

引用格式: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 Sciences, 2022, 44(3): 436–449.] DOI: 10.18402/resci.2022.03.02

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

任频频¹,李保国^{1,2,3},黄峰^{1,2,3}

(1. 中国农业大学土地科学与技术学院,北京 100193;2. 农业农村部华北耕地保育重点实验室,北京 100193;3. 自然资源部农用地质量与监控重点实验室,北京 100193)

摘要:明确农作物种植结构类型的时空演变规律、以及演变过程中主要作物的生产时空格局,对开展农作物生产布局优化工作、促进农业可持续发展具有重要意义。基于农业统计数据,探讨2002—2018年黄淮海旱作区农作物种植结构类型的时空演变特征,同时利用空间自相关、重心模型等方法探讨农作物种植结构变化过程中该区域的两种主要作物——小麦和玉米的生产时空格局及其变化规律。结果发现:①近20年,黄淮海旱作区农作物种植结构类型整体由多样化向专一化发展,种植结构类型丰富度总体呈减小趋势,以小麦和玉米及其组合为主的种植结构占有的县域数目逐年增多,43%的县域小麦种植比例显著增加,81%的县域玉米种植比例显著增加($p < 0.05$)。②传统农业生产地带,包括河北平原西部、鲁西北等地小麦和玉米单产呈显著“高-高”聚集特征($p < 0.05$),河南中东部小麦单产也呈显著“高-高”聚集特征,但研究区南部玉米单产呈显著“低-低”聚集特征。尽管旱作区内部小麦和玉米的生产格局表现出一定的地域差异性,但近20年小麦和玉米的生产重心均集中分布在河北、山东、河南三省交界处,表明在农作物种植结构类型演变的过程中,区域尺度小麦和玉米的生产具有一定的时序稳定性。③在“以水定产”和地下水可持续利用的目标导向下,河北平原的小麦种植比例有所减少,2014年以后,小麦玉米型县域数目减少,玉米小麦型增加,2018年已不存在单一小麦型县域。本文可为黄淮海旱作区区域尺度农作物种植结构优化提供数据支撑与决策支持。

关键词:农作物种植结构;小麦和玉米;空间自相关;生产重心;黄淮海旱作区

DOI: 10.18402/resci.2022.03.02

1 引言

农作物种植结构是指一个地区或生产单位内农作物的组成和布局状况,是农业地理和农业可持续发展的重要研究内容^[1]。近年来,随着中国耕地供给日趋紧张、局部地区农业水资源严重短缺、居民消费提档升级,粮食供需的结构性矛盾日益凸显,调整农作物种植结构成为促进农业高质量、可持续发展的现实选择。明确农作物种植结构的历史演变规律与现状分布特征,则是开展农作物种植调整和空间布局优化等工作的重要前提^[2,3]。目前,

学者针对农作物种植结构识别与分析开展了许多研究:尺度上,从国家水平^[4,5]、省域水平^[6,7],到市县水平^[8,9]均有相关进展;数据源方面,包括卫星遥感数据和农业统计数据等^[10,11],针对各种数据又衍生出不同的分析方法^[12,13],这些研究为进一步开展相关工作奠定了重要基础。

黄淮海地区是中国重要的农业生产基地之一,该地区河北、河南、山东、安徽四省2019年的粮食播种面积占到了中国13个粮食主产区的37%^[14]。然而,由于农业生产特别是冬小麦生育期进行灌溉带

收稿日期:2021-08-20 修订日期:2022-01-19

基金项目:国家重点研发计划项目(2016YFD0300801)。

作者简介:任频频,男,山东济宁人,博士研究生,研究方向为农业水文遥感。E-mail: ppren2017@cau.edu.cn

通讯作者:黄峰,男,天津人,副教授,研究方向为农业水土资源利用。E-mail: fhuang@cau.edu.cn

2022年3月

来的大量用水,该区域正面临严重的水资源短缺问题^[15]。大量抽取地下水用于农业灌溉,造成该地区地下水严重超采、地下水位不断下降,并出现地面沉降等一系列生态环境问题^[16]。目前,该地区的石家庄、邯郸、沧州等市已成为地下水严重超采区的“代名词”^[17]。调整农作物种植结构类型,是实现该区域“粮-水”平衡发展与水资源节约和可持续利用的重要途径之一。自2014年以来,河北省就开始实施一系列地下水压采政策,压采措施包括调整农作物种植结构等。迄今为止,该地区的农作物种植结构类型发生了怎样的变化?整个黄淮海地区近年来的农作物种植结构类型变化如何?目前相关报道较少,已有研究多侧重于部分作物的空间分布识别^[18,19],或局部地区农作物的种植结构优化^[20,21]。例如,王红营等^[22]、张雅芳等^[23]基于遥感数据提取了华北地区主要农作物的空间分布格局,但并未从种植结构的角度分析农作物种植的空间分异特征。系统研究黄淮海地区的农作物种植结构及其时空演变规律,可弥补相关研究领域的不足。

农作物种植结构演变与粮食生产安全密切相关。研究农作物种植结构变化过程中主要粮食作物生产的时空格局及其变化特征,对合理利用土地资源、发挥区域农作物生产优势、从而保障粮食生产安全具有重要意义,同时也可为今后的农作物种植结构布局优化提供相应的数据支撑。近年来,国内关于粮食作物生产时空格局的研究侧重于总体粮食生产的研究^[24,25]。同海梅等^[26]、曹永强等^[27]、巫振富等^[28]分别对中国小麦、河北小麦玉米、河南玉米等农作物的生产格局进行了分析,揭示了具体粮食作物的生产变化特征。在黄淮海地区,小麦和玉米是多数县域最主要的农作物种植类型,小麦-玉米轮作体系也是消耗地下水最多的种植制度。如前所述,在“以水定产”与水资源可持续利用的理念下,河北省等地已经开始通过调整农作物种植结构来减少对地下水的消耗。在国家政策等因素的驱动下,农作物种植结构变化过程中黄淮海地区的小麦和玉米生产时空格局如何演变?该地区今后的农作物种植结构及其空间布局如何规划?要回答这些问题,需要从区域层面开展该地区作物种植结构与作物生产特征的综合研究。

综上,本文以2002—2018年为研究时段,借助农业统计数据在大区域和长时间序列作物种植分

析中的优势^[29],探讨近20年黄淮海地区主要作物种植结构类型的时空演变特征,同时采用空间自相关、重心模型等方法分析作物种植结构变化过程中小麦和玉米的生产时空格局。通过以上两方面,研究旨在从区域层面为黄淮海地区的农作物种植调整和粮食生产安全保障体系构建提供决策支持。

2 研究区概况、数据来源和研究方法

2.1 研究区概况

本文研究区为黄淮海旱作区,地理位置如图1所示。基于2015年黄淮海地区土地利用现状图(来自中国科学院资源环境科学与数据中心, <https://www.resdc.cn/>),根据坡度分级标准,将地形坡度<5°、1 km²网格内旱地占耕地40%以上区域、并考虑已有野外布点情况的区域作为黄淮海旱作区。研究区位于32°13'N—41°06'N,112°24'E—119°85'E之间,覆盖北京、河北、山东、河南、安徽的部分县域以及天津全域,陆地总面积约33万km²。该区域地处暖温带大陆性季风气候带,春冬寒冷干燥、夏季高温多雨,多年平均降水量500~900 mm,但年际变化差异大,年内季节分配不均匀,约70%的降水集中在夏季,地理分布上呈现由东南向西北递减的特征。区域内主要土壤类型包括潮土、褐土、砂姜黑土等,主要农作物类型包括小麦、玉米、豆类、棉花

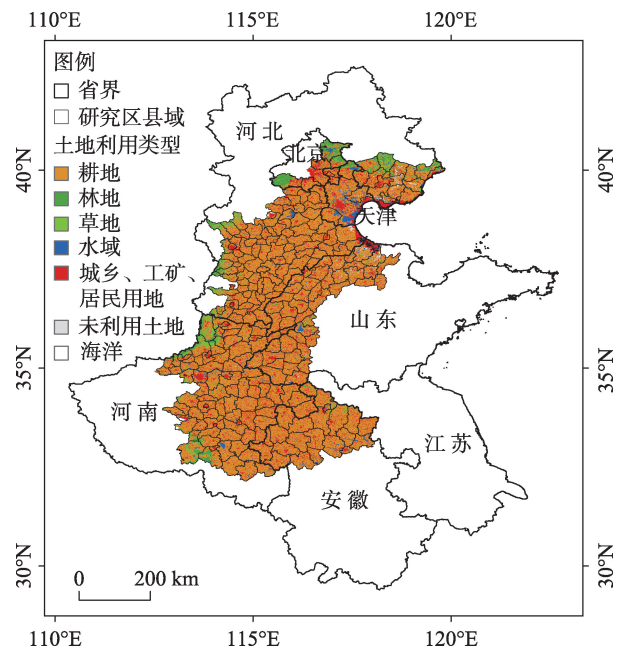


图1 研究区位置示意图

Figure 1 Location of the study area

等,农作物种植制度以冬小麦-夏玉米一年两熟的轮作体系为主。

2.2 数据来源

县域尺度农业统计数据来源于各省市农业统计年鉴。由于本文研究时段相对较长,部分县市的数据不容易获取,因此搜集了时间间隔一年的数据,年份包括2002—2018年的双数年份,搜集的内容包括作物单产、种植面积、总产、以及农作物总播种面积。研究的县域总数目共计260个,北京、天津、石家庄、保定、邢台、沧州、唐山、秦皇岛等市辖区未搜集到连续有效数据,故本文研究未包括以上地区数据。研究的主要农作物类型包括小麦、玉米、豆类、油料、棉花、蔬菜6种类型。

2.3 研究方法

2.3.1 农作物种植结构划分方法

(1) 农作物种植结构类型

农作物种植结构类型根据各种作物种植面积占农作物总播种面积的百分比组合进行确定,具体划分方法:种植比例 $\geq 30\%$ 的作为主要作物,种植比例在15%~30%之间的作为辅助作物,低于15%的不计入作物种植类型。辅助作物类型的计数方法:包含2种及以上主要作物时,只计1种辅助作物;包含1种主要作物时,计2种辅助作物;不包含主要作物时,计3种辅助作物。作物类型组合时考虑种植面积比例的大小。在命名时,用“~”作为主要作物和辅助作物之间的连接,例如,某县的小麦种植比例35%,玉米28%,蔬菜19%,则该县的小麦种植类型划分为“小麦~玉米蔬菜”型,若没有辅助作物,则命名为“主要作物名称~”型。根据以上方法确定各个县域在各个年份的农作物种植结构类型。

(2) 农作物种植结构类型年际变化趋势

采用丰富度指数^[5]探讨农作物种植结构类型的年际变化趋势,其含义是某一年份出现的农作物种植结构类型数目占有研究年份出现的农作物种植结构类型总数目的比例,计算公式如下:

$$R_t = \frac{m_t}{m_{\text{tot}}} \quad (1)$$

式中: R_t 是第 t 年的丰富度指数; m_t 是第 t 年的农作物种植结构类型数目; m_{tot} 是所有研究年份出现的农作物种植结构类型的总数目。

(3) 农作物种植比例年际变化趋势

采用一元线性回归^[6,14]分析各个县域农作物种

植比例的年际变化特征,利用得到的斜率系数表征变化趋势,并进行显著性检验。斜率计算如下:

$$S = \frac{n \sum_{t=1}^n t X_{tj} - \left(\sum_{t=1}^n t \right) \left(\sum_{t=1}^n X_{tj} \right)}{n \sum_{t=1}^n t^2 - \left(\sum_{t=1}^n t \right)^2} \quad (2)$$

式中: S 是某一农作物种植比例的线性回归拟合斜率; n 是研究时段的年份数目; X_{tj} 是第 t 年 j 作物的种植比例。

2.3.2 小麦玉米生产空间分布

基于空间自相关理论,探讨小麦玉米总产、种植面积和单产的空间分布结构。空间自相关是指地理对象的某一属性值在相邻空间位置处取值之间的关系,是对该属性空间聚集或分散程度的度量^[30]。空间自相关现象广泛存在于地理空间数据中^[31]。Moran's I 指数在评价地理要素空间自相关特征方面应用广泛^[32,33],该指数既能给出总体自相关性评价,同时能对自相关类型做进一步的区域可视化。采用Moran's I 指数对小麦和玉米总产、种植面积和单产的空间分布特征进行评价,全局Moran's I 指数计算公式如下:

$$I = \frac{N \sum_i \sum_k W_{ik} (X_i - \bar{X})(X_k - \bar{X})}{\left(\sum_i \sum_k W_{ik} \right) \sum_i (X_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

$$Z = \frac{1 - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}} \quad (4)$$

式中: N 是县域总数目; W_{ik} 是县域 i 和县域 k 之间的空间权重; X_i 和 X_k 分别是县域 i 和县域 k 的总产/种植面积/单产值; \bar{X} 是总产/种植面积/单产的区域均值; Z 是标准化统计量; $E(I)$ 是总产/种植面积/单产自相关性的期望值; $\text{var}(I)$ 是方差。Moran's I 指数的取值范围是 $[-1, 1]$, 含义如下: 值大于零表示正相关,即总产/种植面积/单产在空间上有聚集的趋势;值小于零表示负相关,总产/种植面积/单产在空间上有分散的趋势;值等于零表示无相关性,总产/种植面积/单产属于空间随机分布。Moran's I 指数显著性采用 Z 值判断,当 $Z \geq 1.96$ 或 $Z \leq -1.96$ 时,表示空间相关性显著($p < 0.05$)。局部Moran's I 指数计算公式如下:

$$I_i = \frac{N(X_i - \bar{X})}{\sum_k [W_{ik}(X_k - \bar{X})^2]} \sum_k [W_{ik}(X_k - \bar{X})] \quad (5)$$

2022年3月

式中: I_i 是局部 Moran's I 指数。将局部 Moran's I 指数结合 LISA (Local Indicators of Spatial Autocorrelation) 集聚图进行空间可视化, 可将局部空间自相关类型划分为 5 种类型^[34]: 高-高型 (High-High, HH)、低-低型 (Low-Low, LL)、高-低型 (High-Low, HL)、低-高型 (Low-High, LH) 以及非显著型 (Not significant, NN)。HH 和 LL 是正相关类型, 表示小麦/玉米的总产/种植面积/单产空间聚合程度较高, 即高/低的地区周围也高/低, HL 和 LH 是负相关类型, 表示总产/种植面积/单产呈空间离散特性, 即高/低的地区周围低/高, NN 为非显著型, 表示总产/种植面积/单产无明显空间聚集或分散特征。

2.3.3 小麦玉米生产重心演变

采用重心模型研究小麦和玉米的总产、种植面积和单产在时空上的变化趋势。重心的迁移是区域农作物生产不均衡的体现, 迁移方向表明某区域是生产的聚集, 迁移距离表明生产均衡程度的变化幅度, 重心计算公式如下^[35]:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}, \quad Q = \frac{\sum_{i=1}^N y_i \lambda_i}{\sum_{i=1}^N \lambda_i}, \quad (6)$$

$$d = l \sqrt{(P_{t+1} - P_t)^2 + (Q_{t+1} - Q_t)^2}$$

式中: P 和 Q 是总产/种植面积/单产的重心坐标; x_i 和 y_i 是第 i 个县域的经度和纬度坐标, 该坐标取各县域单元的中心; λ_i 是第 i 个县域的总产/种植面积/单产值; d 是重心迁移距离; l 是距离系数。

3 结果与分析

3.1 农作物种植结构类型的时空变化

3.1.1 种植结构类型年际变化

2002—2018 年研究年份中, 黄淮海旱作区共出现了 123 种农作物种植结构类型, 主要包括小麦玉米型、玉米小麦型、小麦~玉米型、小麦~玉米蔬菜型、小麦~玉米棉花型、小麦型、玉米型等。2004 年种植结构类型最丰富, 共有 72 种, 丰富度指数 0.59。2004 年以后种植结构类型丰富度逐年降低, 2018 年仅为 0.32。各个年份排序前 5 的农作物种植结构类型变化如图 2a 所示: ①各个年份中, 排名前 2 位的农作物种植类型始终是小麦和玉米的组合, 但组合方式有所差异, 其中 2004 年及以后, 小麦玉米型成为黄淮海地区覆盖县域数目最多的种植类型, 且县域数目逐年增加, 2012 年以后玉麦型成为覆盖县域数目第 2 多的种植类型; ②除 2002 年以外, 排序第 3 位的农作物种植类型也为小麦和玉米的组合, 但组合类型年际变化差异较大, 其中 2012 年以

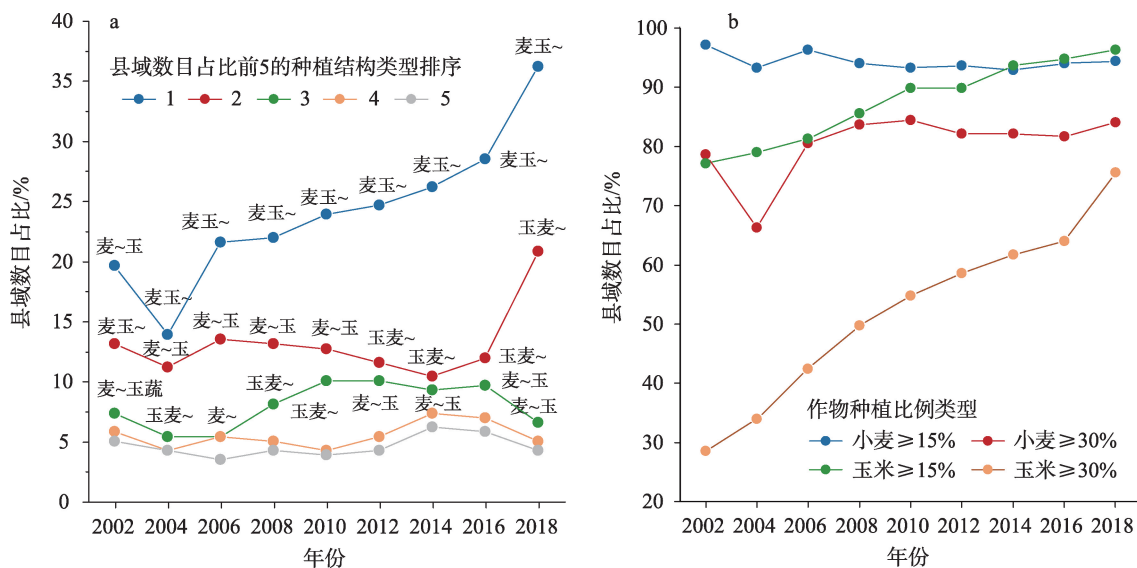


图2 2002—2018年排序前5的种植结构类型及其县域占比(a)和小麦和玉米种植比例 $\geq 15\%$ 和 $\geq 30\%$ 的县域数目占比(b)

Figure 2 Interannual variations of the top five planting structure types and proportion of counties (a) and interannual variations of the proportion of counties with wheat and maize planting ratio $\geq 15\%$ and $\geq 30\%$ (b), 2002-2018

注: 图 2a 仅标注了前 3 种农作物种植结构类型的名称。

后为稳定的麦~玉型。此外,第4位及以后的类型开始包含油料、棉花、蔬菜等作物。总体来看,小麦和玉米在黄淮海地区农作物种植中占有重要比重,其中小麦种植比例 $\geq 15\%$ 和 $\geq 30\%$ 的县域数目占比一直在65%以上,玉米种植比例 $\geq 15\%$ 和 $\geq 30\%$ 的县域数目占比则呈逐年增加的趋势(图2b)。

3.1.2 种植结构类型空间分异

为了直观展示主要农作物种植结构类型的时空变化趋势,提取主要农作物类型(种植比例 $\geq 30\%$ 的作物及其组合),得到其时空分布模式(图3):①小麦型县域数目逐年减少,2002年有136个县,分布在河北平原、山东、河南、安徽的大部分地区;2010

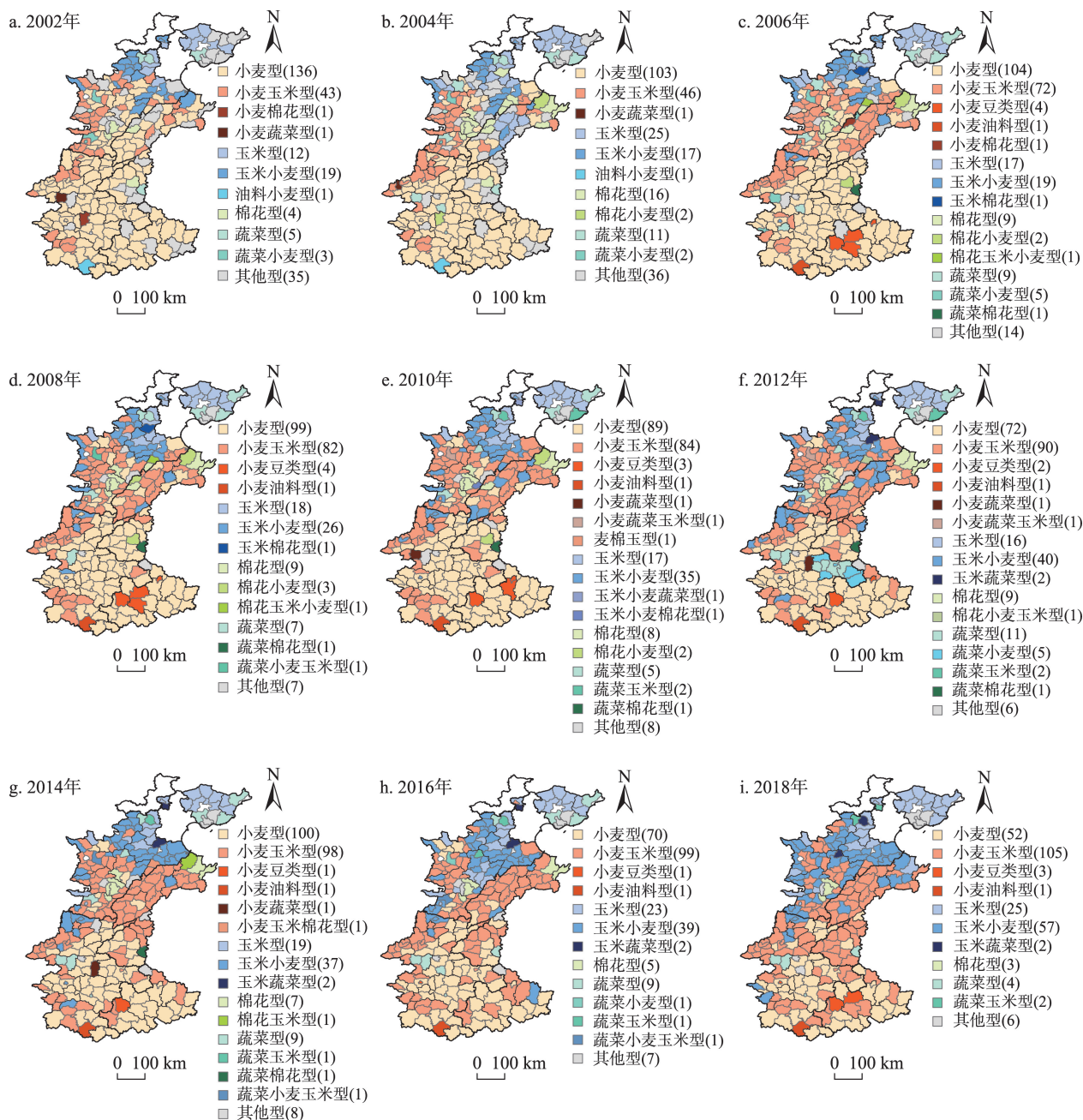


图3 2002—2018年黄淮海旱作区主要农作物种植结构类型时空变化

Figure 3 Spatiotemporal variations of main crop planting structure types in the Huang-Huai-Hai dry farmland, 2002-2018

注:括号内数字代表该类型覆盖的县域数目。

2022年3月

年减少至89个,主要分布在河南中东部、山东西南部、以及安徽北部地区;2018年,单一小麦型县域仅有52个,占比20%,分布在河南东南部和安徽北部地区;②单一小麦型的减少,取而代之的是小麦玉米型的增加,由2002年的17%增至2010年的32%、2018年的40%,这主要是由于玉米种植比例 $\geq 30\%$ 的县域数目逐年增加(图2b)。从空间格局的演变看,小麦玉米型县域由2002年零星分布在河北地区逐步发展为集中分布在河北平原西部、山东西北部、以及河南北部等地区。此外,2014年以后,河北平原的小麦玉米型县域数目有所减少,玉米小麦型县域有所增加,小麦种植比重出现下降。玉米型县域主要分布在河北唐山和秦皇岛地区,豆类、油料、蔬菜种植比例超过30%的县域较少,且空间分布存在较大的年际变异性,邢台东部的南宫市、威县,邯郸东部的邱县等是稳定的棉花型县域。总体来看,

小麦和玉米及其组合构成了黄淮海旱作区最主要的农作物种植结构类型。2018年,小麦型、小麦玉米型、玉米型和玉米小麦型4种类型覆盖的县域达到了92%(239个),其中小麦玉米型占40%、玉米小麦型占22%。

3.1.3 农作物种植比例变化趋势

图4展示了研究年份6种主要农作物种植比例不同变化趋势的县域数目占比和空间分布状况。县级尺度上,43%的县域小麦种植比例显著增加($p < 0.05$),81%的县域玉米种植比例显著增加,69%的县域豆类、60%的县域油料、67%的县域棉花种植比例显著减少,55%的县域蔬菜种植比例无显著变化趋势。空间分布上,小麦种植比例显著增加的区域主要分布在:山东西北部(年均增加速率在0.5%~1.7%),以及河北平原西部、河南南部和安徽北部等地区(年均增加速率在0~0.5%)。此外,河南东北

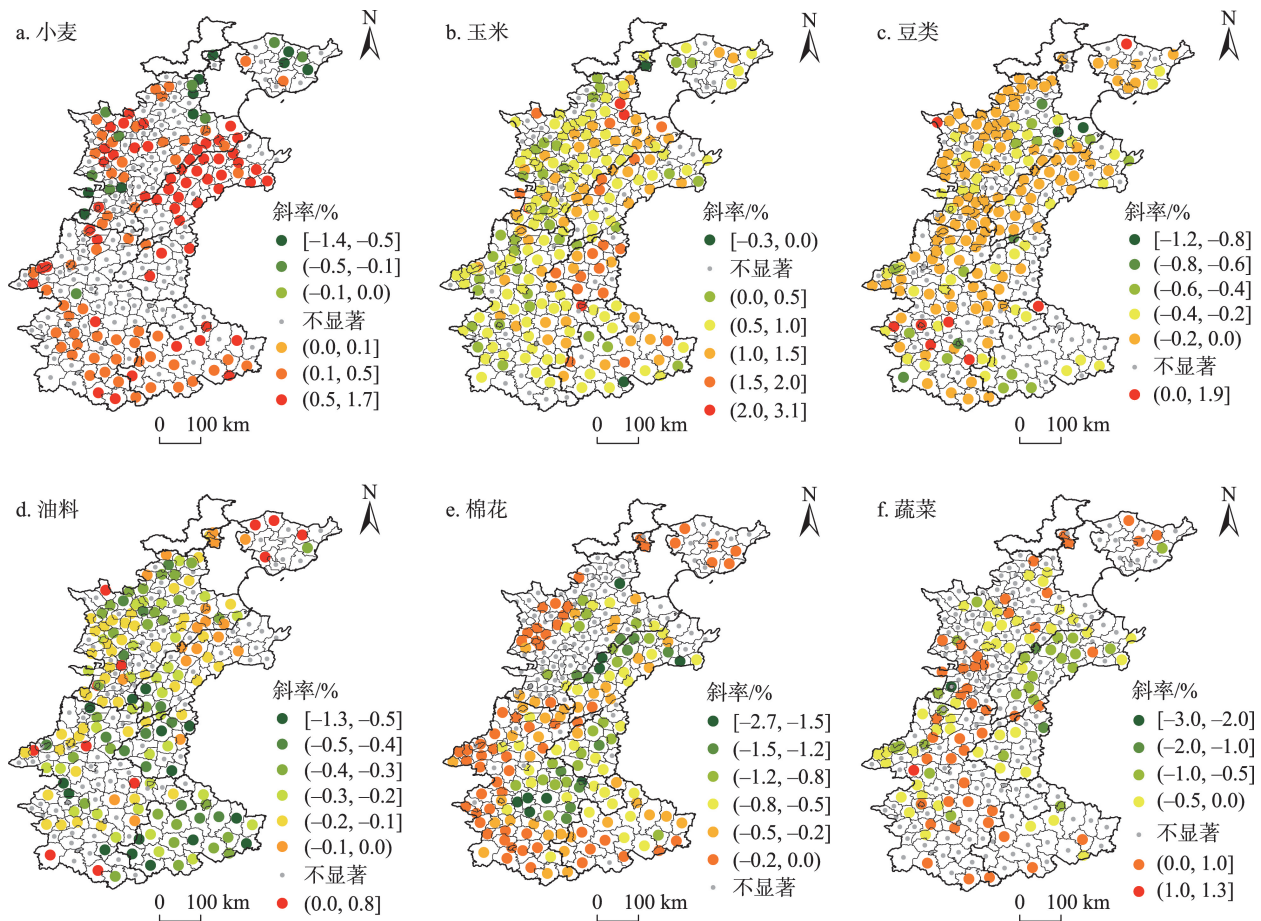


图4 农作物种植比例线性拟合斜率的空间分布(显著性水平: $p < 0.05$)

Figure 4 Spatial distribution of the linear fitting slopes of crop planting ratio (significance level: $p < 0.05$)

部、山东西南部、河北平原东部小麦种植比例基本没有显著变化趋势。玉米种植比例显著增加的区域覆盖黄淮海旱作区的大部分县域,增加幅度呈现“东高西低”的空间分布:山东西部、河北平原东部、安徽北部等地的部分县域玉米种植比例的年均增加速率基本在1.0%~2.0%;河北平原西部、河南玉米种植比例的年均增加速率基本低于1.0%。豆类种植比例在河北、山东西北部、河南中北部显著减少,年均减少速率多在0.0%~0.2%。油料种植比例的变化呈现较大的空间差异性,棉花种植比例则不存在显著增加的县域,显著减少的区域主要分布在河南、山东西部、以及河北石家庄等地区。蔬菜种植比例变化趋势的空间变异性较大,其中河北南部、河南中北部的部分县域种植比例显著增加,山东西部等地的蔬菜种植比例显著减少。

作物种植比例的变化是种植结构类型变化的基础。山东西北部、河北平原西部、河南南部和安徽北部等地的小麦玉米种植比重均显著增加,结合作物种植结构类型空间分布可知(图3),河北和山东小麦玉米显著增加的区域也是小麦玉米型种植结构的主要分布区,河北平原东北部玉米种植比重显著增加的区域与玉米小麦型种植结构相吻合。除小麦和玉米外,豆类、油料、棉花、蔬菜的种植比重均相对较低,仅在少数县域构成主要作物种植类型。

3.2 小麦、玉米生产的时空格局

3.2.1 时序变化趋势

县域尺度小麦玉米总产、种植面积和单产变化趋势的空间分布如图5所示。2002—2018年,87%的县域小麦总产增长,73%的县域显著增长($p < 0.05$),增长速率较高(12000 t/年)的区域主要位于

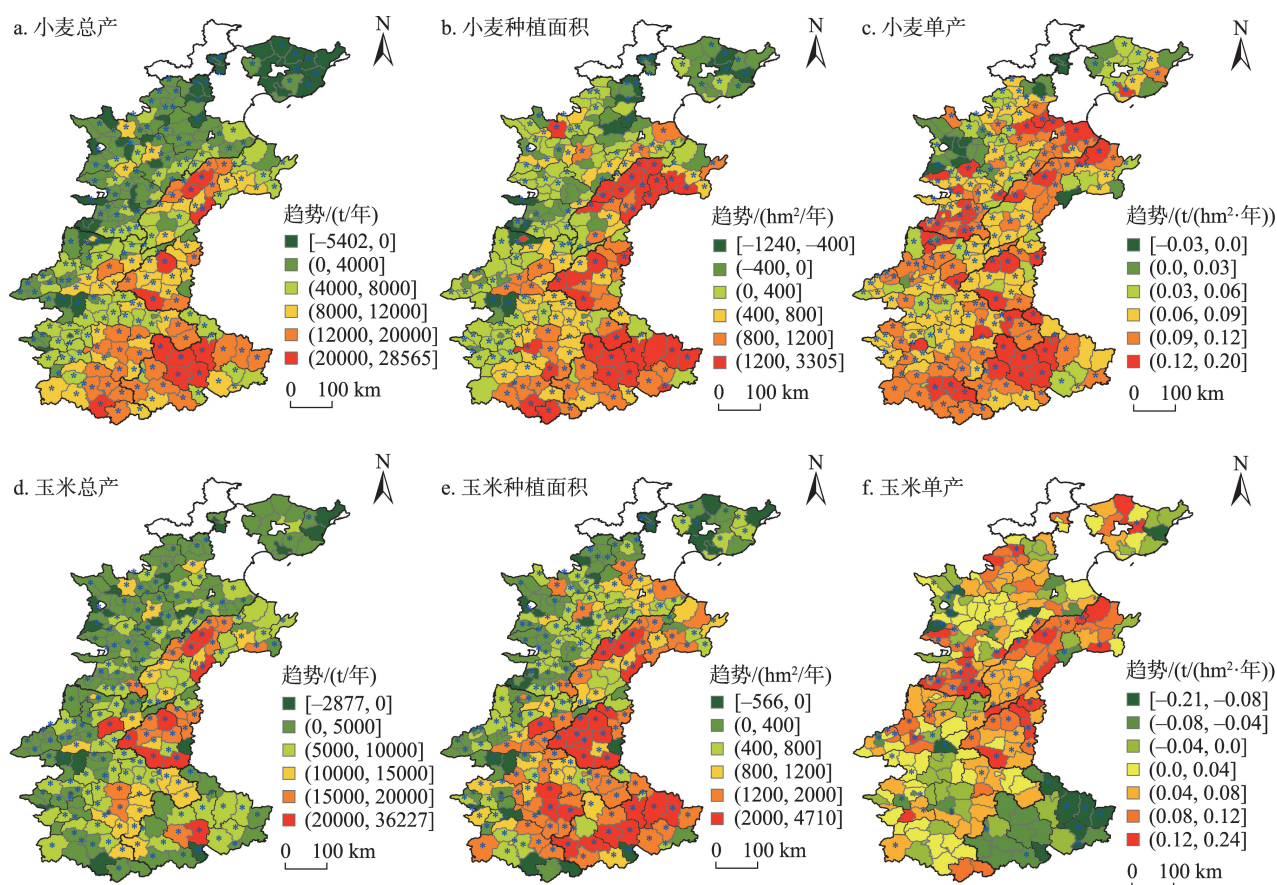


图5 县域尺度小麦和玉米总产、种植面积、单产的年际变化趋势

Figure 5 Interannual variation trends of total wheat and maize yield, planting area, and average yield at the county level

注: *表示变化趋势显著($p < 0.05$)。

2022年3月

河南东南部、安徽北部以及山东西北部的德州等地,河北多数县域小麦总产增长率在0~4000 t/年。小麦种植面积增长的县域数目占比78%,其中显著增长的县域占比58%,山东西部、河南东南部和安徽北部增长速率较高,多在800 hm²/年以上,河北平原增长速率多在0~400 hm²/年,小麦种植面积和总产增长速率的空间格局较为一致。单产方面,96%的县域小麦单产增长,82%的县域显著增长,增长速率较高(0.09 t/(hm²·年))的区域主要分布在河南东南部、安徽北部、山东西北部、以及河北平原的南部和东北部。河北石家庄以及廊坊北部的部分县域小麦单产增长速率较低(<0.03 t/(hm²·年)),个别县域甚至呈负增长趋势。

玉米方面,92%的县域玉米总产增长,71%的县域显著增长,山东西北部的德州、山东西南部的菏泽增长速率较高(>15000 t/年),河北平原多数县域的增长速率在0~5000 t/年。玉米种植面积增长速率的空间格局与总产的分布比较一致,山东西部、河南东部、安徽北部的增长速率多在1200 hm²/年以上,其他地区多在0~800 hm²/年。总体来看,90%的县域玉米种植面积增长,76%的县域显著增长。玉米单产增长的县域占比71%,其中显著增长的县域仅占比21%。山东西部、河北南部玉米单产增长速率较高,达到0.04 t/(hm²·年)以上,河北保定地区的玉米单产增长速率也较高(0.04~0.08 t/(hm²·年)),安徽北部地区则是主要的玉米单产下降区域。总体来看,近20年黄淮海旱作区小麦和玉米的总产、种植面积、单产呈增长趋势的县域数目均超过70%,小麦玉米的生产水平逐年提升。从总产、种植面积、单产三者的关系与时空变化趋势看,总产和种植面积变化趋势的空间格局较为一致,种植面积更多决定了一个地区的总产水平。

3.2.2 空间格局

表1列出了各个研究年份小麦、玉米的总产、种植面积和单产的空间自相关Moran's *I*指数,所有结果均通过了 $p<0.05$ 的显著性检验,表明总产、种植面积和单产在各年均呈现一定的空间自相关关系,即有空间聚集的分布趋势。具体来看,小麦的总产和种植面积的Moran's *I*指数变化范围分别为0.52~0.64、0.55~0.64,单产的Moran's *I*指数变化范围0.39~0.53,单产的空间自相关程度波动较大,但有减小的趋势,说明小麦单产的地区差异性逐渐减小。玉米的总产和种植面积的Moran's *I*指数较低,变化范围分别为0.19~0.32、0.16~0.31,单产的Moran's *I*指数相对较高,最大值和最小值分别为0.53、0.30,单产在空间上的聚集性更加明显。

基于局部Moran's *I*指数对小麦和玉米总产、种植面积和单产不同空间自相关类型的分布格局进行研究,结果如图6所示。图6显示,小麦总产、种植面积和单产多年平均值的全局Moran's *I*指数分别为0.6253、0.6246、0.4543,三者均有空间聚集的趋势。空间分布上,总产和种植面积的自相关类型分布模式较为一致,“高-高”类型主要分布在河南中东部和安徽北部,这些地区的小麦种植面积和总产较高,“低-低”类型主要分布在河北唐山、秦皇岛、廊坊等地,邢台东部少数县域的小麦总产和面积也属于“低-低”类型,结合图3可知,这些县域的主要农作物为棉花,小麦种植比例较低。小麦单产的“高-高”聚集区主要分布在山东德州、河北石家庄、河南周口及其周边县域,“低-低”类型主要分布在河北沧州和唐山部分县域。玉米总产和种植面积的自相关类型空间分布格局相似,但两者的空间聚集程度均较低,“高-高”类型以山东西北部的德州

表1 2002—2018年小麦玉米总产、种植面积和单产的全局Moran's *I*指数

Table 1 Global Moran's *I* values of total yield, planting area, and average yield of wheat and maize, 2002-2018

作物	要素	2002年	2004年	2006年	2008年	2010年	2012年	2014年	2016年	2018年
小麦	总产	0.52	0.58	0.60	0.64	0.63	0.62	0.63	0.64	0.63
	面积	0.55	0.61	0.60	0.63	0.62	0.62	0.63	0.64	0.64
	单产	0.53	0.48	0.53	0.45	0.42	0.39	0.39	0.39	0.34
玉米	总产	0.20	0.23	0.22	0.19	0.22	0.26	0.31	0.32	0.28
	面积	0.16	0.19	0.19	0.20	0.20	0.24	0.28	0.31	0.28
	单产	0.47	0.38	0.30	0.47	0.51	0.53	0.50	0.53	0.44

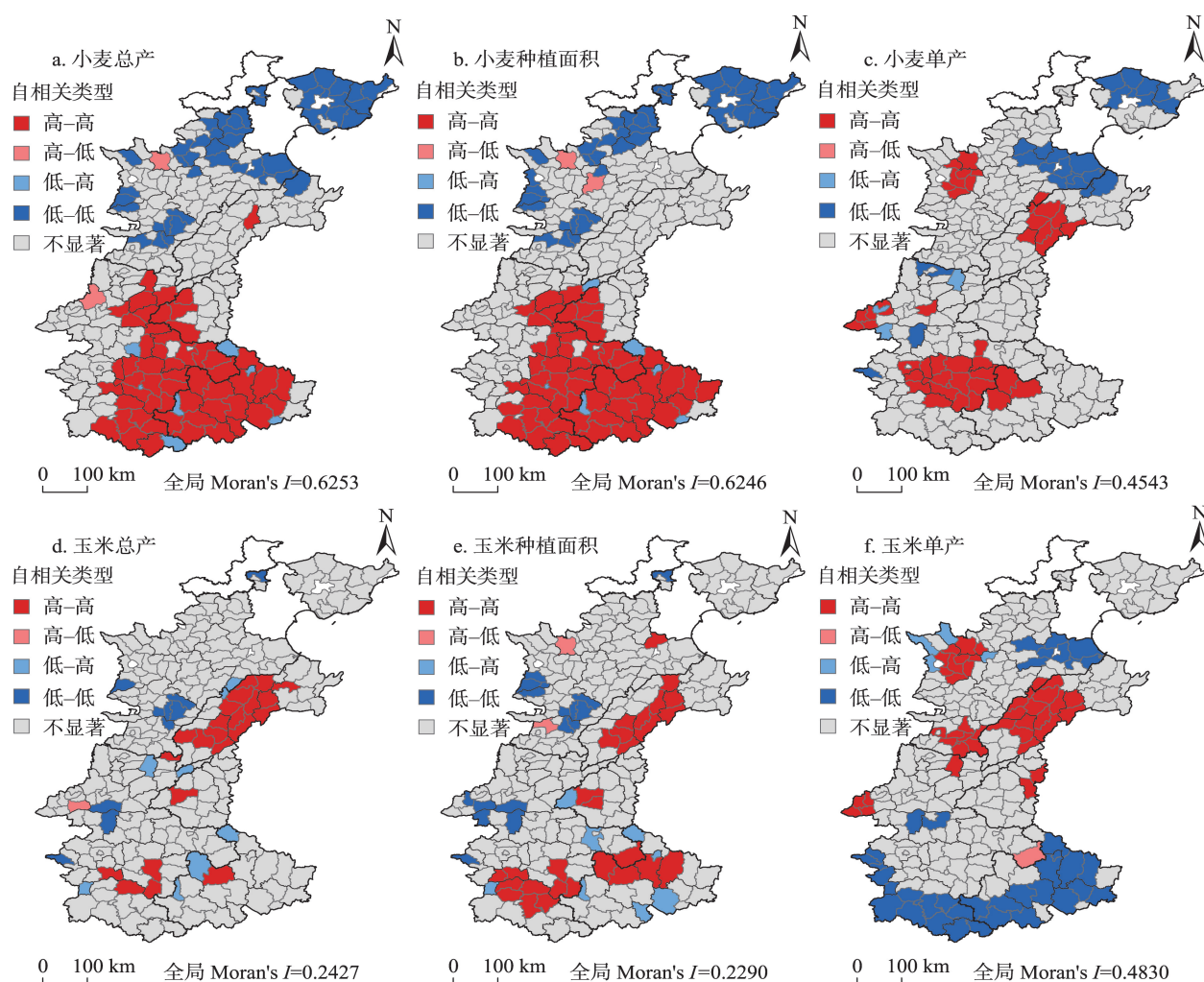


图6 小麦和玉米的总产、种植面积和单产的局部空间自相关类型

Figure 6 Local spatial autocorrelation types of total yield, planting area, and average yield of wheat and maize

和聊城等地为主,河南周口、驻马店等少数县域也呈“高-高”类型分布,多数县域呈不显著空间自相关类型。玉米单产的空间自相关类型分布格局表明,山东西北部的德州和聊城、河北石家庄地区玉米单产“高-高”聚集,这两个地区是小麦和玉米单产“高-高”聚集的共同区域。此外,旱作区南部县域的玉米单产显著“低-低”聚集,这些地区玉米单产水平低的县域周围也低,玉米生产效率不具优势。

3.2.3 重心演变

图7展示了小麦和玉米总产、种植面积、单产的生产重心的空间分布特征。近20年,黄淮海旱作区小麦总产和种植面积的生产重心均落在山东省菏泽市境内的牡丹区和鄄城县,单产重心则分布在相对靠北的河北、山东、河南三省交界处,以山东省聊

城市莘县境内为主,玉米总产、种植面积和单产的生产重心同样分布在河北、山东、河南三省交界处。此外,各类生产重心在空间上的分布都比较集中,反映了近20年来黄淮海旱作区小麦和玉米的生产在区域水平上具有一定的稳定性。小麦总产和种植面积的生产重心比玉米总产和种植面积的重心分布靠南,这主要是因为旱作区南部小麦型种植结构较多,玉米种植比例 $\geq 30\%$ 的县域数目较少(图3)。

4 讨论与结论

4.1 讨论

农作物种植结构的形成和演变受多种因素的影响,是国家政策、科技进步、社会需求、经济效益、自然条件等综合作用的结果^[36,37]。小麦和玉米在黄

2022年3月

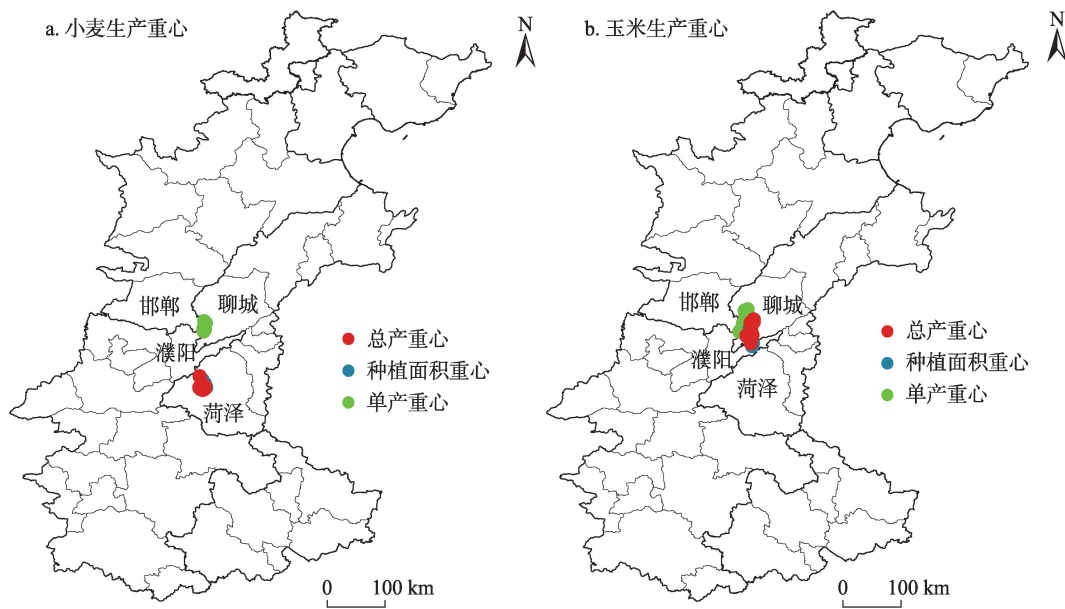


图7 小麦和玉米生产重心的空间分布

Figure 7 Spatial distribution of the gravity centers of wheat and maize production

淮海旱作区农作物种植结构类型中占有重要比重,首先归因于该地区适宜种植的气候条件,而农作物熟制的转变、社会需求的扩增等则是小麦和玉米种植地位日益凸显的重要原因。自20世纪70年代开始,黄淮海地区的农作物熟制就从两年三熟转变为一年两熟,且以冬小麦-夏玉米轮作体系作为主要的种植制度^[38]。从作物用途来看,小麦是中国重要的口粮作物之一^[39],玉米则是重要的饲料作物和工业原料等,两者的生产安全是保障社会需求与粮食生产安全的重要基础^[40]。农作物种植制度的转变、农田管理水平的提高等,使小麦和玉米的总产、种植面积和单产均呈线性增长的总趋势(玉米单产除外),也形成了不同的空间分布格局。河北平原西部、山东西北部地区的小麦玉米单产显著“高-高”聚集,表现出优于周边地区的生产效率优势,这主要是因为河北平原西部地处太行山山前平原,而山东西北部地处引黄灌区,两地区水资源丰富,优越的水肥气热等自然资源禀赋加之完善的农田管理措施^[41,42],使这些地区形成优势农业生产地带。河南中部地区小麦单产显著高于周边地区,但玉米生产效率没有显著优势,包括安徽北部地区等,这些地区水热条件更丰富,种植秋收农作物的可选择性更多^[43]。从农作物种植规模看,旱作区南部县面

积广、小麦种植比重大、种植面积显著“高-高”集聚,而种植面积与总产空间格局的相似性则表明种植面积更多决定了某一地区作物总产水平在不同县域之间的空间分布结构。

在多种因素的综合作用下,形成了黄淮海旱作区当前的农作物种植结构与小麦玉米的生产空间格局。然而,黄淮海旱作区北部正面临严重的水资源短缺与地下水位下降等问题,小麦生育期抽取地下水灌溉则是造成地下水位下降、加剧水资源短缺局势的重要原因^[15]。在这种现状下,平衡黄淮海地区粮食生产与农业用水之间的关系,达到“粮-水”平衡与可持续发展的目标,需要对现有农作物种植结构类型进一步优化。《河北省地下水超采综合治理五年实施计划(2018—2022年)》指出,通过调整种植结构、发展高效节水灌溉、推广冬小麦节水稳产配套技术等措施来减少地下水超采量,其中通过减少冬小麦种植面积和种植比例实施节水是重要的举措之一。河北省自2014年开始实施地下水压采以来,农作物种植结构调整明显,主要体现在小麦种植比例减少,灌溉需水少的玉米种植比例有所增加,进而使该地区的作物种植结构类型发生了转变(图3)。

此外,有研究表明,黄河中下游和淮河流域部

分地区的地下水储量表现为下降趋势,且下降速率不断增大^[44],对这些地区来说,调整现有的灌溉密集型的小麦种植规模是实现农业节水、减缓地下水资源消耗的有效措施。本文中,小麦玉米的生产空间格局可为区域尺度农作物种植结构调整提供参考:从生产效率的角度考虑,单产低(“低-低”、“低-高”型)的县域并不具有生产优势,可作为农作物种植调减的优先县域,单产高(“高-高”、“高-低”型)的地区农作物生产效率高,在调减相应作物时可排后考虑;从种植规模的角度考虑,黄淮海旱作区南部县域可依托较多的耕地资源与丰富的水热条件,适当扩大小麦玉米的种植规模,同时通过培育新品种、完善农田管理措施等进一步提升作物单产水平,可为旱作区北部调减小麦玉米种植规模带来的作物减产提供区域上的补偿与平衡。

4.2 结论

本文基于县级农业统计数据,分析了2002—2018年黄淮海旱作区主要农作物种植结构类型的时空变化特征,以及在此变化过程中该地区2种主要农作物——小麦和玉米的总产、种植面积、单产的时空格局。主要结论如下:

(1)2002—2018年,黄淮海旱作区农作物种植结构类型总体上由多元化向专一化发展,小麦和玉米及其组合构成了该地区最主要的农作物种植结构类型。2018年,小麦型、小麦玉米型、玉米型和玉米小麦型4种植植结构类型覆盖的县域数目占比达到了92%,河北平原、山东西部和安徽北部等地逐步发展为小麦玉米型和玉米小麦型的主要分布区。此外,超过40%的县域小麦种植比例显著增加,超过80%的县域玉米种植比例显著增加($p < 0.05$)。

(2)2002—2018年,黄淮海旱作区小麦和玉米的总产、种植面积显著增长的县域数目均超过了50%,小麦单产显著增长的县域数目达到了82%,但仅有21%的县域玉米单产显著增长($p < 0.05$)。小麦和玉米的生产呈现显著空间自相关格局,其中河北石家庄、山东西北部的德州等地小麦玉米单产显著“高-高”聚集,表现出较高的生产效率优势。此外,近20年小麦、玉米的生产重心变化不大,集中分布在河北、河南、山东三省交界处。这表明,尽管黄淮海旱作区农作物种植结构类型和小麦、玉米的生产

格局均表现出时空变异性,但区域尺度小麦和玉米的生产均具有时序上的稳定性。

参考文献(References):

- [1] 唐华俊, 吴文斌, 杨鹏, 等. 农作物空间格局遥感监测研究进展[J]. 中国农业科学, 2010, 43(14): 2879–2888. [Tang H J, Wu W B, Yang P, et al. Recent progresses in monitoring crop spatial patterns by using remote sensing technologies[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(14): 2879–2888.]
- [2] 宋桂琴, 徐惠民, 刘志晨. 辽宁省农作物种植结构时空变化特征分析[J]. 中国农学通报, 2019, 35(5): 18–25. [Song G Q, Xu H M, Liu Z C. Temporal and spatial characteristics of crop planting structure in Liaoning Province[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(5): 18–25.]
- [3] 黄丽丽, 黄振芳. 区间两相模糊多目标模型在种植结构优化中的应用: 以辽宁省大连市为例[J]. 资源科学, 2016, 38(11): 2157–2167. [Huang L L, Huang Z F. Application of inexact two-phase fuzzy multi-objective programming method to crop area planning[J]. Resources Science, 2016, 38(11): 2157–2167.]
- [4] 王利民, 刘佳, 季富华, 等. 中国小麦面积种植结构时空动态变化分析[J]. 中国农学通报, 2019, 35(18): 12–23. [Wang L M, Liu J, Ji F H, et al. Analysis of spatial-temporal dynamic change of wheat planting structure of China[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2019, 35(18): 12–23.]
- [5] 刘珍环, 杨鹏, 吴文斌, 等. 近30年中国农作物种植结构时空变化分析[J]. 地理学报, 2016, 71(5): 840–851. [Liu Z H, Yang P, Wu W B, et al. Spatio-temporal changes in Chinese crop patterns over the past three decades[J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(5): 840–851.]
- [6] 安悦, 谭雪兰, 谭杰扬, 等. 湖南省农作物种植结构演变及影响因素[J]. 经济地理, 2021, 41(2): 156–166. [An Y, Tan X L, Tan J Y, et al. Evolution of crop planting structure in traditional agricultural areas and its influence factors: A case study in Hunan Province[J]. Economic Geography, 2021, 41(2): 156–166.]
- [7] 王晶, 肖海峰. 2000–2015年新疆粮食生产时空演替与驱动因素分析[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(2): 58–66. [Wang J, Xiao H F. The spatial-temporal pattern changes and driving factors of grain production in Xinjiang[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(2): 58–66.]
- [8] Zhang X, Cao Z, Yang D, et al. Extraction and spatiotemporal analysis of county-level crop planting patterns based on HJ-1 CCD[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(6): 168–181.
- [9] 黄绍琳, 鲁春霞, 刘一江. 张家口市高耗水农作物种植结构及需水量时空格局变化[J]. 草业科学, 2020, 37(7): 1293–1301.

2022年3月

- [Huang S L, Lu C X, Liu Y J. Spatio-temporal patterns of crop planting structure and water requirement in the Zhangjiakou Region, northern China[J]. *Pratacultural Science*, 2020, 37(7): 1293–1301.]
- [10] 宋梦美, 安萍莉, 江丽, 等. 1993–2013年吉林省主粮作物种植布局及其水热资源利用效率评估[J]. *资源科学*, 2017, 39(3): 501–512. [Song M M, An P L, Jiang L, et al. Cultivation patterns of main grain crops and evaluation of water and heat resources utilization efficiency in Jilin Province from 1993 to 2013[J]. *Resources Science*, 2017, 39(3): 501–512.]
- [11] 袁站芳, 付瑜, 杨文军. 多时相GF-1影像在农作物种植结构提取中的应用[J]. *测绘与空间地理信息*, 2020, 43(S1): 120–122. [Yuan Z F, Fu Y, Yang W J. Application of multi-temporal GF-1 image in extraction of crops planting structure[J]. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2020, 43(S1): 120–122.]
- [12] 常升龙. 基于机器学习的农作物种植结构遥感提取研究[D]. 新乡: 河南师范大学, 2018. [Chang S L. Research on Remote Sensing Extraction of Crop Planting Structure Based on Machine Learning[D]. Xinxiang: Henan Normal University, 2018.]
- [13] 李冰, 梁燕华, 李丹丹, 等. 多时相GF卫星PMS影像提取农作物种植结构[J]. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(9): 56–62. [Li B, Liang Y H, Li D D, et al. Crop planting structure extraction based on multi-temporal GF-1 PMS remote sensing images[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(9): 56–62.]
- [14] 罗海平, 邹楠, 胡学英, 等. 1980–2019年中国粮食主产区主要粮食作物气候生产潜力与气候资源利用效率[J]. *资源科学*, 2021, 43(6): 1234–1247. [Luo H P, Zou N, Hu X Y, et al. Climatic potential productivity and resources utilization efficiency of major grain crops in the main grain production areas of China, 1980–2019[J]. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1234–1247.]
- [15] Iqbal M A, Shen Y J, Stricevic R J, et al. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation [J]. *Agricultural Water Management*, 2014, 135: 61–72.
- [16] Hu Y K, Moiw J, Yang Y H, et al. Agricultural water-saving and sustainable groundwater management in Shijiazhuang Irrigation District, North China Plain[J]. *Journal of Hydrology*, 2010, 393(3): 219–232.
- [17] 王西琴, 张馨月, 周嫚, 等. 基于门限效应的灌溉水价与用水量关系: 以河北省地下水灌区为例[J]. *资源科学*, 2021, 43(12): 2538–2545. [Wang X Q, Zhang X Y, Zhou M, et al. Relationship between agricultural water price and water use based on threshold effect: A case study of groundwater irrigation area in Hebei[J]. *Resources Science*, 2021, 43(12): 2538–2545.]
- [18] 卢辉雄, 田言亮, 董双发, 等. 基于Landsat 8 OLI数据的华北平原农作物种植结构遥感解译研究[J]. *物探化探计算技术*, 2017, 39(3): 416–424. [Lu H X, Tian Y L, Dong S F, et al. Interpolation study of crop planting structure in North China Plain based on Landsat 8 OLI data[J]. *Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Explorations*, 2017, 39(3): 416–424.]
- [19] 王学, 李秀彬, 谈明洪, 等. 华北平原2001–2011年冬小麦播种面积变化遥感监测[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(8): 190–199. [Wang X, Li X B, Tan M H, et al. Remote sensing monitoring of changes in winter wheat area in North China Plain from 2001 to 2011[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, 31(8): 190–199.]
- [20] 王璐, 杜雄, 王荣, 等. 基于NSGA-II算法的白洋淀上游种植结构优化[J]. *中国生态农业学报*, 2021, 29(8): 1370–1383. [Wang L, Du X, Wang R, et al. Optimization of planting structure in the upstream region of Baiyangdian Lake based on the non-dominated sorting genetic algorithm(NSGA-II)[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2021, 29(8): 1370–1383.]
- [21] 肖李俏. 华北平原地下水节水压采条件下作物种植制度优化[D]. 长沙: 长沙理工大学, 2018. [Xiao L Q. Optimization of Crop Planting System under the Condition of Reducing the Exploitation of Groundwater in the North of China[J]. Changsha: Changsha University of Science & Technology, 2018.]
- [22] 王红营, 潘学鹏, 罗建美, 等. 基于遥感的华北平原农作物时空分布变化特征分析[J]. *中国生态农业学报*, 2015, 23(9): 1199–1209. [Wang H Y, Pan X P, Luo J M, et al. Using remote sensing to analyze spatiotemporal variations in crop planting in the North China Plain[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2015, 23(9): 1199–1209.]
- [23] 张雅芳, 郭英, 沈彦俊, 等. 华北平原种植结构变化对农业需水的影响[J]. *中国生态农业学报*, 2020, 28(1): 8–16. [Zhang Y F, Guo Y, Shen Y J, et al. Impact of planting structure changes on agricultural water requirement in North China Plain[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(1): 8–16.]
- [24] 王凯澄, 韩桐, 臧华栋, 等. 基于地貌分区的近30年中国粮食生产空间分异研究[J]. *作物学报*, 2021, 47(12): 2501–2510. [Wang K C, Han T, Zang H D, et al. Spatial distribution of Chinese grain production in the past 30 years based on geomorphological division [J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2021, 47(12): 2501–2510.]
- [25] 吴海中, 田晓四, 陈宝平. 安徽省粮食产量时空格局变化及安全评价[J]. *东北农业科学*, 2021, 46(6): 109–113. [Wu H Z, Tian X S, Chen B P. Spatio-temporal pattern change and safety evaluation of grain yield in Anhui Province[J]. *Journal of Northeast Agricultural Science*, 2021, 46(6): 109–113.]
- [26] 同海梅, 陆迁. 基于H-P滤波法的中国小麦产量波动性分析[J]. *湖北农业科学*, 2013, 52(6): 1457–1459. [Tong H M, Lu Q. Fluctuation analysis of wheat output in China based on H-P filtering method[J]. *Hubei Agricultural Sciences*, 2013, 52(6): 1457–1459.]
- [27] 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 Si-*

- nica, 2018, 38(8): 1319–1327.]
- [28] 巫振富, 赵彦锋, 程道全, 等. 河南省夏玉米产量空间分布特征及其影响因素[J]. 资源科学, 2019, 41(10): 1935–1948. [Wu Z F, Zhao Y F, Cheng D Q, et al. Key factors affecting the spatial variation of summer maize yield in Henan Province[J]. Resources Science, 2019, 41(10): 1935–1948.]
- [29] 王卫东, 曹旭. 陕西省主要粮食作物种植结构时空变化特征分析[J]. 中国农业资源与区划, 2020, 41(9): 155–162. [Wang W D, Cao X. Temporal and spatial variation characteristics of main grain crop planting structures in Shaanxi Province[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(9): 155–162.]
- [30] 任频频, 黄峰, 李保国. 黄淮海平原旱作农田土壤有机质含量的空间分异特征[J]. 土壤学报, 2022, 59(2): 440–450. [Ren P P, Huang F, Li B G. Spatial differentiation characteristics of soil organic matter in dry farmland in the Huang–Huai–Hai Plain[J]. Acta Pedologica Sinica, 2021, 59(2): 440–450.]
- [31] Zhang C S, McGrath D. Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods[J]. Geoderma, 2004, 119(3): 261–275.
- [32] 张佰发, 苗长虹. 黄河流域土地利用时空格局演变及驱动力[J]. 资源科学, 2020, 42(3): 460–473. [Zhang B F, Miao C H. Spatio-temporal changes and driving forces of land use in the Yellow River Basin[J]. Resources Science, 2020, 42(3): 460–473.]
- [33] 高建岗, 黄锐. 基于耕地质量指数和空间自相关的苏南地区耕地保护分区[J]. 水土保持研究, 2019, 26(3): 213–218. [Gao J G, Huang R. Protection zoning of cultivated land based on cultivated land quality index and spatial autocorrelation on southern area of Jiangsu Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(3): 213–218.]
- [34] 张晗, 赵小敏, 欧阳真程, 等. 基于空间自相关的耕地质量空间差异特征及耕地保护分区: 以江西省上高县为例[J]. 水土保持研究, 2018, 25(1): 304–312. [Zhang H, Zhao X M, Ouyang Z C, et al. Spatial disparity features and protection zoning of cultivated land quality based on spatial autocorrelation: A case study of Shanggao County, Jiangxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(1): 304–312.]
- [35] 王凯, 杨亚萍, 张淑文, 等. 中国旅游产业集聚与碳排放空间关联性[J]. 资源科学, 2019, 41(2): 362–371. [Wang K, Yang Y P, Zhang S W, et al. Spatial correlation between the agglomeration and CO₂ emissions of China's tourism industry[J]. Resources Science, 2019, 41(2): 362–371.]
- [36] 雷金银, 吴霞, 王长军, 等. 1980–2015年宁夏农作物种植结构时空变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(12): 172–178. [Lei J Y, Wu X, Wang C J, et al. Spatio-temporal changes of crop patterns in Ningxia during 1980–2015[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(12): 172–178.]
- [37] 赵丹丹, 周宏. 农户分化背景下种植结构变动研究: 来自全国31省农村固定观察点的证据[J]. 资源科学, 2018, 40(1): 64–73. [Zhao D D, Zhou H. Study on cropping structure adjustment under the background of rural–household differentiation from Rural Fixed Watch Points in 31 provinces of China[J]. Resources Science, 2018, 40(1): 64–73.]
- [38] Xiao D, Tao F L. Contributions of cultivars, management and climate change to winter wheat yield in the North China Plain in the past three decades[J]. European Journal of Agronomy, 2014, 52: 112–122.
- [39] Ren D D, Yang Y H, Hu Y K, et al. Evaluating the potentials of cropping adjustment for groundwater conservation and food production in the piedmont region of the North China Plain[J]. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 2021, 35(1): 117–128.
- [40] 崔宁波, 董晋. 主产区粮食生产安全: 地位、挑战与保障路径[J]. 农业经济问题, 2021, (7): 130–144. [Cui N B, Dong J. Grain production security in major grain-producing areas: Status, challenges and guarantee path[J]. Issues in Agricultural Economy, 2021, (7): 130–144.]
- [41] 陶雯, 张旭博, 孙志刚, 等. 华北引黄灌区粮食产量与农业土壤资源质量时空分布特征[J]. 自然资源学报, 2019, 34(4): 829–838. [Tao W, Zhang X B, Sun Z G, et al. Spatio-temporal patterns of the grain yield and quality of agricultural soil resources in the irrigated area of the Yellow River in the North China Plain[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(4): 829–838.]
- [42] 李晓欣, 马洪斌, 胡春胜, 等. 华北山前平原农田土壤硝态氮淋失与调控研究[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(5): 1109–1114. [Li X X, Ma H B, Hu C S, et al. Soil nitrate leaching and control methods in the piedmont of North China Plain[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2011, 19(5): 1109–1114.]
- [43] 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.]
- [44] 崔立鲁, 杜安, 张诚, 等. 基于重力卫星数据的华北平原地下水储量变化分析[J]. 成都大学学报(自然科学版), 2020, 39(2): 215–219. [Cui L L, Du A, Zhang C, et al. Analysis of groundwater storage change in North China Plain based on gravity satellite data[J]. Journal of Chengdu University (Natural Science Edition), 2020, 39(2): 215–219.]

Spatiotemporal patterns of wheat and maize production under the evolution of crop planting structures in the Huang-Huai-Hai dry farmland, China

REN Pinpin¹, LI Baoguo^{1,2,3}, HUANG Feng^{1,2,3}

(1. College of Land Science and Technology, China Agricultural University, Beijing 100193, China; 2. Key Laboratory of Arable Land Conservation in North China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China; 3. Key Laboratory of Agricultural Land Quality, Ministry of Natural Resources, Beijing 100193, China)

Abstract: Identifying the spatiotemporal characteristics of crop planting structure, as well as the spatiotemporal patterns of major crops production during the evolution of crop planting structure, is of great significance for the optimization of the spatial layout of crop production, and the promotion of sustainable agricultural development. Based on the data from agricultural statistical yearbooks, this study examined the spatiotemporal change characteristics of crop planting structure types in the Huang-Huai-Hai dry farmland during 2002-2018, and used the spatial autocorrelation analysis method and center of gravity model to explore the spatiotemporal patterns of the production of wheat and maize, two main crops in this region, and their changing trends during the evolution of crop planting structure. The results show that: (1) In the study period, the overall planting structure types of crops in the region changed from diversified to specialized, and the abundance of planting structure types generally showed a decreasing trend. The planting structure was dominated by wheat, maize, and their combinations, and the number of covered counties was increasing year by year. Of all counties, 43% experienced a significant increase in the proportion of wheat planting area in total crop planting areas, and the ratio was 81% for maize planting ($p < 0.05$). (2) Traditional agricultural production areas, including the western Hebei Plain and the northwestern Shandong Province, showed significant “high-high” agglomeration characteristics of wheat and maize average yields ($p < 0.05$), and average wheat yield in central and eastern Henan was also relatively high, but average yield of maize in the southern part of the study area was low, showing significantly “low-low” agglomerations. Although the production patterns of wheat and maize in the study area showed geographical differences, the production centers of wheat and maize in the past 20 years have been concentrated at the junction of Hebei, Shandong, and Henan provinces, indicating that in the evolution of crop planting structure, the regional production of wheat and maize had a certain temporal stability. (3) Under the guidance of the goal of “production decided by water” and sustainable use of groundwater, the proportion of wheat planting area in the Hebei Plain has decreased. After 2014, the number of wheat-maize type counties decreased, and the number of maize-wheat type counties increased. In 2018, there were no longer single wheat-type counties. The results of this study may provide data support and decision support for further optimizing crop planting structure at the regional scale in the Huang-Huai-Hai dry farmland.

Key words: crop planting structure; wheat and maize; spatial autocorrelation; gravity center of production; Huang-Huai-Hai dry farmland