

淮贺举,李奇峰,王小慧,等.全国县域复种指数时空变化特征研究[J].江苏农业科学,2021,49(22):76-84.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.22.013

# 全国县域复种指数时空变化特征研究

淮贺举<sup>1,2</sup>,李奇峰<sup>1</sup>,王小慧<sup>2</sup>,胡海棠<sup>1</sup>,李存军<sup>1</sup>

(1.北京农业信息技术研究中心,北京 100097;2.中国农业大学农学院,北京 100193)

**摘要:**复种指数是衡量耕地资源集约化利用程度的基础性指标,提高复种指数是粮食持续增产的重要途径之一。为分析全国复种指数变化特征、空间差异、重心迁移,系统收集耕地面积、农作物总播种面积等数据,基于 GIS 空间展示与分析,应用重心分析法、全局空间自相关、局部空间自相关等方法,研究全国复种指数时空变化特征。结果显示:(1)1998 年,全国复种指数最高,达到 165%,目前保持在 123% 左右。(2)从空间上看,复种指数呈现从北到南逐渐增加的趋势;从时间上看,复种指数大多数地区呈现“上升—降低—上升”的趋势。1995 年,复种指数在 201%~300% 之间的区域范围最大,之后 2005 年和 2015 年不断减少,同时有向西北方向移动的趋势。1985—2015 年,全国复种指数上升区域主要集中在东北、黄淮海、西南、四川盆地农作区,下降区域主要集中在北部低中高原、长江中下游(东南部)、江南丘陵、华南农作区。(3)1985—2005 年空间上的聚集态势增加,2005—2015 年降低。与 1985 年相比,2015 年全国复种指数重心向西南移动 33 km,其中复种指数 <100% 的重心向东南移动 433 km,复种指数 100%~200% 的重心向东北移动 104 km,复种指数 >200% 的重心向东北移动 319 km。我国复种指数存在空间上的自相关性,南方地区复种指数降低、重心向西南迁移,是我国复种指数变化的最重要特征。

**关键词:**复种指数;时空变化;县域;空间相关性;重心

**中图分类号:** S126;F326.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)22-0076-08

粮食安全是关系国民经济发展、社会稳定和国家自立的全局性重大战略问题。在国内外形势复杂变化的当下,保障粮食安全的战略地位十分重要。耕地面积、复种指数、单位面积产量是决定我国粮食产量的三大关键因素。随着城市化、工业化进程的加快,我国大量耕地被占用,非农化、非粮化问题日益严重。如何在保证耕地面积不减少、粮食单产逐步提高的基础上,提高复种指数,扩大农作物播种面积,是我国未来实现粮食持续增产的重要途径之一。

多熟种植是我国重要的农作制度之一,对于提高耕地生产能力和确保粮食安全具有重要作用<sup>[1]</sup>。复种指数是耕作制度研究中衡量耕地资源集约化利用程度的基础性指标,也是宏观评价耕地资源利

用基本状况的重要技术指标。复种指数分为潜在复种指数和实际复种指数<sup>[2]</sup>,潜在复种指数常利用农业气象法估算充分利用自然资源时能达到的最大复种指数,实际复种指数一般基于不同行政单元播种面积和耕地面积的统计数据计算。黄国勤分析了南方复种指数的演变与特点,并通过回归分析法研究了耕地复种指数与粮食总产的关系,提出了提高复种指数的途径与措施<sup>[3]</sup>。刘巽浩对不同区域的熟制和水热资源进行了实际调查,估算了全国耕地复种指数<sup>[4]</sup>。段红平分析了 1949—1998 年湖南省复种指数的历史变化,认为提高复种指数是必然趋势,并提出发展适合大面积种植、高效益的冬种作物等措施<sup>[5]</sup>。杨晓光等采用公认的农业气候指标计算方法,使用 ArcGIS 绘出了 1950—1980 年和 1981—2007 年 2 个时段全国种植制度北界图,认为一年一熟带、一年两熟带、一年三熟带都不同程度地向北移动<sup>[6]</sup>。张志国以市为单元计算了河南省复种指数和潜力复种指数,建立了河南省复种指数和粮食产量之间的函数关系,认为耕地复种指数和粮食产量显著相关,且复种指数是粮食产量变化的原因,但河南省再依靠提高复种指数来增加粮食产量的余地不大<sup>[7]</sup>。杨丹等基于空间数据分析

收稿日期:2020-12-31

基金项目:国家重点研发计划(编号:2016YFD0300201);北京市农林科学院青年科研基金(编号:QNJJ202126)。

作者简介:淮贺举(1983—),男,河北邢台人,博士,助理研究员,主要从事农业区域发展与农业信息化研究。E-mail:huaihj@nercita.org.cn。

通信作者:李存军,博士,研究员,主要从事农业数字生态研究。E-mail:licj@nercita.org.cn。

(ESDA)与 GIS 技术,探讨江西省县域尺度复种指数的空间格局和演变规律,认为江西省的耕地面积、粮食播种面积、耕地复种指数均呈现下降的态势,但局部空间集聚显著,有强烈的空间相关性<sup>[8]</sup>。何坚坚等运用区域差异度量模型、空间自相关模型对 2005—2014 年中原经济区复种指数的时空差异和驱动力进行研究,认为中原经济区复种指数整体呈现波动下降的趋势,自然环境因素对耕地复种指数及复种潜力指数均起着重要的作用<sup>[9]</sup>。

总体上看,基于省市统计数据进行全国和省区等尺度复种指数研究较多,县域单元尺度的全国性研究不足,利用重心模型、空间相关分析等指标进行时间维度变化的研究较少。本研究系统收集整理全国县域耕地面积、农作物播种面积等数据,分析我国复种指数时空变化特征,研究我国县域复种指数的空间差异特征,以期为我国粮食安全研究提供理论支撑。

## 1 资料与方法

### 1.1 数据来源

全国 1985—2017 年耕地面积,农作物、粮食作物、蔬菜播种面积数据来源于国家统计局。1985、1995、2005、2015 年不同县域的耕地面积、农作物播种面积数据来源于农业农村部发布的农业分县统计数据,并结合县级和省级农业统计数据进行了校正。县域行政区数字地图来源于国家基础地理信息中心,中国农作制分区图(图 1)根据《中国农作制》<sup>[10]</sup>绘制。

### 1.2 研究方法

1.2.1 复种指数 复种指数反映某一种植制度对耕地的利用程度,计算公式<sup>[4]</sup>如下:

$$MCI = \frac{AS}{AC} \times 100\%。$$

式中:MCI 为复种指数;AS 为农作物总播种面积,  $\text{hm}^2$ ;AC 为耕地总面积,  $\text{hm}^2$ 。

1.2.2 复种指数变化 复种指数变化程度(K)是指某一空间单元复种指数从*i*时期到*j*时期发生的变化。

$$K = MCI_j - MCI_i。$$

1.2.3 重心分析法 借鉴力学原理,引入区域重心的概念来确定区域复种指数重心点在不同年份移动的方向和距离,用来对复种指数动态演化过程进行分析。



I 东北平原山区半湿润温凉雨养一熟农林区  
II 黄淮海平原半湿润暖温灌溉集约农作区  
III 长江中下游及沿海平原丘陵湿润中熟水田集约农作区  
IV 江南丘陵山地湿润中熟水田二三熟农林区  
V 华南湿热双季稻与热作农林区  
VI 北部低中高原半干旱凉温旱作兼放牧区  
VII 西北干旱中温绿洲灌溉农作区兼荒漠放牧区  
VIII 四川盆地湿润中熟稻麦二熟集约农作区  
IX 西南中高原山地湿热旱二熟粗放农林区  
X 青藏高原干旱半干旱高寒牧区兼河谷一熟农林区

图1 中国农作制综合分区

$$x_j = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ij} \times x_i)}{\sum_{i=1}^n Q_{ij}};$$

$$y_j = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{ij} \times y_i)}{\sum_{i=1}^n Q_{ij}};$$

$$d_m = \sqrt{(x_{k+m} - x_k)^2 + (y_{k+m} - y_k)^2}。$$

式中, $x_j$ 和 $y_j$ 分别为复种指数重心的经度与纬度; $Q_{ij}$ 表示复种指数在第*i*个县域第*j*年的数据; $d_m$ 表示复种指数在不同年份间移动距离; $y_{k+m}$ 和 $y_k$ 分别表示复种指数在第*k+m*年和*k*年的纬度坐标; $x_{k+m}$ 和 $x_k$ 分别表示复种指数在第*k+m*年和*k*年的经度坐标。 $P(x_j, y_j)$ 代表了研究复种指数第*j*年重心的地理坐标。将上述公式在 Excel 中运算之后,将 $P(x_j, y_j)$ 在 ArcGIS 10.2 中进行空间显示。

1.2.4 全局空间自相关 全局自相关是复种指数间整体的相关性,主要指标有 Moran's I 指数、Geary's c 系数和 Getis - Ord G 指数,本研究采用 Moran's I 指数,计算公式为:

$$\text{Moran's I} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (y_i - Y) (y_j - Y)}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}};$$

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - Y)^2;$$

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i。$$

其中, $n$ 为样本量,即空间单元个数; $y_i, y_j$ 是空间单元*i*和*j*的复种指数; $W_{ij}$ 为二进制的邻接空间权值矩阵,即空间权重矩阵,用以度量空间单元间的依赖程度。在构造空间权重矩阵时,常用的是相邻原则中的 ROOK 标准,即有共同边界的原则。则有:

$$W_{ij} = f(x) = \begin{cases} 1, & \text{当地区 } i \text{ 和地区 } j \text{ 相邻} \\ 0, & \text{当地区 } i \text{ 和地区 } j \text{ 不相邻} \end{cases}$$

Moran's I 指数的取值范围是  $[-1, 1]$ , 取值大于 0 时表明空间存在正相关, 小于 0 时表明空间存在, 等于 0 时表明呈独立随机分布。

1.2.5 局部空间自相关 Moran's I 反映的是空间整体上的聚集或者是离散态势, 并不能反映局部单元的具体情况。而冷热点分析则解决了这一问题, 它反映的是局部空间的关联程度, 可以标识出变量的空间高值区和低值区, 其计算公式为:

$$G_i(d)^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (y_i - Y)(y_j - Y)}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}};$$

$$G_i(d)^2 = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij}(d) X_j}{\sum_{j=1}^n X_j}。$$

式中:  $X_j$  为基本空间单元  $j$  的复种指数,  $W_{ij}(d)$  是以空间距离  $d$  度量的权重。结果为正值的时候表明周围属于热点区域, 高值聚集; 结果为负值的时候表明周围为冷点区域, 低值聚集。

### 1.3 数据的统计分析和空间表达

基于 Excel 软件对基础数据进行处理, 采用

ArcGIS 10.0 软件进行空间分析与表达。

## 2 结果与分析

### 2.1 全国复种指数及农作物播种面积变化分析

1985 年以来, 除 1996 年统计方法进一步完善引起的耕地面积增长外, 我国耕地面积整体呈减少趋势(图 2)。农作物播种面积整体呈现波动性增长的趋势, 从 1985 年的  $14.36 \times 10^7 \text{ hm}^2$  持续增长到目前的  $16.63 \times 10^7 \text{ hm}^2$  左右。其中 1992—1994 和 2002—2004 年出现波动性下降。粮食作物播种面积自 1985—1998 年呈波动性增长趋势, 1999 年播种面积增加到  $11.38 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 到 2003 年仅有  $9.94 \times 10^7 \text{ hm}^2$ ; 之后在国家政策的支持下, 稳步增长到 2017 年的  $11.80 \times 10^7 \text{ hm}^2$ 。蔬菜面积呈整体直线上升的趋势, 从 1985 年的  $0.48 \times 10^7 \text{ hm}^2$  增加到 2017 年的  $2.00 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 在一定程度上支撑了农作物总播种面积的持续增长趋势。1985—1995 年, 我国复种指数呈现整体上升趋势; 1999 年由于耕地面积统计方法的变化, 复种指数急剧下降; 2000—2007 年略有下降; 2008 年明显提升; 之后 2008—2013 年略有提升; 2013 年至今比较平稳, 复种指数保持在 123% 左右。

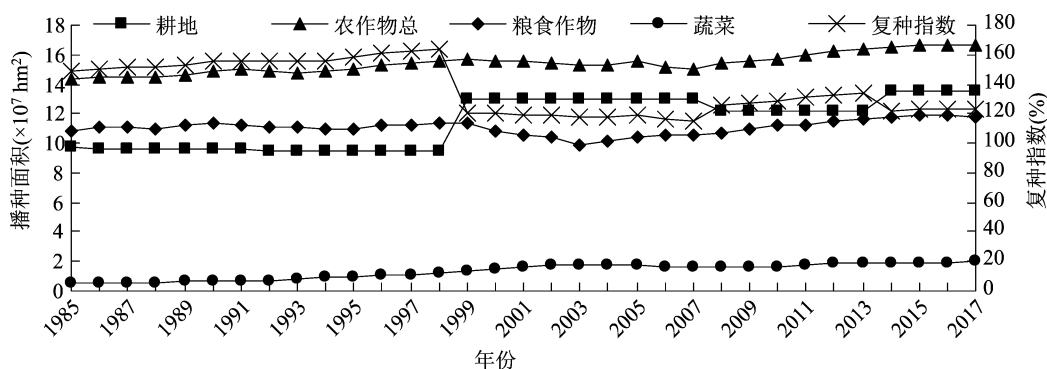


图2 1985—2017 年全国复种指数及作物播种面积

### 2.2 全国县域复种指数时空特征研究

我国复种指数从空间上看呈现从北到南逐渐增加的趋势, 从时间上看大多数地区呈现“上升—降低—上升”的趋势。1995 年, 复种指数在 201% ~ 300% 之间的区域范围最大, 之后 2005 年和 2015 年不断减少, 同时有向西北方向移动的趋势(图 3)。

1985 年, 复种指数  $\leq 100\%$  的有 389 个县域, 占全国的 18.12%, 主要分布在东北农作区兴安岭亚区、北部低高原农作区的内蒙古高原北部亚区、西北农作区、青藏高原农作区; 复种指数在 101% ~ 200% 的有 1 345 个县域, 主要分布在黄淮海、西南、

东北(南部)、江南丘陵农作区, 以及长江中下游、四川盆地农作区局部, 占全国的 62.65%; 复种指数在 201% ~ 300% 的有 394 个县域, 主要分布在长江中下游、华南(大部)、四川盆地(局部)农作区, 占 18.35%; 复种指数  $> 300\%$  的有 19 个县域, 呈零星点状分布。

1995 年, 复种指数  $\leq 100\%$  的有 359 个县域, 占全国 15.87%, 主要分布东北农作区的兴安岭亚区、北部低高原农作区的内蒙古高原北部亚区、西北农作区的河套河西亚区和北疆亚区、青藏高原农作区; 复种指数在 101% ~ 200% 的有 1 147 个县域, 主

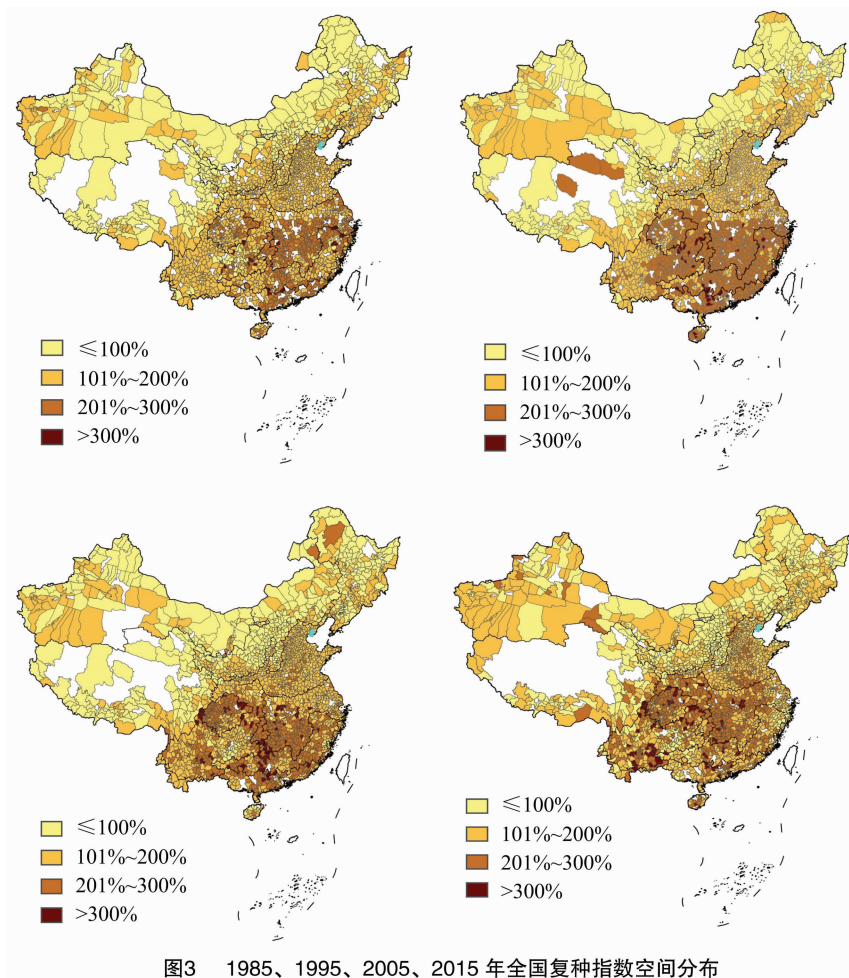


图3 1985、1995、2005、2015 年全国复种指数空间分布

要分布在黄淮海、西南(西部)、东北(南部)农作区,占 50.71%;复种指数在 201%~300% 的有 721 个县域,主要分布在长江中下游、江南丘陵、华南、四川盆地农作区,占 31.87%;复种指数 >300% 的有 35 个县域,呈零星点状分布。

2005 年,复种指数 ≤100% 的有 551 个县域,占 21.75%,主要分布东北农作区的兴安岭亚区、北部低中高原农作区、西北农作区的河套河西亚区和北疆亚区、青藏高原农作区;复种指数在 101%~200% 的有 1 307 个县域,主要分布在黄淮海、西南(西部)、东北(南部)、西南(大部)农作区以及长江中下游农作区北部,占 51.60%;复种指数在 201%~300% 的有 599 个县域,主要分布在长江中下游农作区的两湖平原亚区、江南丘陵、华南、四川盆地农作区,占 23.65%;复种指数 >300% 的有 76 个县域,呈零星点状分布。

2015 年,复种指数 ≤100% 的有 565 个县域,占 22.31%,主要分布东北农作区的兴安岭丘陵山地亚区、北部低中高原农作区大部、青藏高原农作区;复

种指数在 101%~200% 的有 1 248 个县域,主要分布在黄淮海、西南(南部)、东北(南部)、西南(大部)、长江中下游(北部)、江南丘陵、华南(局部)农作区,占 49.29%;复种指数在 201%~300% 的 636 个县域,主要分布在长江中下游、江南丘陵(北部)、四川盆地农作区,占 25.12%;复种指数 >300% 的有 83 个县域,呈零星点状分布(表 1)。

## 2.2 全国县域复种指数变化研究

1985—1995 年,全国复种指数整体呈现上升趋势,其中复种指数变化在 1%~20% 的县域有 867 个,仅占全国的 41.36%,复种指数变化 >20% 的县域有 691 个,仅占全国的 32.97%。复种指数降低的县域主要分布在北部低中高原、西北、青藏高原农作区,以及长江中下游农作区东部的局部地区,其中复种指数变化 ≤-20% 的县域有 123 个,仅占全国的 5.84%;复种指数变化在 -21%~0% 之间的县域有 415 个,仅占全国的 19.80%。

1995—2005 年,复种指数上升的区域主要分布在东北、黄淮海、西南(南部)农作区,复种指数降低

表 1 1985—2015 年我国不同时期复种指数的统计特征值

年份	县域总数 (个)	复种指数(%)			不同复种指数县域数量(个)			
		平均值	中值	标准差	≤100%	101% ~ 200%	201% ~ 300%	> 300%
1985	2 147	153	152	53	389	1 345	394	19
1995	2 262	171	170	62	359	1 147	721	35
2005	2 533	161	152	67	551	1 307	599	76
2015	2 532	162	157	70	565	1 248	636	83

的县域主要分布在长江中下游、江南丘陵、华南、青藏高原农作区,其中复种指数变化集中于 1% ~ 20% 的县域有 542 个,仅占全国的 24.22%;复种指数变化 > 20% 的县域有 456 个,仅占全国的 20.38%;复种指数变化 ≤ -20% 的县域有 728 个,仅占全国的 32.53%;复种指数变化在 -21% ~ 0 之间的县域有 812 个,占全国的 36.28%。

2005—2015 年,全国复种指数变化空间差异较大,整体上升区域主要集中在东北、黄淮海、长江中下游(北部)农作区,整体下降区域主要集中在长江中下游(南部)、江南丘陵、华南农作区。其中复种指数变化在 1% ~ 20% 的县域有 478 个,仅占全国的 20.71%;复种指数变化 > 20% 的县域有 657 个,仅占全国的 28.47%;复种指数变化 ≤ -20% 的县域有 709 个,仅占全国的 30.72%;复种指数变化在 -21% ~ 0 之间的县域有 464 个,占全国的 20.10%。

1985—2015 年,全国复种指数上升区域主要集中在东北、黄淮海、西南、四川盆地农作区,整体下降区域主要集中在北部低中高原、长江中下游(东南部)、江南丘陵、华南农作区。其中复种指数变化在 1% ~ 20% 的县域有 381 个,仅占全国的 18.05%;复种指数变化 > 20% 的县域有 782 个,仅占全国的 37.04%;复种指数变化 ≤ -20% 的县域有 617 个,仅占全国的 29.23%,复种指数变化在 -21% ~ 0 之间的县域有 331 个,占全国的 15.68% (图 4、表 2)。

2.3 全国县域复种指数空间差异分析

2.3.1 总体空间差异 由表 3 可见,1985、1995、2005、2015 年的全局 Moran's I 分别为 0.356 3、0.484 0、0.601 2、0.544 1,在 4 个年份数据中 Z 值 > 2.58,且都为正值,P 值皆小于 0.01,表示此数据并不是随机生成的,在 99.9% 的置信度情况下成显著正相关,说明我国复种指数存在空间上的自相关性。4 个年份中 1985 年复种指数与空间的相关性最小;1985—2005 年的空间相关性呈现增长趋

势,表明我国县域的复种指数在空间上的聚集态势增加;2005—2015 年相关性降低;与 1985 年相比,2005 年的空间相关性达到最大值,表明复种指数在空间上的聚集态势达到 1985—2005 年近 20 年来的最高状态。

2.3.2 局部空间差异 为了更加直观地表示我国复种指数在局部空间的聚集和扩散状态,对 1985、1995、2005、2015 年 4 个时期全国县域复种指数的冷热点进行分析,生成全国地级尺度的冷热点空间分布图(图 5),热点区域表示复种指数高值区域聚集,冷点区域表示复种指数低值区域聚集。

由图 5 可见,1985 年我国复种指数的热点区主要分布在长江中下游(南部)、江南丘陵(中部)、华南农作区,冷点地区分布在东北、北部低中高原、西北、青藏高原农作区。1995 年我国复种指数的热点区域进一步扩大,江南丘陵、华南、西南(东部)农作区均有不同程度增加,呈现出明显的空间聚集态势。2005 年,冷热点聚集程度和分布均有所下降,其中热点区域增加了四川盆地农作区,减少了沿海地区农作区;冷点区域中东北、西北、青藏高原农作区空间聚集程度有所降低。2015 年复种指数的空间聚集程度进一步降低,热点区域向西移动,主要分布在长江中下游(西部)、西南(东部、南部)、四川盆地农作区,江南丘陵(中部)、华南农作区不再是热点区域;冷点地区分布在东北、北部低中高原、西北(东部)农作区,西北(西部)、青藏高原农作区不再是冷点区域。

2.4 全国复种指数重心迁移

我国复种指数重心 1985 年位于湖北省樊城区,1995 年向南移动至南漳县中部,2005 年向北移动至南漳县北部,2015 年继续北上移动至谷城县;2015 年与 1985 年相比,重心向西南移动 33 km。复种指数 ≤ 100% 的重心在 1985 年位于内蒙古鄂托克旗,1995 年北移至杭锦旗,2005 年向东南移动至内蒙古南部与山西北部交界神木县最北部,2015 年继续向东



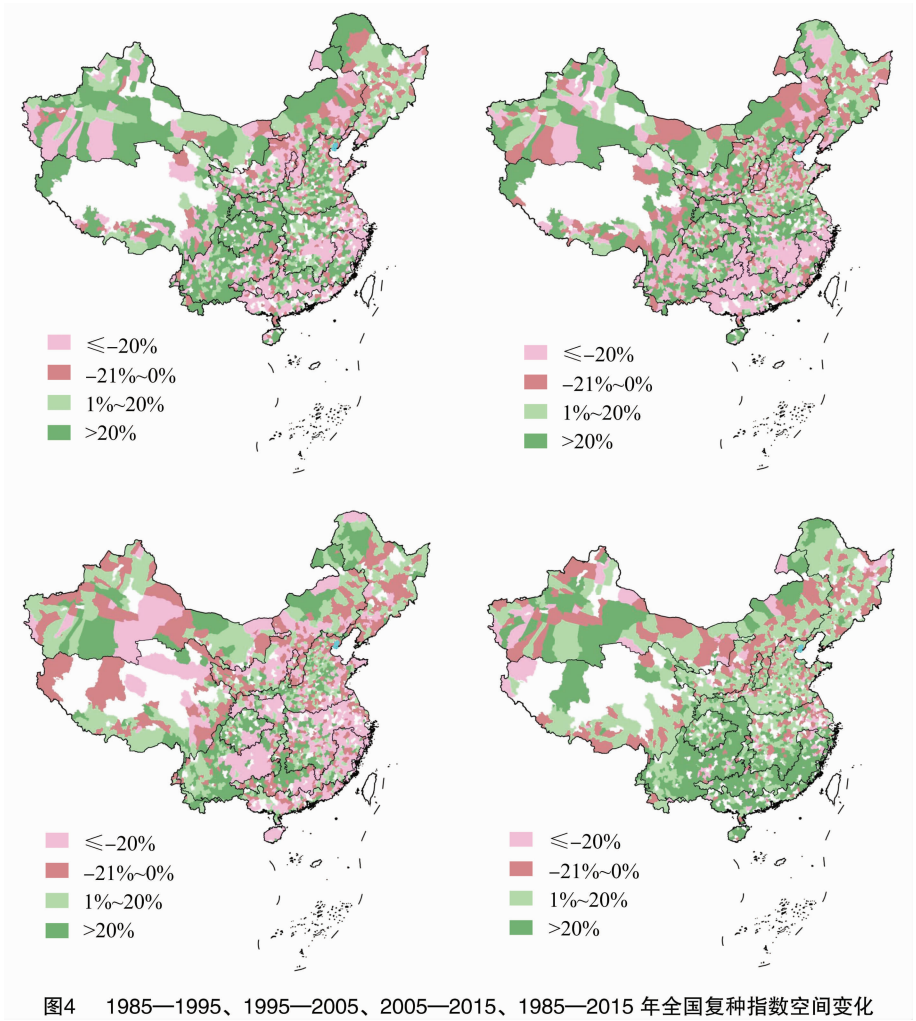


图4 1985—1995、1995—2005、2005—2015、1985—2015 年全国复种指数空间变化

表 2 1985—2015 年我国不同时期复种指数变化的统计特征值

年份	县域总数 (个)	复种指数变化(%)			不同复种指数县域数量(个)			
		平均值	中值	标准差	≤ -20%	-21% ~ 0	1% ~ 20%	> 20%
1985—1995	2 096	16	9	38	123	415	867	691
1995—2005	2 238	-10	-3	49	728	812	542	456
2005—2015	2 308	-0.1	0	58	709	464	478	657
1985—2015	2 111	8	4	63	617	331	381	782

表 3 1985—2015 年我国复种指数的 P 值和 Z 值

年份	Moran's I	P 值	E(I)	Z 值
1985	0.356 3	0	0.000 122	32.26
1995	0.484 0	0	0.000 122	43.81
2005	0.601 2	0	0.000 122	54.41
2015	0.544 1	0	0.000 122	49.25

南移动至陕西省祈府区;2015 年与 1985 年相比,重心向东南移动 433 km。复种指数 101% ~ 200% 的重心在 1985 年位于湖北省与河南省交界的丹江口,1995 年北移至河南省洛宁县,2005 向东南移动至南

召县,2015 年在南召县内又稍微向西移动;2015 年与 1985 年相比,重心向东北移动 104 km。复种指数 >200% 重心在 1985 年位于湖南最东部的浏阳市,1995 年向西南移动至湘乡市,2005 年向西北移动至新化县,2015 年继续向西北移动至湖南北部的慈利县;2015 年与 1985 年相比,重心向东北移动 319 km。

3 讨论与结论

复种是在 1 块地上 1 年内种收 1 季以上作物的

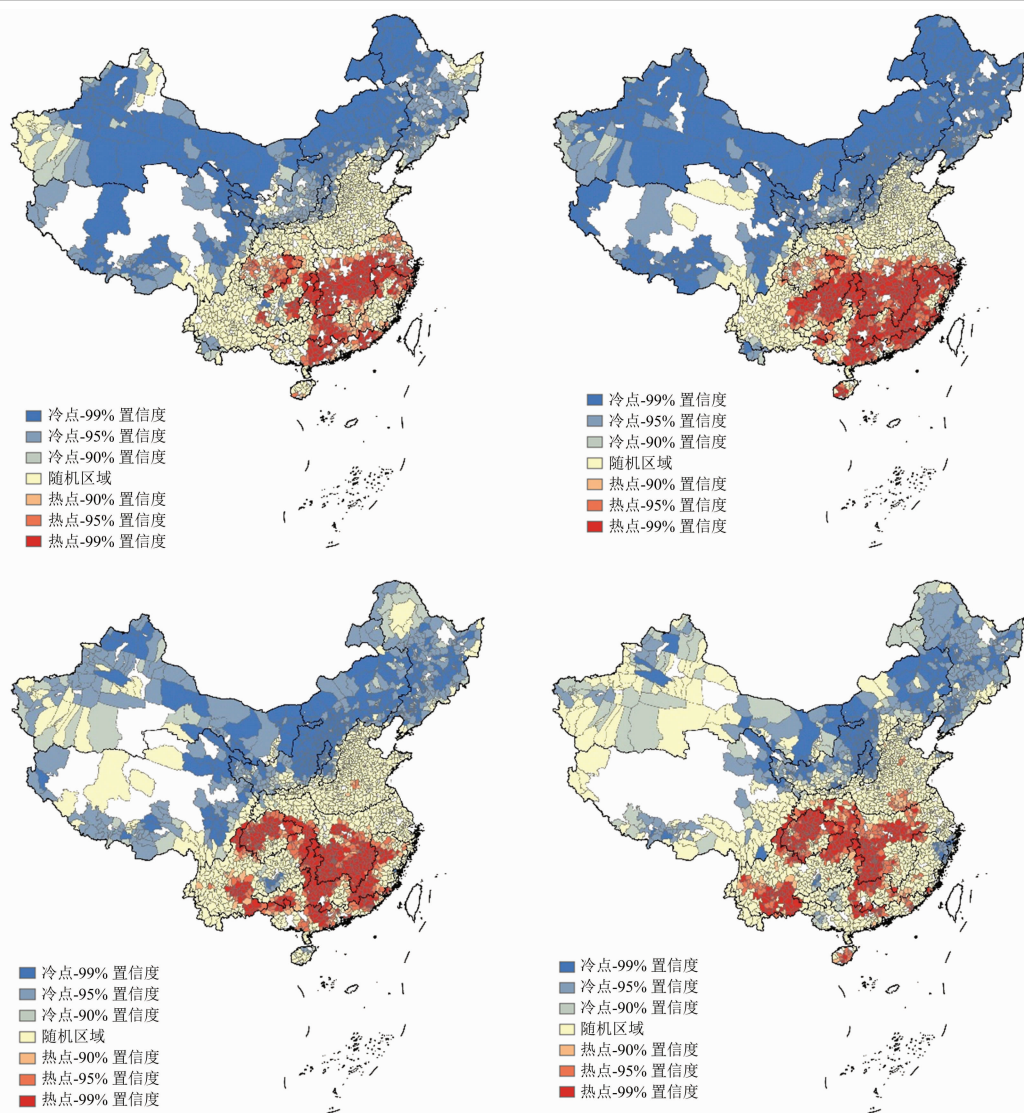


图5 1985—2015 我国复种指数冷热点空间分布

种植方式。复种指数作为农作制中衡量耕地集约化利用程度的重要指标,既是农学学科的研究范畴,也是地理学科的研究范畴,具有多学科交叉的特点<sup>[2]</sup>。基于行政单元统计数据的复种指数研究方法具有数据容易获取、计算方便等优势,在国家、区域、省等不同尺度范围得到了广泛应用。近年来,随着对地观测技术的快速发展,利用遥感技术监测从生长到成熟、衰落整个作物周期的活动过程<sup>[11-18]</sup>受到越来越多的研究人员关注,复种指数监测精度达到了地块尺度,可以更好地反映复种指数的真实情况。鉴于统计单元内部的空间异质性,统计方法不能准确描述种植制度的空间特征,在数据获取上也存在一定的滞后性<sup>[19]</sup>,加上遥感技术在监测精度、工作量等方面的不足,笔者认为融合遥感监测技术与统计方法,进一步提高复种指数监测的

精准性、及时性是未来发展的重点。

本研究基于县域统计数据对实际复种指数的时空特征进行了分析,认为从时间上大多数地区呈现“上升—降低—上升”的趋势,这与李卓等对黄淮海地区耕地复种指数的研究结论<sup>[20]</sup>一致。研究认为1995年我国复种指数在201%~300%的区域范围最大,之后2005年和2015年不断减少,这与蒋敏等研究的趋势<sup>[7-8,21]</sup>一致。

本研究结果表明,我国复种指数在空间上存在较强的自相关性,具有空间上聚集的特征,热点从东南部向西南部转移,冷点在北方地区范围缩减,同时复种指数重心发生变化,这可能与我国气候变暖而导致的种植制度北界北移<sup>[6]</sup>相关,也可能与当地的社会经济条件、农业生产条件、农业种植结构等有关,需要进一步研究以明确。



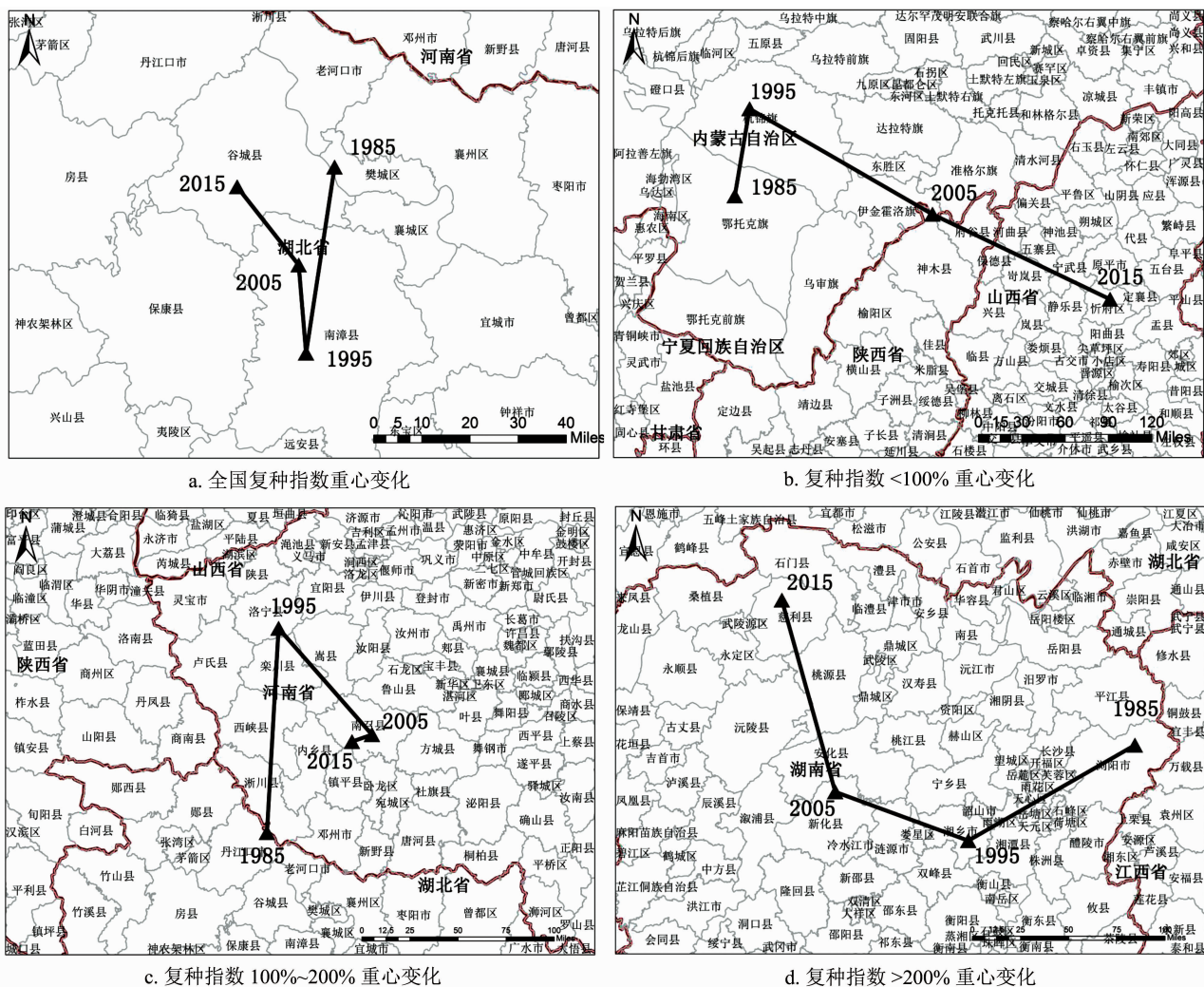


图6 1985—2015 我国复种指数重心变化

## 参考文献:

- [1] 黄国勤, 孙丹平. 中国多熟种植的发展现状与研究进展[J]. 中国农学通报, 2017, 33(3): 35-43.
- [2] 吴文斌, 余强毅, 陆苗, 等. 耕地复种指数研究的关键科学问题[J]. 中国农业科学, 2018, 51(9): 1681-1694.
- [3] 黄国勤. 论提高我国南方耕地复种指数[J]. 自然资源, 1995, 17(1): 30-37.
- [4] 刘巽浩. 论我国耕地种植指数(复种)的潜力[J]. 作物杂志, 1997(3): 1-3.
- [5] 段红平. 湖南省耕作制度 50 年(1949—1998 年)演变分析[J]. 耕作与栽培, 2001(3): 1-4.
- [6] 杨晓光, 刘志娟, 陈卓. 全球气候变暖对中国种植制度可能影响 I. 气候变暖对中国种植制度北界和粮食产量可能影响的分析[J]. 中国农业科学, 2010, 43(2): 329-336.
- [7] 张志国. 河南省复种指数的时空特征及其与粮食产量关系研究[J]. 湖北农业科学, 2011, 50(17): 3653-3656.
- [8] 杨丹, 叶长盛. 基于县域单元的江西省复种指数时空格局分析[J]. 农业现代化研究, 2013, 34(6): 722-727.
- [9] 何坚坚, 庞博, 张鹏岩, 等. 区域耕地复种指数时空差异测算及可挖掘潜力分析——以中原经济区为例[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(16): 249-255.
- [10] 刘巽浩, 陈卓. 中国农作制[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005.
- [11] Panigrahy S, Manjunath K R, Ray S S. Deriving cropping system performance indices using remote sensing data and GIS[J]. International Journal of Remote Sensing, 2005, 26(12): 2595-2606.
- [12] Frolking S, Yeluripati J B, Douglas E. New district-level maps of rice cropping in India: A foundation for scientific input into policy assessment[J]. Field Crop Research, 2006, 98(2): 164-177.
- [13] Sakamoto T, van Nguyen N, Ohno H, et al. Spatio-temporal distribution of rice phenology and cropping systems in the Mekong Delta with special reference to the seasonal water flow of the Mekong and Bassac rivers[J]. Remote Sensing of Environment, 2006, 100(1): 1-16.
- [14] 彭代亮, 黄敬峰, 金辉民. 基于 MODIS-NDVI 的浙江省耕地复种指数监测[J]. 中国农业科学, 2006, 39(7): 1352-1357.
- [15] Canisius F, Turrall H, Molden D. Fourier analysis of historical NOAA time series data to estimate bimodal agriculture[J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(24): 5503-5522.



杨红燕,沈会权,胡哲,等. 黄淮海地区大豆品种蛋白质、油脂含量和百粒质量的表型分析及籽粒蛋白质含量的改良[J]. 江苏农业科学, 2021,49(22):84-87.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.22.014

# 黄淮海地区大豆品种蛋白质、油脂含量和百粒质量的表型分析及籽粒蛋白质含量的改良

杨红燕<sup>1</sup>,沈会权<sup>1</sup>,胡哲<sup>2</sup>,栾海业<sup>1</sup>,乔海龙<sup>1</sup>,臧慧<sup>1</sup>,徐肖<sup>1</sup>,张英虎<sup>1</sup>

(1. 江苏沿海地区农业科学研究所,江苏盐城 224002; 2. 江苏省盐城市盐都区农业技术推广中心,江苏盐城 224002)

**摘要:**为保持黄淮海地区大豆高蛋白特色,对黄淮海区域选育的 78 份大豆品种进行蛋白质、油脂含量和百粒质量的表型分析,利用高蛋白大豆品系与黄淮海育成品种配置杂交组合,研究后代蛋白质含量表型变异。研究结果表明:黄淮海大豆育成品种蛋白质、油脂含量、百粒质量的平均值分别为 42.3%、20.8%、21.8 g,表型变异分别为 37.5%~46.7%、17.8%~23.5%、14.7~28.1 g,江苏省和山东省的大豆育成品种蛋白质含量和百粒质量较高,河南省的大豆育成品种油脂含量较高;在黄淮海育成品种中蛋白质含量与油脂含量和百粒质量的相关系数分别为 -0.70、0.66,百粒质量和油脂含量的相关系数为 -0.39;利用高蛋白大豆种质与育成品种配置的 4 个杂交组合后代中筛选出 253 个高蛋白家系,高蛋白家系在  $F_{2:3}$  和  $F_{3:4}$  代间的相关系数为 0.64。研究表明,黄淮海高蛋白大豆品种缺乏,利用高蛋白种质能选育出高蛋白家系,大豆籽粒蛋白质性状在早代选择有效。

**关键词:**大豆;品质;黄淮海地区;高蛋白品系;蛋白质;油脂;百粒质量

**中图分类号:** S565.103 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2021)22-0084-04

大豆原产于我国,是我国重要的粮食作物之一,也是我国最大的进口作物,近年来国产大豆占比不到 20%。随着我国大豆振兴计划的提出,国产大豆面积和总产量均有所提高。在大豆振兴计划中,提高大豆蛋白质含量和油脂含量是大豆提质的主要目标。黄淮海地区是我国大豆生产仅次于东北的第二大主产区,该地区大豆蛋白质含量相对较

高,在我国大豆生产中占有非常重要的地位<sup>[1]</sup>。

成雪峰分析 1974—2006 年黄淮海地区大豆品种主要农艺性状演变特征,发现该地区大豆品种百粒质量逐步提高,蛋白质含量先增加后降低,油脂含量逐步增加<sup>[2]</sup>。何鑫等分析了 2006—2017 年国家黄淮海夏大豆参试品种的产量、农艺性状、品质等性状,发现百粒质量整体呈上升趋势,粗蛋白含量整体略有上升,粗脂肪含量呈下降趋势,参试品种中达到高蛋白和高脂肪标准的品种(系)分别有 20、82 个,指出选育出的高蛋白及高脂肪品种较少,提高大豆品质难度很大,高蛋白及高脂肪品种仍然短缺<sup>[3]</sup>。

利用种间杂交创制高蛋白大豆中间材料是提高大豆品种蛋白质含量行之有效的育种途径<sup>[4]</sup>,前期利用标记辅助选择技术,选育出高蛋白大豆新种

收稿日期:2021-02-23

基金项目:国家自然科学基金(编号:31701452);江苏省六大人才高峰项目(编号:NY-174);江苏现代农业产业技术体系建设项目[编号:JATS(2020)207]。

作者简介:杨红燕(1983—),女,山东淄博人,博士,助理研究员,主要从事大豆和麦类遗传育种研究。E-mail: yhy8373@163.com。

通信作者:张英虎,博士,副研究员,主要从事大豆和麦类遗传育种研究。E-mail: zyhnjau008@163.com。

[16]唐鹏钦,姚艳敏,吴文斌,等. 基于遥感技术的耕地复种指数研究进展[J]. 中国农业资源与区划,2010,31(2):21-27.

[17]杨婷,赵文利,王哲怡,等. 基于遥感影像 NDVI 数据的中国种植制度分布变化[J]. 中国农业科学,2015,48(10):1915-1925.

[18]Yan H, Xiao X, Huang H, et al. Multiple cropping intensity in China derived from agro-meteorological observation and MODIS data[J]. Chinese Geographical Science, 2014, 24(2):205-219.

[19]闫慧敏,曹明奎,刘纪远,等. 基于多时相遥感信息的中国农业种植制度空间格局研究[J]. 农业工程学报,2005,21(4):85-90.

[20]李卓,刘淑亮,孙然好,等. 黄淮海地区耕地复种指数的时空格局演变[J]. 生态学报,2018,38(12):4454-4460.

[21]蒋敏,李秀彬,辛良杰,等. 南方水稻复种指数变化对国家粮食产能的影响及其政策启示[J]. 地理学报,2019,74(1):32-43.