		农业科研支出(D_6)/亿元	正向	0.114	
		农业科技活动人员(D_7)/万人	正向	0.089	

注:权重系数分别为:系数a=粮食播种面积/农作物播种面积、系数b=农业产值/农林牧渔业总产值;其中指标 A_1 、 A_4 、 B_1 、 B_2 、 B_3 、 B_4 、 B_5 、 C_2 、 D_6 、 D_7 分别乘以系数a;指标 A_3 、 C_4 、 D_4 、 D_5 分别乘以系数a×系数b。

2. 研究方法

(1)泰尔指数及其分解。本文采用泰尔指数分析我国三大功能分区^①的粮食生产韧性区域差异情况。进一步地,依据泰尔指数基本原理,将我国粮食生产韧性总体差异分解为区域间差异、区域内

① 按照国家统一标准,依据各省的粮食产销情况与资源禀赋状况划分为三大功能分区,主产区包含黑龙江、吉林、内蒙古、河南、江西、安徽、河北、辽宁、湖北、湖南、江苏、山东、四川;主销区包含北京、天津、上海、浙江、福建、广东、海南;产销平衡区包含山西、宁夏、青海、甘肃、西藏、云南、贵州、重庆、广西、陕西、新疆。

差异,探究各自在总体差异中的贡献度。泰尔指数及其分解计算公式如下:

$$T = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left(\frac{y_j}{y} \times \ln \frac{y_j}{y} \right) \quad (1)$$

$$T_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} \left(\frac{y_{ij}}{y_i} \times \ln \frac{y_{ij}}{y_i} \right) \quad (2)$$

$$T = T_w + T_b = \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{n} \times \frac{\bar{y}_i}{y} \times T_i \right) + \sum_{i=1}^n \left(\frac{n_i}{n} \times \frac{\bar{y}_i}{y} \times \ln \frac{\bar{y}_i}{y} \right) \quad (3)$$

式(1)中, T 表示中国粮食生产韧性水平的总体泰尔指数,其取值区间为 $[0, 1]$,泰尔指数值越大,表明粮食生产韧性水平的总体差异越大,反之则越小。 j 表示省份, n 表示观测值个数(即省份总数),本文中 $n=31$, y_j 表示省份 j 的粮食生产韧性水平得分, \bar{y} 表示全国粮食生产韧性水平均值。式(2)中, T_i 表示区域 i 总体差异的泰尔指数, n_i 表区域 i 所包含的观测值个数, y_{ij} 表示区域 i 中省份 j 的粮食生产韧性水平得分, \bar{y}_i 表示区域 i 的所有省份粮食生产韧性水平均值。式(3)表示总体差异的泰尔指数可以被分解为区域内差异 T_w 和区域间差异 T_b 。此外,定义 T_w/T 和 T_b/T 分别为区域内和区域间差异贡献率。

(2)核密度估计。本文运用核密度估计考察全国以及三大功能分区的粮食生产韧性水平动态演进趋势,函数形式表示如下:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x_i - \bar{x}}{h}\right) \quad (4)$$

式(4)中, n 为观测值个数(即省份总数), i 表示各个省份, x_i 表示独立同分布的观测值, \bar{x} 为均值。 $f(x)$ 为密度函数, $k\left(\frac{x_i - \bar{x}}{h}\right)$ 为核函数, h 为带宽,其大小决定核密度估计的精度与核密度曲线的平滑度,本文在选取最优带宽的基础上使用高斯核密度函数进行核密度估计,来分析中国粮食生产韧性水平的动态演进特征,具体表达式如下:

$$k(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}x^2} \quad (5)$$

(3)莫兰指数。本文选用莫兰指数探索粮食生产韧性的空间相关性。全局莫兰指数反映区域整体的空间集聚情况,其值范围为 $[-1, 1]$,若值大于0,表示为空间正相关性;若值小于0,则表示为空间负相关性;若值等于0,表示为空间呈现随机性。局部莫兰指数可以进一步检验局部区域的空间集聚性,可将各省份粮食生产韧性水平分为四个区域,分别为高-高(H-H)型区域、低-高(L-H)型区域、低-低(L-L)型区域和高-低(H-L)型区域。全局莫兰指数和局部莫兰指数计算公式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (6)$$

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (7)$$

式(6)、(7)中, x_i 和 x_j 为相应空间单元上的取值, \bar{x} 是各个空间单元取值的平均数, i, j 表示不同省份, n 为省份总数, S^2 为样本方差, w_{ij} 为空间权重矩阵。由于邻接空间权重矩阵无法对非邻接地区间的相互影响进行有效分析,本文参考田云等^[36]的做法,构建地理距离空间权重矩阵进一步分析。

(4)传统及空间马尔科夫链。本文进一步借助传统及空间马尔科夫链方法对我国粮食生产韧性演变趋势进行预测。

①传统的马尔科夫链。采用四分位法将粮食生产韧性水平分为四种类型,通过构建转移矩阵,探究考察期内不同类型的粮食生产韧性水平转移特征和规律。公式如下:

$$P\{X_\alpha = j | X_{\alpha-1} = i, X_{\alpha-2} = i_{\alpha-2}, \dots, X_0 = i_0\} = P\{X_\alpha = j | X_{\alpha-1} = i\} = P_{ij} \quad (8)$$

$$P_{ij} = n_{ij} / n_i \quad (9)$$

式(8)中, X_α 表示移动状态, P_{ij} 表示粮食生产韧性水平从 α 时刻的 i 类型到 $\alpha + 1$ 时刻转移为 j 类型的概率; 式(9)中 n_{ij} 表示研究时间段内 t 时刻 i 类型向 $t + 1$ 时刻 j 状态转移的省份数量之和, n_i 表示研究时间段属于类型 i 的省份数量之和。

②空间马尔科夫链。空间马尔科夫链引入“空间滞后”可以判断区域单元的空间邻域状态, 从而弥补传统马尔科夫链方法对区域单元空间相互作用忽视的不足^[37], 进一步探究相邻省份的粮食生产韧性水平对不同省份概率转移的影响。通过空间权重矩阵, 将 $N \times N$ 的转移概率矩阵分解为 $N \times N \times N$ 的转移概率矩阵。 P_{ij} 表示某省份在 α 时期空间滞后类型为 N_i 的情况下, 由 α 时期的 i 类型转移到 $\alpha + 1$ 时期的 j 类型的概率。计算公式如下:

$$Lag_a = \sum p_b W_{ab} \quad (10)$$

式(10)中, Lag_a 为省份 a 的空间滞后值, 表示省份 a 的邻域状态; b 为邻域, p_b 为省份 b 的初始属性, W_{ab} 为空间权重矩阵, 在此继续沿用地理距离空间权重矩阵。

3. 数据来源与处理

本文将研究时间跨度确定为 2005—2021 年, 研究样本为 31 个省(市、自治区), 研究数据主要来源于 2006—2022 年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国科技统计年鉴》《中国水利统计年鉴》以及国家统计局、EPS 数据库平台等, 个别缺失数据采用线性插值法补。为减小指标测度的偏差, 本文选择使用相对客观科学的熵值法进行客观赋权^[38]。具体测算步骤如下:

第一步, 对原始数据进行标准化处理。采用极值法对评价体系中正、负向指标分别进行无量纲化和同向化处理, 计算公式如下:

正向指标计算公式为:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - \min x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (11)$$

负向指标计算公式为:

$$x'_{ij} = \frac{\max x_{ij} - x_{ij}}{\max x_{ij} - \min x_{ij}} \quad (12)$$

第二步, 计算比重矩阵。计算第 i 年第 j 个指标的比重, m 为参与评价的年数。

$$p_{ij} = \frac{x'_{ij}}{\sum_{i=1}^m x'_{ij}} \quad (13)$$

第三步, 计算指标信息熵 e_j 与信息熵冗余度 d_j 。

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (p_{ij} \ln p_{ij}) \quad (i=1, 2, \dots, m) \quad (14)$$

其中, $k = \frac{1}{\ln m}$ 。

$$d_j = 1 - e_j \quad (j=1, 2, \dots, m) \quad (15)$$

第四步, 计算指标权重。

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

第五步, 计算综合得分。

$$S_{ij} = \sum_{j=1}^n w_j \times x'_{ij} \quad (17)$$

二、粮食生产韧性水平测度结果分析

1. 粮食生产韧性水平时序特征分析

本文利用熵值法测算出2005—2021年31个省份的粮食生产韧性水平的综合得分情况,由于篇幅有限,仅列示了部分年份的综合得分情况(见表2)。

从时序上看,中国粮食生产韧性总体水平呈现出不断增长的态势,均值由2005年的0.167提高至2021年的0.305,考察期内增长了近1.826倍。然而,我国粮食生产韧性的增幅仅为0.138,表明我国粮食生产韧性发展仍具有较大的提升空间。为进一步保障粮食安全,我国自2006年起全面免除了农业税、提高了“三农”支出和各项补贴规模,各地区财政支农支出大幅增长,保障了农业生产积极性^[39],并且自党的十八大以来,中央和地方政府出台了多项政策保障粮食生产,各地区通过稳定粮食播种面积、调整种植结构、完善农业基础设施等多措并举不断强化粮食生产能力,粮食生产韧性水平得以持续提升。然而,城镇化进程的加快使得农业生产劳动力短缺、老龄化加剧,而且城镇化规模的扩大直接挤压耕地面积,从而在一定程度上制约粮食生产韧性水平的提高。此外,粮食生产还面临“两板”挤压、资源环境约束以及农业科技水平发展不足、生物技术推广应用难度大等多重挑战,粮食增产压力大且提质增效难,粮食生产韧性水平的进一步提升仍任重而道远。

2. 粮食生产韧性水平省际差异分析

考察期内各省份粮食生产韧性水平区域差异明显,总体上呈现“东高西低”的空间分布特征。排名靠前的省份主要是河南、黑龙江、山东、河北以及江苏等位于中部和东部地区的省份,而排名靠后的省份大多位于西部地区。

具体来看,考察期内河南粮食生产韧性水平均值排名第一,得分均值为0.442;山东排名紧随其后,得分均值为0.432,两地的评分远高于考察期内全国平均水平(0.232);两地作为粮食生产大省,资本、技术等资源保持较高的投入是其粮食生产韧性评分较高的主要原因,近几年来两地深入推进藏粮于地、藏粮于技战略,持续改善生产条件,积极落实高标准农田建设,提升农业生产机械化水平,推动农业生产现代化,2021年两地农业机械总动力均超越10000万千瓦,且考察期内两地均维持较高的粮食总产量,位列全国前三名,在一定程度上提高了两地粮食生产韧性抵抗风险的能力,为保障我国粮食安全做出了巨大贡献;此外,粮食生产韧性高于考察期内全国平均水平的还有黑龙江、河北、江苏、四川、安徽、内蒙古、陕西、湖南、吉林、湖北、云南、广东、辽宁和山西等省份,粮食生产韧性水平得分均值介于0.232~0.400之间;这些省份的粮食总产量排名靠前,而且大多属于粮食主产区,地形开阔,土壤、气候等自然条件适宜,有利于粮食作物规模化种植和机械化作业^[40];天津、福建、北京、重

表2 中国粮食生产韧性水平综合得分

区域	2005年	2009年	2013年	2017年	2021年	变化率/%	均值排名
河南	0.310	0.378	0.420	0.524	0.581	87.56	1
山东	0.288	0.360	0.436	0.507	0.579	100.69	2
黑龙江	0.229	0.302	0.410	0.496	0.554	142.34	3
河北	0.280	0.326	0.382	0.426	0.450	60.80	4
江苏	0.202	0.264	0.346	0.424	0.512	152.83	5
四川	0.209	0.254	0.301	0.385	0.503	140.21	6
安徽	0.209	0.248	0.295	0.356	0.409	95.38	7
内蒙古	0.204	0.250	0.303	0.343	0.364	78.33	8
陕西	0.197	0.223	0.260	0.329	0.402	103.48	9
湖南	0.189	0.225	0.266	0.313	0.343	81.68	10
吉林	0.195	0.216	0.247	0.285	0.298	52.69	11
湖北	0.164	0.197	0.242	0.298	0.328	99.39	12
云南	0.179	0.198	0.233	0.273	0.351	96.26	13
广东	0.158	0.194	0.248	0.268	0.347	119.95	14
辽宁	0.195	0.212	0.234	0.258	0.283	45.19	15
山西	0.176	0.205	0.261	0.254	0.266	50.91	16
甘肃	0.174	0.199	0.228	0.241	0.263	50.75	17
贵州	0.142	0.166	0.187	0.230	0.296	108.31	18
江西	0.148	0.179	0.187	0.220	0.244	64.73	19
广西	0.149	0.166	0.188	0.216	0.241	61.10	20
新疆	0.145	0.158	0.193	0.212	0.235	62.21	21
浙江	0.134	0.148	0.185	0.198	0.238	77.85	22
重庆	0.135	0.148	0.168	0.186	0.219	62.48	23
北京	0.131	0.152	0.169	0.175	0.211	61.69	24
福建	0.111	0.125	0.149	0.156	0.183	64.85	25
天津	0.110	0.118	0.140	0.145	0.157	42.05	26
宁夏	0.098	0.115	0.126	0.140	0.149	52.05	27
上海	0.091	0.107	0.125	0.135	0.169	85.34	28
海南	0.072	0.083	0.089	0.088	0.102	41.62	29
青海	0.079	0.079	0.085	0.088	0.091	15.38	30
西藏	0.067	0.072	0.076	0.080	0.093	39.75	31
全国均值	0.167	0.196	0.231	0.266	0.305	—	—

注:变化率表示2021年粮食生产韧性水平相比2005年的增减变动。

庆、浙江、新疆排名位于全国倒数6~11位,其得分均值介于0.130~0.190之间;宁夏、上海、海南、青海、西藏则排在全国倒数后5位,得分均值均低于0.130,远低于全国平均水平;究其原因,粮食生产韧性水平排名靠后的省份大多位于西部地区,受资源禀赋、经济发展等约束,粮食生产韧性水平不高,而且属于主销区或产销平衡区,功能定位不同、粮食产能不足在一定程度上制约其粮食生产韧性水平。较于2005年,各地区的粮食生产韧性水平均有所提高,其中黑龙江、江苏、四川提升幅度较大,均在140%以上,青海提升幅度最低,仅为15.38%。可能的原因是黑龙江作为我国重要的粮食生产基地,凭借其得天独厚的耕地资源、区位优势、政策支持,以及通过不断调整种植结构、培育良种等实现粮食生产韧性大幅提升;近年来江苏不断夯实粮食高产稳产基础,持续推进高标准农田建设,“十三五”期间建成高标准农田138万公顷,有利推进粮食生产规模化、机械化水平,大力提高粮食社会化服务能力^[41],并且积极发展农业科技,实现粮食生产“量”“质”并升;四川是西部地区中唯一的粮食主产省,承担着维护国家粮食安全的重要任务,不断提高粮食生产能力,从10余年四川省粮食生产情况来看,粮食播种面积、总产量、单产整体上均呈现上升趋势^[42];青海位于青藏高原东北部,主要以畜牧业为主,受地理区域位置、气候环境、经济发展等多重影响,粮食增产压力大,且水利基础设施的落后直接导致水土流失面积大、治理难,粮食生产困难^[29]。

三、粮食生产韧性水平的区域差异分析

1. 粮食生产韧性水平区域差异现状分析

本文进一步从三大功能分区来考察粮食生产韧性水平区域差异情况(见图1)。考察期内三大功能分区的粮食生产韧性水平与全国水平时间变化趋势基本保持一致,均呈现上升的趋势,但三大功能区之间差距明显。考察期内主产区、主销区和产销平衡区均值分别为0.315、0.154、0.184,呈现出主产区>产销平衡区>主销区发展格局,除主产区外,其他分区均低于全国水平。可能的解释是功能分区间的资源禀赋、气候条件、经济发展、区位条件以及功能定位等存在差异。主产区耕地质量相对较高,气候条件适宜,为粮食生产提供了良好的基础条件,并且主产区作为保障我国粮食安全的“压舱石”,政策、技术等资源向其倾斜,进一步提高了粮食生产能力;产销平衡区受制于自然资源禀赋薄弱、地理区位偏远以及经济发展落后等多重因素影响,粮食生产能力未能得到较大的提升;主销区大多经济发达,通过发展经济、科学技术等提高粮食生产能力,但是由于耕地面积相对较少、种植经济作物的比较收益相较于粮食作物而言更高等原因,粮食生产韧性水平整体较低,而且该区域城镇化进程较快,农民加速向二、三产业转移,使得农民对土地的依赖性减弱,出现“撂地荒”现象,有效粮田面积和有效播种面积不断削减,粮食生产韧性进一步提升难度较大。

2. 粮食生产韧性水平区域差异及成因

(1) 总体差异及区域间差异分析。图2描述了粮食生产韧性水平总体、区域间及区域内的泰尔指数变化趋势。首先由图2(a)可知粮食生产韧性总体差异整体上呈现波动上升的趋势,总体差异的泰尔指数由0.064上升到0.104,说明在考察期内中国粮食生产韧性的空间差异在不断扩大。区域间泰尔指数的演变轨迹与总体泰尔指数基本保持一致,2017年以前区域间差距呈现上升趋势,2017年后逐渐下降,而区域内泰尔指数在考察期内变化趋势较为平稳。由此可知,2017年后,总体泰尔指数呈下降趋势主要是由三大功能区之间差异缩小引起的。近年来分区的粮食产量开始出现新特征,主销区的粮食产量在2017年开始呈增长趋势,产销平衡区粮食产量的增加幅度有限,但趋于稳定,主产区自2016年以来粮食产量及其占比趋于稳定,且出现小幅下降^[43],这可能在一定程度上缓解了地

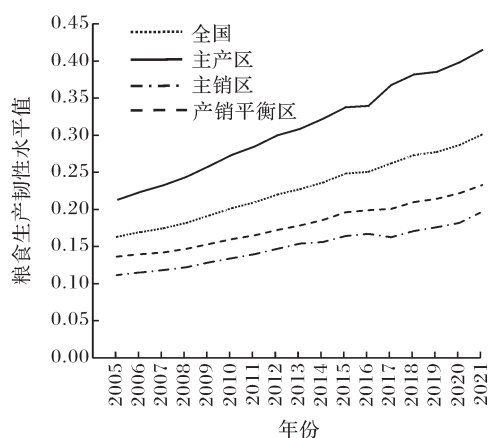


图1 2005—2021年中国三大粮食功能分区粮食生产韧性水平发展趋势

区之间的粮食生产韧性水平差异。

(2)区域内差异分析。三大功能分区内部各省粮食生产韧性发展差异情况如图2(b)所示。从变化趋势上看,分区的泰尔指数相较于2005年均有所提高,表明三大区域内部粮食生产韧性均存在不同程度的差异,内部均存在发展不平衡现象。从数值上来看,产销平衡区大于主销区和主产区,说明产销平衡区内部省际之间差距较大,发展不平衡问题较为严峻。究其原因,产销平衡区部分地区由于地势复杂、农业生产条件恶劣、经济欠发达等阻碍了粮食生产韧性水平提高,例如青海、西藏两地粮食生产韧性发展较差,均值排名分别位于全国倒数第二和倒数第一,拉大了与产销平衡区内其他省份的差距,从而影响产销平衡区整体粮食生产韧性水平,导致区域内部差异明显;主销区是粮食消费区,粮食自给率本身较低,而且由于内部省份如耕地面积等生产条件、经济发展程度、城镇化进程以及科技转化水平不同,使得该地区内部各省粮食生产韧性发展存在一定的差异;主产区泰尔指数最低主要得益于其以粮食供给、保障国家粮食安全为主体功能的功能定位,是粮食生产的核心区,不仅粮食生产条件优越,而且政策支持、大力发展现代化农业等进一步保障了粮食产能^[39],内部各省份粮食生产韧性水平整体较高,但由于经济发展水平差异、生产规模化程度不同等,内部省际仍存在发展差距。

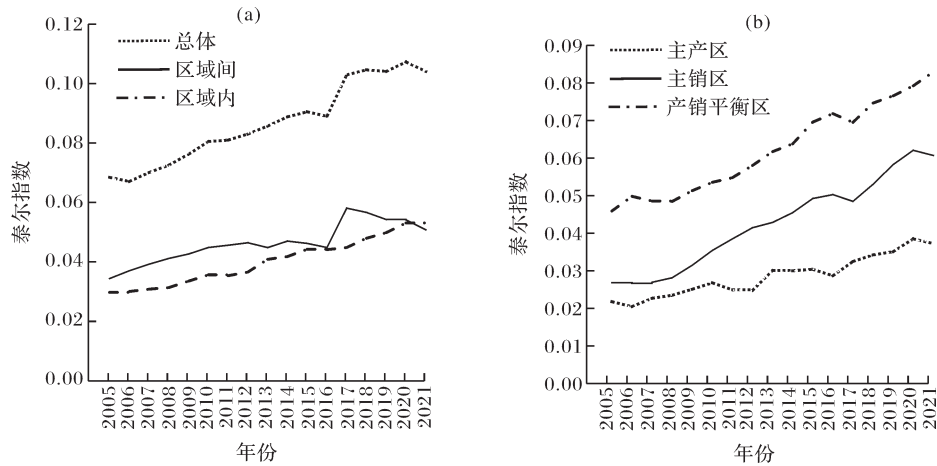


图2 2005—2021年粮食生产韧性水平总体、区域间及区域内泰尔指数变化情况

(3)差异贡献及其成因。从泰尔指数的分解结果(见表3)可知,总体上三大功能分区区域间泰尔指数贡献率在48.79%~56.76%,区域内的泰尔指数贡献率在43.24%~51.21%,区域间泰尔指数贡献度总体上高于区域内,表明中国粮食生产韧性水平的总体差异主要是由区域间存在的发展不平衡导致。从差异贡献率的动态变化进一步来看,区域间贡献度在逐渐下降,尤其是在2017年后,区域间差异贡献率逐渐缩小,而区域内的贡献率则逐渐增大,并于2021年达到51.21%,超过区域间贡献率,成为造成粮食生产韧性水平差异的主要原因。这在一定程度上说明区域间交叉重叠现象在逐渐增强^[44],不同区域内均存在粮食生产韧性水平较高与较低的省份,因此适时推进不同地区之间的粮食生产空间溢出作用,对于进一步提高韧性水平、保障粮食安全具有重要意义。

表3 2005—2021年中国粮食生产韧性

水平泰尔指数贡献率 %					
年份	区域间	区域内	年份	区域间	区域内
2005	53.61	46.39	2014	52.93	47.07
2006	55.20	44.80	2015	51.09	48.91
2007	56.00	44.00	2016	50.40	49.60
2008	56.76	43.24	2017	56.44	43.56
2009	55.98	44.01	2018	54.15	45.85
2010	55.70	44.30	2019	52.12	47.88
2011	56.33	43.67	2020	50.48	49.52
2012	55.93	44.07	2021	48.79	51.21
2013	52.30	47.70			

四、粮食生产韧性水平的动态演进分析

1. 粮食生产韧性水平时间演进特征分析

全国以及分区的粮食生产韧性水平动态演进规律如图3(a)~(d)所示。

图3(a)描述了2005—2021年全国的粮食生产韧性水平的演进态势。核密度曲线峰值逐渐向右侧移动,曲线重心大致由0.220右移至0.560左右,右移幅度缓慢缩小,表明中国粮食生产韧性水平不断提高,增速逐渐放缓。可能的解释是虽然我国粮食产量逐年增长,韧性能力明显增强,但由于近年来要素非农化、极端天气频发与生产成本提高等,导致增速放缓。核密度曲线波峰高度基本上呈现逐渐下降态势,呈“单峰”分布,有轻微的右拖尾现象,说明中国粮食生产韧性水平未出现多极化现象,省际差异逐渐改善,但仍存在一定的差异,2017年后右拖尾现象缓解,表明在此期间粮食生产韧性水平较低的省份逐渐向平均水平靠拢,省际差异不断缩小。

图3(b)、(c)和(d)刻画了2005—2021年主产区、主销区以及产销平衡区的粮食生产韧性水平的动态演进趋势。分区的核密度曲线均向右移动,表明粮食生产韧性水平明显提高。具体来看,主产区核密度曲线波峰高度不断上升,于2010年达到最高点后急剧下降并趋于稳定,“双峰”逐渐演变为“单峰”,表明主产区的粮食生产韧性水平呈上升趋势,且内部差异程度有所缩小,极化现象逐渐减弱甚至消失,这说明在主产区具备粮食生产韧性整体发展较高的优势,内部省际发展差距较小;主销区核密度曲线考察期内由“单峰”分布演变为“双峰”分布格局,且峰高经历了一定的起伏变化最终高于基期,说明主销区粮食生产韧性水平虽有所提升,但该地区存在极化现象,且内部省份粮食生产韧性发展差距有进一步扩大的趋势,其关键原因在于近年来广东粮食生产韧性发展较好,主销区中除广东省外,其他省份粮食生产韧性水平均处于考察期内全国平均水平以下,且广东省粮食作物播种面积、农业机械总动力水平等均位于该区域省份前列,发展潜力大,逐步拉开了与区域其他省份差距;产销平衡区核密度曲线峰高呈现波动变化最后略低于基期,呈“单峰”分布,且存在拖尾现象,表明产销平衡区粮食生产韧性发展得到改善,未存在极化现象,但地区内发展差异仍较明显,可能的解释是该区域中部分省份如宁夏、青海、西藏,长期以来三地粮食总产量较低,且远低于区域内的其他省份,

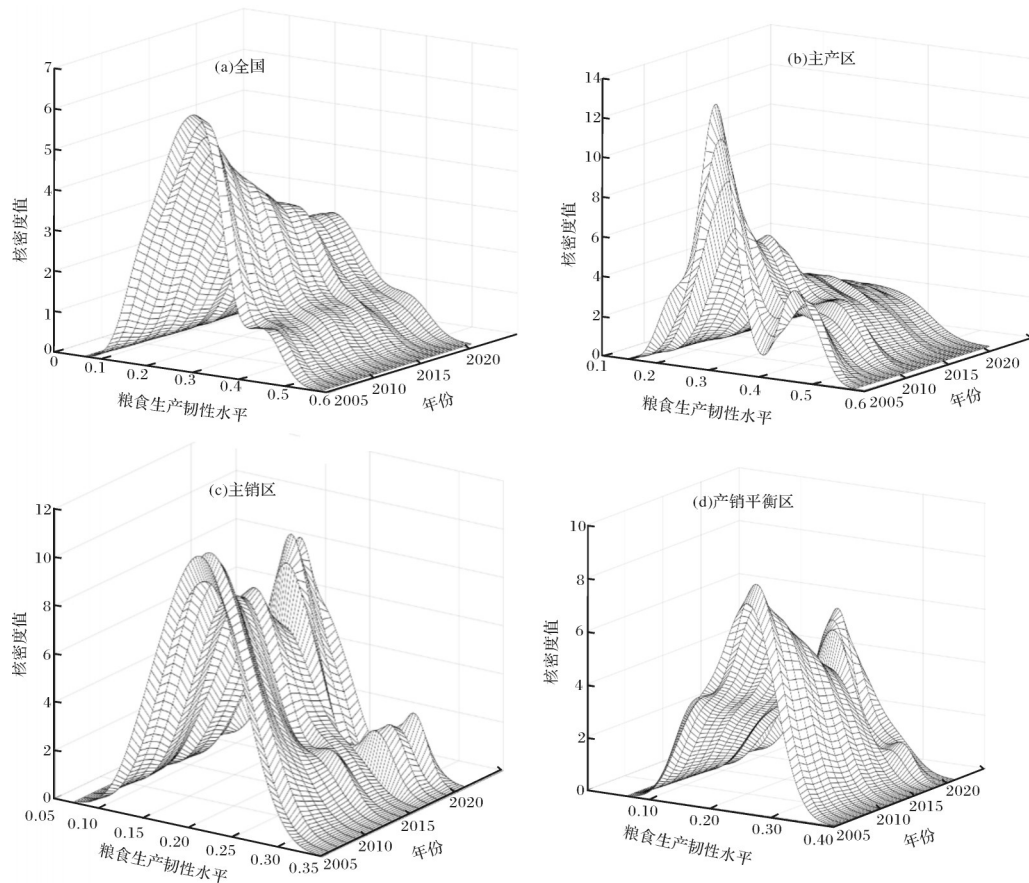


图3 全国及粮食三大功能分区粮食生产韧性水平动态演进情况

从而导致与区域内其他省份的粮食生产韧性发展差异较大。

2. 粮食生产韧性水平空间特征分析

通过前文分析可知中国粮食生产韧性表现出明显的空间分异特征,而各省份之间是否存在空间关联性需要进一步使用空间自相关进行验证。基于地理距离空间权重矩阵,本文使用莫兰指数(*Moran's I*)实证检验粮食生产韧性水平的空间集聚特征。由表4可知,在考察期内中国粮食生产韧性水平的全局莫兰指数均大于0,整体上较为显著,表明中国粮食生产韧性存在空间正相关,这往往表现为粮食生产韧性水平高的地区趋于“强强联合”,形成高一高集聚,水平低的地区则形成低一低集聚。一方面,随着区域一体化进程的加快,地区间联系愈加紧密,粮食生产技术以及以资源、人才等为基础的生产要素不断向邻近地区扩散,技术的溢出效应和要素的外溢效应使得粮食生产存在空间相关现象^[45];另一方面,由于要素资源禀赋的比较优势形成了粮食生产区域分工化,促使粮食生产在优势区域形成空间集聚^[46];而且,劳动力转移、土地流转等促进粮食生产规模化程度不断提高,由此产生的规模效应和共享经济等进一步促进粮食生产韧性空间关联性形成。

表4 2005—2021年中国粮食生产韧性水平全局莫兰指数

年份	<i>Moran's I</i>	<i>P</i> 值	年份	<i>Moran's I</i>	<i>P</i> 值
2005	0.127	0.040	2014	0.125	0.044
2006	0.123	0.044	2015	0.127	0.042
2007	0.133	0.035	2016	0.122	0.047
2008	0.125	0.042	2017	0.109	0.061
2009	0.122	0.045	2018	0.087	0.097
2010	0.126	0.041	2019	0.076	0.120
2011	0.133	0.036	2020	0.070	0.131
2012	0.128	0.040	2021	0.071	0.129
2013	0.121	0.047			

各省粮食生产韧性空间关联情况进一步用局部莫兰散点图展示,图4刻画了2005年和2021年粮食生产韧性水平局部莫兰指数空间分布情况。大部分省份落在第I象限和第III象限,表明粮食生产韧性水平存在着“高一高”组合和“低一低”组合的空间集聚特征,粮食生产韧性水平发展高的省份更容易利用资源优势,发挥规模效应等,有着更大的提升动能;而粮食生产韧性发展水平低的省份容易陷于“地缘诅咒”,提升难度大,表现为“强者越强,弱者越弱”的“马太效应”。相比2005年,这种空间集聚特征有缓解趋势。

具体来看,2021年河北、江苏、山东、内蒙古、安徽、河南、湖北、湖南、陕西落入高一高集聚区域中,由此可知大多位于我国东、中部地区同时也是粮食主产区的省份多属于该区域内,这些省份的自然资源禀赋、气候条件等都适宜粮食生产,省份之间“强强联合”,形成联动发展。而在低一低集聚区域中的省份包含西藏、甘肃、新疆等,大多位于西部地区和属于产销平衡区,该地区生态环境脆弱,大部分区域地势复杂,耕地不平整程度大,难以实现机械化作业,粮食生产效率提升难,而且地理位置条件相对较差,又因其毗邻的地区粮食生产韧性水平发展较低,因此形成了低一低集聚特征。上海、重庆等属于低一高集聚区域,主要是由于其相邻省份的粮食生产韧性水平发展较高导致的,从而形成集聚现象,与之相反的是云南、四川等省份,其相邻省份多为贵州、西藏等,由于其自身粮食生产韧性水平高,相邻省份粮食生产韧性水平低,呈现出高一低集聚特征。

在考察期内,部分省份的粮食生产韧性水平状态发生了转移。相比2005年,山西、吉林和辽宁由高一高集聚型进入低一高集聚型,青海、宁夏由低一高集聚型进入到低一低集聚型,广东由低一高集聚型进入到高一低集聚型,湖北由低一高集聚型进入到高一高集聚型等。由此可知,转移现象均发生在相邻等级区域,表明各地区粮食生产韧性水平提高是一个长期的过程,难以实现跨越式提高。由图4进一步可知,总体来看,在低一高和高一低集聚区域的省份较少,而另外两种集聚类型的省份

率大于向下转移的概率。在中高水平滞后类型下,低水平、中低水平以及中高水平向上一级转移的概率分别为5.26%、19.23%以及14.75%,而中低水平、中高水平和高水平向下级转移的概率均小于2.00%。

六、结论与建议

本文首先测算中国粮食生产韧性水平并分析现状特征,在此基础上探讨其区域差异及时空分布特征,并对其发展趋势进行预测,研究结论如下:

第一,粮食生产韧性水平总体上呈现不断上升趋势,但增速逐渐放缓。全国粮食生产韧性水平均值由2005年的0.164提高至2021年的0.292,增幅仅为0.138,具备较大的提升空间。三大功能分区的粮食生产韧性水平变化趋势和全国水平基本保持一致,总体上呈上升发展趋势,表现为主产区>产销平衡区>主销区发展格局。

第二,粮食生产韧性水平在地理空间上表现出“东高西低”的特征,总体差异逐渐扩大,分区之间以及分区内部省际差异明显。从区域间看,三大功能分区发展不平衡问题较为严峻,主产区粮食生产韧性水平远高于其他两个分区。从区域内看,区域内省际差异显著,产销平衡区内部省际差距较大,主销区存在极化现象,主产区省际差异逐渐缩小。从差异贡献率看,总体差异主要源于区域间的差异,2017年后区域间差异逐渐下降,区域内差异逐步成为造成总体差异的主要原因。

第三,粮食生产韧性水平存在较为显著的空间相关性,表现为空间集聚特征。全局莫兰指数在考察期内均大于0且整体上较为显著,表明中国粮食生产韧性存在空间正相关。局部莫兰指数进一步表明粮食生产韧性在地理空间上表现出明显的高—高集聚和低—低集聚空间集聚特征,即发展水平较高的省份邻域有发展水平较高的省份,发展水平较低的省份邻域伴有发展水平较低的省份。

第四,粮食生产韧性水平类型转移具有一定的稳定性,但并非不可动摇。传统马尔科夫链结果可知,四种类型保持其初始状态的概率分别为91.41%、82.81%、86.18%和98.29%,表明中国粮食生产韧性水平类型转移具有稳定性,加入空间滞后因素后,粮食生产韧性水平状态有动摇趋势。相邻区域的状态对区域状态的演变具有正向和负向的溢出效应,即高水平为邻域时,有可能带动该区域向高水平发展,而低水平为邻域时则相反,易加剧“强者恒强,弱者恒弱”的马太效应。

为提高粮食生产韧性水平,保障粮食安全,基于上述研究结论,本文提出如下建议:一是强化科技创新驱动,提高粮食生产韧性能力。大力发展粮食作物生物育种技术,优化粮食品种,提高粮食作物生物育种产业化增速,促进粮食产业高质量发展。加大对粮食生产科技创新的支持力度,完善粮食生产科技创新成果转化机制。推动机耕、机播、飞防、机收等粮食生产机械的多元化发展,以适应我国不同地区对粮食生产机械的需求。加大对测土配方施肥、节水灌溉等技术的支持力度,协调粮食生产与生态环境保护。健全粮食生产科技市场推广体系,提高先进粮食生产技术的运用覆盖范围,充分发挥科技在提升粮食生产韧性中的重要作用,促进粮食生产提质增效。

二是激发内生动能,区位优势。主产区应充分发挥生产优势、资源优势及区位优势等,完善农田水利等基础设施建设,积极推进高标准农田建设,推动粮食生产现代化,持续提高粮食生产韧性水平。主销区可深入挖掘其经济条件优势、科技创新优势等,提高粮食生产能力,缩小三大功能分区粮食生产韧性水平发展差异。产销平衡区还应充分利用其比较优势,积极承担粮食生产责任,减轻主

表6 粮食生产韧性水平空间马尔科夫转移概率矩阵

空间滞后类型	类型	I	II	III	IV	观测值
I	I	0.6000	0.4000	0.0000	0.0000	5
	II	0.1111	0.7778	0.1111	0.0000	9
	III	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	2
	IV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0
II	I	0.9219	0.0781	0.0000	0.0000	64
	II	0.0000	0.8548	0.1452	0.0000	62
	III	0.0000	0.0278	0.8889	0.0833	36
	IV	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	12
III	I	0.9474	0.0526	0.0000	0.0000	57
	II	0.0000	0.8077	0.1923	0.0000	52
	III	0.0000	0.0164	0.8361	0.1475	61
	IV	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	68
IV	I	0.5000	0.5000	0.0000	0.0000	2
	II	0.0000	0.8000	0.2000	0.0000	5
	III	0.0000	0.0000	0.8750	0.1250	24
	IV	0.0000	0.0000	0.0541	0.9459	37

产区粮食生产压力。

三是发挥高水平地区的辐射带动作用,缩小发展差距。促进粮食生产大省将粮食生产优势转化为粮食产业优势、经济优势,向粮食强省转型。重视粮食生产中的空间关联,搭建区域合作平台,完善省际间的合作共赢机制,促进各地区之间交流合作。东部等粮食生产韧性高水平地区应通过农业知识溢出、技术扩散、资源共享等方式带动周边地区发展,持续扩大高水平的地区范围。而西部等粮食生产韧性水平发展较低的地区,积极吸纳高水平地区的正向溢出,同时持续加大粮食生产基础设施建设,改善生产条件,优化生产方式,提高粮食生产能力。

参 考 文 献

- [1] 张玉梅,龙文进.大食物观下农业产业链韧性面临挑战及提升对策[J].中州学刊,2023(4):54-61.
- [2] ZUREK M, INGRAM J, SANDERSON BELLAMY A. et al. Food system resilience: concepts issues and challenges[J]. Annual review of environment and resources, 2022(47): 511-534.
- [3] HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual review of ecology and systematics, 1973, 4(1): 1-23.
- [4] MARTIN R. Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks[J]. Journal of economic geography, 2012, 12(1): 1-32.
- [5] REGGIANI A, GRAAFF T, NIJKAMP P. Resilience: an evolutionary approach to spatial economic systems[J]. Networks and spatial economics, 2002(2): 211-229.
- [6] MARTIN R, SUNLEY P. On the notion of regional economic resilience: conceptualization and explanation[J]. Journal of economic Geography, 2015, 15(1): 1-42.
- [7] 曾冰. 中国省域经济韧性发展水平评价[J]. 大连理工大学学报(社会科学版), 2023, 44(2): 28-36.
- [8] 周霞,王佳. 中国省域经济韧性与生态效率测度及其协同演化分析[J]. 干旱区地理, 2024, 47(2): 319-331.
- [9] 郝爱民,谭家银. 农村产业融合赋能农业韧性的机理及效应测度[J]. 农业技术经济, 2023(7): 88-107.
- [10] 蒋正云,刘庆芳,宋金平. 中国区域经济韧性的格局特征及演化机制[J]. 经济地理, 2023, 43(6): 1-12.
- [11] 赵巍,赵恬婧,马婧. 数字普惠金融、农村产业融合与农业经济韧性[J]. 农林经济管理学报, 2023, 22(5): 555-565.
- [12] 刘晓星,张旭,李守伟. 中国宏观经济韧性测度——基于系统性风险的视角[J]. 中国社会科学, 2021(1): 12-32, 204.
- [13] 唐任伍,李楚翘. 中国经济韧性的现实表征、动态演化与决定因素[J]. 北京师范大学学报(社会科学版), 2022(1): 23-35.
- [14] 赵建吉,张馨歆,王艳华,等. 中国区域经济韧性的时空格局特征与影响因素[J]. 经济地理, 2023, 43(8): 1-11.
- [15] 方磊,张雪薇. 科技金融生态对区域经济韧性的空间效应及影响机制[J]. 中国软科学, 2023(6): 117-128.
- [16] 肖春梅,黄桂鑫. 数字经济是否提升了城市韧性? ——来自中国285个城市的经验证据[J]. 区域经济评论, 2023(4): 117-125.
- [17] 黄琼,崔子怡. 中国城市韧性发展水平测度、差异分解与动态演变及障碍因子识别[J]. 统计与决策, 2023, 39(13): 106-111.
- [18] 谷城,张树山. 产业链韧性水平测度、区域差异及收敛性研究[J]. 经济问题探索, 2023(6): 123-139.
- [19] 何亚莉,杨肃昌. “双循环”场景下农业产业链韧性锻造研究[J]. 农业经济问题, 2021(10): 78-89.
- [20] TENDALL D M, JOERIN J, KOPAINSKY B. et al. Food system resilience: defining the concept [J]. Global food security, 2015 (6): 17-23.
- [21] SEEKELL D, CARR J, DELL'ANGELO J, et al. Resilience in the global food system[J]. Environmental research letters, 2017, 12 (2): 025010.
- [22] 郝爱民,谭家银. 数字乡村建设对我国粮食体系韧性的影响[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2022, 21(3): 10-24.
- [23] 李明亮,陈德慧,余国新. 数字普惠金融赋能粮食体系韧性——基于空间溢出效应视角分析[J/OL]. 中国农业资源与区划: 1-13. [2024-04-17]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.3513.s.20230608.1515.036.html>.
- [24] 青平,邓秀新,闵师,等. “双循环”背景下我国粮食安全韧性及风险管控战略研究[J]. 中国工程科学, 2023, 25(4): 26-38.
- [25] 张帅,于宏源. 气候极端化背景下的全球粮食体系韧性治理及对中国的启示[J]. 上海交通大学学报(哲学社会科学版), 2023, 31 (7): 79-93.
- [26] 张帅. 风险叠加背景下的全球粮食体系转型与中国粮食安全韧性建设[J]. 社会主义研究, 2023(3): 166-172.
- [27] 马俊凯,李光洵,韩冬. 数字经济赋能粮食供应链韧性:作用路径和政策取向[J]. 新疆社会科学, 2023(1): 46-54.
- [28] 陶亚萍. 新时期强化中国粮食供应链韧性的创新路径[J]. 宁夏社会科学, 2023(1): 118-124.
- [29] 蒋辉,陈瑶,刘兆阳. 中国粮食生产韧性的时空格局及其影响因素[J]. 经济地理, 2023, 43(6): 126-134.
- [30] 杨萍果,毛任钊,赵建林,等. 区域粮食综合生产能力及粮食安全分析——以河北省石家庄市为例[J]. 农业工程学报, 2006(S2): 279-282.
- [31] 罗海平,王佳敏,胡学英,等. 粮食主产区粮食安全与生态安全脆弱性耦合研究[J]. 统计与信息论坛, 2023, 38(7): 117-128.
- [32] 张小允,鲍洁,许世卫. 基于熵权TOPSIS模型的中国粮食安全评价研究[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(4): 35-44.

- [33] 邓灿辉,马巧云,魏莉丽.我国农业科技创新效率的区域差异及其影响因素研究[J].中国农业资源与区划,2020,41(5):231-237.
- [34] 王金伟,孙洁,雷婷,等.中国粮食生产效率与旅游发展的耦合机制及时空分异[J].自然资源学报,2022,37(10):2651-2671.
- [35] 高鸣,宋洪远.粮食生产技术效率的空间收敛及功能区差异——兼论技术扩散的空间涟漪效应[J].管理世界,2014(7):83-92.
- [36] 田云,尹恣昊.中国农业碳排放再测算:基本现状、动态演进及空间溢出效应[J].中国农村经济,2022(3):104-127.
- [37] 陈培阳,朱喜钢.中国区域经济趋同:基于县级尺度的空间马尔科夫链分析[J].地理科学,2013,33(11):1302-1308.
- [38] 朱红根,陈晖.中国数字乡村发展的水平测度、时空演变及推进路径[J].农业经济问题,2023,519(3):21-33.
- [39] 罗海平,王佳铖,胡学英,等.我国粮食功能区粮食安全水平的时空差异及障碍诊断[J].农业经济与管理,2023(2):23-34.
- [40] 路雯晶,陈卫洪.新型城镇化对粮食绿色全要素生产率的影响——兼论中介效应与调节效应[J].中国生态农业学报(中英文),2024,32(3):529-545.
- [41] 周莉雅,邱美琴,蔡晓燕,等.江苏粮食产业发展现状、主要问题与对策建议[J].江苏农业科学,2023,51(4):239-245.
- [42] 黄悦,张社梅.四川省粮食产业供给特征及供给能力提升策略研究[J].西南农业学报,2023,36(8):1584-1593.
- [43] 张欢欢,王国刚,张勇翔,等.我国粮食生产能力区域变化特征与成因分析[J].中国农业科技导报,2023,25(1):6-15.
- [44] 梁盛凯,陈池波,田云,等.中国乡村产业振兴:时空分异、动态演进及共富效应[J].农业技术经济,2024(1):75-95.
- [45] 张启楠,张凡凡,麦强,等.中国粮食生产效率空间溢出网络及提升路径[J].地理学报,2022,77(4):996-1008.
- [46] 徐依婷,穆月英,张哲晰.中国粮食生产用水效率的影响因素及空间溢出效应[J].华中农业大学学报(社会科学版),2022(4):76-89.

Analysis of Spatiotemporal Differences and Dynamic Evolution of Grain Production Resilience Based on Spatial Markov Chains

ZHENG Jiayi, ZHAO Yan, WEI Zeng

Abstract Improving the resilience of food production is of great significance to ensure food security and accelerate the construction of an agricultural power. Based on China's provincial panel data from 2005 to 2021, the evaluation index system of grain production resilience was constructed to measure the resilience level. And on this basis, the spatiotemporal dynamic evolution of the grain production was analyzed in depth followed by the trend prediction. The results are as follows: First, the overall level of food production resilience in China showed a year-on-year improvement trend during the study period, although the growth rate has slowed down in recent years. Second, there are obvious differences in the resilience of grain production among provinces, generally displaying a pattern of "being high in the east and low in the west" and the overall gap gradually widens during the study period. The main source of overall differences lies in regional disparities, but since 2017, interregional differences have gradually decreased, with intra-regional differences becoming the main cause of overall disparities. The problem of unbalanced development between sub-regions is more severe with obvious differences between provinces within the region. Third, there is a significant spatial correlation in the resilience of grain production in China, showing obvious characteristics of high-high and low-low agglomeration, where high-level provinces are mostly adjacent to one or more high-level provinces, while low-level provinces are mostly neighboring low-level provinces. Fourth, it is difficult for provinces to achieve a hierarchical leap in the resilience of food production in the short term. However, after the introduction of spatial and geographical factors, the stable state of grain production resilience has a tendency to fluctuate, often exhibiting a Matthew effect where "the strong remain strong and the weak remain weak".

Key words food production; resilience; spatial Markov chains; dynamic evolution

(责任编辑:金会平)