



中国大豆生产时空演变格局的影响因素与优化对策研究

李 治, 何小田

(河南工业大学 粮食经济研究中心, 河南 郑州 450001)

摘要: 为精准把握中国大豆生产空间格局演变规律, 识别大豆生产关键制约因素, 完善大豆空间布局, 本研究基于 1985—2022 年中国大豆生产省级面板数据, 运用 ArcGIS 分析大豆生产时空演变特征, 并构建空间杜宾模型, 实证分析中国大豆生产空间格局变化的影响因素, 并提出优化我国大豆生产布局的对策建议。结果表明: (1) 我国大豆产量总体上呈阶段性增长态势, 且以“区域集中、全国分散”特征分布; (2) 在空间格局上, 我国大豆产量呈“东北集中、西南扩散”趋势, 播种面积高值区逐步向中部和西部地区转移; (3) 实证结果表明, 城镇化水平、单位面积农机总动力、技术与政策因素对大豆生产具有显著影响, 并且平均降雨、城镇化水平、政策因素等对大豆生产具有正向的直接效应。由此提出应根据大豆生产格局演变规律整合大豆区域布局, 加强科技创新能力, 提高规模化种植水平, 提升防灾减灾能力等政策建议, 从而优化大豆生产空间布局。研究结果对保障我国粮食安全具有重要意义。

关键词: 大豆生产; 时空演变; 影响因素; 空间计量模型; 空间相关性

Influencing Factors and Optimization Countermeasures of Spatial and Temporal Evolution Patterns of Soybean Production in China

LI Zhi, HE Xiaotian

(Center for Grain Economic Research, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In order to accurately grasp the evolution of spatial pattern of China's soybean production, identify the key constraints of soybean production, and improve the spatial layout of soybean, this study analyzed the spatial and temporal characteristics of soybean production based on the provincial panel data of China's soybean production in the period of 1985-2022 by using ArcGIS and constructed the spatial Durbin model, empirically analyzed the influencing factors of the changes in spatial pattern of China's soybean production, and proposed countermeasures to optimize the spatial layout of China's soybean production. The results showed: (1) China's soybean production in general was a phased growth trend, and 'regional concentration-national decentralization' characteristics of the distribution; (2) In the spatial pattern, China's soybean production was 'concentrated in the northeast-southwest of the diffusion' trend, the high value of sown area area gradually shifted to the central and western regions; (3) The empirical results showed that the level of urbanization, total power of farm machinery per unit area, technology and policy factors had a significant effect on soybean production and the average rainfall, level of urbanization and policy factors had a positive direct effect on soybean production. It was thus proposed that the spatial layout of soybean production should be optimized by integrating the regional layout of soybean according to the law of evolution of soybean production pattern, strengthening the scientific and technological innovation capacity, improving the level of large-scale cultivation, and upgrading the capacity of disaster prevention and mitigation, and other policy recommendations. The results of the study are of great significance for guaranteeing China's food security.

Keywords: soybean production; time-space evolution; influencing factors; spatial measurement models; spatial correlation

大豆稳产增产对我国粮食安全有着特殊的意义。国家统计局数据显示, 我国大豆消费量由 2011 年的 7 230 万 t 增加至 2022 年的 11 124.36 万 t, 大豆消费量呈现出逐年增长的态势。中国海关数据显示, 2020 年中国大豆进口量已达到 1.003 3 亿 t, 是历史上的最高纪录, 2023 年中国大豆进口量达到 9 941 万 t, 相较于 2020 年进口数量略有减少, 但同年国内产量仅为 2 084 万 t, 大豆进口依存度高达 82.7%。大豆已成为我国粮食安全中最易被“卡脖子”的地方, 是保障国家粮食安全战略中最为脆弱的一环, 其根本解决路径在于增加大豆种植面积和

提高大豆单产。因此亟须研究大豆生产的时空演变规律, 识别大豆生产关键制约因素, 完善大豆空间布局, 保障我国粮食安全。

学者们基于比较优势理论、生产指标—产量波动系数、空间经济学重心模型、多元回归模型、作物种植空间适宜性评价模型等研究方法^[1-4], 从国家层面和省际层面两个方面研究大豆生产时空演变趋势。从国家层面看, 对于粮食生产时空演变格局方面的研究有学者通过借助动态空间杜宾模型^[5]、重心模型^[6]、地理信息系统 GIS 平台、比较优势指数^[7]、全局莫兰指数^[8-10]等进行定量分析, 也有许多

研究运用固定效应模型^[11]、标准差椭圆模型、经验模态分解模型^[12]等分析我国粮食主产区的移动变化趋势,研究发现我国粮食生产增长的中心逐渐集中于中部地区^[13]。从省际层面来看,毛昭庆等^[14]基于云南省 129 个县(市、区)2000—2020 年粮食生产面板数据,采用赫芬达尔指数、地区相对专业化指数和重心模型等测度指标,探讨云南省粮食生产空间布局演变路径以及重心迁移轨迹。孙玲等^[15]采用遥感、格网和 Moran's I 指数等方法对江苏省近年小麦生产地域空间分布格局以及变化进行分析。吴静芬等^[16]综合运用变异系数、Theil 指数、探索性空间数据分析、重心模型等方法探究 1999—2018 年长江经济带粮食生产的时空演变。王晶等^[17]采用空间自相关、多元线性回归模型具体分析了新疆棉区生产空间格局及其主要驱动因素。

关于大豆等粮食种植时空演变影响因素的研究较多,成果较为丰富,以自然、经济、生产、技术及政策因素为主。自然因素主要包括气候、土壤和自然灾害等方面。研究者运用作物生产潜力逐级订正法^[18]、DSSAT-CROPGRO-Soybean 模型^[19]、农业气候指标计算方法^[20]、经验频率法^[21]等方法探讨了全球气候变暖以及辐射、气温和降水等气候要素变化对中国大豆等粮食种植制度可能产生的影响^[22]。社会经济因素包括社会经济发展水平、交通运输情况、非农就业比重、城镇化率等。潘晓卉^[23]运用面板数据模型研究发现大豆生产布局变化主要受经济因素和自然因素影响。杨树果^[24]研究发现我国大豆流通基本上呈大豆主产区和东南沿海向全国扩散的格局。生产投入因素主要包括化肥施用量、有效灌溉面积、劳动力投入量等。杨宗辉等^[25]通过空间杜宾模型分析我国各省粮食生产格局变动的影响因素。徐志宇等^[26]研究发现有效灌溉面积、农业机械总动力和化肥投入量对粮食增产的正面效应较大。技术进步因素方面,钱文荣等^[27]认为农业技术进步是提高玉米等粮食单产的重要因素;王琛等^[28]进一步研究认为土地生产率的提高主要依靠生物化学型的要素投入,而劳动生产率的提高则需要农业机械化率水平的提高。政策因素对于保障大豆种植具有重要作用。杨钰莹等^[29]深入研究补贴政策对于大豆玉米带状复合种植技术推广的作用,认为政策区与非政策区农户、政策区内因资源禀赋形成区域差异下的农户对大豆生产者补贴政策行为的响应存在异质性^[30]。

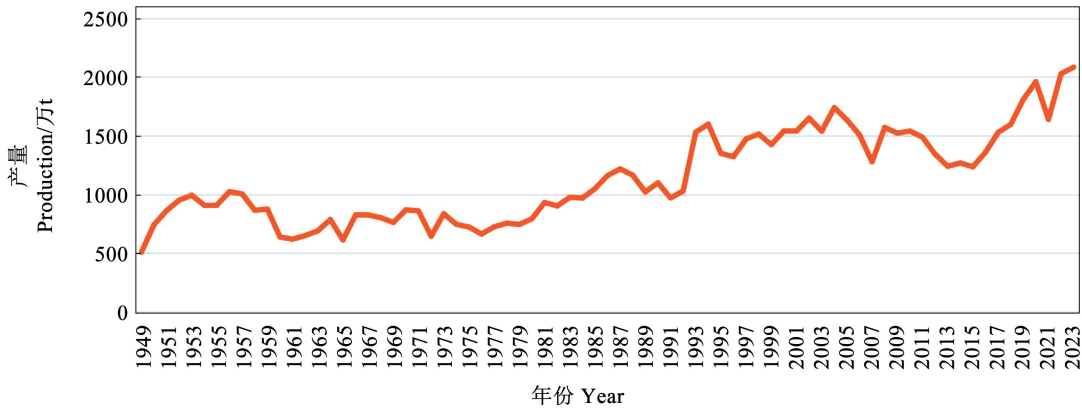
本研究利用空间计量模型,基于 1985—2022 年中国 11 个大豆主产省,包含内蒙古自治区、辽宁省、

吉林省、黑龙江省、江苏省、安徽省、山东省、河南省、湖北省、四川省和陕西省等 11 个省份,其常年大豆产量合计占全国大豆总产量的 80% 以上,具有一定的代表性的大豆生产数据,分析中国大豆生产时空演变规律,识别大豆生产关键制约因素并提出针对性较强的对策建议。相较于其他同类研究,本研究在如下方面做了新的尝试:首先,在研究内容上,基于 1985—2022 年大豆生产相关数据刻画我国大豆生产的时空演变格局,从全国层面明确大豆生产布局演变过程;其次,在研究视角上,多数文献集中于对农作物空间格局的综合影响效应上,但对于政策因素或科技因素等其他因素的影响关注较少,本研究基于自然因素、社会经济因素、生产投入因素、技术进步因素和政策因素 5 个方面,分析我国大豆生产时空演变格局的影响因素;最后,在研究方法上,结合作物生产的空间效应构建空间杜宾模型,全面分析大豆生产时空演变格局及其关键影响因素,以期推动我国大豆种植的合理分布,提升我国大豆自给能力,保障国家粮食安全。

1 我国大豆生产时空演变分析

1.1 我国大豆生产总体变化

如图 1 所示,中国大豆产量呈阶段性增长态势。具体可分为平稳增长、快速增长、波动下降和恢复增长 4 个阶段。第一阶段(1949—1973 年),大豆产量平稳增长,这一时期我国开始推行土地改革,极大地刺激了农户的生产积极性,但受限于建国初期的农业基础设施及种业发展,大豆处于低水平增长状态。第二阶段(1974—1994 年),大豆产量快速增长,这主要得益于我国于 1978 年提出家庭联产承包责任,农户种植热情空前高涨,且随着改革开放的推进,一系列高质大豆品种、先进的病虫害防治技术、高效率的施肥技术引入国内并得到快速推广,年均产量增幅为 5.71%。第三阶段(1995—2015 年),大豆产量波动下降,这一时期由于自然灾害频发及粮食生产结构不断调整,2015 年大豆产量为 1 236.74 万 t,其播种面积缩减至 6 830 hm²,相较于历史高值点下降近 46%。第四阶段(2016—2022 年),大豆生产的恢复增长时期,我国于 2017 年正式发布《关于调整完善玉米和大豆补贴政策的通知》,2020 年又发布《关于完善玉米和大豆生产者补贴政策的通知》,一系列大豆支持政策的实施再次调动了农户的种植积极性。2023 年大豆总产达到 2 084 万 t,产量较 2016 年增长 668.75 万 t,相较于 2016 年增幅为 53.29%。



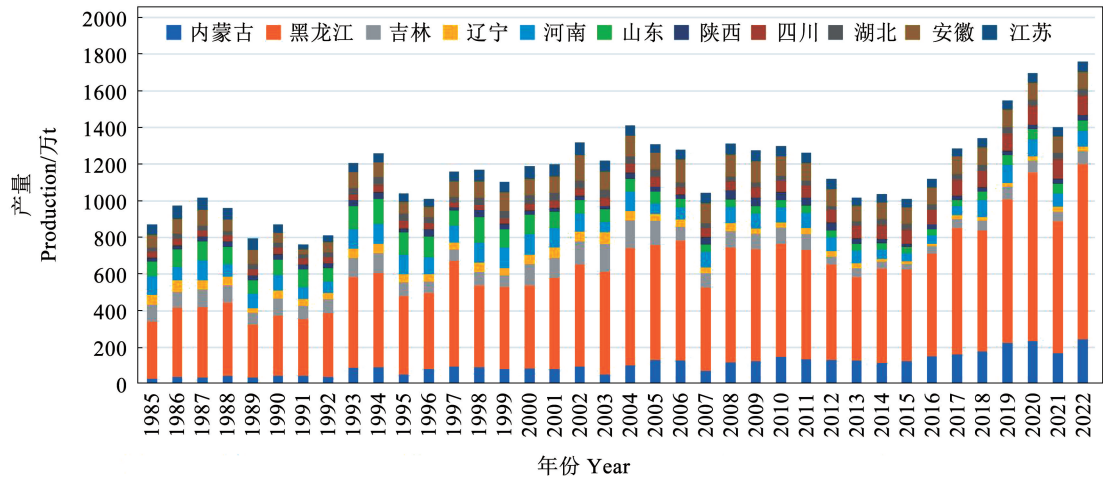
注:数据来源于国家统计局。
Note: Source from National Statistical Office.

图1 1949—2023 年我国大豆产量变化
Fig.1 Changes in China's soybean production in 1949 - 2023

1.2 我国大豆生产分区域时序变化

由图2可知,中国大豆主产省的产量波动情况与全国大豆产量保持一致,总体上呈波动上涨趋势。按省份分析,1985—2022年期间,黑、吉、皖、豫、鲁、蒙、苏、冀、辽9省的大豆产量占全国的75.43%。其中,1999—2019年黑、蒙、皖、豫4省大

豆平均产量均高于50万t,2015—2019年阶段,内蒙古大豆产量上升至全国第二名,安徽居于第三名。中国大豆主产区变化较大,2008—2022年黑、蒙、皖、川、豫成为主要产区,蒙、川、滇、渝4省产量持续增加,而吉、豫、鲁、苏、冀、辽、桂、甘8省产量持续降低。



注:数据来源于国家统计局。
Note: Source from National Statistical Office.

图2 1985—2022 年我国大豆主产省总产量变化趋势图

Fig.2 Trend of total production in China's main soybean-producing provinces in 1985 - 2022

鉴于此,本研究基于1985—2022年中国大豆生产数据,分析大豆生产的时空演变特征,并运用空间计量模型分别对大豆生产的影响因素进行研究,揭示不同因素对大豆生产及布局的影响。

1.3 我国大豆生产分区域空间变化

大豆生产具有空间差异性,运用 ArcGIS 10.8 软件分析中国大豆生产的空间格局特征,以11个大豆主产省作为研究对象,以10年为时间间隔,选取1980年、1990年、2000年、2010年和2022年的大豆

产量及播种面积数据展开分析。

1.3.1 产量呈“东北集中-西南扩散”趋势 由表1可知,1980年黑龙江、河南、山东为我国大豆的高产区,其产量分别为220.5,92.0和84.0万t,3个省产量合计占全国大豆总产量的49.94%。江苏、四川和陕西等地区的大豆产量均不同程度减产。1990年高值区新增吉林,大豆产量高值区集中于东北及东部地区。2000年大豆高产区依然为黑龙江、吉林、河南和山东4个省,其产量分别为450.1,

120.3,115.78 和 104.56 万 t,相较于 1990 年分别增长 38.15%、28.94%、33.54% 和 24.03%,四川和陕西等省份大豆产量较低。2010 年西部地区大豆产量增加,但高值区多位于黑龙江和内蒙古,其中,内蒙古大豆产量为 149.37 万 t,较 2000 年增长 74.09%,实现大幅度增产。安徽、河南位于中值区,山东、湖北、辽宁等省份大豆产量偏低。2022 年我国大豆总

产量为 2 028.30 万 t,黑龙江大豆产量居于首位,内蒙古次之,四川、安徽和河南产量居中,其中四川较 2010 年增长 43.32 万 t,增幅达 72.40%,吉林、山东、江苏和湖北等省份大豆产量中等偏低,陕西和辽宁产量较低,属于大豆产量的低值区。综合来看,我国大豆产量呈现出“东北集中、西南扩散”的变化趋势。

表 1 1980—2022 年我国大豆产量分布表

Table 1 Distribution of China's soybean production in 1980 – 2022

单位:万 t

省域 Province	年份 Year				
	1980	1990	2000	2010	2022
内蒙古 Inner Mongolia	12.50	47.60	85.80	149.37	245.40
辽宁 Liaoning	53.50	42.70	48.10	26.34	27.00
吉林 Jilin	60.50	93.30	120.30	90.18	70.00
黑龙江 Heilongjiang	220.50	325.80	450.10	615.38	953.40
江苏 Jiangsu	35.00	45.10	66.96	58.25	54.80
安徽 Anhui	49.50	55.40	91.50	105.07	94.20
山东 Shandong	84.00	84.30	104.56	37.64	58.10
河南 Henan	92.00	86.70	115.78	83.91	84.90
湖北 Hubei	11.50	26.40	45.80	27.68	35.40
四川 Sichuan	20.50	34.60	37.40	61.08	105.30
陕西 Shanxi	18.00	29.30	22.20	44.85	30.50

1.3.2 播种面积高值区迁移至中部和西部地区
由表 2 可知,1980 年大豆播种面积居于首位的省份是黑龙江,为 163.01 万 hm²,占全国大豆总播种面积的 22.56%。河南居于第二位,山东、安徽和吉林等省份次之。四川、陕西等地区播种面积较小。至 1990 年,高值区为黑龙江和河南,占全国总播种面积 35.96%。以湖北和四川为主的中西部地区位于低值区。2000 年中部和西部地区播种面积逐渐增大,高值区有黑龙江、内蒙古和安徽,其播种面积分别为 286.83 万、79.39 万和 68.22 万 hm²,河南和山

东位于中高值区,辽宁、江苏、陕西和湖北位于中低值区,四川则居于低值区。2010 年高值区稳定于黑龙江、内蒙古和安徽,其次为吉林和河南,而山东、湖北和辽宁大豆播种面积有所缩小。2022 年黑龙江大豆播种面积居首位,较 2010 年增长 32.31%,内蒙古居第二位,其次为安徽和四川,中西部播种面积逐渐扩大。河南、吉林、湖北、江苏和山东的大豆播种面积位于中低值区域,陕西和辽宁位于低值区。综合来看,我国大豆播种面积不断扩大,且由东北地区及东部地区逐渐向中部和西部地区转移。

表 2 1980—2022 年我国大豆播种面积分布表

Table 2 Distribution of soybean sown area in China, 1980 – 2022

单位:万 hm²

省域 Province	年份 Year				
	1980	1990	2000	2010	2022
内蒙古 Inner Mongolia	17.13	30.08	79.39	94.27	122.20
辽宁 Liaoning	47.29	34.90	30.19	12.34	11.53
吉林 Jilin	55.65	46.38	53.90	39.92	30.99
黑龙江 Heilongjiang	163.01	207.87	286.83	372.72	493.16
江苏 Jiangsu	27.55	24.47	24.92	22.42	21.04
安徽 Anhui	61.09	52.29	68.22	83.50	61.07
山东 Shandong	69.51	44.83	45.82	15.64	21.50
河南 Henan	91.81	63.96	56.47	44.48	36.36
湖北 Hubei	17.37	16.47	22.48	10.99	22.99
四川 Sichuan	17.10	19.19	16.96	26.07	52.00
陕西 Shanxi	21.15	28.85	24.69	20.17	17.43

2 中国大豆生产时空演变格局影响因素的实证分析

2.1 大豆生产空间相关性分析

2.1.1 全局空间相关性检验 本研究利用莫兰指数对大豆产量进行相关性分析。Moran's I 指数计算公式如下：

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

其中, n 表示所研究对象的省份数,由于青海省暂无大豆种植数据,所以剔除青海省, $n = 30$; W_{ij} 是

权重矩阵,采用二进制邻接空间权重矩阵,如果区域 i 与区域 j 相邻,则 $W_{ij} = 1$,反之则不相邻,此时 $W_{ij} = 0$ 。 x_i 和 x_j 分别代表区域 i 和区域 j 的观测值; $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ 表示观测值的平均值; $S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ 表示观测值的方差。莫兰指数通常在 $-1 \sim 1$ 之间。如果莫兰指数大于 0,则表明样本间有正向的空间关联,如果莫兰指数小于 1,表明样本间有负向的空间关联。莫兰指数为 0 则表明样本不具有空间相关性。本部分运用 Stata 软件,选择二进制邻接空间权重矩阵,计算中国大陆 30 个省份(剔除青海省) 1985—2022 年大豆产量的全局 Moran's I 指数值,并对其进行检验。计算结果如表 3 所示。

表 3 1985—2022 年大豆产量的全局 Moran's I 指数值

Table 3 Global Moran's I index values for soybean production in 1985 - 2022

年份 Year	Moran's I	P-value	Z-value	年份 Year	Moran's I	P-value	Z-value
1985	0.218	0.001	3.084	2004	0.214	0.000	4.220
1986	0.185	0.001	3.037	2005	0.213	0.000	4.536
1987	0.202	0.001	3.029	2006	0.145	0.000	3.431
1988	0.208	0.000	3.596	2007	0.152	0.001	3.034
1989	0.184	0.003	2.779	2008	0.154	0.000	3.465
1990	0.240	0.000	3.603	2009	0.150	0.000	3.374
1991	0.191	0.001	3.100	2010	0.177	0.000	3.670
1992	0.167	0.001	3.254	2011	0.162	0.000	3.542
1993	0.218	0.000	3.541	2012	0.120	0.004	2.655
1994	0.202	0.000	3.369	2013	0.149	0.002	2.910
1995	0.146	0.005	2.550	2014	0.105	0.005	2.556
1996	0.161	0.002	2.840	2015	0.104	0.009	2.377
1997	0.116	0.002	2.864	2016	0.118	0.004	2.669
1998	0.188	0.002	2.931	2017	0.118	0.001	2.992
1999	0.146	0.004	2.632	2018	0.136	0.002	2.906
2000	0.243	0.000	3.717	2019	0.155	0.001	3.247
2001	0.198	0.000	3.560	2020	0.131	0.001	3.174
2002	0.208	0.000	3.690	2021	0.118	0.002	2.885
2003	0.201	0.000	4.006	2022	0.136	0.000	3.302

由表 3 可知,1985—2022 年大豆产量的全局莫兰指数值均为正值,表明中国各省份大豆生产存在空间相关性且为正相关。但是,1985—2022 年全球 Moran's I 指数大体呈波动下降的趋势,由 1985 年的 0.218 下降至 2022 年的 0.136,下降了 37.61%,这说明我国大豆产量的空间依存关系在逐步弱化。另外,由显著性水平检验可知,1985—2022 年的总

体莫兰指数都通过了 1% 显著性检验,证明我国大豆生产存在明显的空间相关特性。

2.1.2 局部空间相关性检验 由表 4 整理可得,1985—2022 年,全国共有 13 个省区保持稳定,占比 43.3%,说明我国大豆生产空间格局稳定,不易突破其原有空间集聚格局。特别是黑龙江基本处于第一象限,呈现出高一高(H—H)聚集的空间正向相

关性,这与实际生产状况是一致的。而重庆、新疆、广西、浙江、福建、江西、湖南、贵州、云南、广东和海南 11 个省份一直处于第三象限,表现出低—低(L—L)集聚的空间相关性。山西省一直稳定在第二象限,表现出低—高(L—H)的空间相关性,其余

省份均不同程度迁移。此外,1985 年和 2022 年大豆生产在第一象限和第三象限的省份占 30 省总数的比例分别为 86.67% 和 63.34%,说明我国大豆产量具有明显的空间相关性,但其空间相关性却在不断减弱。

表 4 代表性年份中国省域大豆产量聚类模式

Table 4 Clustering patterns of soybean production in Chinese provinces in representative years

年份	H-H 集聚	L-H 集聚	L-L 集聚	H-L 集聚
Year	H-H agglomeration	L-H agglomeration	L-L agglomeration	H-L agglomeration
1985	冀、辽、苏、皖、鲁、吉、豫、黑	蒙、晋、鄂、沪	京、津、渝、新、藏、宁、桂、甘、秦、川、浙、闽、赣、湘、黔、滇、粤、琼	—
1995	冀、皖、鲁、吉、豫、黑、蒙	晋、鄂、辽、苏、京、津	渝、新、藏、宁、桂、甘、秦、川、浙、闽、赣、湘、黔、滇、粤、琼、沪	—
2005	鲁、吉、黑、蒙	晋、辽、宁	京、津、渝、新、藏、桂、甘、秦、川、浙、闽、赣、湘、黔、滇、粤、琼、沪、冀、豫、鄂、苏	皖
2015	黑、蒙、苏	吉、辽、宁、晋、鲁、藏、秦、甘	京、津、渝、新、桂、浙、闽、赣、湘、黔、滇、粤、琼、沪、冀、鄂、	皖、豫、川
2022	黑、蒙、吉	辽、宁、晋、鲁、秦、甘、冀	京、津、渝、新、藏、桂、浙、闽、赣、湘、黔、滇、粤、琼、沪、豫、鄂、苏	皖、川

2.2 大豆生产时空演变格局的影响因素

大豆生产空间格局受到多种因素的综合影响,不仅会受到气温、降水、自然灾害等自然条件因素的制约,同时由于社会经济发展、农业基础设施建设和科技进步等多种因素的综合作用,导致大豆的产量发生改变,进而影响大豆的生产空间分布。基于此,本部分选取平均气温、平均降水量、成灾面积代表自然条件因素;城镇化水平、非农就业机会代

表社会经济因素;化肥施用量、有效灌溉面积、单位面积农机总动力和交通运输水平代表农业基础设施因素;大豆单产水平代表技术进步因素。为了提高农民的种粮积极性,国家增加了粮食直接补贴、良种补贴、农机补贴和农资综合补贴。由此可见,我国的政策因素对我国大豆产量的空间分布格局也有一定影响。本研究涉及的各因素的变量设置和指标定义如表 5 所示。

表 5 变量设置和指标定义

Table 5 Variable settings and indicator definitions

因素	变量	代码	定义
Facter	Variant	Coding	Definition
被解释变量	大豆产量	Y	各省大豆产量
Explanatory variable			
自然条件因素	平均气温	Temp	全年平均气温
Natural condition factor	平均降水量	Rain	全年平均降水量
	受灾面积	Dama	农作物受灾面积 × (大豆播种面积/农作物播种总面积)
社会经济因素	非农就业机会	Empl	农村非农就业人数与劳动力总数的比值
Social-economic factors	城镇化水平	UL	非农人口/总人口
	农业基础设施	Far	化肥折纯量/农作物播种总面积
Agricultural infrastructure	有效灌溉面积	Irri	农作物有效灌溉面积 × (大豆种植面积/农作物总面积)
	单位面积农机总动力	Mach	农业机械总动力/大豆播种面积
	交通运输水平	Traf	(铁路营业里程 + 公路营业里程)/行政区域面积
技术与政策	种植技术	Tech	参考尹朝静等 ^[31] DMU 测算方法
Technology and policy	政策环境	D	地方财政农林水事务支出 × (大豆播种面积/农作物播种总面积)

2.3 模型构建与数据说明

2.3.1 模型构建 为研究空间因素对大豆生产布局的影响,构建空间杜宾模型来进行估计:

$$y_i = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} + \beta_i X_i + \theta_i \sum_{j=1}^n W_{ij} X_j + u_i + \lambda_i + \varepsilon_{ii}$$

(2)

式中: W_{ij} 代表矩阵 W 中 i 行 j 列元素;下标 t 代表 t 年; y 为被解释变量,代表各省份大豆产量占全国大豆产量的比重; X 为解释变量; λ_i 和 u_i 分别表示时间和空间效应; ε 为随机误差项; ρ 、 β 和 θ 均为待估参数。在回归过程中,本省份某个变量的变化可能会直接影响本省的因变量并间接影响邻接省份的因变量。所以,将总效应进一步分解为直接和间接效应。据此,式(2) 可以改写为:

$$y = \rho Wy + \alpha i_n + X\beta + WX\theta + \varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

$$y = (I - \rho W)^{-1}(\alpha i_n + X\beta + WX\theta + \varepsilon)$$
 (3)

由式(3)可知,变量 x_r 的边际效应即偏导数 α_y/α_{x_r} 已不是 OLS 模型中的 β_r , 式(3) 可进一步调整为:

$$y = \sum_{r=1}^k M_r(W) x_r + V(W) i_n \alpha + V(W) \varepsilon$$
 (4)

其中, $V(W) = (I_n - \rho W)^{-1} = I_n + \rho W + \rho^2 W^2 + \rho^3 W^3 + \cdots + \rho^n W^n$, 定义 $M_r(W) = V(W)(I_n \beta_r + W \theta_r)$, 而 $M_r(W)_{ij}$ 为矩阵 $M_r(W)$ 中第 i 行,第 j 列的元素,对某一观测值 i 而言:

$$y_i = \sum_{r=1}^k \left[M_r(W)_{i1} x_{1r} + M_r(W)_{i2} x_{2r} + \cdots + M_r(W)_{inr} x_{nr} \right] + V(W)_{ii} i_n \alpha + V(W)_{ii} \varepsilon$$
 (5)

由式(5)可知, x_{ir} 对 y_i 的直接效应和间接效应可分别表示为:

$$\frac{\alpha_{y_i}}{\alpha_{x_{ir}}} = M_r(W)_{ii}$$

$$\frac{\alpha_{y_i}}{\alpha_{x_{ir}}} = M_r(W)_{ji} (j \neq i)$$
 (6)

2.3.2 数据说明 本研究所使用的数据为1985—2022 年中国 11 个大豆主产省的面板数据。1985—2022 年间,我国大豆单产、播种面积、有效灌溉面积、农作物播种面积、道路里程、铁路里程、农机总功率等指标均取自 1950—2022 年度《中国统计年鉴》。1985—2022 年大豆受灾面积、非农人口、总人口、非农就业机会均来源于《中国农村统计年鉴》(1985—2022 年)。平均气温、降水量数据均来源于国家气象数据中心。政策因素用地方财政农林水

事务支出乘以大豆播种面积与农作物播种面积的比值计算得出,数据来源于国家统计局。

2.4 空间计量模型的选择与分析

2.4.1 模型选择 通过分析可知,中国省域大豆生产存在空间自相关性,传统的回归模型忽略了空间相关性,从而造成估算结果的偏差和实际的解释能力不足,需要采用空间计量模型进行拟合。在此基础上,采用拉格朗日乘子检验等方法,研究空间滞后模型与空间误差模型在本研究中的适用性。拉格朗日乘子检验结果发现,空间滞后模型检验值通过了显著性检验,从而拒绝了无空间被解释变量滞后项的假设。Wald 检验在 1% 的显著性水平下通过检验(表 6)。因此,应采用双固定效应空间杜宾模型。

表 6 空间计量模型选择检验结果
Table 6 Results of the spatial measurement model selection test

空间面板模型检验 Spatial panel model testing		检验值 Value	P-value
LM 检验	LM-lag	3.439	0.064
LM-test	Robust-LM-lag	95.836	0.000
	LM-error	19.054	0.000
	Robust-LM-error	111.452	0.000
LR 检验	LR-SDM/SEM	43.22	0.0000
LR-test	LR-SDM/SAR	38.21	0.0001
Wald 检验	Wald-SDM/SEM	49.44	0.0000
Wald test	Wald-SDM/SAR	45.65	0.0000

2.4.2 实证结果分析 由表 7 回归结果可知,平均气温对大豆空间格局演变的影响是显著的,并在 1% 水平上通过了显著性检验,平均气温每增加 1 个单位,大豆产量将会减少 12.026%,这主要是因为大豆虽然生性喜暖,但是对温度的要求较高,种子在 10~12℃ 开始萌发,在 20~25℃ 生长最好,结荚在低温下延迟,温度过高则会导致提前结荚,反而使籽粒生长不够饱满[资料来源于普惠网,详见于“大豆气象”,智汇三农(pwsannong.com)]。平均降水因素对大豆生产格局演变具有显著的正向影响,且通过了 1% 水平的显著性检验,表明降水每增加 1 个单位,大豆产量将会增加 0.104%。另外,受灾情况对大豆产量的空间分布也有显著的阻碍作用,并在 1% 的显著水平上通过了显著性检验。以黑龙江为例,洪涝灾害是影响黑龙江大豆总产量的关键气象灾害,冷冻害次之,风雹灾影响最小^[32]。黑龙江省 2023 年受台风“杜苏芮”影响,南部地区出现暴雨、大暴雨,局地农田受灾,给大豆生产带来不利影响。2021 年受强降雨和台风影响,以河南为

代表的黄淮海部分地区田间积水较多、涝渍严重,导致大豆、玉米等农作物长势弱、伤口多、抗性差,适宜多种病虫害发生流行。

表 7 空间杜宾模型结果

Table 7 Spatial Durbin model results

变量 Variant	空间杜宾模型邻接矩阵	
	X	W × X
Temp	-12.026 *** (-6.130)	19.917 *** (4.844)
Rain	0.104 *** (5.136)	-0.054 (-1.214)
Dama	-32.846 (-1.131)	73.461 (1.091)
Empl	0.495 (1.387)	0.699 (1.018)
UL	1.853 *** (4.897)	4.532 *** (5.184)
Far	-6.603 (-0.926)	23.452 (1.478)
Irri	0.483 (0.790)	10.554 *** (6.517)
Mach	-0.785 *** (-3.094)	-2.950 *** (-4.654)
Traf	0.104 (0.525)	-0.354 (-1.021)
Tech	-2.546 *** (-3.903)	2.714 *** (3.155)
D	2.381 *** (12.524)	-0.712 (-1.524)
rho	-0.236 *** (-3.503)	
sigma2_e	3691.588 *** (14.291)	
observations	418	

注:***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著。
Note: ***, ** and * indicate significant at 1%, 5% and 10% level, respectively.

非农就业机会因素对大豆生产空间格局演变具有正向影响,这表明非农就业机会每增加1个单位,大豆产量将会增加0.495%。这主要是因为我国当前粮食作物种植多以玉米、小麦和水稻为主,国内大豆比较收益长期低于玉米比较收益,农民的种植意愿低下。若非农就业机会增加的同时进一步提升大豆种植补贴力度,农户可选择通过承包耕地的形式对大豆进行规模化种植,一定程度上将提升大豆种植面积进而影响大豆产量。不仅如此,非

农就业机会的增加将助力非农产业的形成进而有效延长农业产业链,在乡村地区创造更多附加值,并在县域形成主导产业。若能将大豆加工产业链延长,农户获得的利润也会相应增长。

同时,城镇化水平也对大豆种植结构产生了显著的正效应,并且在1%的显著水平上通过了显著性检验。这表明城镇化水平每增加1个单位,大豆产量将会增加1.853%。随着城市化进程的推进,可以释放的农村居住用地要多于城市扩张用地。若将农地复垦考虑在内,2015—2030年期间中国大部分县域(北京、上海等部分大城市除外)的耕地面积将显著增加270万hm²;2015—2050年期间则将显著增加580hm²,这相当于中国2015年耕地总面积的4.1%,而耕地面积的增加一定程度上会使大豆产量提高^[33]。

化肥施用量对大豆生产具有负向影响,但却没有通过显著性检验。当前我国多在黄淮海地区推行玉米带状复合种植模式,农户在生产活动中会通过施用肥料为作物生长提供营养,但大豆和玉米两种作物所需要的肥料品类不同,用量也有差异,并不是肥料越多就越高产。化肥中的营养元素虽是作物生长发育中必不可少的要素,但过量施用不仅会增加农资投入成本,还会对土壤健康产生负面影响。

对于农业基础设施因素而言,单位面积农机总动力通过了1%的显著性检验,其中有效灌溉面积对大豆产量产生显著的负向影响。当前我国黄淮海地区普遍采用大豆、玉米双季套种,该模式对机具需求高,而目前黄淮海地区高性能农机装备国产化程度不高,存在适应性差、破碎率高、损失率高等问题。我国南方大豆主产区机械化程度不高,特别是收获机械严重不足。依靠农业机械总动力提高大豆单产仍存在发展空间。

技术因素对大豆生产布局演变产生显著的负向影响,但空间溢出结果显著为正。当前农业生产内生性不足,农业机械多依赖于外部支持,农业科技自主研发能力仍需提高且农业技术研发人员不足。且传统的农药化肥施用技术已逐渐不能满足大豆生产的需要,但新技术的引进和推广正逐步应用于大豆种植场景中,大豆种植户对新技术的采纳具有一定的主动性。

基于此,本部分以1985—2022年全国大豆产量为研究对象,建立双向固定效应模型,并对其进行实证检验。实证结果表明,大豆生产空间格局演变受平均气温、降水、受灾面积、非农就业机会、城镇化水平、有效灌溉面积、单位面积农机总动力和交

通运输水平等因素的影响,而平均气温、降水量、城镇化水平、单位面积农机总动力、技术与政策因素对大豆生产格局演变的影响更加凸显。其中,平均气温、受灾面积等对大豆生产具有显著的负向影响,平均降水、城镇化水平和政策因素等对大豆生产格局的演变具有显著的正向影响。

表 8 空间效应分析
Table 8 Analysis of spatial effects

变量 Variant	直接效应 Direct effect	间接效应 Indirect effect	总效应 Aggregate effect
Temp	-13.685 *** (-7.280)	20.297 *** (5.587)	6.612 (1.523)
Rain	0.109 *** (5.584)	-0.071 * (-1.871)	0.038 (0.847)
Dama	-36.387 (-1.340)	74.570 (1.248)	38.183 (0.584)
Empl	0.450 (1.331)	0.509 (0.876)	0.958 (1.454)
UL	1.546 *** (4.331)	3.648 *** (4.773)	5.193 *** (5.635)
Far	-8.234 (-1.224)	23.140 * (1.741)	14.906 (0.967)
Irri	-0.298 (-0.507)	9.151 *** (6.295)	8.853 *** (5.134)
Mach	-0.590 *** (-2.653)	-2.488 *** (-4.473)	-3.078 *** (-5.103)
Traf	0.147 (0.748)	-0.354 (-1.155)	-0.207 (-0.607)
Tech	-2.749 *** (-3.969)	2.882 *** (3.265)	0.133 (0.248)
D	2.468 *** (13.323)	-1.109 *** (-2.869)	1.360 *** (3.353)

注:***、**和* 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著。
Note: ***, ** and * indicate significant at 1%, 5% and 10% level, respectively.

由表 8 可知,直接效应中,平均降雨、城镇化水平和政策因素的直接效应为显著正效应,自然条件因素中,平均气温与大豆产量之间存在显著负相关关系,说明自然因素是限制大豆生产的重要因素之一。农业基础设施因素中,单位面积农机总动力的直接效应为显著负效应,这说明当前的农业机械化水平仍不能满足大豆生产需要。而技术因素的直接效应为负且显著,说明技术条件对大豆生产集聚作用有限,当前部分地区技术发展内生动力不足,技术进步仍存在较大发展空间。

在间接效应中,自然条件因素中的平均气温为

显著正效应、平均降水为显著负效应。交通运输水平为负效应,是因为周边省区交通网络密度高,更易与区域内的资源竞争,导致区域内农产品资源竞争,从而对本地大豆生产产生负面影响。对城镇化要素而言,其间接作用是正向的,这是因为随着城市化进程的推进,农业现代化程度的提升,邻接省份会吸引当地农民迁移。

3 结论与对策建议

3.1 研究结论

基于 1985—2022 年中国 11 个大豆主产省的生产数据,结合大豆生产总体变化及分区域的时空演变格局变化,运用空间杜宾模型具体分析影响大豆生产格局变化的关键制约因素总结得出:(1)我国大豆产量总体上呈阶段性增长态势,且以“区域集中、全国分散”特征分布;(2)在空间格局上,我国大豆产量呈“东北集中、西南扩散”趋势,播种面积高值区逐步向中部和西部地区转移;(3)实证结果表明,城镇化水平、单位面积农机总动力、技术与政策因素对大豆生产具有显著影响,并且平均降雨、城镇化水平和政策因素等对大豆生产具有正向的直接效应。

3.2 政策建议

整合大豆区域布局。在整合大豆区域布局时,要根据大豆的生长需要采取补水供给、开辟中国西南、西北地区的荒地、沙地等未开发土地措施,以此改善大豆生产区域布局。同时,需考虑我国大豆生产省域之间的空间联动性,充分发挥高值区的辐射带动作用,扩展区域间的信息交流渠道。

加强科技创新能力。提高优质大豆品种选育效率,提升大豆单产及科研水平,注重科研成果应用及落实奖励机制。以产业合作的组织创新形式实现种植专业化、管理集约化和经营产业化。

提高规模化种植水平。全国范围内要因地制宜地研发适合当地的大豆规模化种植的技术模式,例如黄淮海地区可推行大豆玉米带状复合种植技术,而在西北地区可加强大豆与经济作物的间作模式研发。建立健全大豆种植专业化服务体系,基于地区优势规模化种植大豆,提升规模经济效益。

提升防灾减灾能力。洪涝灾害发生前,如大豆成熟期,应积极组织人力抢收,减少洪涝损失;洪涝灾害发生过程中,要及时扶正作物,使其正常生长;洪涝灾害发生后,需及时排水,松土和喷洒农药,加强田间管理。同时,要提高农业保险水平,发展多种形式的农业保险和互助合作保险,建立农业保险大灾风险分散机制。

参考文献

[1] 曹永强,李维佳,袁立婷. 河北省主要农作物生产时空格局变化特征及安全评价[J]. 地理科学, 2018, 38(8): 1319-1327. (CAO Y Q, LI W J, YUAN L T. Spatio-temporal pattern variation and safety evaluation of crops in Hebei province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(8): 1319-1327.)

[2] 高军波,韩勇,喻超,等. 河南省县域农作物生产空间格局演变及专业化分区研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(7): 152-163. (GAO J B, HAN Y, YU C, et al. Spatial evolution and specialization division of county crops production in Henan province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(7): 152-163.)

[3] 周立青,程叶青. 黑龙江省粮食生产的时空格局及动因分析[J]. 自然资源学报, 2015, 30(3): 491-501. (ZHOU L Q, CHENG Y Q. Spatio-temporal pattern and its driving factors of grain production in Heilongjiang province[J]. Journal of Natural Resources, 2015, 30(3): 491-501.)

[4] 宋戈,张红梅. 东北典型黑土区耕地轮作休耕的空间重构[J]. 自然资源学报, 2022, 37(9): 2231-2246. (SONG G, ZHANG H M. Spatial reconstruction of farmland rotation and fallow in the typical black soil region of northeast China[J]. Journal of Natural Resources, 2022, 37(9): 2231-2246.)

[5] 蔡荣,陶素敏. 中国粮食生产布局演变及空间机制分解: 1978—2018[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(6): 1-7. (CAI R, TAO S M. Evolution characteristics of grain production distribution and spatial mechanism decomposition in China from 1978 to 2018 [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2021, 35(6): 1-7.)

[6] 任频频,李保国,黄峰. 农作物种植结构演变下的黄淮海旱作区小麦玉米生产时空格局[J]. 资源科学, 2022, 44(3): 436-449. (REN P P, LI B G, HUANG F. Spatiotemporal patterns of wheat and maize production under the evolution of crop planting structures in the Huang-Huai-Hai dry farmland, China [J]. Resources Science, 2022, 44(3): 436-449.)

[7] 叶志标,李文娟. 小麦空间布局演变及驱动因素分析的研究现状[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(3): 158-165. (YE Z B, LI W J. A review on spatial distribution and driving impacts of wheat production[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(3): 158-165.)

[8] 陈思博,常明. 中国粮食绿色生产技术空间特征和溢出效应研究[J]. 商业研究, 2022, 536(6): 34-43. (CHEN S B, CHANG M. Study on spatial characteristics and spillover effects of grain green production technology in China [J]. Commercial Research, 2022, 536(6): 34-43.)

[9] 王迪,仲格吉,张影,等. 空间自相关性对冬小麦种植面积空间抽样效率的影响[J]. 农业工程学报, 2021, 37(3): 188-197. (WANG D, ZHONG G J, ZHANG Y, et al. Effects of spatial autocorrelation on spatial sampling efficiencies of winter wheat planting areas[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(3): 188-197.)

[10] 聂雷,郭忠兴,汪险生,等. 我国主要粮食作物生产重心演变分析[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(3): 380-386. (NIE L, GUO Z X, WANG X S, et al. The evolution analysis of the grain production concentration in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2015, 36(3): 380-386.)

[11] 谭智心,曹慧,陈洁. 中国粮食生产区域布局的演变特征及成因分析—基于全国各省(区)面板数据的实证研究[J]. 调研世界, 2012(9): 7-11. (TAN Z X, CAO H, CHEN J. Evolutionary characteristics and causal analysis of the regional layout of China's grain production-an empirical study based on panel data from provinces (districts) across the country[J]. The World of Survey and Research, 2012(9): 7-11.)

[12] 李婷婷,李文娟. 我国玉米生产驱动因素贡献份额分析—基于埃塔平方法(η^2) [J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(1): 60-70. (LI T T, LI W J. The contribution share of driving factors on maize production in China—Based on eta square method(η^2) [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, 43(1): 60-70.)

[13] 张落成. 我国粮食生产布局变化特点及其成因分析[J]. 长江流域资源与环境, 2000(2): 221-228. (ZHANG L C. Food distribution change in China and its reasons[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2000(2): 221-228.)

[14] 毛昭庆,袁媛,董云峰,等. 基于县域视角的云南省粮食生产空间布局变迁分析[J]. 西南农业学报, 2023, 36(8): 1612-1624. (MAO Z Q, YUAN Y, DONG Y F, et al. Spatial distribution change of grain production in Yunnan province based on county perspective[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2023, 36(8): 1612-1624.)

[15] 孙玲,单捷,邱琳,等. 江苏省小麦空间分布动态变化监测[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(10): 55-65. (SUN L, SHAN J, QIU L, et al. Monitoring of wheat spatial distribution dynamic change in Jiangsu province[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2018, 20(10): 55-65.)

[16] 吴静芬,李丁,刘笑杰,等. 长江经济带粮食生产时空动态演变及影响因素分析[J]. 农业现代化研究, 2021, 42(3): 407-417. (WU J F, LI D, LIU X J, et al. The spatio-temporal evolving pattern and the influencing factors of grain production in the Yangtze River Economic Belt [J]. Research of Agricultural Modernization, 2021, 42(3): 407-417.)

[17] 王晶,肖海峰. 新疆棉区生产空间格局演化及驱动因素分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(9): 155-161, 189. (WANG J, XIAO H F. Spatio-temporal pattern and its driving factors of cotton production in Xinjiang [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(9): 155-161, 189.)

[18] 李克南,杨晓光,刘志娟,等. 全球气候变化对中国种植制度可能影响分析Ⅲ. 中国北方地区气候资源变化特征及其对种植制度界限的可能影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(10): 2088-2097. (LI K N, YANG X G, LIU Z J, et al. Analysis of the potential influence of global climate change on cropping systems in China Ⅲ. the change characteristics of climatic resources in Northern China and its potential influence on cropping systems [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(10):

2088-2097.)

[19] 郭世博, 张方亮, 张镇涛, 等. 全球气候变暖对中国种植制度的可能影响 XIV. 东北大豆高产稳产区及农业气象灾害分析[J]. 中国农业科学, 2022, 55(9): 1763-1780. (GUO S B, ZHANG F L, ZHANG Z T, et al. The possible effects of global warming on cropping systems in China XIV. Distribution of high-stable-yield zones and agro-meteorological disasters of soybean in northeast China[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2022, 55(9): 1763-1780.)

[20] 杨晓光, 刘志娟, 陈阜. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响: VI. 未来气候变化对中国种植制度北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 2011, 44(8): 1562-1570. (YANG X G, LIU Z J, CHEN F. The possible effects of global warming on cropping systems in China VI. Possible effects of future climate change on northern limits of cropping system in China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(8): 1562-1570.)

[21] 刘志娟, 杨晓光, 王文峰, 等. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响IV. 未来气候变暖对东北三省春玉米种植北界的可能影响[J]. 中国农业科学, 2010, 43(11): 2280-2291. (LIU Z J, YANG X G, WANG W F, et al. The possible effects of global warming on cropping systems in China IV. The possible impact of future climatic warming on the northern limits of spring maize in three provinces of northeast China [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(11): 2280-2291.)

[22] 宫丽娟, 姜蓝齐, 李秀芬, 等. 基于气候生产潜力的黑龙江省大豆种植空间优化[J]. 大豆科学, 2021, 40(5): 643-652. (GONG L J, JIANG L Q, LI X F, et al. Optimization of soybean planting space in Heilongjiang province based on climate potential productivity[J]. Soybean Science, 2021, 40(5): 643-652.)

[23] 潘晓卉. 东北地区大豆生产布局变化及影响因素分析[D]. 哈尔滨: 中国科学院大学(中国科学院东北地理与农业生态研究所), 2019. (PAN X H. Analysis on the changes of soybean production layout and its influencing factors in northeast China [D]. Harbin: Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, 2019.)

[24] 杨树果. 产业链视角下的中国大豆产业经济研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2014. (YANG S G. Study on soybean industry economy in China from the perspective of industrial chain[D]. Beijing: China Agricultural University, 2014.)

[25] 杨宗辉, 蔡鸿毅, 陈珏颖, 等. 我国玉米生产空间布局变迁及其影响因素分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(12): 169-176. (YANG Z H, CAI H Y, CHEN J Y, et al. Analysis on the change of maize production spatial layout and its influencing factors [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(12): 169-176.)

[26] 徐志宇, 宋振伟, 邓艾兴, 等. 近30年我国主要粮食作物生产

的驱动因素及空间格局变化研究[J]. 南京农业大学学报, 2013, 36(1): 79-86. (XU Z Y, SONG Z W, DENG A X, et al. Regional changes of production layout of main grain crops and their actuation factors during 1981 – 2008 in China [J]. Journal of Nanjing Agricultural University(Social Sciences Edition) , 2013, 36(1): 79-86.)

[27] 钱文荣, 王大爷. 如何稳定我国玉米供给—基于省际动态面板数据的实证分析[J]. 农业技术经济, 2015, 237(1): 22-32. (QIAN W R, WANG D Z. How to stabilize China’s corn supply-an empirical analysis based on interprovincial dynamic panel data [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2015, 237(1): 22-32.)

[28] 王琛, 吴敬学. 我国玉米产业生产技术效率与其影响因素研究: 基于2001—2011年的省级面板数据[J]. 中国农业资源与区划, 2015, 36(4): 23-32. (WANG C, WU J X. Production technology efficiency and its influencing factors of chinas maize industry—Based on the provincial panel data: 2001-2011 [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2015, 36(4): 23-32.)

[29] 杨钰莹, 司伟. 大豆玉米带状复合种植: 技术模式、成本收益与补贴政策[J]. 农业经济问题, 2023(1): 49-63. (YANG Y Y, SI W. Maize-soybean relay strip intercropping system:technical model, cost-benefit and subsidy policy [J]. Issues in Agricultural Economy, 2023(1): 49-63.)

[30] 许鹤, 刘帅. 生产者补贴政策、区域定位差异及大豆种植户行为响应——来自吉林省、山东省6市12县的证据[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(10): 201-210. (XU H, LIU S. Policy producer subsidy, response regional orientation difference and soybean behavior—Evidence from 6 cities included 12 counties in Jilin province and Shandong province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, 44(10): 201-210.)

[31] 尹朝静, 杨坤, 田云. 中国农业生态全要素生产率增长: 经验事实、区域差异与动态演进. 中国农村经济, 2024(2): 20-43. (YIN C J, YANG K, TIAN Y. China’s Agricultural ecological total factor productivity growth in: empirical facts, regional differences, and dynamic evolution [J]. Chinese Rural Economy, 2024(2): 20-43.)

[32] 温丹苹, 李静, 何朋飞. 黑龙江省农业气象灾害与大豆产量的灰色关联分析[J]. 自然灾害学报, 2017, 26(4): 56-62. (WEN D P, LI J, HE P F. Grey correlation analysis of agro-meteorological disasters and soybean yield in Heilongjiang province [J]. Journal of Natural Disasters, 2017, 26(4): 56-62.)

[33] WANG S, BAI X, ZHANG X, et al. Urbanization can benefit agricultural production with large-scale farming in China [J]. Nature Food, 2021, 2(3): 183-191.