

DOI: 10.20103/j.stxb.202311302615

周扬, 虞思佳, 俞紫嫣. 中国粮食主产区粮食生产、经济发展和生态保护的时空耦合. 生态学报, 2025, 45(4): 1659-1673.

Zhou Y, Yu S J, Yu Z Y. Spatiotemporal coupling of grain production, economic development, and ecological protection in China's major grain-producing areas. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(4): 1659-1673.

中国粮食主产区粮食生产、经济发展和生态保护的时空耦合

周 扬^{1,*}, 虞思佳², 俞紫嫣²

1 中国人民大学农业与农村发展学院, 北京 100872

2 中国人民大学应用经济学院, 北京 100872

摘要: 粮食生产事关国计民生, 粮食主产区作为国家粮食稳产保供的“压舱石”, 对保障国家粮食安全具有重要作用。学界围绕主产区粮食生产与经济的关系开展了大量研究, 但少有研究关注主产区粮食生产、经济发展与生态保护之间的关系。基于粮食主产区 2000—2020 年 1265 个县域单元的粮食生产、社会经济、生态保护、自然环境等数据, 采用空间分析技术、耦合协调度模型和地理探测器模型, 在系统分析主产区粮食生产、经济发展和生态保护时空格局演变特征的基础上, 探究主产区粮食-经济-生态系统的时空耦合规律, 并探测其主要驱动力。结果表明: ①过去 20 年, 主产区粮食生产、经济发展、生态保护均取得了较大成就, 但后十年粮食增产、经济增速有所减缓, 部分地区生态系统出现“退化”现象; 主产区粮食生产重心向东北方向移动了 288 公里。②主产区粮食生产呈现东北三省和中部传统农区高、西部地区低的空间格局, 经济发展水平呈现自东向西逐渐递减的梯度规律, NDVI 呈现“南高北低、东高西低”分布格局。③研究期内主产区粮食-经济-生态系统的耦合协调度不断提升, 但过去 5 年有所下降。④主产区粮食-经济-生态系统的耦合协调关系受多重因素共同作用, 双因子交互驱动力大于单因子作用, 交互作用类型以双因子非线性增强为主。研究结果有望为国家粮食安全战略和乡村振兴战略决策提供理论依据和实践支撑。

关键词: 粮食主产区; 粮食生产; 经济发展; 生态保护; 耦合协调

Spatiotemporal coupling of grain production, economic development, and ecological protection in China's major grain-producing areas

ZHOU Yang^{1,*}, YU Sijia², YU Ziyang²

1 School of Agricultural Economics and Rural Development, Renmin University of China, Beijing 100872, China

2 School of Applied Economics, Renmin University of China, Beijing 100872, China

Abstract: Food production is crucial for national stability and the well-being of the population. As the “ballast” for ensuring stable food production and supply, major grain-producing areas play a vital role in safeguarding national food security. While academia has extensively studied the relationship between grain production and economic development in the major grain-producing areas, there is a dearth of research focusing on the interplay among grain production, economic development, and ecological protection. This study utilizes data on grain production, socioeconomic, ecological protection, and natural endowments from 1,265 counties in major grain-producing areas from 2000 to 2020. Employing spatial analysis techniques, the coupling coordination degree model, and the geographical detector model, this study systematically analyzes the spatiotemporal evolution characteristics of grain production, economic development, and ecological protection in these areas. It further explores the spatiotemporal coupling patterns of the grain-economic-ecological system and identifies its

基金项目: 国家自然科学基金项目(72373153, 41871183); 中国人民大学科学研究基金项目(22XNA022)

收稿日期: 2023-11-30; **网络出版日期:** 2024-09-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhouyang2021@ruc.edu.cn

限于数据的可获取性, 本研究尚未含中国港澳台统计数据。

primary driving forces. Results show that over the past 20 years, significant progress has been made in grain production, economic development, and ecological protection in major grain-producing areas. However, during the latter decade, the growth rates of grain production and economic development slowed, and some regions have experienced ecological degradation. Approximately 75% of counties in these areas showed an increasing trend in grain production, 78% exhibited an upward trend in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and GDP rising in almost all counties. Grain production in major grain-producing areas shows a spatial pattern of being high in the three northeastern provinces and central traditional agricultural areas and low in the western regions. Over the past two decades, the grain production center of the major grain-producing areas has shifted 288 kilometers to the northeast. Economic development levels decrease gradually from east to west, while NDVI displays a “high in the south and east, low in the north and west” distribution pattern. The coupling coordination degree of the grain-economic-ecological system in major grain-producing areas has continuously improved during the study period but has declined in the past five years. The coupling coordination relationship of the grain-economic-ecological system in major grain-producing areas is influenced by multiple factors, with the interaction driving force of two factors being greater than the effect of a single factor. The primary type of interaction is nonlinear enhancement of two factors, indicating that these areas have long faced the challenge of balancing grain production, economic development, and ecological protection. These findings can provide theoretical basis and practical support for national food security strategies and rural revitalization strategy decision-making.

Key Words: major grain-producing areas; grain production; economic development; ecological conservation; coupling coordination

民以食为天,国以粮为安,粮安则天下安。粮食安全是“国之大者”,是实现经济发展、社会稳定和国家安全的重要基础,是关系国计民生的重大问题,始终受到各国政府和国际社会的高度关注^[1]。中国是世界上最大的发展中国家,也是全球最重要的粮食生产大国,用世界上不到7%的耕地养活着世界上21%的人口^[2]。中国依靠自己的力量解决14亿多人口的吃饭问题,把中国人的饭碗牢牢端在自己手中,为维护世界粮食安全作出了重大贡献。2023年,中国粮食总产量为6954.1亿kg,连续9年稳定在5000亿kg以上,粮食生产实现“二十年丰”,人均粮食占有量达493kg,远高于国际公认的400kg粮食安全线,谷物基本自给、口粮绝对安全^[3]。

自新中国成立以来,党和政府始终将粮食安全置于重要战略地位。为保障国家粮食安全,中国政府采取了土地改革、农业合作化、家庭联产承包责任制、建立粮食储备和管理制度、设立粮食主产区、实施农业支持保护政策及粮食安全保障立法等措施^[4]。随着时间推移,我国粮食安全保障的目标、范围和方式不断调整^[5]。其中,2003年划定的13个粮食主产区(下称“主产区”)在保障国家粮食安全中发挥了重要“压舱石”作用^[6]。主产区的设立有利于集聚资源,要素加大对主产区投入,提升主产区粮食综合生产能力。然而,由于粮食生产的正外部性和资源占用,产量大县非农产业发展受限,经济发展滞后,财政困窘,“粮财倒挂”问题突出^[7]。部分产量大县陷入了“粮食贡献越大,财政收入越少,农民收入越低,经济越落后”的恶性循环,削弱了地方政府抓粮和农民种粮的积极性,给国家粮食安全带来隐患^[8]。

当前,世界正经历百年未有之大变局加速演进,全球进入动荡变革期,保护主义和单边主义不断抬头,大国博弈愈演愈烈。与此同时,随着生活水平提升和消费结构升级,中国居民消费需求日益呈现多元化和健康化趋势^[9]。在这一背景下,粮食主产区在保障国家粮食安全和多元食物供给中的作用日益凸显。然而,我国粮食供需区域不平衡的问题日益突出,主产区资源环境约束日益趋紧,粮食增产能力逼近极限,增产难度不断加大。如何统筹协调好主产区粮食生产、经济发展和生态保护成为各界关注的焦点。学界围绕主产区耕地利用效率^[10]、耕地撂荒^[11]、农业绿色发展^[12]、耕地污染^[13]、规模化经营与农民增收^[14]、农民种粮意愿^[15]、利益补偿机制^[16]等方面开展了大量研究。有研究认为,主产区耕地利用效率呈波动下降趋势^[17],但也有研究认

为总体呈上升趋势,整体效率不高^[10]。黑龙江、吉林、辽宁、河北等主产区耕地理论生产潜力是实际生产能力的 1.56 倍^[18]。近年来,受人口老龄化、劳动力外流、农民种粮收益偏低等因素影响,主产区 5.85% 的耕地撂荒,导致粮食减产 4.69%^[11]。此外,主产区土地规模化经营程度不高、科技贡献不足、农业劳动力老龄化等问题突出^[7]。主产区农村人口老龄化速度更快、老年抚养比更重,对粮食生产影响显著^[19]。但也有研究认为农村劳动力外流对粮食主产区和产销平衡区的粮食产量没有显著影响^[20]。种粮效益具有明显区域异质性,东部地区和粮食主产区种粮效益高于中西部地区和粮食主产区、产销平衡区^[21]。

粮食生产被普遍认为是主产区经济发展滞后的主要原因。尽管主产区在粮食增产速度、增产贡献和生产地位上优于主销区和产销平衡区,但其经济增长、财政收入和社会发展水平明显落后^[22]。例如,1994 年至 2020 年,主产区地方财政收入增长了 38.64 倍,低于主销区的 48.49 倍和产销平衡区的 42.20 倍^[3]。主产区多属于限制开发区域,工业化和城镇化发展受限,主要原因在于严格的耕地保护制度、粮食生产约束等政策限制,使得主产区的社会经济发展呈现萎缩态势,进而加剧了粮食安全风险、水土资源错配和区域发展不平衡问题^[23-24]。自 1978 年改革开放以来,主产区的粮食重心整体上向东北方向移动,粮食生产与经济协调度逐渐减弱,东部和东南沿海地区协调度有所改善,而东北和中部主产区的协调度则下降^[25-26]。目前,主产区“三生”发展(生产、生活、生态)仍处于初级协调演化阶段^[27]。主产区与主销区之间的经济发展差距逐年扩大,这一现象主要源于主产区承担了过多的粮食生产义务,导致失去发展其他产业的机会^[28]。不完善的国家粮食政策和产销区补偿机制被认为是导致这一差距持续扩大的根本原因^[23]。如果这种情况长期持续下去,必然会削弱主产区政府对粮食生产的重视和农民种粮的积极性^[29-30]。

粮食生产有助于生态系统保护,主产区的生态安全对于保障可持续粮食生产至关重要^[31-32]。主产区的设立在一定程度上有助于遏制耕地“非粮化”趋势,减少农业对生态系统的影响^[33]。1995—2015 年,全国 13 个粮食主产区的农业生态安全与粮食安全存在周期性偏离,耦合协调度较低且空间差异明显^[34]。尽管主产区土地生态安全与粮食安全、农业生态环境与农业经济、农业水资源脆弱性与粮食安全的耦合协调度缓慢上升^[35-37],但主产区粮食生产生态效率远低于非期望产出效率,且整体效率仍然不高,部分主产区尚未实现高效绿色发展^[39]。此外,主产区的粮食生产状况直接关系到我国粮食整体产能,影响国家粮食安全,其安全性主要体现在数量、质量、结构和生态安全等多个维度^[7,40-41]。通过技术进步,主产区能抑制农业碳排放^[42]。高标准农田建设能减轻农业自然灾害的影响,对非主产区更为明显^[43]。数字普惠金融通过激活农业竞争性要素市场和推动农业产业结构升级,促进主产区农业高质量发展^[44]。过去十年来,粮食主产区农业经济高质量发展水平呈现上升趋势^[45]。

综上所述,现有研究主要聚焦于主产区与非主产区粮食生产和经济发展水平的比较,主产区社会经济发展滞后的原因,以及粮食生产与经济发展、生态保护之间的关系。普遍认为,主产区社会经济发展显著落后于非主产区,并强调建立利益补偿机制的重要性。关于主产区粮食生产与经济发展的协调性研究仍存在争议,生态保护的研究多集中在土地生态效应和农业减排方面,且多为省级层面或单个主产省份,缺乏县级精细分析。更为关键的是,现有研究未能将生态保护与粮食安全和经济发展置于同等重要的地位进行综合考量。鉴于此,本研究基于 2000—2020 年主产区县级数据,采用空间分析技术、耦合协调度模型及地理探测器模型,探讨粮食生产、经济发展和生态保护的时空耦合格局演变特征及其驱动机制。本文的边际贡献在于系统揭示过去 20 年间主产区粮食生产、经济发展和生态保护的时空耦合关系,并探讨其驱动机制。研究结果有望为国家有关部门在调整粮食生产策略和制定生态保护决策时提供科学依据。

1 研究方法和数据来源

1.1 研究区概况

粮食主产区包括河北、内蒙古、辽宁等 13 个省,覆盖东北平原、黄淮海平原、长江中下游平原等地(图 1)。区内地形平坦、土壤肥沃、气候适宜,适合种植粮食作物,粮食产量高且种植比例大,是保障国家粮食有效供给

的关键区域。根据第三次全国国土调查数据显示,2019 年主产区耕地面积达到 8736.6 万 hm^2 , 占全国耕地总面积的 68%。2020 年,主产区粮食产量为 5260 亿 kg, 占全国总产量的近八成, 而 7 个主销区(包括北京、天津、上海、浙江、福建、广东、海南)仅占全国总产量的 4.29%, 需要从主产区调入大量粮食以满足需求。

在社会经济发展方面,产销区之间的经济发展差距逐渐拉大。2020 年,主产区常住人口达 7.97 亿人, 占全国总人口的 56.52%; 城镇化率为 62.84%, 虽然高于产销平衡区(56.51%), 但远低于主销区的 76.69%。同年,主销区人均 GDP 为 103588 元, 而主产区为 66976 元, 约为主销区的 64.7%。产销区之间的人均 GDP 绝对差距从 2003 年划定时的 13797 元扩大到 2020 年的 36612 元。在财政收入方面,2020 年主销区人均财政收入为 12720.11 元, 而主产区仅为 5780.29 元, 不到主销区的一半。主销区农村居民人均可支配收入为 25708 元, 主产区为 17246 元, 略高于全国平均水平。总体来看,主产区在人均经济水平上明显落后于主销区, 呈现“产量大省、经济穷省”的突出现象。



图 1 中国粮食主产区分布图

Fig. 1 Distribution of China's major grain-producing areas

主产区的人均公共服务水平明显滞后于主销区, 缩小区域发展差距已成为当务之急。2020 年,主销区的人均公共预算支出为 17524.93 元, 而主产区仅为 13472.61 元; 在人均一般公共服务支出方面,主销区为 1547.81 元, 主产区则为 1172.52 元。在人均卫生健康支出上, 虽然主产区略高于主销区, 为 1545.44 元, 而主销区为 1209.36 元, 但在人均教育支出上, 主产区显著低于主销区, 分别为 2174.73 元和 3071.30 元。以上数据凸显了主产区在公共服务领域的显著短板, 表明缩小区域公共服务水平差距刻不容缓。

1.2 研究方法

本研究采用 ArcGIS 空间分析技术、协同耦合度模型、地理探测器模型, 研究过去 20 年主产区粮食生产、经济增长和生态保护的时空耦合关系, 并探测其演变的驱动机制。

(1) 耦合协调度模型

耦合协调度(Coupling Coordination Degree, CCD)模型是一种用于分析和评估不同子系统之间的相互作用与协调性的工具, 能够衡量系统内部耦合程度及其协调状况^[45]。在本研究中, 主产区的粮食生产、经济发展和生态保护被视为粮食-经济-生态三个相互关联的子系统。为描述这些子系统, 粮食子系统以各县的粮食总产量为指标, 经济子系统用 GDP 表征, 生态子系统由归一化植被指数(Normal Difference Vegetation Index,

NDVI)来表征。由于各子系统的指标单位不同,本研究采用极值法对各指标进行无量化处理。

粮食-经济-生态系统包含粮食(U_1)、经济(U_2)和生态(U_3)三个系统,其耦合度(CD)表征三个子系统之间相互作用的强弱,数值范围介于0—1之间,值越大表示耦合度越高,子系统间的离散程度越小。耦合度的计算公式如下:

$$U_i = \sum_{j=1}^m w_j x_{ij} \quad (1)$$

$$CD = \left[\frac{U_1 \times U_2 \times U_3}{(U_1 + U_2 + U_3)^3} \right]^{1/3} \quad (2)$$

$$T = \alpha_1 U_1 + \alpha_2 U_2 + \alpha_3 U_3 \quad (3)$$

$$CCD = \sqrt{CD \times T} \quad (4)$$

式中: U_i 表示每个子系统的综合评价指数(本研究中 $i = 1, 2, 3$ 分别代表粮食子系统、经济子系统和生态子系统), x_{ij} 表示第 i 个子系统中第 j 个指标的标准化值, w_j 表示相应的权重, m 表示指标数量; CD 表示耦合度, U_1 、 U_2 、 U_3 分别表示粮食子系统、经济子系统和生态子系统的综合评价指数; α 表示各子系统的权重,粮食生产、经济发展和生态保护被视为同等重要,本研究进行等权处理; CCD 表示系统耦合协调度,其值越大,耦合协调度越高。

参考已有研究^[45],本研究将粮食-经济-生态系统的耦合协调度(CCD)划分为5个等级(表1)。

表1 粮食-经济-生态系统耦合协调度评价标准

Table 1 Classification criteria for coupling coordination degree of the grain-economic-ecological system

类别 Category	协调等级 Coordination level	耦合协调度 Coupling coordination degree
严重失调 Serious incoordination	极度失调	(0.0,0.1)
	严重失调	[0.1,0.2)
中度失调 Moderate incoordination	中度失调	[0.2,0.3)
	轻度失调	[0.3,0.4)
基本协调 Basic incoordination	濒临失调	[0.4,0.5)
中度协调 Moderate coordination	中度协调	[0.5,0.6)
	初级协调	[0.6,0.7)
高度协调 Highly coordination	中级协调	[0.7,0.8)
	良好协调	[0.8,0.9)
	优质协调	[0.9,1.0)

(2) 地理探测器

地理探测器是一种用于探测空间分布特征及其驱动因子的空间分析方法,包含因子探测、风险探测、交互探测和生态探测四个子探测器^[46]。该模型通过定量评估变量之间的空间一致性来识别驱动因子,广泛应用于环境科学、地理学和社会经济等领域^[47]。地理探测器能处理非线性和复杂的空间关系,不要求变量间满足特定分布假设,还能定量评估多个驱动因子的相对重要性,并处理大规模空间数据,适用于多种应用场景^[46]。本研究采用地理探测器模型来识别影响主产区粮食-经济-生态系统时空耦合的主导因子。核心公式是:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (5)$$

式中: q 表示驱动因子的解释力, L 表示子区域数量(即本研究中的县域单元数), N_h 和 σ_h^2 分别为第 h 个子区域的样本数量和方差, h 和 σ^2 分别为全区域的样本数量和方差。 q 值越大,表明驱动因子的解释力越强。

1.3 数据来源

本研究的研究时段为2000年至2020年,研究单元为13个粮食主产区的县域,覆盖区、县、县级市等行政单元。全国13个粮食主产区共包含1557个县域单元,由于个别年份社会经济及粮食生产等数据缺失以及行

政区划调整,最终确定了 1265 个县域单元作为研究对象,其中包含 585 个产量大县。需要说明的是,根据 2009 年国务院办公厅印发的《全国新增 1000 亿斤粮食生产能力规划(2009—2020 年)》,全国有 800 个产量大县名单,其中有 680 个产量大县位于 13 个粮食主产区。由于资料缺乏,本研究不包括黑龙江农垦的 55 个农场,以及 19 个因行政区划调整数据确实的区县,故仅包括 585 个产量大县。

研究所使用的数据包括社会经济数据、气象数据和归一化植被指数(NDVI)等。社会经济数据(如粮食产量、农作物播种面积、人口、GDP、财政支出、产业增加值等)来自历年《中国县域统计年鉴》和各省的统计年鉴;夜间灯光数据来自国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn>);气象数据来自国家气象科学数据中心(<http://data.cma.cn>);NDVI 数据来自美国航空航天局发布的 MOD13A3 卫星产品(<https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13A3.006>),空间分辨率为 1 km×1 km,时间分辨率为 30 d。这些数据为本研究提供了全面且精确的基础,使得研究能够系统分析粮食主产区在过去 20 年中的粮食生产、经济增长与生态保护的时空耦合关系及其驱动因素。

2 结果与分析

2.1 粮食主产区经济发展和生态保护时空格局变化

2.1.1 粮食生产时空格局变化

在研究期内(2000—2020 年),主产区的粮食生产能力显著提高,产量持续增长并表现出明显的空间差异。主产区的粮食总产量从 2000 年的 3250 亿 kg 增至 2010 年的 4570 亿 kg,2020 年达到 5050 亿 kg,年均增长率为 2.23%。值得注意的是,前 10 年的增长幅度是后 10 年的 1.19 倍。县均粮食产量从 2000 年的 2.56 亿 kg 增至 2010 年的 3.62 亿 kg,2020 年进一步提升至 3.99 亿 kg。

从空间分布来看,粮食产量超过 5 亿 kg 的县域比例从 2000 年的 12.09% 增至 2010 年的 26.48%,并在 2020 年达到 28.93%,这些高产县主要集中在东北、黄淮海平原和长江中下游地区。同时,产量低于 1 亿 kg 的县域比例从 2000 年的 26.40% 降至 2010 年的 24.11%,2020 年为 23.16%,这些低产县域主要分布在内蒙古中西部及北部、四川西部等地。此外,产量在 2—5 亿 kg 的县域比例也有所下降,从 2000 年的 41.02% 降至 2020 年的 33.12%(图 2)。

在 585 个产量大县中,这些县贡献了主产区约 71% 至 76% 的粮食。产量大县的粮食产量从 2000 年的 2320 亿 kg 增至 2010 年的 3480 亿 kg,2020 年达到 3810 亿 kg,分别占主产区总产量的 71.38%、76.15%、75.45%。这些大县的平均粮食产量从 2000 年的 39.66 万 t 增至 2010 年的 5.94 亿 kg,2020 年进一步达到 6.51 亿 kg。产量超过 5.0 亿 kg 的产量大县数量从 2000 年 138 个(占产量大县的 23.59%) 增至 2010 年的 306 个(52.3%),2020 年达到 323 个(55.2%)。进一步的分析结果显示,过去 20 年间,主产区粮食生产重心不断北移,2000 年位于山东省金乡县,2020 年北移至山东省博兴县,向东北方向移动了 288km(图 1)。

从整体趋势来看,主产区 75.3% 的县域(952 个)粮食产量呈增长趋势(斜率大于 0),其中 32 个县域年增产超过 5000 万 kg。增产速度最快的前 5 个县域分别是辽宁昌图县(增长速度为 1.22 亿 kg)、黑龙江富锦市(1.15 亿 kg)和龙江县(1.07 亿 kg)、内蒙古科尔沁左翼中旗(9400 万 kg)和扎赉特旗(8800 万 kg)。与此同时,313 个县域粮食产量呈现下降趋势,占 24.7%,其中 304 个县粮食年减产 1000 万 kg 以下,零星分布在中部、南部和西部等地;9 个县域年减产超 1000 万 kg。在 585 个产量大县中,68 个县域产量呈下降趋势、517 个县域呈现上升趋势。

2000—2020 年,随着我国产业结构的不断升级以及粮食生产的自然条件、生产经验、农业科技等优势扩大,主产区粮食产量呈现出波动上升趋势,粮食生产重心逐渐向主产区转移。主产区在国家粮食安全体系中所扮演的作用也愈发重要。总体来看,过去 20 年间,主产区粮食产量持续增长,但后十年的增速和增量均较前十年有所减缓。粮食生产逐步集中在产粮大县,其在全国粮食生产中的比重持续上升,贡献了全国超过 60% 的粮食产量,占主产区产量的 75% 左右,成为保障国家粮食安全的核心力量。这一趋势表明,产量大县在

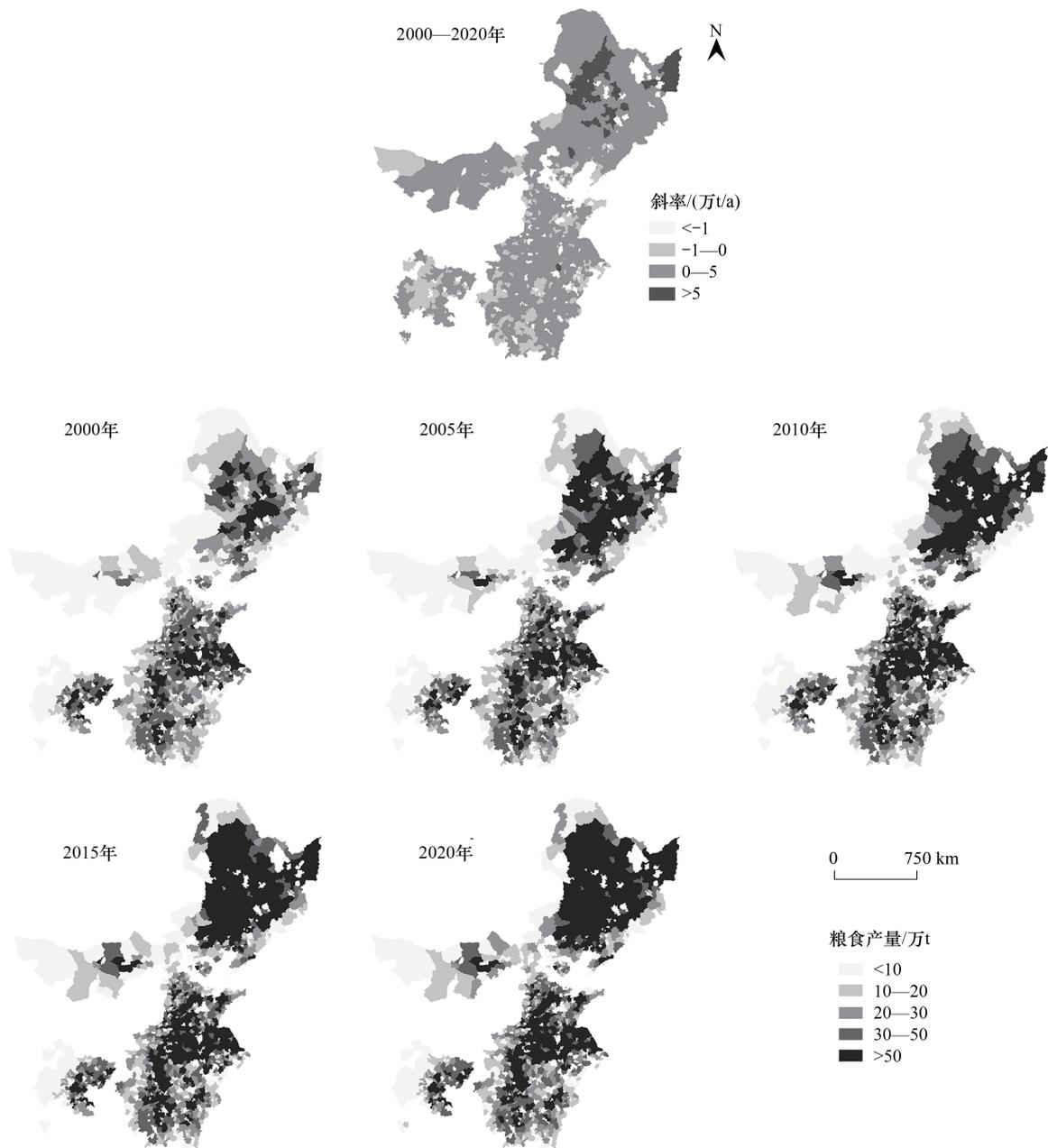


图 2 2000—2020 年中国主产区粮食生产时空格局

Fig.2 Spatiotemporal patterns of grain production in China's major producing areas from 2000 to 2020

维持国家粮食安全方面的作用愈发关键,其地位也随之进一步巩固。

3.1.2 经济发展时空格局变化

在过去的 20 年里,伴随着我国经济的快速发展,主产区经济水平也显著提升。全国 GDP 从 2000 年的 100280.1 亿元增至 2020 年的 1013567 亿元,年均增长率为 12.44%。与此相比,主产区 GDP 从 2000 年的 5.03 万亿元增至 2020 年的 39.09 万亿元,年均增长率为 10.79%。尽管主产区 GDP 增长速度明显低于全国平均水平,但其整体经济水平显著提高。平均而言,主产区 2000、2010、2020 年 GDP 分别为 39.82 亿元、148.34 亿元、309.05 亿元,前 10 年(2000—2010 年)增长 3.73 倍,后 10 年(2010—2020 年)增长 2.08 倍,年均增长率分别为 14.06%和 7.62%。这一数据显示,后 10 年的经济增长速度有所放缓。主产区 GDP 小于 50 亿元的县域比

例从 2000 年的 80.16% 降至 2010 年的 21.19%, 2020 年进一步降至 5.69%; 而 GDP 超过 500 亿的县域比例从 2000 年的 0.39% 上升到 2010 年的 3.32%, 2020 年达到 15.57% (图 3)。

从空间分布来看, 主产区的经济发展水平也呈现自东向西逐渐递减的梯度规律。东部沿海的江苏、山东等地经济发展较快, 而东北三省、内蒙古、四川等地相对较低。产量大县的经济增长趋势与此类似, 其 2000、2010、2020 年的 GDP 平均值分别为 39.91 亿元、150.77 亿元和 309.77 亿元, 前后 10 年分别增长 3.77 倍和 2.05 倍, 年均增长率分别为 14.22% 和 7.46%, 显示出过去 10 年产量大县的经济增长速度明显放缓。

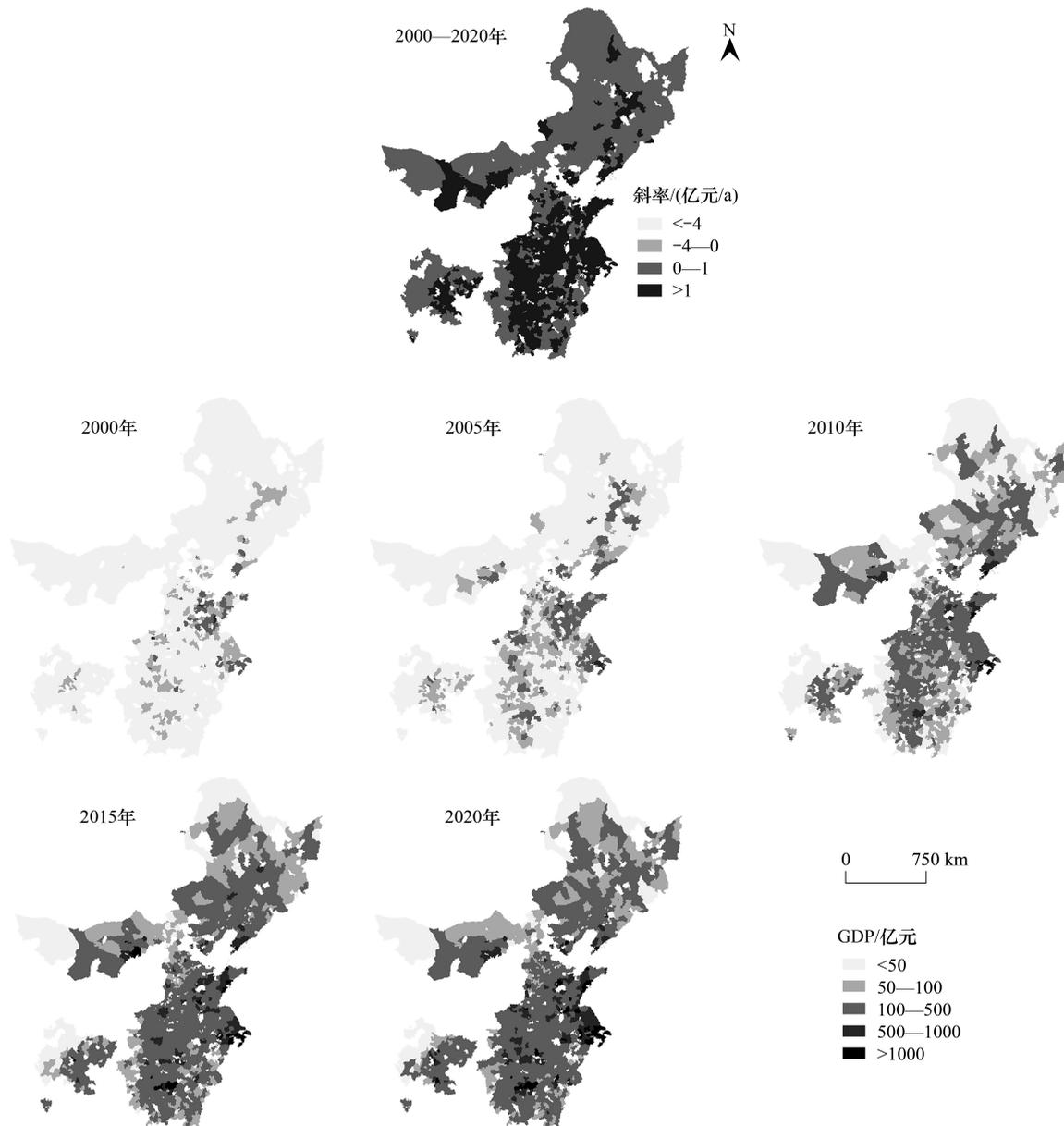


图 3 2000—2020 年中国主产区经济发展时空格局

Fig.3 Spatiotemporal patterns of economic development in China's major producing areas from 2000 to 2020

从整体趋势来看, 2000—2020 年, 主产区有 1259 个县域 GDP 呈上升趋势, 仅有 6 个县域 GDP 出现下降。主产区 GDP 年均增长速度为 15.58 亿元, 其中 51% 的县域 GDP 年均增长超过 1 亿元, 48.3% 的县域增长在 0—1 亿元之间。产量大县 GDP 年均增长速度为 15.57 亿元, 接近主产区平均水平。这一趋势表明, 主产区在过去 20 年间实现了显著的经济增长, 但仍存在区域间的发展不平衡。

3.1.3 生态保护的时空格局变化

粮食主产区在保障国家粮食安全和经济发展的同时,也取得了显著的生态环境成效。2000—2020年,主产区生态环境质量持续改善,森林覆盖率明显提升。根据中国最近四次森林清查数据,到2018年底,13个粮食主产区的平均森林覆盖率为34.42%,较2003年底的27.75%提高了6.67个百分点。其中,江西、湖南、黑龙江、吉林、湖北、辽宁、四川等省份的森林覆盖率超过38%,远高于全国平均水平(34.41%)。

从NDVI(归一化植被指数)来看,主产区的NDVI平均值呈现先上升后缓慢下降的趋势。2000年,主产区NDVI平均值为0.69,2010年上升至0.74,但2020年略微下降至0.72。空间上,除内蒙古中西部外,主产区的NDVI值整体较高,呈现“南高北低、东高西低”的分布格局。在2000、2010、2020年,NDVI值大于0.7的县域单元分别为789个、1010个和837个,占主产区的62.4%、79.8%和66.2%(图4)。

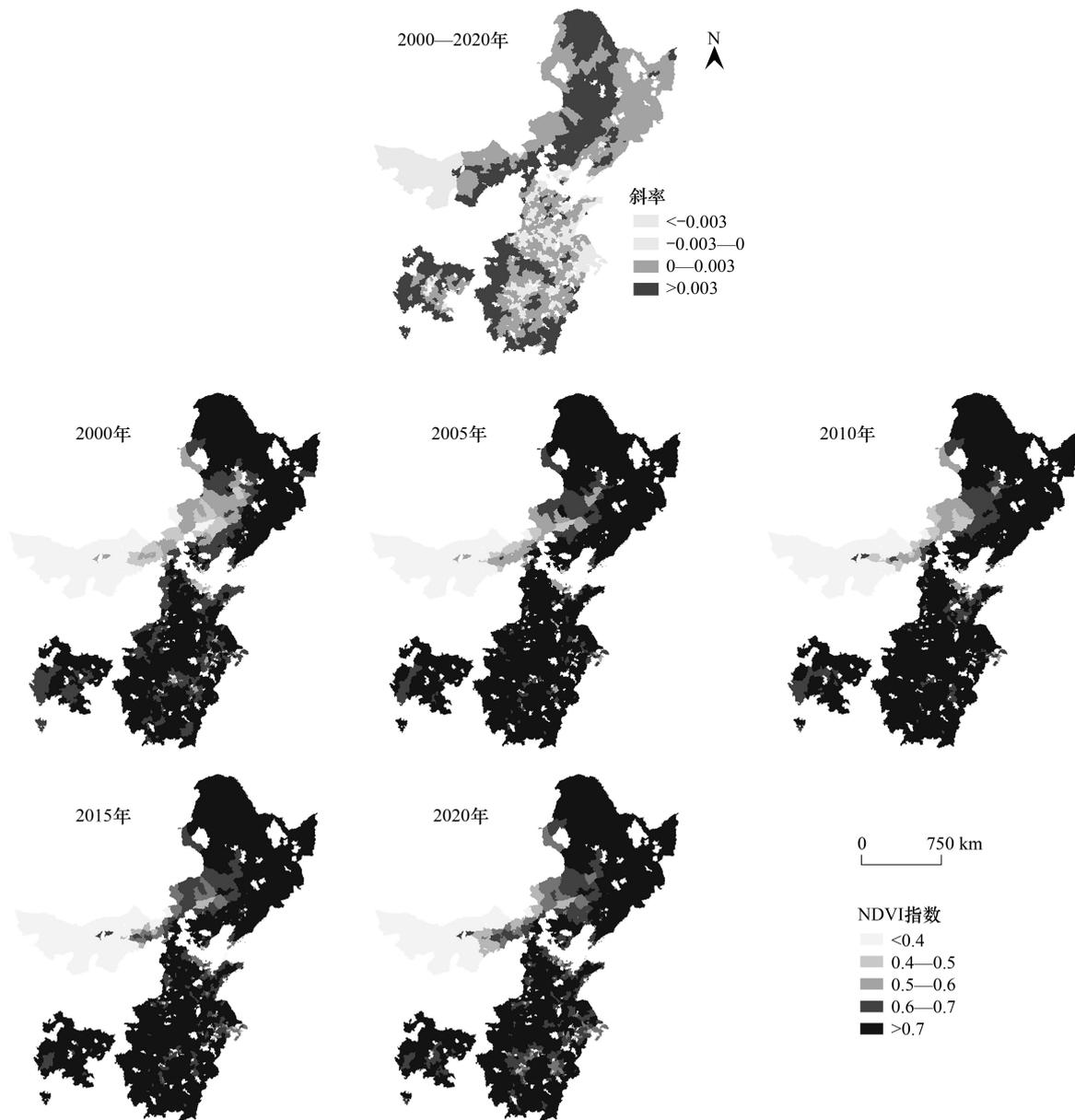


图4 2000—2020年中国主产区生态保护时空格局

Fig.4 Spatiotemporal patterns of ecological conservation in China's major producing areas from 2000 to 2020

从时间变化的角度来看,在 2000—2020 年间,主产区 78.7% 的县域 NDVI 得到了改善,特别是在四川、湖南、内蒙古东部、东北三省与内蒙古交界地区的改善尤为明显。然而,主产区内仍有 299 个县域的 NDVI 值呈下降趋势,主要分布在东部沿海、内蒙古西部和河南等地。其中,江苏、山东、河北的植被退化较为严重,江苏省有 74% 的县域 NDVI 出现退化,河北和山东分别有 37% 的县域 NDVI 退化。

粮食主产区植被覆盖度的改善对粮食生产有着重要贡献,主要体现在三个方面。一是,植被的根系固定土壤,减少水土流失和土地退化,同时增加土壤有机质含量,提升土壤肥力,促进农作物健康生长,提高粮食产量和质量。二是,植被涵养水源,增加地下水储量,减少旱涝灾害影响,提供稳定的水源保障。植被还通过蒸腾作用和遮荫效应调节区域气候,降低地表温度,减少风蚀和沙尘暴的发生频率,创造适宜的气候条件。此外,植被改善促进生物多样性,增加农田生态系统的稳定性和抗逆性,有助于控制病虫害,减少农药使用,保护生态环境。三是,植被改善增强了生态系统服务功能,提供健康的生态环境,提高农业生产效率和可持续性。通过生态保护措施,农民获得更多生态补偿和政策支持,进一步激励他们参与植被改善和生态保护行动。

2.2 主产区粮食生产、经济发展与生态保护耦合协调度时空格局

在过去 20 年里,主产区粮食-经济-生态系统的耦合协调度总体上不断提升,但出现阶段性的波动。2000 年,主产区中 30.36% 和 58.34% 的县域分别处于严重失调和重度失调状态,仅有 9.25%、1.11% 和 0.94% 的县域处于基本协调、中度协调和高度协调状态(图 5)。然而,随时间推移,到 2010 年,耦合协调度显著改善,只有 2.06% 的县域处于中度失调状态,而 3%、28.85% 和 66.09% 的县域分别达到了基本协调、中度协调和高度协调状态。2015 年,主产区高度协调的县域比例进一步增至 75.89%,重度协调县域比例下降至 16.60%。然而,到 2020 年,这一趋势出现了逆转,主产区高度协调和中度协调县域比例分别下降至 58.5% 和 17.71%,基本协调县域比例增至 14.94%,8.77% 的县域处于中度失调状态。这一变化表明,2015 年是主产区粮食-经济-生态系统耦合协调度的最佳状态,随后 5 年,约 32.9% 的县域耦合协调度从高度协调退化到中度或基本协调状态。这种“倒退”现象可能与近年来我国经济发展进入新常态有关,经济发展更加注重质量而非速度,经济增长速度减缓,加上主产区粮食增产的放缓,导致耦合协调度出现下降。

从整体变化趋势来看,2000—2020 年,主产区内有 95.18% 的县域(1204 个)耦合协调度呈上升趋势(斜率大于 0),仅有 61 个县域呈下降趋势,后者主要集中在东部沿海地区。总体而言,东北三省的耦合协调度上升最为明显。然而,从 2015—2020 年,耦合协调度下降最明显的地区集中在东部沿海、河南中部及湖南湖北交界地带。耦合协调度退化的县域多位于 NDVI 下降的地区,可能是由于城市化进程加快,耕地、草地和林地数量减少所致(图 4、图 5)。

显而易见,尽管主产区过去 20 年实现了粮食生产、经济发展和生态保护的不断协调,但仍面临平衡三者关系的严峻挑战。一方面,粮食生产的高投入和高产出要求导致土地资源的过度开发和利用,使得生态系统受到破坏,土壤退化、水资源匮乏等问题愈加严重。另一方面,为了保护生态环境,对农业生产和工业发展的限制可能会导致经济增长放缓。主产区在政策和实际操作中,常常难以找到平衡点,不得不在粮食安全、经济利益和生态保护之间进行艰难的权衡,这使得这些地区在长期发展中面临诸多困境。这些动态反映了主产区在实现可持续发展的道路上需要更加综合的政策支持和精准的调控措施,以平衡粮食生产、经济增长和生态保护之间的关系。

2.3 主产区粮食-经济-生态系统耦合协调驱动机制

主产区的粮食-经济-生态系统是一个复杂的系统,受多种自然、经济、社会因子交互作用的影响。参考已有研究^[48],本研究选取了包括自然环境、经济水平和社会发展等三个维度的 13 个指标,运用地理探测器模型探测主产区粮食-经济-生态系统耦合协调的驱动机制。单因子探测结果显示,经济发展水平(如夜间灯光指数、工业增加值和规模以上工业企业个数)是主产区粮食-经济-生态系统耦合协调的主要驱动因子,农业发展的影响相对较弱。随着时间的推移,自然因素(如温度、降水、日照时数)对三个子系统耦合协调的影响逐渐减弱(图 6)。

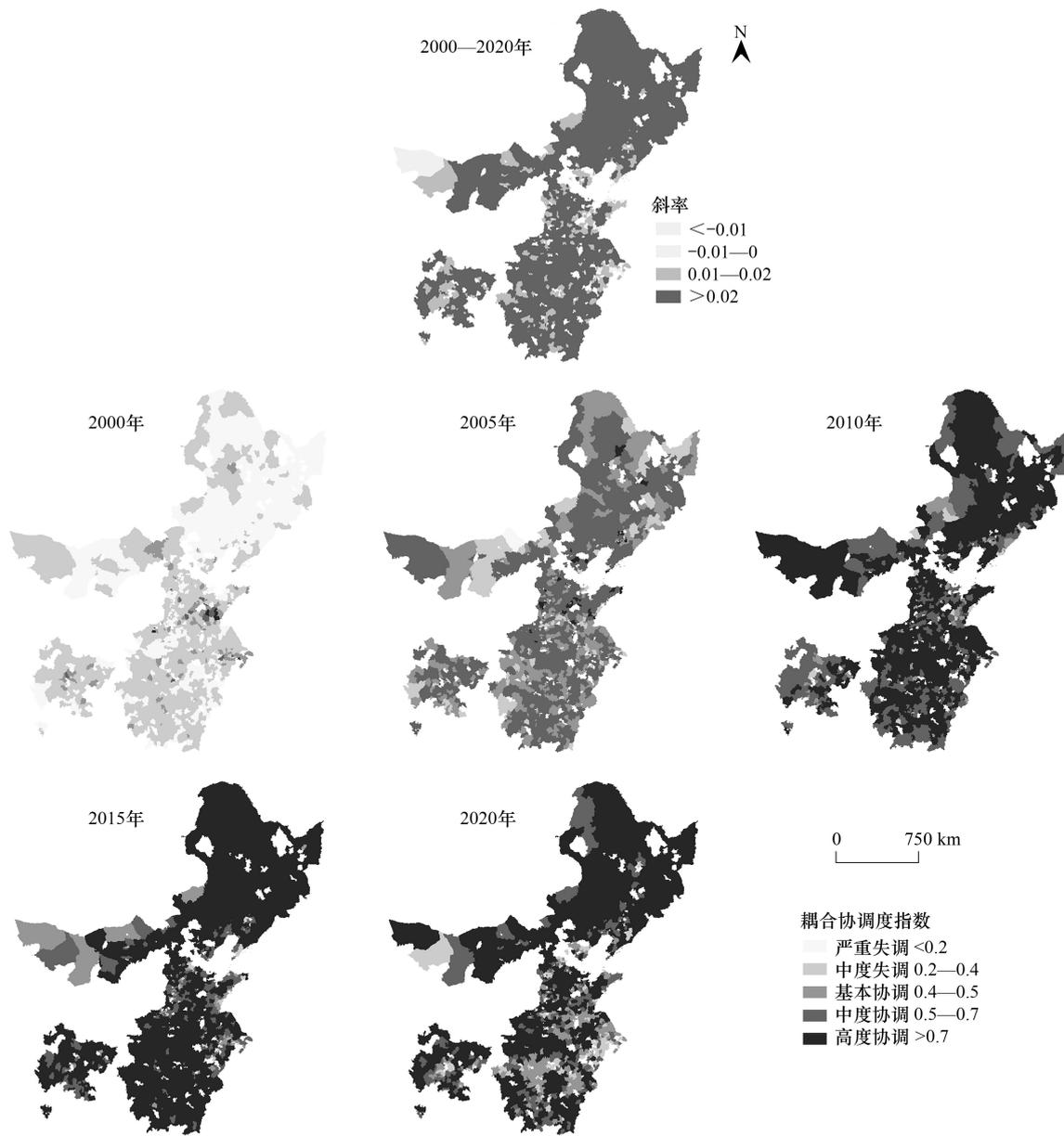


图 5 2000—2020 年中国主产区粮食-经济-生态系统时空耦合格局

Fig.5 Spatiotemporal patterns of coupling coordination degree in grain-economic-ecosystem in China's major producing areas from 2000 to 2020

在不同年份中,主产区粮食-经济-生态三个子系统协调耦合的决定性因子各不相同。2005年,年均气温(X12)、夜间灯光指数(X1)、工业增加值(X5)、规模以上工业企业数(X10)、年日照时数(X13)被识别为主导因子;2010年,第一产业增加值(X4)、农作物播种面积(X8)、年日照时数(X13)成为主导因子;2015年和2020年,夜间灯光指数(X1)、年均气温(X12)、工业增加值(X5)、第二产业单位从业人员(X3)等再次被识别为主导因子。可见,高水平的经济发展通常伴随着更好的基础设施、技术支持和资金投入,这有助于提高农业生产效率,但同时也可能对生态环境产生一定压力。此外,气候条件,特别是年均气温,对农业生产具有直接影响,适宜的温度有利于农作物的生长并提高产量,而极端气候条件则可能对粮食生产带来负面影响。

交互作用探测结果表明,主产区粮食-经济-生态三个子系统耦合协调的双因子作用 q 值均高于单因子影响程度,且这些因子间的交互作用主要表现为非线性增强和双因子增强,其中双因子非线性增强是主导作用

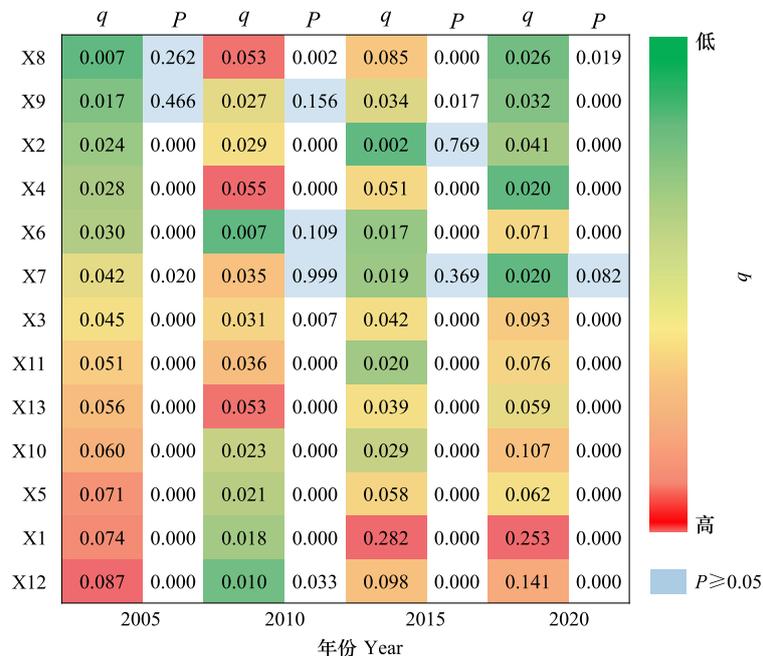


图6 2005—2020年主产区粮食-经济-生态系统耦合单因子探测结果

Fig.6 Results of single-factor detection of grain-economy-ecosystem coupling in China's major grain-producing areas from 2005 to 2020

夜间灯光指数(X1)、人口数(X2)、第二产业单位从业人员(X3)、第一产业增加值(X4)、工业增加值(X5)、地方财政一般预算支出(X6)、土地城镇化率(建设用地占比)(X7)、农作物播种面积(X8)、设施农业占地面积(X9)、规模以上工业企业数(X10)、年降水量(X11)、年平均气温(X12)、年日照时数(X13)。限于篇幅,仅显示2005、2010、2015、2020年四年结果

形式(图7)。具体而言,2005年,夜间灯光指数(X1)与第二产业单位就业人数(X3)、工业增加值(X5)、地方财政一般预算支出(X6)、土地城镇化率(X7)、规模以上工业企业数(X10)之间的双因子增强作用显著;2010年,夜间灯光指数(X1)仅与第一产业增加值(X4)对系统耦合协调呈现双因子增强作用,与其他因子则表现为非线性增强;2015年和2020年,夜间灯光指数(X1)与人口发展(X2)、第二产业单位从业人员(X3)、工业增加值(X5)、设施农业占地面积(X9)、规模以上工业企业数(X10)等之间因子增强作用更为明显。总体来看,主产区的自然条件、经济发展和社会发展对粮食-经济-生态三个子系统的耦合协调的作用呈现非线性增强的特征。这意味着,主产区始终面临着粮食生产、经济发展与生态保护之间的复杂平衡问题。在不同的发展阶段和区域,如何有效协调这三者之间的关系,成为确保主产区可持续发展的关键挑战。这也提示了政策制定者在推动主产区发展时,应综合考虑多方面因素,寻求更加平衡的发展路径。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 过去20年,粮食主产区的粮食生产能力显著提高,粮食产量占全国总产量的比重提升了5.24个百分点,增产区域主要集中在东北地区、黄淮海平原和长江中下游地区。主产区粮食生产重心向东北方向移动了288公里。然而,经济增长速度低于全国平均水平,受到经济结构单一、基础设施落后、科技创新能力不足和资源环境约束等因素的影响。尽管如此,生态环境质量显著改善,森林覆盖率和植被覆盖度提升,对粮食生产和生态保护发挥了积极作用。未来,主产区需要进一步优化经济结构,增强科技创新能力,并完善基础设施建设,以实现更高质量的发展。

(2) 主产区粮食-经济-生态系统的耦合协调度逐步提升,但也经历了一些波动。2000年,许多县域处于严重或重度失调状态,仅少部分处于协调状态。到2010年,情况显著改善,基本协调、中度协调和高度协调的

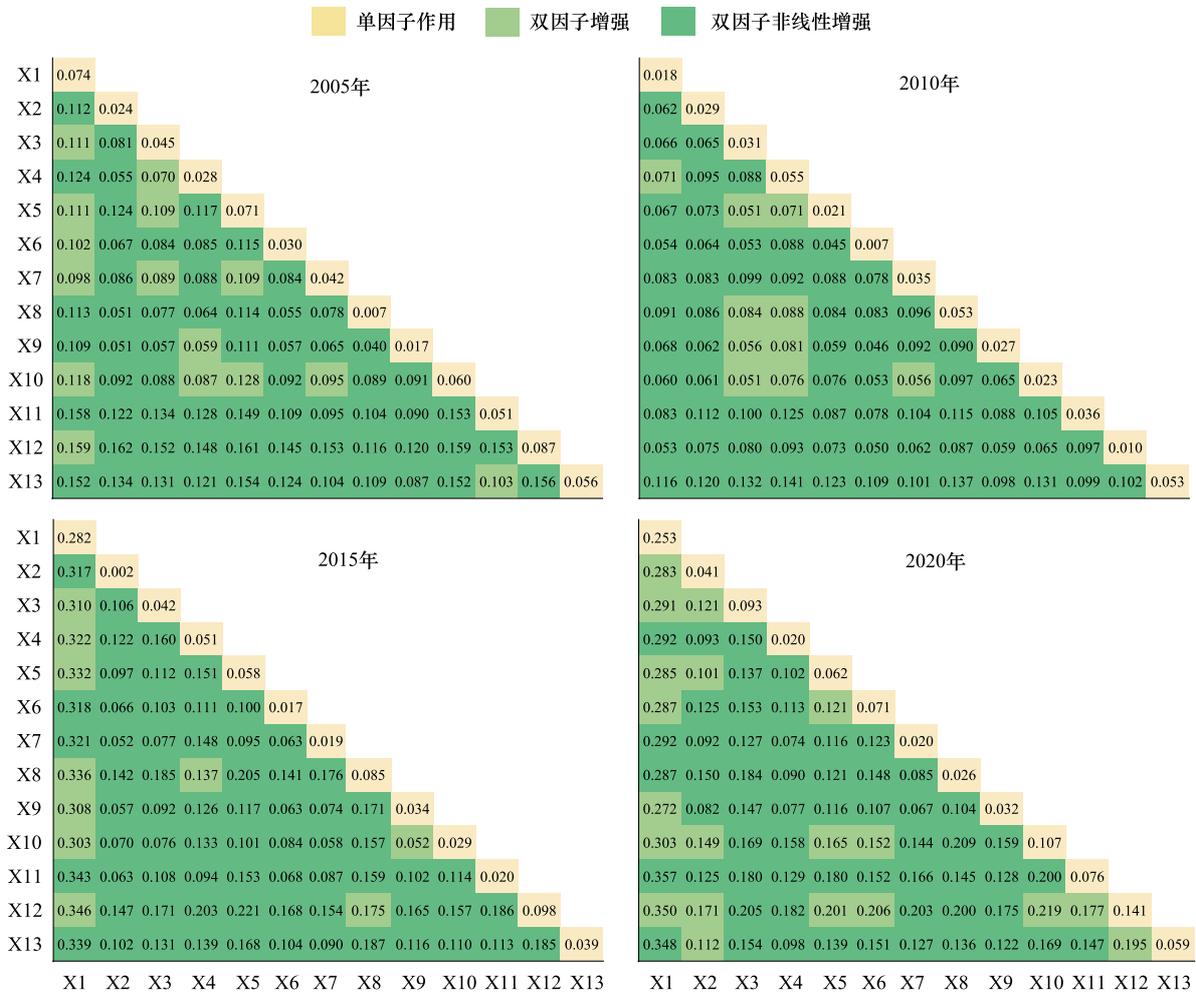


图 7 2005—2020 年主产区粮食-经济-生态系统耦合双因子交互作用

Fig.7 Dual-factor interaction of grain-economy-ecosystem coupling in China's major grain-producing areas between 2005 and 2020

县域数量大幅增加。2015 年,75.89%的县域达到高度协调状态,但到 2020 年,这一比例下降至 58.5%,中度和基本协调的县域比例增加。总体来看,主产区 95.18%的县域耦合协调度在过去 20 年呈上升趋势,特别是在东北三省。然而,东部沿海、河南中部、湖南湖北交界地带的耦合协调度有所下降,主要因为城市化导致耕地、草地和林地减少。未来需要更加注重粮食安全、经济发展与生态保护的协调。

(3) 粮食主产区的粮食-经济-生态系统受自然、经济、社会等多因素的交互影响,形成复杂系统。经济发展水平是主要驱动因子,农业发展的影响相对较弱,自然因素的作用逐渐减弱。双因子交互作用探测结果表明,影响因素间的交互作用以双因子非线性增强为主。总体来看,自然条件、经济发展和社会发展对主产区粮食-经济-生态系统的协调耦合作用呈非线性增强,意味着主产区在粮食生产、经济发展与生态保护之间仍然面临复杂的平衡问题。

3.2 讨论

本研究仅使用粮食产量、GDP 与 NDVI 三个指标来表征县域粮食生产能力、经济发展水平与生态保护状况,评价指标相对单一,未能全面反映复杂的系统关系。由于数据限制,在地理探测器的驱动机制分析中,未充分考虑地理条件、耕地质量、农业科技水平、农业社会化服务以及粮食政策和生态补偿等因素。因此,主产区粮食-经济-生态系统耦合协调的驱动机制尚需进一步深入探讨。

尽管如此,本研究的创新之处在于尝试探究主产区粮食生产、经济发展与生态保护之间的关系,提供了过

去 20 年主产区是否实现粮食生产、经济发展与生态保护或协调的实践支撑。研究发现,主产区过去 20 年粮食-经济-生态系统耦合协调度呈上升趋势,这与前人研究中关注的生态或资源-粮食、生态-经济系统耦合的结果一致^[35-37]。

在国家粮食安全、农业现代化、乡村振兴和区域协调发展等战略背景下,粮食主产区在推动实现农业强国建设、生态文明建设和经济高质量发展目标中扮演重要角色。为实现主产区粮食生产、经济发展与生态保护之间的平衡,应采取如下措施:

(1) 推动耕地保护向耕地保用转变。耕地是粮食生产的根基,耕地可持续利用对保障国家粮食安全至关重要^[49]。随着城镇化推进,农村人口减少,青壮年劳动力迁移,农村人口老龄化加剧,加之种粮收益偏低,耕地撂荒问题日益严重,威胁粮食生产^[50-51]。过去 20 年我国较好地实现了耕地资源保护,但对耕地资源利用不足。因此,需要推动耕地资源保护向耕地保用转变,以提高粮食生产的持续性。

(2) 深化农村土地制度改革,推进适度规模经营,提高粮食综合生产能力。面对主产区粮食增产放缓的挑战,需要通过全域土地综合整治和高标准农田建设,推动农业适度规模经营,提升粮食生产效率及其可持续性。同时,需要坚持“藏粮于地、藏粮于技”,通过优化土地和科技创新提高生产效率。此外,面对农村人口快速老龄化和农业劳动力减少的问题,亟需加快推动农业社会化服务,包括生产资料供应、农机作业服务和技术指导,帮助农民解决实际困难,提高组织化程度和服务水平。

(3) 完善农业支持保护制度,提升农民种粮积极性。一方面,农业支持保护制度的完善能够为农民提供更为稳定的收入保障。当前,粮食价格波动和生产成本上升等因素往往使农民面临较大的经济压力,而科学合理的补贴政策、粮食最低收购价制度、农资补贴等支持措施,能够有效降低农民的种粮风险,提升其经济收益,从而增强种粮的积极性。另一方面,农业支持保护制度的完善还应包括对农业生产环境的保护和改善。例如,推进农田水利设施建设、改善耕地质量、推广绿色高效农业技术等措施,能够提高农民种粮的生产效率和效益。同时,政府还应加强农业保险制度建设,扩大保险覆盖面,帮助农民抵御自然灾害等不可控因素带来的风险。这些举措不仅可以提升农民种粮的积极性,还能够促进农业生产的可持续发展。

(4) 完善对粮食主产区和产粮大县的财政转移支付制度,加快健全粮食主产区利益补偿机制,提升地方政府抓粮积极性。纵向上,需要加大对产量大县的支持力度,进一步向商品粮调出量大、对粮食安全贡献突出的县域倾斜。针对产粮大县公共服务薄弱的问题,应实施产粮大县公共服务能力提升行动计划。横向上,建立主产区利益补偿机制,统筹考虑产销区的粮食生产、流通、消费等因素,由主销区向主产区给予一定的资金支持。同时,粮食主产区应充分发挥其主观能动性和种粮的比较优势,立足于自身的自然资源禀赋,优化区域布局与产业结构,促进一二三产业的融合,摆脱“种粮受穷、农民不富”的困境,打破“财粮倒挂”的局面。此外,政策设计应将粮食经济的高质量发展置于生态安全战略框架内,以提升粮食产业链共享价值为主导,保障生态安全和粮食安全为行动路径。

参考文献 (References):

- [1] Liu Y S, Zhou Y. Reflections on China's food security and land use policy under rapid urbanization. *Land Use Policy*, 2021, 109: 105699.
- [2] Wang J Y, Zhang Z W, Liu Y S. Spatial shifts in grain production increases in China and implications for food security. *Land Use Policy*, 2018, 74: 204-213.
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 统计出版社, 2023.
- [4] 魏后凯, 王业强. 中央支持粮食主产区发展的理论基础与政策导向. *经济学动态*, 2012(11): 49-55.
- [5] 王钢, 钱龙. 新中国成立 70 年来的粮食安全战略: 演变路径和内在逻辑. *中国农村经济*, 2019(9): 15-29.
- [6] 方振, 李谷成, 廖文梅. 粮食主产区政策对粮食生产安全的影响. *农业现代化研究*, 2022, 43(5): 790-802.
- [7] 王一杰, 邸菲, 辛岭. 我国粮食主产区粮食生产现状, 存在问题及政策建议. *农业现代化研究*, 2018, 39(1): 37-47.
- [8] 人民网. 2015. 产粮大县为啥“穷县多”? <http://opinion.people.com.cn/n/2015/0824/c159301-27503866.html>. 2015-08-24.
- [9] 程国强. 大食物观: 结构变化, 政策涵义与实践逻辑. *农业经济问题*, 2023(5): 49-60.
- [10] 张立新, 朱道林, 谢保鹏, 杜挺, 王兴. 中国粮食主产区耕地利用效率时空格局演变及影响因素——基于 180 个地级市的实证研究. *资*

源科学, 2017, 39(4): 608-619.

- [11] 李雨凌, 马雯姜, 姜广辉, 李广泳, 周丁扬. 中国粮食主产区耕地撂荒程度及其对粮食产量的影响. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1439-1454.
- [12] 赵会杰, 于法稳. 基于熵值法的粮食主产区农业绿色发展水平评价. 改革, 2019(11): 136-146.
- [13] 尚二萍, 许尔琪, 张红旗, 黄彩红. 中国粮食主产区耕地土壤重金属时空变化与污染源分析. 环境科学, 2018, 39(10): 4670-4683.
- [14] 钱贵霞, 李宁辉. 粮食生产经营规模与粮农收入的研究. 农业经济问题, 2006, 27(6): 57-60.
- [15] 李明贤, 樊英. 粮食主产区农民素质及其种粮意愿分析——基于 6 个粮食主产省 457 户农户的调查. 中国农村经济, 2013(6): 27-37.
- [16] 赵波. 中国粮食主产区利益补偿机制的构建与完善. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(1): 85-90.
- [17] 盖兆雪, 孙萍, 张景奇. 环境约束下的粮食主产区耕地利用效率时空演变特征. 经济地理, 2017, 37(12): 163-171.
- [18] 相慧, 孔祥斌, 武兆坤, 史婧然, 张青璞. 中国粮食主产区耕地生产能力空间分布特征. 农业工程学报, 2012, 28(24): 235-244.
- [19] 黄祖辉, 李懿芸, 毛晓红. 我国乡村老龄化现状及其对粮食生产的影响与应对. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2024(2): 35-42.
- [20] 程名望, 黄甜甜, 刘雅娟. 农村劳动力外流对粮食生产的影响: 来自中国的证据. 中国农村观察, 2015(6): 15-21, 46.
- [21] 罗丹, 李文明, 陈洁. 种粮效益: 差异化特征与政策意蕴——基于 3400 个种粮户的调查. 管理世界, 2013(7): 59-70.
- [22] 陈璐, 胡月, 韩学平, 郭翔宇. 国家粮食安全中主产区粮食生产及其贡献的量化对比分析. 中国土地科学, 2017, 31(9): 34-42.
- [23] 鲁莎莎, 刘彦随, 关兴良. 粮食主产区农村经济发展态势及其政策影响分析. 经济地理, 2011, 31(3): 483-488.
- [24] 魏后凯, 贾小玲. 中国粮食主产区萎缩态势及其福利损失. 中共中央党校(国家行政学院)学报, 2023(5): 65-79.
- [25] 刘影, 肖池伟, 李鹏, 姜鲁光. 1978—2013 年中国粮食主产区“粮-经”关系分析. 资源科学, 2015, 37(10): 1891-1901.
- [26] 齐蘅, 吴玲. 我国粮食主产区粮食生产与收入水平的协调度分析. 经济地理, 2017, 37(6): 156-163.
- [27] 罗光强, 陈香香. 粮食主产区“三生”功能与粮食生产可持续发展. 农林经济管理学报, 2023, 22(6): 671-681.
- [28] 马彪, 陈璐. 粮食主产区粮食生产与经济“剪刀差”现象分析. 农村经济, 2019(5): 51-59.
- [29] 郑兆峰, 宋洪远. 健全粮食主产区利益补偿机制: 现实基础, 困难挑战与政策优化. 农业现代化研究, 2023, 44(2): 214-221.
- [30] 崔奇峰, 周宁, 蒋和平. 粮食主产区利益补偿必要性分析——基于主产区与非主产区粮食生产及经济发展水平差距的视角. 中国农学通报, 2013, 29(32): 118-124.
- [31] 谢高地, 肖玉, 甄霖, 鲁春霞. 我国粮食生产的生态服务价值研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(3): 10-13.
- [32] 李周. 粮食主产区生态安全研究. 学习与探索, 2020(8): 88-94.
- [33] 邵喜武, 周杨, 吴佩蓉. 基于空间溢出效应的粮食主产区粮食增产与农业生态污染关系研究. 地理科学, 2022, 42(5): 831-840.
- [34] 罗海平, 余兆鹏, 邹楠. 我国粮食主产区生态与粮食安全耦合协调分析——基于 1995—2015 年面板数据. 中国农业资源与区划, 2020, 41(10): 32-39.
- [35] 薛选登, 马路. 粮食主产区土地生态与粮食安全耦合协调性分析. 中国农业资源与区划, 2022, 43(9): 1-11.
- [36] 尚杰, 丛殿勤. 粮食主产区农业生态环境与农业经济的耦合协调及空间关联分析. 河南农业大学学报, 2023, 57(1): 168-178.
- [37] 李长松, 周玉玺. 中国粮食主产区农业水资源脆弱性与粮食安全时空耦合关系研究. 生态与农村环境学报, 2022, 38(6): 722-732.
- [38] 罗翔, 张路, 朱媛媛. 基于耕地压力指数的中国粮食安全. 中国农村经济, 2016(2): 83-96.
- [39] 张利国. 新中国成立以来我国粮食主产区粮食生产演变探析. 农业经济问题, 2013, 34(1): 20-26.
- [40] 崔宁波, 董晋. 主产区粮食生产安全: 地位, 挑战与保障路径. 农业经济问题, 2021(7): 130-144.
- [41] 魏梦升, 颜廷武, 罗斯炫. 规模经营与技术进步对农业绿色低碳发展的影响: 基于设立粮食主产区的准自然实验. 中国农村经济, 2023(2): 41-65.
- [42] 彭继权, 刘毅南, 陈莉莉. 高标准农田建设对农田减灾的影响及作用机制研究. 生态学报, 2024, 44(17): 1-15.
- [43] 罗光强, 王焕. 数字普惠金融对中国粮食主产区农业高质量发展的影响. 经济纵横, 2022, 7(107): 107-117.
- [44] 刘晓倩, 李玲. 粮食主产区农业经济高质量发展评价与时空变化特征研究. 农业现代化研究, 2023, 44(5): 765-776.
- [45] 王少剑, 方创琳, 王洋. 京津冀地区城市化与生态环境交互耦合关系定量测度. 生态学报, 2015, 35(7): 2244-2254.
- [46] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. 地理学报, 2017, 72(1): 116-134.
- [47] 周扬, 李寻欢, 童春阳, 黄晗. 中国村域贫困地理格局及其分异机理. 地理学报, 2021, 76(4): 903-920.
- [48] 郭淑敏, 马帅, 陈印军. 我国粮食主产区粮食生产影响因素研究. 农业现代化研究, 2007, 28(1): 83-87.
- [49] Zhou Y, Zhong Z, Cheng G Q. Cultivated land loss and construction land expansion in China: Evidence from national land surveys in 1996, 2009 and 2019. Land Use Policy, 2023, 125: 106496.
- [50] Ren C C, Zhou X Y, Wang C, Guo Y L, Diao Y, Shen S S, Reis S, Li W Y, Xu J M, Gu B J. Ageing threatens sustainability of smallholder farming in China. Nature, 2023, 616(7955): 96-103.
- [51] Guo A D, Yue W Z, Yang J, Xue B, Xiao W, Li M M, He T T, Zhang M X, Jin X, Zhou Q S. Cropland abandonment in China: Patterns, drivers, and implications for food security. Journal of Cleaner Production, 2023, 418: 138154.