华南农业大学学报(社会科学版)
2024年第1期 JOURNAL OF SOUTH CHINA AGRICULTURAL UNIVERSITY
(第23卷) (SOCIAL SCIENCE EDITION)

中国粮食体系韧性:水平测度及动态演进

左秀平[1a,2],叶林祥[1b]

(1. 南京财经大学 a 粮食和物资学院; b 经济学院,江苏 南京 210003;
2. 江苏开放大学 商学院,江苏 南京 210013)

摘 要: 分析粮食体系韧性理论内涵的基础上,从风险抵抗能力、适应调整能力和创新转型能力三个维度构建粮食体系韧性综合评价指标体系,基于2011—2021年中国31个省份数据,采用熵值法、Moran's I指数、Kernel核密度、空间Markov链、Dagum基尼系数等方法对中国粮食体系韧性进行测度与评价。研究发现:中国粮食体系韧性提升明显,但整体水平较低,粮食主销区粮食体系韧性较高;中国粮食体系韧性分维度指数值从高到低依次是风险抵抗能力、创新转型能力和适应调整能力。中国粮食体系韧性具有显著的空间正相关性,多数省份位于高—高集聚区和低—低集聚区,空间集聚程度逐渐降低。中国粮食体系韧性水平在波动中上升,具有一定的梯度效应,但极化效应较弱;相邻地区空间滞后水平的提升能够增加本地区向上转移的概率。中国粮食体系韧性的区域差异明显但存在一定的收敛趋势,组间差异及超变密度是粮食体系韧性发展不平衡不充分的主要原因。

关键词: 粮食安全;粮食体系韧性;创新转型能力;区域差异

中图分类号: F326.11 **文献标识码:** A **文章编号:**1672-0202(2024)01-0088-14

一、引言

农稳社稷,粮安天下。粮食安全关乎民生福祉、社会稳定,是国家安全的重要基石。党的二十大报告强调,要全方位夯实粮食安全根基,确保中国人的饭碗牢牢端在自己手里。在党的坚强领导下,中国牢牢把住粮食安全主动权,始终将14亿人口的吃饭问题作为治国理政的头等大事,粮食产量连续8年站稳1.3万亿斤台阶,粮食安全得到有效保障①。然而,正值百年未有之大变局,资源环境约束趋紧、技术创新水平不足、极端气象愈发频发、贸易保护主义抬头、突发公共卫生事件冲击等内忧外患双重叠加,冲击着全球粮食产业链供应链,加剧了粮食体系的不确定性和不稳定性,严重威胁着中国的粮食安全[1]。在此背景下,如何强化粮食体系韧性以应对各种不确定不稳定因素带来的风险冲击,促进粮食体系转型升级,进而实现高质量发展,是当前政学界较为关注的问题。2023年党中央一号文件指出:"要立足国情农情,体现中国特色,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",以确保粮食等重要农产品供给。因此,高度重视和系统研究中国粮食体系韧性问题,对促进粮食体系转型升级、实现高质量发展、维护国家粮食安全具有重要意义。

韧性一词最早出现在生态学领域,Holling[2]用其分析生态系统遭受外部冲击以后的自我调节和修复能力。Aura等[3]较早地将韧性概念用于描述经济领域现象,认为经济韧性是指经济系统在

收稿日期:2023-09-04 **DOI:**10.7671/j.issn.1672-0202.2024.01.008

基金项目:国家社会科学基金重大项目(19ZDA116);国家自然科学基金面上项目(72273061)

作者简介:左秀平(1985—),女,安徽铜陵人,南京财经大学粮食和物资学院博士研究生,江苏开放大学副教授,主要研究方向为粮食经济学。E-mail:zxp20031014@163.com

① 资料来源:新华网,http://www.news.cn/2023-01/23/c_1129308248.htm

遭受冲击之后迅速恢复的能力。此后，学者们基于宏微观角度，从整体经济韧性、区域经济韧性、城市经济韧性、乡村经济韧性等方面开展积极探索，分析经济韧性的理论内涵，对其进行相应测度并分析其时空演化特征等[4-7]。具体到农业领域，学者们关注较多的是农业经济韧性的测度、时空分异特征、影响因素，以及农业产业链韧性的实现路径，为农业经济的高质量发展提供了切实可遵循的路径[8-10]。粮食是农业的重中之重，然而国内外对粮食体系韧性的研究却相对较少。国外的研究主要集中在粮食体系韧性的理论内涵方面，如 Tendall 等[11]将粮食体系韧性定义为当粮食系统遭受各种自然或非自然的内外部冲击时依然保持稳定的能力；Béné 等[12]认为粮食体系韧性是多维度的，具体包括个人、地方政府、国家以及全球粮食价值链等方面在面对冲击时所表现出的适应能力和革新能力。国内的研究主要集中在粮食体系韧性的影响因素方面，如郝爱民、谭家银[13]构建了粮食体系韧性及数字乡村的综合评价指标体系，研究表明数字乡村建设能够显著提升粮食体系韧性；李明亮等[14]通过研究发现数字普惠金融及不同维度均有助于提升粮食体系韧性，且存在显著的区域异质性和空间溢出效应。此外，还有部分学者就粮食系统中的某个方面开展研究，如蒋辉等[15]构建了粮食生产韧性综合评价指标体系，分析中国粮食生产韧性的空间格局和影响因素；马俊凯等[16]结合当前我国粮食供应链存在的问题与短板，提出通过数字化技术应用可赋能粮食供应链韧性，促进其向更加稳定、更加强韧的方向发展。

通过梳理现有文献，发现仍有三个方面值得拓展。一是韧性问题已经成为政学界关注的重要问题，但相应的研究成果主要集中在整体经济韧性、城市经济韧性、乡村经济韧性等领域，关于粮食体系韧性的研究较少。二是关于粮食体系韧性的测度，多从生产层面、供应链层面或生态层面展开，缺乏对粮食系统的整体把握，相应的指标体系需要进一步延展与优化。三是关于粮食体系韧性的研究，多从理论层面剖析其形成机理、面临困境或创新路径，实证分析的不多，专门分析粮食体系韧性动态演进特征的文献更是匮乏。

在党和国家的坚强领导下，中国实现了从饥饿到温饱再到全面小康的历史巨变，这也从侧面说明了中国粮食体系的韧性水平是不断提升的。因此，在国家粮食安全视角下研究粮食体系韧性问题，对于新时代促进粮食体系转型升级，进而实现高质量发展具有重要意义。因此，本文拟从以下三个方面进行可能的边际贡献创新。一是分析粮食体系韧性的理论内涵及主要培育要点，拓展韧性的研究范畴；二是在理论内涵的基础上，从风险抵抗能力、适应调整能力和创新转型能力三个维度构建粮食体系韧性的综合评价指标体系，测度中国粮食体系韧性水平，丰富了粮食体系韧性的研究内容；三是采用 Moran's I 指数、Kernel 核密度、空间 Markov 链、Dagum 基尼系数等方法实证分析中国粮食体系韧性的动态演进特征及区域差异，为提升粮食体系韧性水平、实现不同区域均衡化发展、维护国家粮食安全提供经验支持。

二、粮食体系韧性的理论内涵、评价指标体系及测度

（一）粮食体系韧性的理论内涵

粮食体系，即粮食系统，是指粮食从生产、储运、加工、流通及消费等环节所经历的一系列活动[17]。由于易受气候变化、自然资源短缺、运输链中断等因素的冲击，粮食体系本身存在脆弱性，因此粮食体系韧性的内涵较为复杂[18]。联合国粮农组织发布的《2021 年粮食及农业状况》报告中指出，粮食体系韧性是粮食系统在抵御外界冲击和压力时能够迅速恢复，同时保证个人及时获取数量充足、营养健康的食物以及维持粮食系统各参与主体经济效益的一种能力[19]。该能力主要从粮食需求角度，强调家庭及个人对食物的获取能力，这与当前中国的粮食安全情况略有差异。当前，中国的粮食安全主要从粮食供给角度，更多强调的是粮食的稳产保供，涉及保障粮食数量及质量的各方面、各环节和各领域[13]。因此，本文所研究的粮食体系韧性主要是基于粮食的供给角度而言的。结合中国的国情、农情、粮情等现实情况，参考联合国粮农组织关于粮食体系韧性的概

念,本文将粮食体系韧性定义为:粮食系统在面对各种风险和冲击时,通过自我调整和修复以实现粮食系统的高效生产、有效供给以及自适应发展的能力,具体包括风险抵抗能力、适应调整能力和创新转型能力。其中,风险抵抗能力是指粮食系统能够有效抵抗各种风险和冲击并维持系统稳定运行的能力;适应调整能力是指粮食系统在面对外部各种风险和冲击时能够迅速做出适应性调整,使其能够快速恢复至稳定运行状态的能力;创新转型能力是指粮食系统在遭受各种风险和冲击时,能够凭借自身组织结构优势进行优化升级,使其在更高水平下维持稳定运行的能力。

粮食体系韧性贯穿粮食生产、流通、加工、消费等多个环节,涉及粮农、流通加工企业、零售企业等各方参与主体,其培育是综合、复杂的系统工程,受粮食生产效率、粮食运输网络、科技创新水平、贸易渠道多元化等多方面因素的影响。首先,粮食生产效率是培育粮食体系韧性的关键因素。粮食生产效率包括劳动生产效率和土地生产效率,是粮食体系抵抗风险、维持平稳运行的基础,生产效率的提高能够实现粮食产量的提升。其次,高效的粮食运输网络是培育粮食体系韧性的重要方面,能够实现粮食从生产端到消费端的高效连接,缓解时空差异带来的交易壁垒;同时,基于大数据、人工智能、物联网等新一代信息技术的应用能够实现信息的高效传输及粮食的智能化调配,有助于粮食系统应对外部风险冲击。再次,科技创新,尤其是种业关键核心技术和农机装备卡脖子技术的创新水平能够提高资源利用效率、土地产出率、劳动生产率,推动粮食产业从增产导向转向提质导向,促进粮食系统优化升级,保证其在更高水平下平稳运行。最后,贸易渠道多元化能够对冲不确定的市场风险,提高粮食体系韧性。若存在多个贸易合作伙伴,则可以多渠道多途径进口国内需求旺盛的粮食产品,或者出口产量充足的粮食产品,通过调节市场供需提高粮食体系适应能力,增强韧性水平[20]。

(二)粮食体系韧性的综合评价指标体系

基于粮食体系韧性的理论内涵,充分考虑指标体系的全面性、科学性、系统性,以及数据的可获得性,同时参考2021年世界粮食报告[19]、区域经济韧性编制[21]、农业经济韧性编制[22]等众多文献的思路,以粮食体系中的风险抵抗能力、适应调整能力和创新转型能力为基准,构建粮食体系韧性综合评价指标体系,见表1。

表1 粮食体系韧性综合评价指标体系

总指标	维度指标	基础指标	基础指标计算方法	指标属性
粮食体系韧性水平	风险抵抗能力	人均耕地面积	粮食播种面积/乡村总人口(亩/人)	+
		人均有效灌溉面积	有效灌溉面积/乡村总人口(亩/人)	+
		单位面积粮食产量	粮食总产量/粮食播种面积(公斤/亩)	+
		粮食劳动生产率	粮食总产值/乡村总人口(元/人)	+
		粮食土地生产率	粮食总产值/粮食播种面积(万元/亩)	+
		粮食生产价格指数	种植业生产价格指数(%)	—
		农村路网通达性	农村公路通路里程/乡村人口(公里/人)	+
		农村信息化水平	农村宽带接入用户数(户)	+
	适应调整能力	农膜使用	农膜使用量/粮食播种面积(公斤/亩)	-
		化肥使用	化肥折纯量/粮食播种面积(公斤/亩)	-
		农药使用	农药使用量/粮食播种面积(公斤/千亩)	-
		抗灾能力	成灾面积/受灾面积*100(%)	-
		农村人均用电量	农村用电量/农村人口(kW·H/人)	+
		进出口依存度	农产品进出口总额/农业总产值*100(%)	+
	创新转型能力	固定资产投资	农林渔牧业固定资产投资/乡村人口(千元/人)	+
		机械化水平	粮食机械总动力/粮食播种面积(千瓦/亩)	+
		粮食产值指数	当期谷物总产值/上一期谷物总产值(%)	+
		粮食产业创新基础	粮油工业总产值(亿元)	+
		粮食科研人员	粮食产业R&D人员数量(人)	+
		粮食科研支出	粮食产业R&D经费支出(亿元)	+

（三）数据说明

基于 2011—2021 年中国 31 个省份（不含港澳台地区）数据测度粮食体系韧性。所有数据均来源于国家统计局官网、《中国统计年鉴》《中国粮食和物资储备年鉴》《中国农业统计年鉴》《中国人口和就业统计年鉴》以及各地方统计年。对于个别缺失的数据，采用移动平均插值法进行插值。另外，西藏种植业生产价格指数数据缺失，采用青海省的数据代替，主要是因为青海与西藏相邻，气候条件、自然环境等种植条件均相似，种植业的生产成本也应类似。

（四）粮食体系韧性测度方法

本文采用熵值法测度粮食体系韧性。熵值法是一种客观赋权法，其核心思想是根据各项指标观测值所提供的信息大小来确定指标权重，进而计算综合得分。它修正了等权重法、层次分析法等主观赋权法因人为因素带来的偏差，结果更具科学性[23]。具体计算步骤如下：

1. 标准化数据

正向指标按$z_{ij}=\frac{x_{ij}-\min(x_j)}{\max(x_j)-\min(x_j)}$进行标准化，负向指标按$z_{ij}=\frac{\max(x_j)-x_{ij}}{\max(x_j)-\min(x_j)}$进行标准化。其中，$x_{ij}$为第 i 个样本的第 j 个指标的值，$\max(x_j)$ 和 $\min(x_j)$ 分别为第 j 个指标的最大值和最小值，$i=1,2,....m$，$j=1,2,...n$。

2. 计算熵值

第 j 个指标的熵值为：$e_j=-k\sum_{i-1}^{m}p_{ij}\ln(p_{ij})$，且 $1\leqslant e_j\leqslant 1$。其中，$k=1/\ln(m)$ 且 $k>0$；$p_{ij}=\frac{z_{ij}}{\sum_{i-1}^{m}z_{ij}}$，为第 j 个指标下第 i 个样本占该指标的比重。

3. 计算权重

各项指标的权重为：$w_j=\frac{d_j}{\sum_{i-1}^{m}d_j}$。其中，$d_j=1-e_j$，为第 j 个指标的信息效用值。

4. 计算综合指数

第 i 个样本的综合指数为：$s_i=\sum_{i=1}^{n}w_j*z_{ij}$。

三、基本特征事实：中国粮食体系韧性的测度结果

（一）粮食体系韧性总指数测度结果

运用熵值法测度 2011—2021 年中国 31 个省份粮食体系韧性总指数。图 1 为全国及不同粮食功能区粮食体系韧性总指数的变化趋势。从全国层面看，粮食体系韧性总指数的平均值、中位数都呈现逐年上升趋势，其中平均值由 2011 年的 0.121 上升到 2021 年的 0.260，年均增长率为 11.44%，说明中国粮食体系韧性逐渐增强，粮食产业链供应链正朝着稳定、强韧的方向转型升级，但粮食体系韧性总体水平仍然偏低，具有较大提升空间。对比 2011—2021 年中国粮食体系韧性总指数的平均值和中位数，发现前者总是高于后者，这说明中国粮食体系韧性总指数具有右偏分布特征，即大多数省份粮食体系韧性水平较低，但存在少数省份粮食体系韧性水平较高的情况。从区域层面

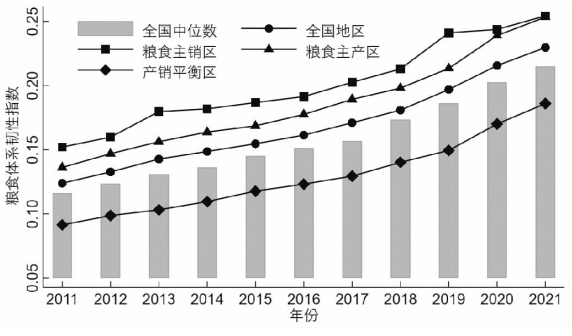


图 1　2011—2021 年中国三大经济区域及三大粮食功能区粮食体系韧性水平

看,不同粮食功能区粮食体系韧性的变化趋势与全国基本一致,但又表现出区域差异性。具体来说,三大粮食功能区粮食体系韧性总水平由高到低分别是粮食主销区、粮食主产区和产销平衡区,其平均值分别是0.249、0.198和0.117;增长速度由高到底依次是产销平衡区、粮食主产区和粮食主销区,其增速分别为17.63%、11.27%和7.88%。造成以上差异的可能原因是不同区域的地理优势、资源禀赋、交通基础设施、市场发育程度不同,导致粮食体系韧性分异明显。粮食主销区经济发达、市场通达性强、科技创新水平较高,而粮食主产区自然资源丰富、农业基础设施完善、粮食生产的组织化规模化程度高,因此粮食体系韧性水平较高[24]。产销平衡区既无经济、科技支撑助力,农业资源也相对匮乏,因此粮食体系韧性发展存在一定差距。但近年来受"一带一路"、西部陆海新通道等国家战略的惠及,互联网技术应用及数字经济的发展较快,市场通达性增强,粮食流通效率得以提升,一定程度上推动了粮食产业高质量发展,实现粮食体系韧性的赶超,因此增速较快[25]。

(二)粮食体系韧性各维度指数测度结果

粮食体系韧性水平取决于风险抵抗能力、适应调整能力和创新转型能力三个维度的协同匹配。采用熵值法测度各维度综合指数,分析粮食体系韧性不同维度的优势和不足,结果见表2。从区域比较看,粮食体系韧性各维度指数主要表现出以下特征。一是均值排名方面。粮食主销区的适应调整能力和创新转型能力最强,粮食主产区的风险抵抗能力最强,产销平衡区的适应调整能力和创新转型能力最弱,且与主销区差距明显。二是增速排名方面。无论是风险抵抗能力,适应调整能力还是创新转型能力,产销平衡区的增速均位列第一。这主要是因为,粮食主销区人力资本雄厚,且拥有较为完善的市场体系及科研创新系统,因此粮食体系的适应调整能力和创新转型能力较强,但农业资源匮乏,粮食生产在区域经济所占份额较小,导致其风险抵抗能力较弱[24]。粮食主产区肩负保障国家粮食安全的重责,农业资源丰富、农业基础设施建设水平较高,大大提升了粮食体系的风险抵抗能力,但创新转型能力还有较大的提升空间。产销平衡区人均农业资源占有量较少、区位优势不显,加上基础设施落后、机械化程度低,粮食体系抵御外部风险及冲击时的稳定性及韧性度均不具有优势,但近年来受惠于国家各类政策,粮食体系的风险抵抗能力、适应调整能力及创新转型能力增速明显。需要注意的是,粮食主产区的适应调整能力的增速为负,其值为-0.08%,可能是因为耕地资源有限、资源环境恶化,导致农户不得不通过加大化肥、农药等的使用提高粮食单产,导致粮食体系的生态韧性出现负向增长。总体来看,粮食体系的风险抵抗能力最强,其次是创新转型能力,最后是适应调整能力,且风险抵抗能力的增速最快,未来需要持续加大农业基础设施投资,加强粮食产业科技创新,促使粮食体系转型升级,以提高粮食体系的适应调整能力和创新转型能力。

表2 2011—2021年粮食体系韧性各维度水平及排名

子维度		不同粮食功能区			全国
		主销区	主产区	产销平衡区	
风险抵抗能力	均值排名	0.1376(3)	0.2150(1)	0.1706(2)	0.1818
	增速排名	6.44%(3)	10.56%(2)	12.38%(1)	18.71%
适应调整能力	均值排名	0.2606(1)	0.1281(2)	0.1050(3)	0.1498
	增速排名	0.08%(2)	-0.08%(3)	1.04%(1)	15.04%
创新转型能力	均值排名	0.2168(1)	0.2037(2)	0.1044(3)	0.1714
	增速排名	17.05%(2)	13.67%(3)	20.54%(1)	17.73%

四、中国粮食体系韧性的空间分布特点

（一）空间分布格局

利用 Arcgis10.8 软件对中国粮食体系韧性的空间分布格局进行可视化处理，结果见图 2。从图 2 可以看出，中国粮食体系韧性水平整体较低但呈上升趋势，且存在较为显著的空间集聚性。具体说来，粮食体系韧性水平较高的地区主要分布于东部沿海的粮食主销区及主产区，较低的地区主要分布于内陆粮食产销平衡区。例如，粮食体系韧性较高的地区主要有山东、北京、黑龙江、江苏和上海，较低的地区主要有海南、甘肃、山西和贵州。这主要是因为位于东部地区的粮食主销区经济发达、交通基础设施完善、市场通达性强，且在农业科技创新方面具有绝对优势，其粮食体系创新转型能力较强；而像江苏、山东、黑龙江这样的粮食主产区，拥有得天独厚的农业资源禀赋，且粮食生产及流通的规模化及组织化程度较高，同时受益于各类种粮强农政策，使其具有较强的风险抵抗能力。与粮食主销区及主产区相比，位于中西部地区的产销平衡区，其粮食体系的风险抵抗能力、适应调整能力和创新转型能力均具有一定差距，未来需要注意兼顾区域协调平衡发展，实现产销平衡区的粮食体系韧性水平的追赶。

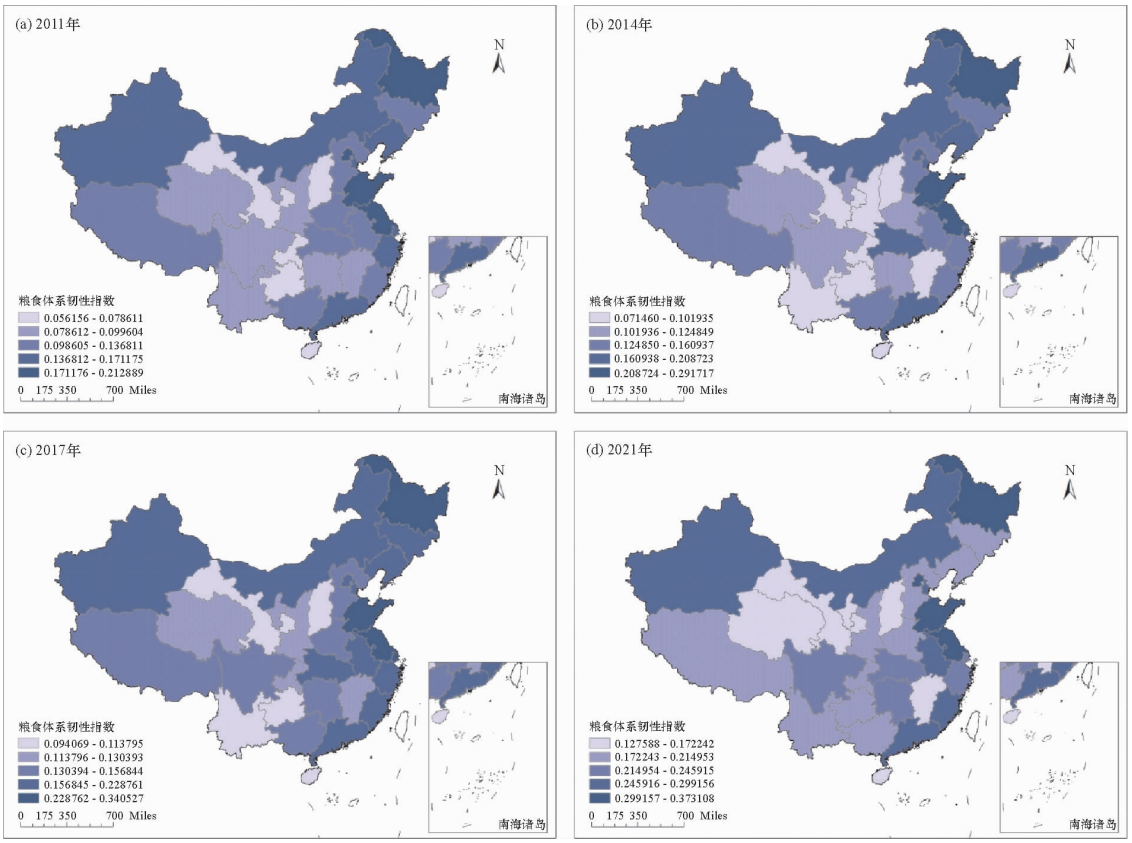


图 2　中国粮食体系韧性的空间分布

（二）空间相关性

前文已经分析，中国粮食体系韧性存在区域差异，具有一定的空间集聚效应，接下来进一步检验粮食体系韧性的空间相关性，以检验该种集聚效应是否随机。

1. 全局自相关

采用全局 Moran's I 指数分析粮食体系韧性的空间相关性。由于基于经济或社会因素构建的空间权重矩阵具有内生性，容易造成结果偏误，而基于地理距离或地理邻接的空间权重矩阵是外生的，其结果相对稳健[26]。因此同时使用地理邻接和地理距离平方的倒数构建空间权重矩阵，分析中国粮食体系韧性的空间集聚效应，结果见表3。结果显示，无论是使用地理邻接还是地理距离的空间权重矩阵，2011—2021年中国粮食体系韧性的全局 Moran's I 指数均为正值，除地理邻接矩阵下2020年、2021年 Moran's I 指数不显著外，其他均在10%水平及以上显著；同时，Moran's I 指数逐年降低。这一研究结果表明，中国粮食体系韧性具有显著的空间正相关性，即粮食体系韧性水平高（低）的地区毗邻水平高（低）的区域，但这种相关性逐年减弱，空间集聚程度逐渐降低。这可能是因为随着互联网、计算机的应用与普及，以及交通基础设施的不断完善，不同省份间的沟通交流增强，一定程度上削弱了地理位置和距离带来的空间集聚效应。当然，需要重视不同区域粮食体系韧性的统筹管理和协调发展，以全面实现粮食体系韧性的均衡提升。

表3 2011—2021年中国粮食体系韧性的 Moran's I 指数

年份	基于地理邻接的空间权重矩阵			基于地理距离的空间权重矩阵		
	Moran's I	Z 值	p 值	Moran's I	Z 值	p 值
2011	0.305	3.100	0.001	0.153	4.870	0.000
2012	0.285	2.926	0.002	0.144	4.632	0.000
2013	0.28	2.934	0.002	0.127	4.250	0.000
2014	0.259	2.726	0.003	0.114	3.891	0.000
2015	0.268	2.804	0.003	0.113	3.878	0.000
2016	0.238	2.554	0.005	0.094	3.390	0.000
2017	0.23	2.485	0.006	0.078	2.980	0.001
2018	0.21	2.307	0.011	0.071	2.792	0.003
2019	0.185	2.062	0.020	0.069	2.735	0.003
2020	0.093	2.167	0.122	0.066	2.623	0.004
2021	0.069	0.944	0.173	0.047	2.112	0.017

2. 局部自相关

接下来采用 Moran 散点图分析粮食体系韧性的局部集聚特征，以及不同省份间的空间相关模式是否存在差异。选取2011年、2014年、2017年及2021年作为代表性年份绘制粮食体系韧性的 Moran 散点图，结果见图3。第一，代表性年份内，多数省份位于第一象限（高—高集聚区）和第三象限（低—低集聚区），说明中国粮食体系韧性存在显著的空间正相关，且这种状态较为稳定。第二，不同省份粮食体系韧性的空间集聚特征不同。具体来说，天津、上海、浙江3个粮食主销省份，江苏、山东、吉林、黑龙江4个粮食主产省份始终位于“高－高”集聚区域；海南、山西和广西10个粮食产销平衡省份始终位于“低—低”集聚区域；江西始终位于“高—低”集聚区域；广东、内蒙古、新疆、湖北始终位于“低—高”集聚区域。第三，少数省份的空间集聚状态发生改变。2011至2021年，安徽由“高—低”区域跃迁至“高—高”区域，四川、湖南由“低—低”区域跃迁至“低—高”区域；部分省份出现跌落现象，如河北、吉林由“高—高”区域跌落至“高—低”区域。总体来说，中国粮食体系韧性的空间集聚状态较为稳定，发生变化的主要省份为粮食主产区。

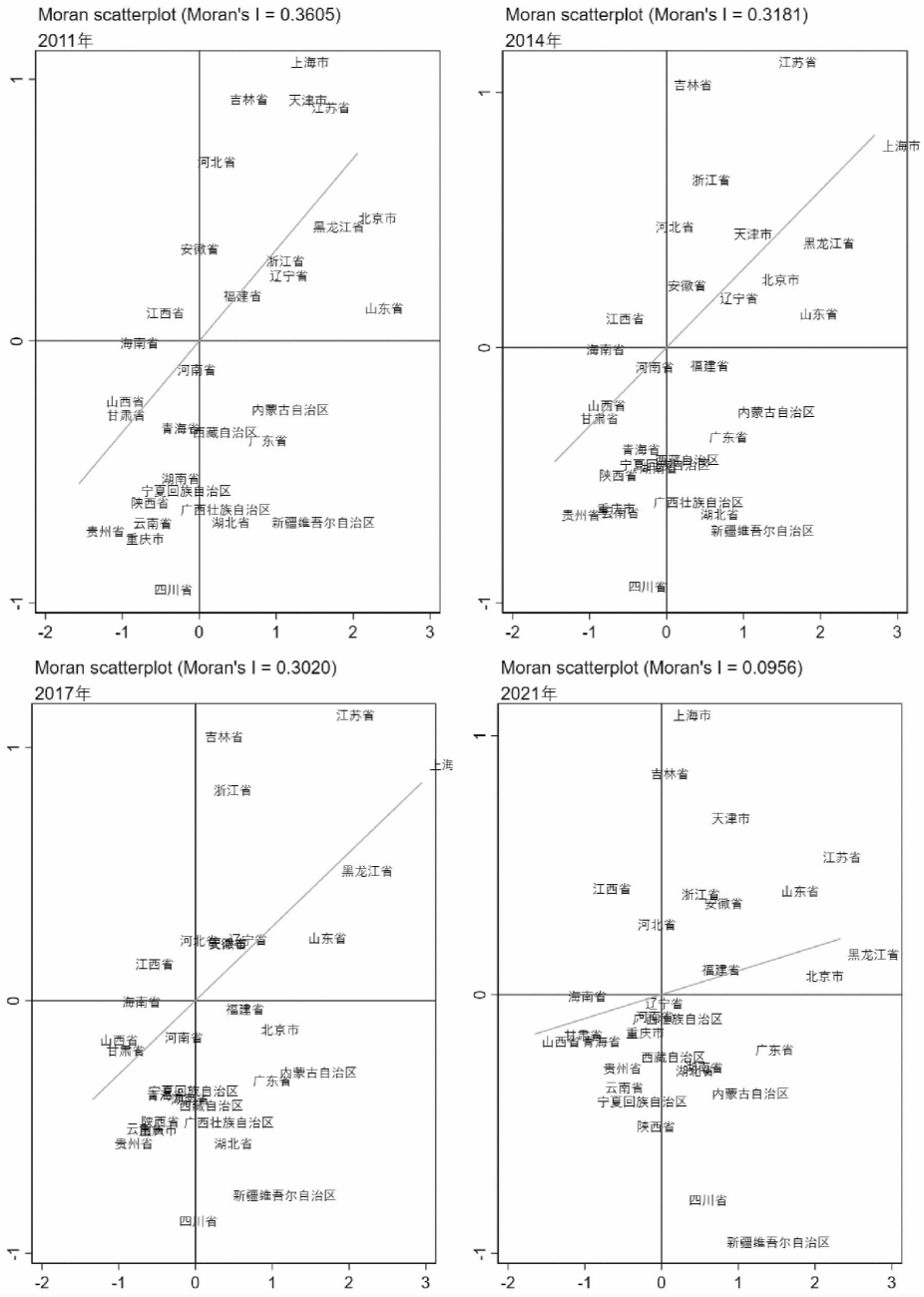


图 3　中国粮食体系韧性的 Moran 散点图

五、中国粮食体系韧性的动态演进特征

(一)时间演进特征

1. *研究方法*:Kernel 核密度估计

本文采用 Kernel 核密度估计考察粮食体系韧性的时间演进特征。Kernel 核密度估计法被广泛用于研究区域的不平衡分布问题。作为非参数估计法,因其克服了参数估计法中的变量选择、模型设定等主观问题,研究结果相对稳健[27]。其基本函数形式如下:

$$f(x)=\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}K(x-x_j)=\frac{1}{nh}\sum_{j=1}^{n}K(\frac{x_j-\bar{x}}{h})$$

$$K(x)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp(-\frac{1}{2}x2)$$

其中，x 为粮食体系韧性指数（假设其服从独立同分布），n 为指标 j 的观测值，$\bar{x}$ 为 x 的均值。$K(\cdot)$ 为核密度函数（高斯核密度函数），h 为最优宽带，采用“拇指法则”确定。

2. 结果分析

选取代表性年份分析中国以及不同粮食功能区粮食体系韧性的时间演进特征，结果见图 4。（1）全国层面。从曲线分布的位置来看，随着时间的推移，图 4（a）中核密度曲线的核心位置不断向右移动，2021 年的分布曲线位于最右侧，说明粮食体系韧性水平呈逐年上升趋势，与前文研究一致。从波峰特征来看，全国层面核密度曲线的波峰高度在波动中下降，波峰宽度小幅收窄，且具有明显的右拖尾特征，说明大多数省份粮食体系韧性水平较低，且存在一定的区域差异，但这种差异具有收敛趋势。从波峰数量来看，代表性年份均表现出“多峰”或“双峰”形态，但侧峰明显弱于主峰，且后期逐渐演变为“单峰”形态，说明中国粮食体系韧性水平具有一定的梯度效应，极化效应较弱。（2）区域层面。从曲线分布的位置来看，随着时间的推移，不同粮食功能区的核密度曲线的中心位置均不断右移，说明各区域粮食体系韧性水平不断提升，这与全国层面一致。从波峰特征来看，粮食主销区的波峰高度呈“下降—上升—快速下降”趋势，波峰宽度呈“先收窄后扩大”趋势，最后年份呈“截尾特征”，说明区域内大多数省份粮食体系韧性水平在波动中上升，不同省份之间的差异先逐渐增大后大幅缩小；粮食主产区的波峰高度呈现“下降—下降—上升”趋势，波峰宽度呈逐渐缩小趋势；产销平衡区的波峰高度和宽度均呈小幅下降趋势，说明代表性年份内粮食主产区和产销平衡区的粮食体系韧性水平差异逐渐缩小。最后，从波峰数量来看，粮食主销区呈单峰特征，说明该区域内粮食体系韧性的极化效应较弱；粮食主产区及产销平衡区存在“双峰”或“多峰”的状态，且侧峰峰值显著低于主峰峰值，表明区域内粮食体系韧性有向多极化演变趋势。

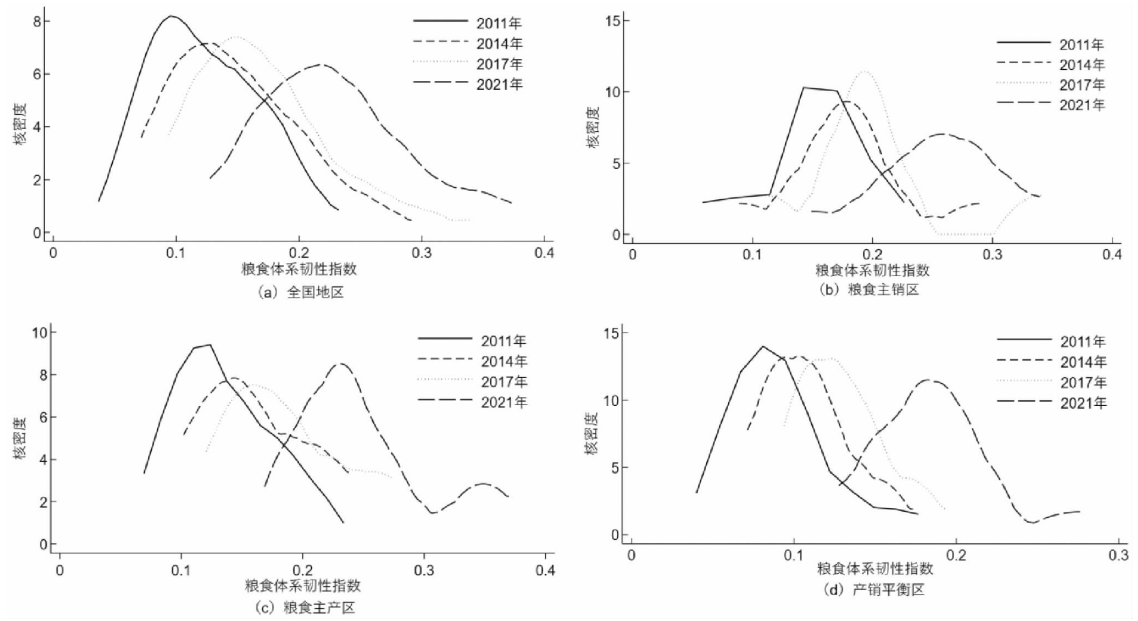


图 4 中国及三大粮食功能区粮食体系韧性 Kernel 核密度分布图

(二)空间演化特征

1. 研究方法:空间 Markov 链

本文采用空间 Markov 链考察粮食体系韧性的空间演化特征。传统的 Markov 链是基于离散的时间节点将样本数据散化为不同的状态(类型),进而统计样本数据的状态(类型)转移概率[28]。空间 Markov 链则将空间因素纳入进来,通过引入空间权重矩阵,分析相邻地区对本地区状态转移存在的影响。参考张虎、周迪[29]:首先,将样本数据乘以空间权重矩阵得到空间滞后值,即 $\sum_i w_{ij}s_i$(s_i为 i 地区原始观测值,w_{ij}为空间权重矩阵)。本文采用地理邻接空间权重矩阵,即 $w_{ij}=\begin{cases}1,\text{地区 } i \text{ 和 } j \text{ 相邻}\\0,\text{地区 } i \text{ 和 } j \text{ 不相邻}\end{cases}$。其次,将传统 Markov 链分解成 k 个 k * k 条件概率矩阵,分析给定相邻地区状态下,某地区由 i 型转化为 j 型的概率。

2. 结果分析

借鉴陈银娥等[30]的研究,将粮食体系韧性水平分为四个等级(0—0.25 为低水平状态;0.25—0.5 为中低水平状态;0.5—0.75 为中高水平状态;0.75—1 为高水平状态)。利用 Matlab 软件计算粮食体系韧性的空间 Markov 转移概率矩阵,结果见表 4。结果表明,第一,不同空间滞后水平下,粮食体系韧性的空间 Markov 转移概率不同,表明本地区粮食体系韧性水平向下一期转移的概率受邻近地区状态的影响。第二,不同空间滞后水平下,相同类型的等级转移概率存在差异。例如,当空间滞后水平为低水平时,本地区由低水平向低水平转移的概率为 0.889;当空间滞后水平为中低水平时,本地区由低水平向低水平转移的概率为 0.727。第三,不同空间滞后水平下,Markov 转移概率矩阵主对角线上的概率值均大于非对角线上的概率值。例如,当空间滞后水平分别为低水平、中低水平、中高水平和高水平时,本地区维持低水平、中低水平、中高水平和高水平的概率分别为 0.889、0.743、0.781和 1,这也意味着考虑了空间因素的影响,中国粮食体系韧性的发展整体较

表 4　2011—2021 年中国粮食体系韧性空间 Markov 转移概率矩阵

空间滞后	T_t时期	T_{t+1}时期				样本量
		低水平	中低水平	中高水平	高水平	
低水平	低水平	0.889	0.111	0	0	36
	中低水平	0	0.786	0.214	0	14
	中高水平	0	0	1	0	4
	高水平	0	0	0	0	0
中低水平	低水平	0.727	0.273	0	0	33
	中低水平	0	0.743	0.257	0	35
	中高水平	0	0	0.769	0.231	26
	高水平	0	0	0	1	15
中高水平	低水平	0.667	0.333	0	0	6
	中低水平	0	0.714	0.286	0	28
	中高水平	0	0.031	0.781	0.188	32
	高水平	0	0	0	1	26
高水平	低水平	0.8	0.2	0	0	10
	中低水平	0	0.6	0.4	0	5
	中高水平	0	0	0.667	0.333	15
	高水平	0	0	0	1	25

为稳定。第四，空间滞后水平的提升能够增加本地区向上转移的概率。例如，当空间滞后水平为低水平时，本地区由低水平向中低水平转移的概率为0.111，当空间滞后水平为中低水平时，低水平向中低水平转移的概率为0.273。第五，无论在何种空间之后水平下，本地区粮食体系韧性水平主要受前一期影响，难以实现跨级跃迁，且不存在向下转移的情形。十八大以来，在党中央的带领下，各省切实承担保障粮食安全责任，重农抓粮举措有力有效，粮食生产能力不断增强，粮食流通水平明显提升，农业科技创新进步有度，粮食体系韧性向更高水平转移的同时能够实现自身优化发展，粮食安全得到有效保障。

六、粮食体系韧性的区域差异及来源分析

Dagum基尼系数是对传统基尼系数的拓展，能够弥补传统基尼系数无法考察样本数据交叉重叠现象的不足，能够识别差异的具体来源，因此被广泛应用于经济学领域[31]。由前面的分析可知，中国粮食体系韧性及不同维度存在区域不平衡特征，接下来采用Dagum基尼系数计算并分解中国粮食体系韧性的区域差异。根据Dagum[32]的研究，总体基尼系数G可以分解为地区内差异G_w，地区间差异G_b和超变密度G_t（样本交叉重叠产生的差异），满足关系式$G = G_w + G_b + G_t$。

中国粮食体系韧性的Dagum基尼系数及分解的结果见表5。首先，样本考察期内，中国粮食体系韧性的整体差异在波动中下降，均值由2011年的0.196下降至2021年的0.147，即粮食体系韧性的省际差距不断缩小，具有收敛趋势。其次，不同粮食功能区的组内差异和组间差异均呈波动中下降趋势，表明不同省份的粮食体系韧性具有一定的同步性。具体来说，不同粮食功能区组内基尼系数的均值由2011年的0.053下降至2021年的0.042，其中，粮食主销区的内部差异最小，均值为0.123；粮食主产区的内部差异次之，均值为0.143，产销平衡区的内部差异最大，均值为0.150。不同粮食功能区的组间基尼系数的均值由2011年的0.105下降至2021年的0.068，销区与产区间的差异最小，均值为0.161；其次是产区与平衡区，均值为0.206；销区与平衡区的差异最大，均值为0.247。最后，样本期内，超变密度基本维持在0.037左右，主要是因为不同粮食功能区内同时出现部分省份粮食体系韧性上升和下降的交叉重叠现象，但这种变化较为稳定。

表5 中国粮食体系韧性的Dagum基尼系数及分解

年份	总体基尼系数	组内差异				组间差异				超变密度G_t
		组内总体基尼系数G_w	组内基尼系数			组间总体基尼系数G_b	组间基尼系数			
			粮食主销区	粮食主产区	产销平衡区		销区与产区	销区与平衡区	产区与平衡区	
2011	0.196	0.053	0.134	0.154	0.160	0.105	0.163	0.276	0.231	0.037
2012	0.190	0.052	0.139	0.151	0.146	0.100	0.161	0.263	0.225	0.038
2013	0.204	0.054	0.174	0.154	0.145	0.114	0.181	0.295	0.233	0.036
2014	0.195	0.052	0.165	0.152	0.136	0.105	0.174	0.273	0.224	0.038
2015	0.182	0.050	0.154	0.148	0.123	0.096	0.166	0.253	0.205	0.037
2016	0.179	0.049	0.157	0.150	0.107	0.092	0.167	0.242	0.203	0.038
2017	0.179	0.049	0.161	0.143	0.117	0.094	0.164	0.242	0.208	0.037
2018	0.169	0.046	0.159	0.134	0.112	0.088	0.160	0.231	0.189	0.035
2019	0.177	0.046	0.166	0.136	0.105	0.099	0.170	0.258	0.192	0.032
2020	0.153	0.042	0.119	0.128	0.100	0.077	0.132	0.202	0.184	0.034
2021	0.147	0.042	0.117	0.126	0.106	0.068	0.128	0.187	0.175	0.037

图 5 为中国粮食体系韧性基尼系数各分解部分的贡献率。首先，样本期内，组内差异（不同粮食功能区内部）、组间差异（不同粮食功能区之间）及超变密度对粮食产业高质量发展地区差异的贡献率变化幅度不大，整体较为稳定。其次，不同粮食功能区组间差异的贡献率最大，样本期内的均值为 52.43%；组内差异的贡献率次之，维持在 27% 左右，且较为稳定；超变密度贡献率的均值为 20.43%。组间差异以及超变密度是粮食体系韧性水平省际差异的主要来源，二者贡献率之和稳定在 70% 以上。这主要是因为不同粮食功能区的自然禀赋、农业基础设施、科技创新水平等各方面存在异质性，导致粮食体系的风险抵抗能力、适应调整能力以及创新转型能力均有所不同。

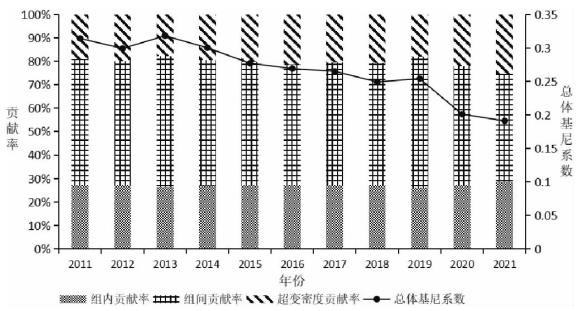


图 5　2011—2021 年中国粮食体系韧性的区域差异及来源

七、研究结论及政策启示

稳定、强韧的粮食体系对实现粮食体系转型升级、维护国家粮食安全具有重要意义。本文在深入分析粮食体系韧性内涵的基础上，从风险抵抗能力、适应调整能力和创新转型能力三个方面构建综合评价指标体系，选取 2011—2021 年中国 31 个省份数据测度粮食体系韧性，并采用 Moran's I指数、Kernel 核密度、空间 Markov 链、Dagum 基尼系数及其分解等方法，系统分析中国粮食体系韧性的空间分布特点、动态演进特征以及区域差异。主要研究结论有：第一，基本特征事实方面。中国粮食体系韧性提升明显，但整体水平较低，具有较大提升空间。区域层面，粮食主销区的粮食体系韧性最高，粮食主产区次之，产销平衡区最低；维度层面，中国粮食体系韧性的风险抵抗能力最强，其次是创新转型能力，最后是适应调整能力，且风险抵抗能力的增速最快。第二，空间分布特点方面。中国粮食体系韧性存在较为显著的空间正相关性，代表性年份内多数省份位于第一象限（H－H 集聚区）和第三象限（L－L 集聚区），且空间集聚程度逐渐降低。第三，动态演进特征方面。时间演进层面，中国粮食体系韧性在波动中上升，存在一定的梯度效应，区域差异逐渐缩小，且粮食主产区及产销平衡区的粮食体系韧性有向多极化演变趋势；空间演化层面，相邻地区空间滞后水平的提升能够增加本地区向上转移的概率；本期粮食体系韧性主要受前期影响，难以实现跨级跃迁。第四，区域差异方面。中国粮食体系韧性发展差距表现出一定的收敛趋势，组间差异和超编密度是中国粮食体系韧性省际差异的主要来源其次是组内差异，最后是超变密度。

基于上述研究结论，提出以下政策建议。

第一，制定差异化战略，统筹区域协调发展。不同粮食功能区应因地制宜实施差异化战略，协同推进粮食体系韧性的提升。粮食主销区可利用其经济发展优势、信息化技术及科技创新优势，着重培育粮食加工、流通等龙头企业，推动粮食产业链的数字化转型，带动粮食主产区及产销平衡区协同发展。粮食主产区应充分发挥资源优势与区位优势，加大农业基础设施投入，扛起种粮责任与担当，致力提升粮食生产效率，提高粮食体系风险抵抗能力。进一步完善对产销平衡区的政策扶持，使其根据自身优势发展山地农业，同时加大农村路网建设及信息化建设以保证粮食供应畅通，提高抗风险冲击能力。

第二，发挥空间效应，缩小区域间粮食体系韧性差距。粮食体系韧性水平具有显著的空间正相关性，较高水平的相邻地区更容易影响本地区促使其向上转移。因此，拥有稳定强韧粮食体系的省份（高水平省份）应继续发挥优势，通过技术外援、项目合作等手段带动相邻地区粮食体系韧

性水平的提高。低水平省份应扬长避短,加强与高水平省份的合作交流,汲取先进经验做法。同时,应注重区域内外交通基础设施建设、互联网等信息化平台建设,缩小时空壁垒,促进要素流通及市场联系,进而缩小区域间粮食体系韧性差距。

第三,坚持创新驱动战略,提高粮食体系韧性水平。一是加大科技创新投入,加强种业科技创新,培育优质高产的粮食品种;提高农业机械化水平,提升粮食生产效率;强化农业信息化及智能化应用,全面提升粮食生产的高效性和精准度,提升粮食系统风险抵抗能力。二是打造"产学研"综合创新平台,围绕粮食生产、仓储、加工、流通等环节培育高水平专业人才,促进粮食体系持续、快速、协调发展。三是与农业发达国家就育种、生产、精深加工等领域深入开展合作交流,汲取国外先进经验和优秀做法,促进粮食体系转型升级,助力粮食产业高质量发展。

参考文献:

[1]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.
[2]HOLLING C S. Resilience and stability of ecological systems[J]. Annual Review of Ecology and Systematics,1973(4):1-23.
[3]AURA R, THOMAS D, PETER N. Resilience:An evolutionary approach to spatial economic systems[J]. Networks and Spatial Economics,2002(2):211-229.
[4]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.
[5]MARTIN R. Regional economic resilience, hysteresis and recessionary shocks[J]. Journal of Economic Geography,2012(1):1-32.
[6]冯苑,聂长飞,张东. 中国城市群经济韧性的测度与分析——基于经济韧性的 shift-share 分解[J]. 上海经济研究,2020(5):60-72.
[7]霍松涛. 中国乡村经济韧性测度及时空演变特征研究[J]. 云南财经大学学报,2023(6):1-17.
[8]于伟,张鹏. 中国农业发展韧性时空分异特征及影响因素研究[J]. 地理与地理信息科学,2019(1):102-108.
[9]张明斗,惠利伟. 中国农业经济韧性的空间差异与影响因素识别[J]. 世界农业,2022(1):36-50.
[10]何亚莉,杨肃昌. "双循环"场景下农业产业链韧性锻铸研究[J]. 农业经济问题,2021(10):78-89.
[11]TENDALL D, JOERIN J, KOPAINSKY B, et al. Food system resilience:Defining the concept[J]. Global Food Security,2015(6):17-23.
[12]B ÉN ÉC, HEADEY D, HADDAD L, et al. Is resilience a useful concept in the context of food security and nutrition programmes? Some conceptual and practical considerations[J]. Food Security,2016(1):123-138.
[13]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.
[14]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[2023-09-03].
[15]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(6):126-134.
[16]马俊凯,李光泗,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.
[17]邱溆,罗光强. 我国新型粮食生产经营体系的社会化服务研究综述[J]. 经济问题探索,2014(11):178-183.
[18]王瑞雪,陈建成,方宜亮,等. 中国粮食主产区农业韧性的空间分异、演化特征与驱动力[J]. 农业经济与管理,2023(4):23-36.
[19]联合国粮食及农业组织. 2021 年粮食及农业状况:提高农业粮食体系韧性,应对冲击和压力[R]. 罗马:联合国粮食及农业组织,2021.
[20]陈秧分,王介勇. 对外开放背景下中国粮食安全形势研判与战略选择[J]. 自然资源学报,2021(6):1616-1630.
[21]李连刚,张平宇,程钰,等. 黄河流域经济韧性时空演变与影响因素研究[J]. 地理科学,2022(4):557-567.

[22]赵巍,徐筱雯. 数字经济对农业经济韧性的影响效应与作用机制[J]. 华南农业大学学报(社会科学版),2023(2):87 - 96.
[23]田雪莹. 基于熵值法的中国城镇化水平测度[J]. 改革,2018(5):151 - 159.
[24]王定祥,彭政钦,李伶俐. 中国数字经济与农业融合发展水平测度与评价[J]. 中国农村经济,2023(6):48 - 71.
[25]李明文,王振华,张广胜. 农业服务业促进粮食高质量发展了吗——基于 272 个地级市面板数据的门槛回归分析[J]. 农业技术经济,2020(7):4 - 16.
[26]张林,李海央,梁义娟. 农村金融高质量发展:水平测度与时空演变[J]. 中国农村经济,2023(1):115 - 139.
[27]马静,闫超栋. 中国工业转型升级效果评价、地区差距及其动态演化[J]. 现代经济探讨,2020(8):78 - 89.
[28]刘秉镰,秦文晋. 中国经济高质量发展水平的空间格局与动态演进[J]. 中国软科学,2022(1):62 - 75.
[29]张虎,周迪. 创新价值链视角下的区域创新水平地区差距及趋同演变——基于 Dagum 基尼系数分解及空间 Markov 链的实证研究[J]. 研究与发展管理,2016(6):48 - 60.
[30]陈银娥,孙琼,徐文赟. 中国普惠金融发展的分布动态与空间趋同研究[J]. 金融经济学研究,2015(6):72 - 81.
[31]孙才志,朱云路. 基于 Dagum 基尼系数的中国区域海洋创新空间非均衡格局及成因探讨[J]. 经济地理,2020(1):103 - 113.
[32]DAGUM C. 1977, A New Approach to the Decomposition of the Gini Income Inequality Ratio[J]. Empirical Economics,22(4):515 - 531.

China's Grain System Resilience: Level Measurement and Dynamic Evolution

ZUO Xiu-ping[1a,2], YE Lin-xiang[1b]

(1*a*. *Institute of Food and Strategic Reserves*; 1*b*. *School of Economics*, *Nanjing University of Finance and Economics*, *Nanjing* 210003, *China*; 2. *School of Business*, *Jiangsu Open University*, *Nanjing* 210013, *China*)

Abstract: Based on the analysis of the theoretical connotation of grain system resilience, this article builds a comprehensive evaluation index system from three dimensions of risk resistance, adaptive adjustment capacity and innovation and transformation ability, measures and evaluates China's grain system resilience from 2011 to 2021 with entropy method, Moran's I index, Kernel kernel density, spatial Markov chain, Dagum Gini coefficient, etc. The study finds that: (1) China's grain system resilience has improved significantly, but the overall level is low; Its level in the main grain marketing areas is higher; the index value of sub-dimension ranks, in descending order, are the risk resistance, innovation and transformation ability, and adaptive adjustment capacity. (2) China's grain system resilience has a significant positive spatial correlation, most provinces are located in high-high agglomeration area and low-low agglomeration area, and the degree of spatial agglomeration gradually decreases. (3) The level of China's grain system resilience rises in fluctuation with a certain gradient effect, but the polarization effect is weak; the increase in the spatial lag level of adjacent regions can increase the probability of upward transfer in this region. (4) The regional differences are obvious but there is a certain trend of convergence, and the inter-group differences and hypervariable density are the main reasons for the unbalanced and insufficient development of the toughness of the grain system.

Key Words: grain safety; grain system resilience; capacity of innovation; regional differences