

张军以, 刘钰澜. 中国省域蔬菜生产集聚格局演变及驱动因素研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2024, 55(5): 605-615.

ZHANG Junyi, LIU Yulan. Research on the evolution and driving factors of vegetable production agglomeration pattern in china's provinces[J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2024, 55(5): 605-615.

# 中国省域蔬菜生产集聚格局演变及驱动因素研究

张军以, 刘钰澜

(重庆师范大学 地理与旅游学院, 重庆 401331)

**摘要:** 中国是世界上最大的蔬菜生产国和消费国, 蔬菜已成为人们日常饮食最重要的组成部分, 同时也是重要的农业经济作物。基于2002-2020年中国省域的蔬菜产量数据, 运用标准差椭圆和空间自相关、地理探测器等方法, 分析不同尺度下的蔬菜生产时空格局演变, 探讨不同分区下的省域蔬菜生产时空格局演变影响因素。结果表明: 2002-2020年中国蔬菜产量呈现波动增长的趋势, 蔬菜生产区域差异较大, 中部和华南产区的单产最高、东北产区单产最低。蔬菜生产较低产省份的数量明显减少, 全国蔬菜生产重心由以河南为重心逐渐向西南(湖北)方向偏移。全国蔬菜生产格局基本吻合人口密度分界线(胡焕庸线), 胡焕庸线两侧蔬菜生产水平差异存在逐渐缩小趋势。蔬菜高产产区位于以山东省为核心的黄淮海平原及其周边省份。中国省域蔬菜产量时空分异的影响因素具有显著差异。全国层面与东部地区的蔬菜生产影响因素基本一致, 社会经济因素是最重要的影响因素, 与西部地区存在明显差异。西部地区自然地理环境和蔬菜生产现代化水平成为其最重要的影响因素。研究结果可为合理调整中国蔬菜生产空间布局, 充分发挥不同区域的资源优势, 促进蔬菜生产高质量发展提供科学依据。

**关键词:** 蔬菜生产; 时空格局演变; 影响因素; 地理探测器; 空间自相关

中图分类号: F326.13

文章编号: 1000-1700(2024)05-0605-11

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



## Research on the Evolution and Driving Factors of Vegetable Production Agglomeration Pattern in China's Provinces

ZHANG Junyi, LIU Yulan

(School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** China is the world's largest producer and consumer of vegetables which have become the most important part of people's daily diet and an important agricultural economic crop. Based on the vegetable production data of Chinese provinces from 2002 to 2020, this study uses methods such as standard deviation ellipse, spatial autocorrelation, and geographic detector to analyze the spatiotemporal pattern evolution of vegetable production at different scales, and explore the influencing factors of the spatiotemporal pattern evolution of vegetable production in different regions. The results showed that from 2002 to 2020, China's vegetable production showed a fluctuating growth trend, with significant regional differences in vegetable production. The yield in the central and southern regions was the highest, while the yield in the northeastern region was the lowest. The number of provinces with lower vegetable production has significantly decreased, and the national vegetable production center has gradually shifted from Henan to the southwest (Hubei) direction. The national vegetable production pattern basically conforms to the population density boundary line (Hu Huanyong Line), and the difference in vegetable production levels on both sides of the Hu Huanyong Line is gradually narrowing. The vegetable

收稿日期: 2024-04-28

基金项目: 国家社科基金一般项目(23BJY156); 重庆市教委科学技术研究重点项目(KJZD-K202300507)

第一作者: 张军以(1985-), 男, 博士, 教授, 从事农户生计转型与乡村转型发展研究, E-mail: hellojunyi@yeah.net

high-yield area is located in the Huang Huai Hai Plain with Shandong Province as the core and its surrounding provinces. There are significant differences in the influencing factors of spatial and temporal differentiation of vegetable yield in Chinese provinces. The influencing factors of vegetable production at the national level are basically the same as those in the eastern region, with socio-economic factors being the most important influencing factor, and there are significant differences compared to the western region. The natural geographical environment and modernization level of vegetable production in the western region have become the most important influencing factors. The research results can provide scientific basis for adjusting the spatial layout of vegetable production in China, fully leveraging the resource advantages of different regions, and promoting high-quality development of vegetable production.

**Key words:** vegetable production; evolution of spatiotemporal pattern; influence factor; geographic detector; spatial autocorrelation

随着国民经济的持续发展,居民收入水平和生活水平不断提高,人们的健康生活意识增强,饮食的营养均衡和膳食健康越来越受到重视。蔬菜作为人类日常饮食中不可或缺的一种食材,同时也是最重要的农业经济作物,是农业高质量发展的重要组成部分。基于粮食等重要农产品的稳产保供,国家全面抓好“菜篮子”产品生产发展、市场流通、调控保障等工作,“菜篮子”产品供应能力不断提升。2020年中国蔬菜播种面积达214 850 km<sup>2</sup>,总产量达到74 912.9万t,基本实现了蔬菜自给自足。但我国蔬菜生产仍面临着严峻的挑战。一方面,随着工业化、城镇化的快速发展,不断压缩我国优质耕地面积,导致蔬菜单产降低。另一方面,全球气候变暖,使得各种极端天气频发,干旱、洪涝等自然灾害的影响日趋严重,这使得蔬菜生产面临着极大的不稳定性。此外,国际上逆全球化思潮兴起,外部环境的不稳定性给我国蔬菜保供带来更大的挑战。同时,与粮食等其他农产品供应相比,蔬菜具有鲜活易腐、不耐贮运、生产季节性强、边际消费倾向较小、投入高、市场风险大等特点,而且长距离的蔬菜运输容易受到诸多自然和社会经济因素干扰<sup>[1]</sup>。因此,深入探讨我国蔬菜生产的时空演变规律及其影响因素就尤为重要,是实现农业高质量发展的重要基础。

随着国家农业高质量发展和大食物观的提出与发展,不同学者围绕蔬菜种植等非粮农业生产的相关问题开展了大量理论与实证研究。目前,蔬菜生产的相关研究主要集中在蔬菜生产的时空格局演化特征及其成因方面,具体涉及基于比较优势的中国区域蔬菜生产差异和时空变化<sup>[2-3]</sup>、蔬菜产业集群特征与演变<sup>[4-8]</sup>、全国及个别区域蔬菜生产格局演变特征<sup>[9-12]</sup>及其影响因素<sup>[4]</sup>等方面。其中,针对蔬菜生产时空格局演化过程的研究,多采用生产规模优势指数<sup>[13]</sup>、生产效率优势指数、综合比较优势指数、空间邻近分析、多元线性回归模型<sup>[8]</sup>、集中度指数和基尼系数模型<sup>[11]</sup>等定量方法,同时也存在相当部分的定性宏观研究。蔬菜作为一种典型农作物,其生长受到自然地理条件、社会经济发展水平和农业生产技术等多种因素的综合影响。目前,针对中国蔬菜生产变化影响因素研究,多选取单一限制影响因素,并且侧重于蔬菜销售价格等社会经济因素的影响研究<sup>[14-17]</sup>,以及蔬菜育种及种业发展政策<sup>[18-20]</sup>、蔬菜生产的生态环境污染<sup>[21-23]</sup>等研究。研究方法主要采用单因子污染指数法、综合污染指数法和GARCH模型<sup>[24]</sup>等。研究尺度多集中于全国尺度<sup>[25-27]</sup>或单个区域<sup>[28]</sup>、省域<sup>[29-31]</sup>等单一尺度。整体上,针对全国、区域与省域尺度并综合自然地理环境、社会经济因素等因素的中国蔬菜生产时空格局演化特征的综合研究鲜有报道。

本研究基于全国、区域、省域3个尺度,采用空间自相关、地理探测器、标准差椭圆等方法,从不同空间尺度分析2002-2020年中国蔬菜生产的时空格局演变规律及其影响因素,对于优化统筹我国蔬菜生产资源,保障蔬菜高质量供给,具有重要的现实价值。

## 1 数据来源及研究方法

### 1.1 数据来源

以2002-2020年中国31个省(市、区)为研究单元(不含港澳台地区)。蔬菜产量、蔬菜播种面积等蔬菜生产以及城镇化率、人均GDP等相关社会经济数据主要来源于《中国农村统计年鉴(2003-2021年)》以及国家统计局(stats.gov.cn)。平均海拔高度、年均降水量和年均积温等数据主要来源于中国科

学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)和中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。

蔬菜作为重要的农作物,其生产过程与区域气候密切相关<sup>[32]</sup>,为了更好地认识中国不同区域蔬菜生产的时空格局演变特征,本研究参考《全国蔬菜产业发展规划(2011-2020年)》确定的蔬菜优势区域布局和中国气候特征,将31个样本省份划分为东北产区、西北产区、中部产区、长江中下游产区、华南产区等5大产区。具体划分结果如图1。

### 1.2 研究方法

**1.2.1 标准差椭圆** 运用ArcGIS的空间统计工具标准差椭圆,分析蔬菜生产的空间演变情况。标准差椭圆是定量描述研究对象地理要素空间分布整体特征的一种统计方法。该方法以地理要素空间分布的平均中心为中心,以要素在X方向和Y方向上的标准差为椭圆轴,以此来描述和解释地理要素空间分布的中心、方向等特征<sup>[33]</sup>。

标准差椭圆可以从多个维度来解释中国省域蔬菜生产重心转移变化,以及蔬菜生产的中心性和延伸性。通过蔬菜产量标准差椭圆的中心坐标、方位角和长短轴可以解释2002-2020年中国蔬菜生产的分布演化特征及其变化规律。重心的理论公式为:

$$Y = \sum_{i=1}^n Y_i / nX = \sum_{i=1}^n X_i / n \quad (1)$$

式中: $X$ 和 $Y$ 为蔬菜产量重心的经纬度; $n$ 为以省为单位的蔬菜生产总量的总数; $X_i$ 和 $Y_i$ 为第 $i$ 个蔬菜生产重心的经纬度。

**1.2.2 空间自相关分析** 全局空间自相关,是主要用来描述某个空间要素属性值在整个研究区域内的空间分布特征,有聚类模式、离散模式和随机模式,用全局莫兰指数( $I$ )来衡量。其公式为:

$$I = n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X}) / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \quad (2)$$

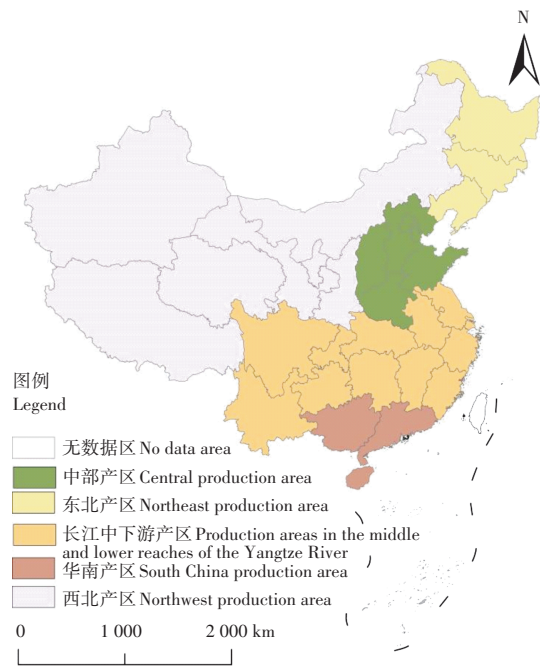
式中: $n$ 为研究区域内空间单元的总个数,表示以省为单位的蔬菜产量的总个数; $X_i$ 和 $X_j$ 分别为第 $i$ 和第 $j$ 蔬菜产量的省份的蔬菜产量值; $w_{ij}$ 为基于邻接的二元邻接矩阵。全局莫兰指数取值为 $[-1, 1]$ 。当 $I > 0$ 时,说明存在空间正相关性, $I$ 值越大,蔬菜产量随着省区位置的聚集,相关性越显著。当 $I < 0$ 时,呈空间负相关性,值越小,空间分异性越大。当 $I$ 趋近0时,无空间自相关,表示空间分布呈随机性。

局部空间自相关可以用来查找一些被掩盖的局部的空间自相关的位置和范围,也可以更好的揭示其中的区域的更为细微的空间关系。局部莫兰指数的取值范围为 $[-1, 1]$ ,正值代表正相关,表现出“高-高”聚集或“低-低”聚集现象,负值代表负相关,表现出“高-低”聚集或“低-高”聚集现象。公式为:

$$G_i^*(d) = \sum_{j=1}^n W_{ij}(d) X_j / \sum_{i=1}^n X_i$$

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{Var(G_i^*)}} \quad (3)$$

**1.2.3 地理探测器** 主要是探测空间分异性并揭示其背后驱动力的一组统计学方法,如果某个自变



地图底图来源于国家地理信息公共服务平台标准地图网站,审图号为[GS(2019)1822号],底图边界无修改。下同

The map base map comes from the standard map website of the National Geographic Information Public Service Platform. The review number is [GS(2019)1822], and the boundary of the base map has not been modified. The same below

图1 中国蔬菜生产区域划分范围

Figure 1 Regional division of vegetable production areas in China

量对某个因变量有重要影响,那么自变量和因变量的空间分布应该具有相似性<sup>[34]</sup>。运用地理探测器模型分析蔬菜生产和各个影响因素之间的联系,结合我国蔬菜生产的空间分布差异和已有蔬菜生产影响因素研究成果,参考纪龙等<sup>[4]</sup>、田亚军等<sup>[12]</sup>的分析研究,从自然条件、社会经济、科技三个维度出发,以各省蔬菜产量为因变量( $Y$ ),选取了16个自变量指标( $X_i$ )构建蔬菜生产影响因素指标体系,分析蔬菜生产的影响因素。

地理探测器的公式为:

$$q=1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 = 1 - \frac{SSW}{SST}$$

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2, SST = N\sigma^2 \quad (4)$$

式中: $h=1,2,\dots,L$ 为因变量 $Y$ 与因子 $X$ 的分层; $\sigma^2$ 、 $\sigma_h^2$ 分别为全区 $Y$ 值和层 $h$ 的方差; $N_h$ 和 $N$ 分别为层 $h$ 和全区的单元数; $q$ 的取值范围为 $[0,1]$ , $q$ 值越大,表明因变量 $Y$ 的空间分异越强, $X$ 对 $Y$ 的解释力越大。

## 2 蔬菜产量时空格局演变分析

### 2.1 全国及区域蔬菜产量变化时序特征

2002–2020年中国蔬菜产量整体呈现波动增长趋势,2006年蔬菜产量出现降低,为2002–2020年的最低值,产量为5.39亿t(图2)。2006–2015年蔬菜产量呈现稳步上升,蔬菜产量出现“九连增”,2016年蔬菜产量又有所下降,2017年之后呈现连续增长趋势。整体上全国蔬菜产量呈现相对缓慢的稳步增长态势,总产量年际变化不大。

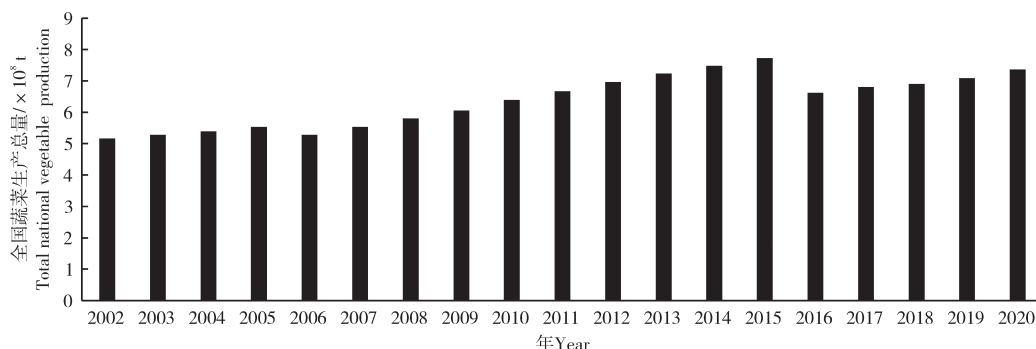


图2 2002–2020年中国蔬菜生产总量

Figure 2 China's total vegetable production from 2002 to 2020

从增长率看,2002–2020年全国蔬菜产量年增长率呈现出波动稳定的状态,正增长年份显著多于负增长年份(仅2006,2016年),除负增长年份,正增长年份蔬菜产量增长率在1.7%~5.3%之间(图3),年际产量增长率变化平稳,正增长年份平均增长率为3.4%。整体上,除个别负增长年份,蔬菜总产量呈现平稳波动增长的态势。

### 2.2 不同区域蔬菜产量变化分析

分别计算2002–2020年中国东北产区、西北产区、中部产区等产区蔬菜产量比重(图4),可见蔬菜生产具有明显的地域差异性,蔬菜产量占比最高的地区为中部产区和华南产区,二者占比之和大于50%。中部产区产量最高的原因是该地区集中在黄淮海平原地区,耕地资源丰富、土壤肥沃,其气候也适宜蔬菜生长,该产区农业种植历史悠久技术先进,自古以来就是我国农业生产的优势区域。华南产区水热条件充足,能基本实现蔬菜的全年生产。同时,区域经济发展水平高、人口密度大、城乡消费水平高,市场对蔬菜的需求强劲,强大的市场需求拉动了蔬菜生产。蔬菜产量比重最低的东北产区,占比不足10%,分析认为东北地区纬度相对较高,整体气候偏寒冷,冬季相对较长,除夏季外水热条件不适宜蔬菜生长,且不利于蔬菜的储运,多种因素综合导致其蔬菜产量较低,生产规模有限。

2002–2020年长江中下游产区蔬菜产量比重较为稳定,中部产区的蔬菜产量占比有所下降,西北

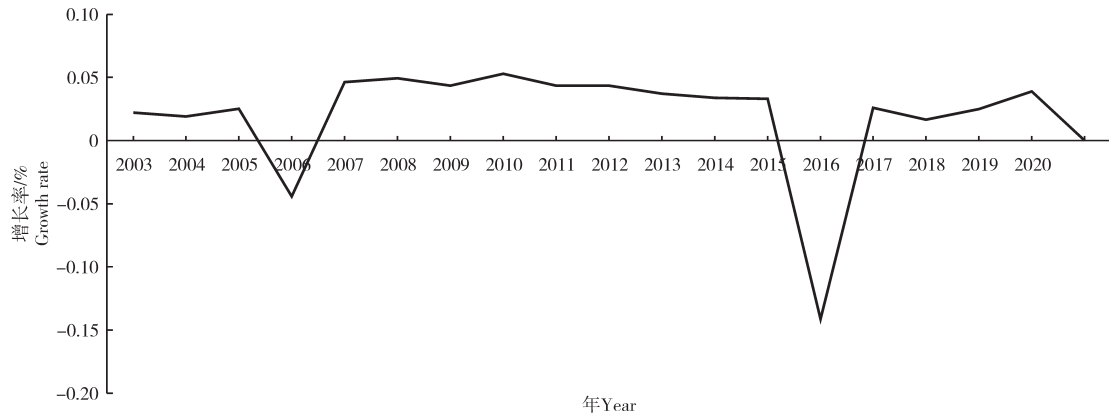


图3 2002-2020年中国蔬菜产量年增长率变化

Figure 3 Changes in annual growth rate of vegetable production in China from 2002 to 2020

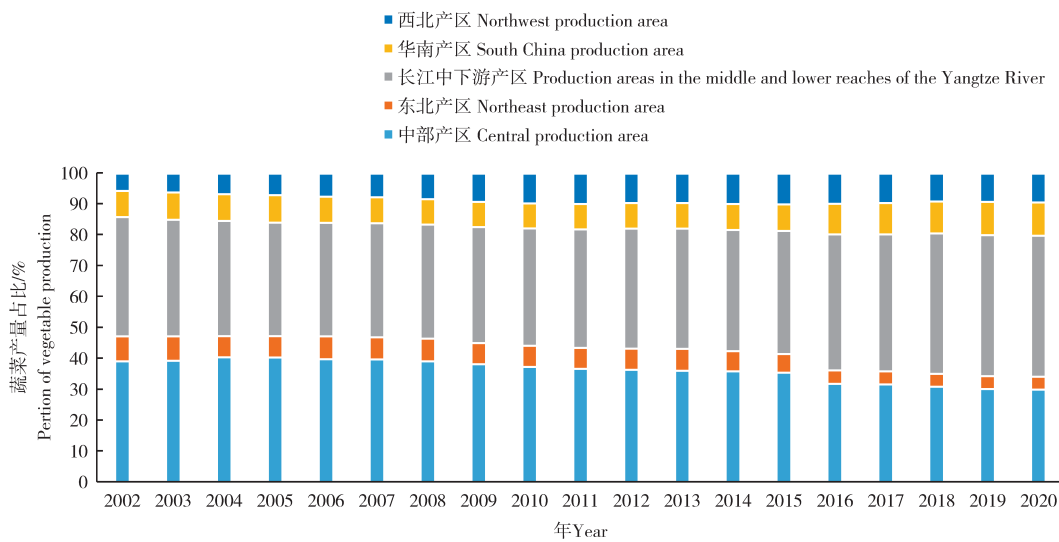


图4 中国不同自然分区历年蔬菜产量占比

Figure 4 Proportion of vegetable production in different natural zones of China over the years

产区蔬菜产量占比有所上升。随着农业种植技术、管理技术、农药的广泛使用以及农业机械化水平的提高,尤其是西北产区全自动温室大棚等设施农业的快速发展,有效降低了蔬菜生产对自然环境的依赖,同时有效提升了蔬菜产量。长江中下游产区和东部沿海省份经济发展水平高、总量大,非农就业机会多,导致蔬菜生产的相对成本上升,农业生产成为相对低效率的产业,阻碍了其蔬菜生产。

### 2.3 省域蔬菜产量变化分析

2002-2020年中国蔬菜产量最高的省份是山东、河南和河北,上述3省蔬菜产量一直位于我国蔬菜产量前列(表1)。2002-2020年山东蔬菜年产量最高,年均产量在8700万t以上,河南、河北次之,分别是6541万t和6431万t。蔬菜产量最低的省份是西藏,2002-2020年年均产量都在100万t以下,青海、宁夏蔬菜产量也较低,年均蔬菜产量分别为126万t和396万t。

山东、河南、河北位于黄淮海平原,地理位置优越,纬度适宜,气候条件适宜蔬菜生长,并且农业发展历史悠久,自古就是中国的农业优势区。其中,山东省蔬菜生产地理集中度较高,空间集聚显著,蔬菜产业生产效率高,是全国蔬菜产量最高的省区,也是全国的“菜篮子”<sup>[35]</sup>。河南平原、盆地面积占比达56%,耕地资源丰富,2019年蔬菜种植面积全国第一,且劳动力资源丰富,满足蔬菜作为劳动密集型产业对劳动力的需求,河南蔬菜产值仅次于粮食,但水资源相对不足成为限制河南蔬菜产量增长的最大因素<sup>[36]</sup>。河北蔬菜种植面积在全国位于中等水平,农药、劳动力等生产要素投入水平低于山东、河南等蔬菜生产大省,但整体蔬菜生产效率水平较高,蔬菜产量增长迅速<sup>[37]</sup>。西藏、青海和宁夏等省区

表1 2002-2020年中国不同省域蔬菜年均产量

Table 1 From 2002 to 2020, the average annual yield of vegetables in different provinces of China

省(市、自治区) Province (City, autonomous region)	年均产量/万 t Average annual production	省(市、自治区) Province (City, autonomous region)	年均产量/万 t Average annual production	省(市、自治区) Province (City, autonomous region)	年均产量/万 t Average annual production
北京 Beijing	295	湖南 Hunan	3 155	湖北 Hebei	3 373
天津 Tianjin	396	宁夏 Ningxia	396	海南 Hainan	451
河北 Hebei	6 431	广西 Guangxi	2 503	重庆 Chongqing	1 380
山西 Shanxi	953	云南 Yunnan	1 493	四川 Sichuan	3 550
内蒙古 Neimenggu	1 201	浙江 Zhejiang	1 820	贵州 Guizhou	1 477
辽宁 Liaoning	2 357	安徽 Anhui	2 054	新疆 Xinjiang	1 383
吉林 Jilin	756	福建 Fujian	1 528	西藏 Xizang	57
黑龙江 Heilongjiang	915	江西 Jiangxi	1 262	陕西 Shaanxi	1 190
上海 Shanghai	379	山东 Shandong	8 788	青海 Qinghai	126
江苏 Jiangsu	4 578	河南 Henan	6 541	甘肃 Gansu	1 190
广东 Guangdong	2 900				

自然地理条件并不适宜蔬菜生长,尤其是耕地资源与水资源相对缺乏,其蔬菜生产规模小、产量低,如西藏耕地面积仅有3 489.59 km<sup>2</sup>,其中蔬菜种植面积约233.33 hm<sup>2</sup>[38]。此外,西北3省地广人稀,人口规模小,经济发展水平相对落后,蔬菜市场整体消费需求不足。

### 3 蔬菜生产空间变化格局分析

#### 3.1 蔬菜产量空间变化分析

利用ArcGIS软件的自然断点方法将全国各省蔬菜产量划分为5个等级,分别为低产(23万~279万t)、中低产(280万~1 325万t)、中产(1 326万~3 052万t)、中高产(3 053万~5 477万t)和高产(5 478万~10 000万t),得到不同年份中国省域蔬菜产量等级空间分布图(图5)。同时,运用ArcGIS软件解析中国省域蔬菜生产的分布中心与分布椭圆,其中椭圆表示蔬菜生产的主体范围,长轴表示蔬菜生产的主

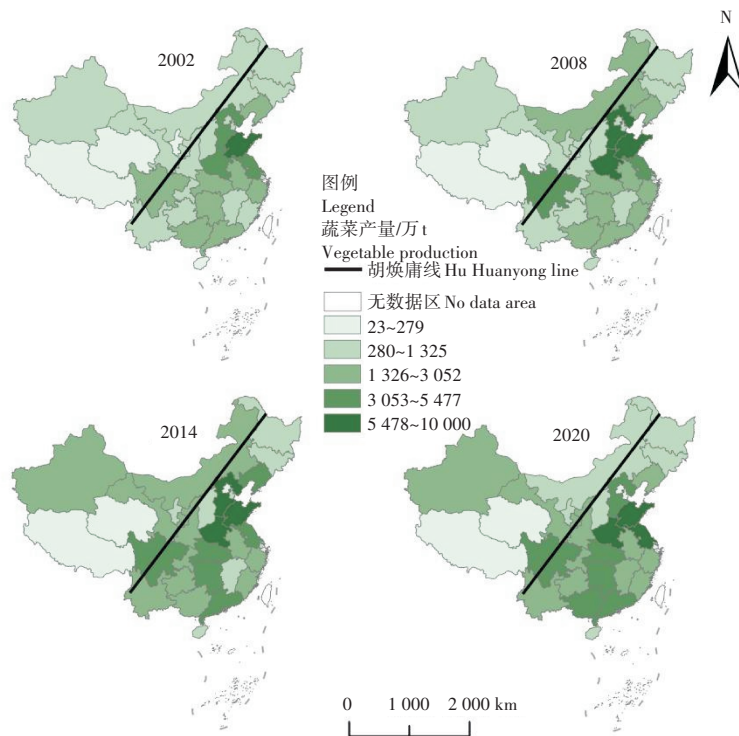


图5 不同年份中国各省蔬菜产量分布空间图

Figure 5 Spatial map of vegetable yield distribution in different provinces of China in different years

分布方向(图6)。

3.1.1 蔬菜生产较低产等级省份数量明显减少,蔬菜生产重心由以河南为重心逐渐向西南(湖北)方向偏移 2002年蔬菜高产等级省份数量最少,只有山东省,中低产等级省份数量最多,达15个。2008年高产等级省份的数量明显增加,新增河南、河北两省,低产等级省份数量最少,仅有青海和西藏。2014年和2020年中产等级、中高产等级、高产等级省份数量增多,低产、中低产区等级省份数量大幅降低,减少了8个省份,尤其是西南地区的蔬菜产量增产最为明显。2008年四川蔬菜产量由中产等级演变为中高产等级。2014年重庆、贵州、云南蔬菜产量由从中低产等级增长为中产等级。整体上,全国蔬菜生产省域标准差椭圆图显示,全国蔬菜生产重心由河南的周口向南阳移动,呈现由河南向西南(湖北省)移动的趋势(图6)。

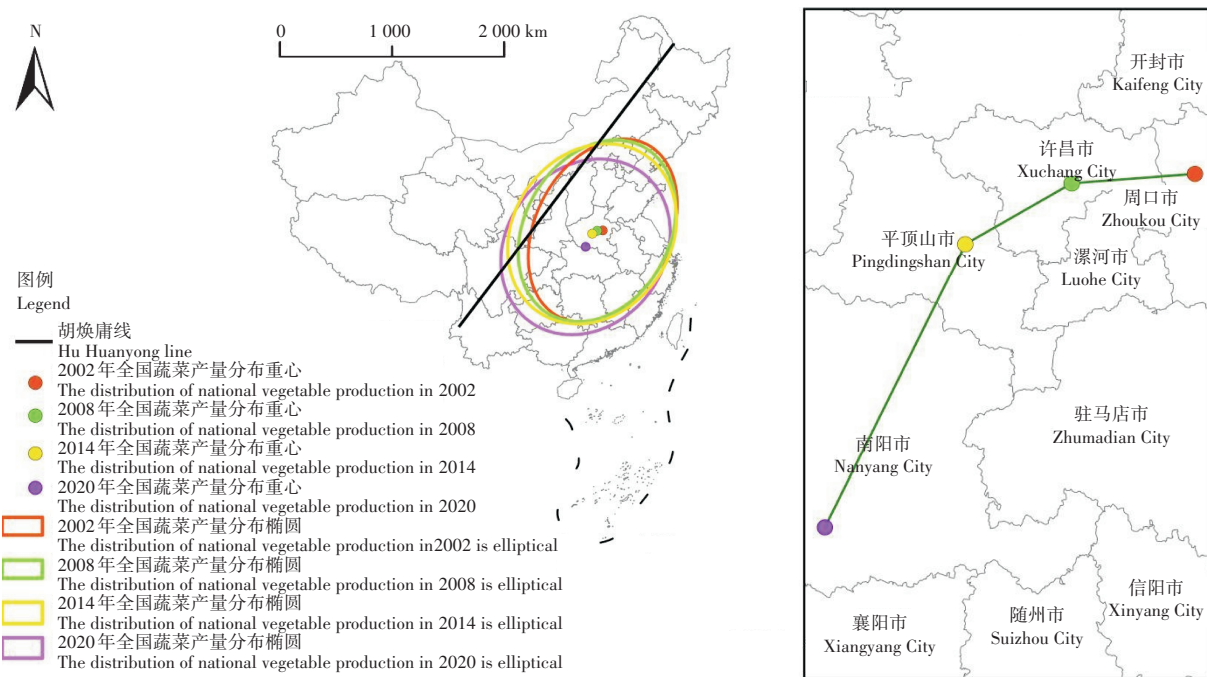


图6 不同年份中国蔬菜产量分布椭圆及分布中心图

Figure 6 Ellipse and distribution center map of vegetable yield distribution in China in different years

3.1.2 全国蔬菜生产格局仍基本吻合人口密度分界线(胡焕庸线) 我国蔬菜生产椭圆的长轴方向和胡焕庸线平行,全国蔬菜生产特征吻合胡焕庸线的分布格局(图5)。但2002-2020年中国蔬菜省域产量空间演变趋势可以看出胡焕庸线东西两侧的差异在不断缩小,尤其是西部地区,如甘肃、新疆等省区的产量显著增加,从中低产区演变为中产区。分析认为蔬菜作为一种农作物生产受自然地理环境条件、社会经济发展水平等因素影响显著。近年我国西北地区设施农业的投入建设增长显著,显著降低了蔬菜生产对自然条件的依赖,提高了蔬菜产量。同时,胡焕庸线东侧的东南地区社会经济发展水平整体高,蔬菜生产的相对成本在不断提高,也加速了导致蔬菜生产向其他地区的转移(图5)。

3.1.3 蔬菜产量的高产区位于以山东省为核心的黄淮海平原及其周边省份 2002-2020年我国蔬菜生产高产区始终在以山东为核心的黄淮海平原及其周边省份(图5)。其中,高产区省份数量不断增加,2008年和2014年河南、河北成为蔬菜高产区,而2020年江苏超过河北成为新的蔬菜高产区省份。全国层面,省域蔬菜生产地理集中度较高,空间集聚现象显著,但地理集中度、空间集聚度存在弱化现象。其原因主要是黄淮海地区气候条件适宜蔬菜生长,农业发展历史悠久,一直是中国重要的农产区,其农业发展具有较为显著的“路径依赖”效应。但由于受蔬菜鲜活易腐、不耐贮运、边际消费倾向较小等因素影响,主要是满足自身及相近区域的消费需求,随着全国各省份经济的快速发展,部分人口、耕地等体量大的省份的蔬菜产量不断提升,进一步弱化了全国省域蔬菜生产的地理集中度与空间集聚度。

### 3.2 蔬菜产量空间集聚特征分析

3.2.1 全局空间自相关 随着时间的推移全国蔬菜生产具有明显的空间集聚特征。使用GeoDa和ArcGIS软件对我国2002,2008,2014,2020年的省域蔬菜产量数据进行分析,探寻不同产区之间的空间集聚状态,主要通过不同时间段蔬菜产量的全局莫兰指数值、 $p$ 值和 $Z$ 值进行刻画。

2002,2008,2014,2020年全国各省蔬菜产量的莫兰指数分别为0.255 8,0.230 3,0.200 9,0.208 8, $p$ 值均小于0.05, $Z$ 值均大于1.96,这表明全国各省蔬菜产量在空间分布上并非是随机的,而是呈现相似类型集聚分布特征。全局莫兰指数是描述蔬菜产量的全局变化,主要进行整体特征的描述。但也可能存在局部地区被掩盖了空间相关的情况。

3.2.2 局部自相关分析 全局空间自相关指数揭示了蔬菜产量在空间上是否具有集聚特性,但不能揭示该指标在空间上具体的分布规律,为进一步揭示中国各省蔬菜产量的空间格局分布特征,更加全面地分析全国省域蔬菜产量在空间上的相关性,利用GeoDa软件对2002,2008,2014,2020年全国省域蔬菜产量进行局部自相关分析,根据LISA聚集图(以通过5%显著性检验为准)判断各省的局部相关类型及聚集区域是否在统计意义上显著(图7)。

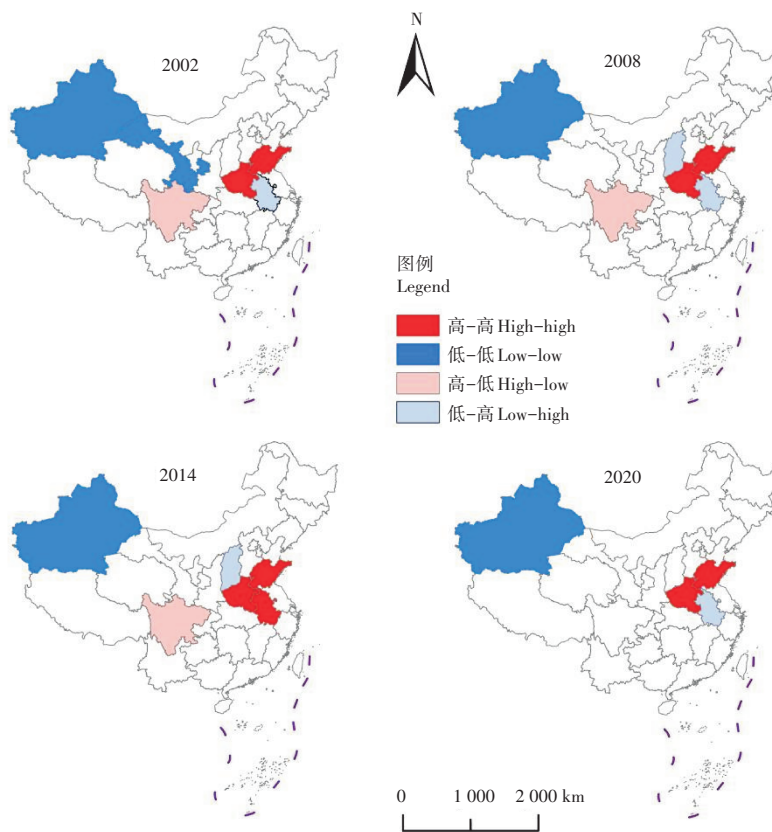


图7 中国省域不同年份蔬菜产量空间集聚模式图

Figure 7 Spatial agglomeration pattern of vegetable production in China in different years

中国省域蔬菜产量在全局空间自相关的关联较强,在局部空间的自相关也较为显著,即省域蔬菜生产高-高聚集区、低-低聚集区显著(图7)。2002,2008,2014,2020年全国省域蔬菜生产的高-高聚集区包括山东、河南,表明山东、河南的蔬菜生产一直属于全国热点重点区域,是我国蔬菜生产最重要的省份。中国蔬菜省域产量分布椭圆显示,中国省域蔬菜生产的分布中心为河南,表明中国省域蔬菜生产的高产省份的地理空间分布集中度较高,且连片分布。新疆、甘肃2002年为低-低聚集区,2008年及以后只有新疆为低-低聚集区,表明新疆的蔬菜产量一直都比较低,因为新疆耕地资源缺乏、经济水平落后、人口规模小且分布分散,蔬菜市场需求小,且农业以灌溉农业和畜牧业为主。但随着农业生产技术、农业机械化水平、蔬菜生产专业设施(温室等设施农业)建设水平的提高,其蔬菜产量将逐步

提高。整体上,全国省域蔬菜生产高-高聚集区、低-低聚集区的整体空间分布格局仍然基本与中国人口密度分界线胡焕庸线一致,其中省域蔬菜生产的高-高聚集区主要分布在胡焕庸线东南侧,低-低聚集区则分布在胡焕庸线西北侧。2002,2008,2014,2020年中国蔬菜省域产量总体空间格局的聚集分布特征基本相似,聚集特征变化程度小,空间集聚格局较为稳定。

### 3.3 蔬菜产量空间分异性影响因素分析

蔬菜生产的空间格局受自然环境资源条件、生产技术进步、社会经济发展等多种因素综合影响<sup>[27]</sup>。根据我国蔬菜生产的空间分布格局特征,并结合已有蔬菜生产影响因素相关研究成果<sup>[4]</sup>。本研究从自然环境条件、社会经济条件、技术水平条件3个维度,以全国各省蔬菜产量为因变量( $Y$ ),选取了16个自变量指标( $X_i$ )构建了全国省域蔬菜生产影响因素指标体系,解析不同地区省域蔬菜生产的区域差异因素及其影响作用强度。

自变量指标包括:城镇化率( $X_1$ )、积温( $X_2$ )、人均GDP( $X_3$ )、农村人均收入( $X_4$ )、海拔高度( $X_5$ )、播种面积( $X_6$ )、公路铁路里程( $X_7$ )、第一产业劳动力数量( $X_8$ )、人口密度( $X_9$ )、降水量( $X_{10}$ )、农药施用量( $X_{11}$ )、农用化肥施用量( $X_{12}$ )、农用薄膜使用量( $X_{13}$ )、农业机械总动力( $X_{14}$ )、农村用电量( $X_{15}$ )、全国受灾面积( $X_{16}$ )等16个影响指标。其中,自然环境条件包含的降水量、积温( $\geq 10^\circ\text{C}$ )和海拔高度(海拔采用平均值),利用ArcGIS的自然断点法将各指标数据分别赋值为5级。然后对各探测因子进行离散化处理,计算结果如表2。

表2 2020年中国不同分区省域蔬菜产量影响因素

Table 2 Factors influencing vegetable yield in China's provinces in 2020

驱动因素 Divers	全国 Whole country		东部地区 Eastren region		西部地区 Westren region	
	$q$	$p$	$q$	$p$	$q$	$p$
$X_1$	0.220	0.255	0.262	0.209	0.475	0.915
$X_2$	0.176	0.365	0.067	0.743	0.443	0.669
$X_3$	0.575	0.005	0.514	0.043	0.577	0.545
$X_4$	0.076	0.749	0.156	0.563	0.323	0.601
$X_5$	0.153	0.409	0.053	0.851	0.700	0.213
$X_6$	0.426	0.047	0.442	0.092	0.926	0.106
$X_7$	0.538	0.006	0.550	0.020	0.906	0.105
$X_8$	0.676	0.012	0.639	0.007	0.866	0.069
$X_9$	0.509	0.000	0.477	0.057	0.311	0.693
$X_{10}$	0.259	0.152	0.158	0.366	0.044	0.677
$X_{11}$	0.529	0.006	0.462	0.046	0.838	0.099
$X_{12}$	0.690	0.005	0.670	0.032	0.838	0.099
$X_{13}$	0.438	0.058	0.591	0.136	0.960	0.194
$X_{14}$	0.497	0.009	0.472	0.043	0.926	0.019
$X_{15}$	0.558	0.007	0.505	0.049	0.927	0.024
$X_{16}$	0.263	0.190	0.336	0.233	0.926	0.106

根据自然地理环境、经济社会发展条件和样本数据量要求,将全国分为东部地区(含华南、中部、长江中下游和东北产区)、西部地区(西北产区)2大区域,揭示其蔬菜生产影响因素的差异。由因子探测的结果可知(表2),从全国、东部地区、西部地区不同尺度看,蔬菜影响因素存在较大差异。全国维度上,农用化肥施用量、第一产业劳动力数量、人均GDP、农村用电量、交通运输条件是影响蔬菜生产的最重要的5个因素。东部地区、西部地区则分别为农用化肥施用量、第一产业劳动力数量、农用薄膜使用量、交通运输条件、人均GDP和农用薄膜使用量、农村用电量、农业机械总动力、播种面积、受灾面积等因素(表2)。从影响因素差异上看,全国层面和东部地区的蔬菜生产影响因素基本一致,与西部地区存在明显差异。这表明东部地区蔬菜生产的影响因素主要是社会经济因素,自然地理环境的影响较小,如农用薄膜使用量仅为第3重要因素,而西部地区农用薄膜使用量是蔬菜生产最重要的影响因素,这也表明了自然地理环境因素对西部地区蔬菜生产的影响显著,其次为农村用电量和农业机

械总动力和播种面积,表明西部地区自然地理环境条件、农业生产机械化水平和耕地资源是限制其蔬菜生产的重要因素。

全国和东部地区在耕地面积或播种面积相对变化不大的情况下,蔬菜作为“高水肥”的农作物,农用化肥施用量对蔬菜生产的影响就成为其最重要的因素。相关研究也表明,蔬菜产量的提高十分依赖于充足的水肥资源条件<sup>[39]</sup>。蔬菜生产属于典型的劳动密集型产业,由于蔬菜存在鲜活易腐、不耐贮运、生产季节性强等特点,其生产、采收、运输及加工仓储等过程都需要大量的劳动力和一定的技术水平,同时以上过程需要及时完成,才能保障蔬菜生产到销售链的顺利完成,进一步增加了蔬菜生产对劳动力成本的需求。这也导致了第一产业劳动力数量成为全国和东部地区蔬菜生产的第二重要影响因素。其次,人均GDP、农村用电量、交通运输条件都反映了全国和东部地区消费市场需求、蔬菜跨区域运输等对蔬菜生产的影响。西部地区蔬菜生产最重要的农用薄膜使用量、农村用电量、农业机械总动力、播种面积、受灾面积等5个因素中,并未反映出蔬菜市场消费需求和储存运输条件对蔬菜生产的影响。整体上,全国层面与东部地区的蔬菜生产影响基本一致,社会经济因素是最重要的影响因素,与西部地区存在明显差异。西部地区的耕地面积、水资源条件等自然地理环境因素和蔬菜生产现代化水平成为其最重要的影响因素。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

基于2002–2020年中国蔬菜产量数据,分别以全国、区域和省域为研究单元,利用标准差椭圆、空间自相关等方法定量分析不同尺度下中国蔬菜生产的时空动态特征,运用地理探测器结合区域自然地理条件、社会经济因素、科学技术条件等因素,分析了中国蔬菜生产时空分异的原因,得到以下主要结论:2002–2020年中国蔬菜产量总体呈现稳定波动上升的趋势,不同产区间蔬菜产量占比变化较大,中部产区产量占比相对下降,西北产区产量占比上升。省域间蔬菜产量差异巨大,其中山东、河南、河北的蔬菜产量最高,西藏、青海、宁夏的蔬菜产量低,其中西藏蔬菜年产量最低,每年不足100万t。空间维度上,2002–2020年中国省域蔬菜生产重心逐渐从河南的周口向南阳移动,整体上呈现由河南向西南(湖北省)移动的趋势。全国蔬菜生产格局仍基本吻合人口密度分界线(胡焕庸线)的分布格局,但胡焕庸线两侧蔬菜生产水平差异存在逐渐缩小的趋势。全国省域蔬菜生产空间集聚特征与聚集格局分布特征基本相似,聚集特征变化程度小,空间集聚格局较为稳定。蔬菜生产的高产稳定区在以山东、河南为核心的黄淮海平原及其周边省份。蔬菜生产较低产等级省份的数量明显减少。中国省域蔬菜产量空间分异影响因素具有显著差异。全国层面与东部地区的蔬菜生产影响因素基本一致,社会经济因素是最重要的影响因素,与西部地区存在明显差异。西部地区自然地理环境和蔬菜生产现代化水平成为其最重要的影响因素。随着农业生产技术、农业机械化、设施农业发展水平等提升,蔬菜生产的自然地理环境的限制日趋弱化。

### 4.2 建议

根据2002–2020年中国省域蔬菜生产时空格局演变以及影响因素分析,建议合理调整蔬菜的生产空间布局,充分发挥不同区域蔬菜生产的区位优势,在保证蔬菜稳产保供的基础上,促进各省蔬菜生产的高质量发展。随着社会经济发展的提高和居民环保健康意识的提升,消费者更加关注食品安全,同时,受家庭小型化与生活物质多元化影响,家庭人均蔬菜消费量呈现出种类多、单品种摄入量小的现象,蔬菜消费由“量”向“质”转变<sup>[40]</sup>。未来应大力发展绿色无公害蔬菜、有机蔬菜生产等,提升蔬菜质量。

蔬菜生产的区域差异较大,化肥施用量、第一产业劳动力数量等社会经济因素已成为蔬菜生产最主要的影响。蔬菜作为大水大肥的作物,其生产过程会造成一定的环境污染,如蔬菜生产的面源污染。农用化肥施用量已成为中国蔬菜生产最重要的影响因素,也是蔬菜生产环境污染重要影响因素之一。各区域因地制宜提升蔬菜生产的高质量发展,减少蔬菜生产对生态环境的污染。东部地区应重视提高农业生产技术,提升蔬菜的全要素绿色生产率。西部地区则应更加着重提升设施农业建设水平,弱化自然地理环境的限制作用,提升蔬菜生产能力与质量。其中蔬菜单产高、种植规模大的黄淮海地区应进一步提高全要素绿色生产率,提升绿色有机蔬菜生产比重,提升蔬菜的深加工发展,提

高蔬菜生产的专业化、高效化和高品质化。

### 参考文献:

- [1] 李艳梅,孙焱鑫,刘玉,等.京津冀地区蔬菜生产的时空分异及分区研究[J].经济地理,2015,35(1):89-95.
- [2] 朱大威,葛灿茵,朱方林.江苏省蔬菜生产比较优势的时空变化分析[J].中国农业资源与区划,2020,41(10):101-108.
- [3] 刘雪,傅泽田,常虹.我国蔬菜生产的区域比较优势分析[J].中国农业大学学报,2002,7(2):1-6.
- [4] 纪龙,吴文劫.我国蔬菜生产地理集聚的时空特征及影响因素[J].经济地理,2015,35(9):141-148.
- [5] 史焱文,李二玲,李小建.地理邻近、关系邻近对农业产业集群创新影响——基于山东省寿光蔬菜产业集群实证研究[J].地理科学,2016,36(5):751-759.
- [6] 吴建寨,沈辰,王盛威,等.中国蔬菜生产空间集聚演变、机制、效应及政策应对[J].中国农业科学,2015,48(8):1641-1649.
- [7] 周应恒,吕超,周德.我国蔬菜主产地形成的影响因素——以山东寿光为例[J].地理研究,2012,31(4):687-700.
- [8] 彭晖,张嘉望,李博阳.我国农产品生产集聚的时空格局及影响因素——以蔬菜生产为例[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2017,17(6):81-90.
- [9] 苗晓颖,胡继连,王秀鹃.山东蔬菜生产格局演变及空间集聚效应分析[J].山东农业科学,2021,53(9):148-156.
- [10] 刘雪,傅泽田,常山.我国蔬菜产地整体格局的变化分析[J].农业现代化研究,2002,23(1):9-12.
- [11] 朱文哲,杜萍萍,吴娜林,等.传统农区蔬菜生产区位研究——以河南省开封市为例[J].人文地理,2015,30(2):89-96.
- [12] 田亚军,朱孟帅,周向阳,等.我国蔬菜生产布局演化及其影响因素分析[J].中国食物与营养,2022,28(11):5-10.
- [13] 冯珊珊,刘序,梁俊芬,等.广东1992—2020年蔬菜生产时空变化特征分析[J].广东农业科学,2023,50(1):50-59.
- [14] 丁娇娇.蔬菜价格时空传导机制及实证研究[D].北京:中国农业科学院,2019.
- [15] 李璨,程雪琦,夏琪,等.2022年河北省主要蔬菜价格波动分析[J].蔬菜,2023(5):56-61.
- [16] 俞坤丰.我国蔬菜价格波动特征及调控建议[J].价格理论与实践,2021(4):90-93.
- [17] 孙倩,穆月英.我国蔬菜价格波动、原因及其影响因素分析[J].农村金融研究,2011(8):21-26.
- [18] 王立浩,方智远,杜永臣,等.我国蔬菜种业发展战略研究[J].中国工程科学,2016,18(1):123-136.
- [19] 张凤兰.我国蔬菜种业发展成效和趋势[J].蔬菜,2022(5):1-5.
- [20] 赵冬梅,张凤兰.我国蔬菜种业政策发展浅析[J].蔬菜,2022(4):10-14.
- [21] 郭朝晖,肖细元,陈同斌,等.湘江中下游农田土壤和蔬菜的重金属污染[J].地理学报,2008,63(1):3-11.
- [22] 陈志良,黄玲,周存宇,等.广州市蔬菜中重金属污染特征研究与评价[J].环境科学,2017,38(1):389-398.
- [23] 邹素敏,杜瑞英,文典,等.不同品种蔬菜重金属污染评价和富集特征研究[J].生态环境学报,2017,26(4):714-720.
- [24] 马佳,马莹.超大型城市蔬菜价格波动特征研究——基于上海市蔬菜数据的分析[J].价格理论与实践,2021(6):94-97.
- [25] 李岳云,卢中华,凌振春.中国蔬菜生产区域化的演化与优化——基于31个省区的实证分析[J].经济地理,2007,27(2):191-195.
- [26] 钟筱波.我国蔬菜生产布局调整的构思[J].经济地理,1989,9(2):97-100.
- [27] 李建伟.我国蔬菜生产发展的现状与对策措施[J].湖南农业科学,2013(16):7-11.
- [28] 于丽艳,穆月英.蔬菜生产区域变迁、差异分解及其成因[J].华南理工大学学报(社会科学版),2019,21(3):39-49.
- [29] 杜姗姗,蔡建明,郭华,等.食品安全导向下的都市农业发展模式——以北京蔬菜生产为例[J].地理科学进展,2012,31(6):783-791.
- [30] 刘玉,郝星耀,潘瑜春,等.河南省耕地集约利用时空分异及分区研究[J].地理科学,2014,34(10):1218-1225.
- [31] 宗义湘,高一丹,吴雅琪,等.河北省蔬菜产业形势及“十四五”发展对策[J].中国蔬菜,2021(11):1-5.
- [32] 张璐,张伟,陈新平.气候变化对蔬菜品质的影响及其机制[J].中国生态农业学报(中英文),2021,29(12):2034-2045.
- [33] 赵璐,赵作权.基于特征椭圆的中国经济空间分异研究[J].地理科学,2014,34(8):979-986.
- [34] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- [35] 苗晓颖.山东省蔬菜生产空间集聚演变与布局优化研究[D].泰安:山东农业大学,2022.
- [36] 刘晓龙.河南省有机蔬菜供给的影响因素研究[D].荆州:长江大学,2021.
- [37] 向华.河北省蔬菜生产效率及影响因素研究[D].保定:河北农业大学,2020.
- [38] 张毅,马跃峰,负民政,等.近30年西藏地区耕地面积及主要农作物时空变化特征[J].高原农业,2020,4(1):17-25.
- [39] 刘聪.中国农业化肥面源污染的成因及负外部性研究[D].杭州:浙江大学,2018.
- [40] 张唤麒.长春市居民有机蔬菜消费意愿及其影响因素分析[D].长春:吉林农业大学,2022.

[责任编辑 马迎杰]