

# 河北省粮食单产区域差异特征演变格局及动因分析

张路路<sup>1</sup>, 张悦国<sup>2</sup>, 刘瑞卿<sup>1</sup>, 许 皞<sup>1</sup>, 陈亚恒<sup>1</sup>

(1. 河北农业大学 国土资源学院, 河北 保定 071001; 2. 河北省易县水务局, 河北 保定 074200)

**摘 要:**基于统计数据,利用泰尔指数、空间自相关模型、灰色关联对河北省近 20 a 粮食单产的区域差异特征、动态演变格局及动因进行探索。采用泰尔指数、空间自相关模型和灰色关联法进行分析。分析结果表明:(1)区域单产总体差异和不同耕作区间差异呈现逐渐缩小趋势,不同耕作区内差异则出现分异。(2)区域粮食单产整体呈空间集聚下降趋势;局部空间自相关来看,粮食生产核心区集聚度出现分异。(3)灰色动态关联分析表明,农业方面投入变化是单产格局变化的主要动因,农产品价格的影响不断扩大。ESDA 方法可以很好地揭示区域粮食单产地域格局时空变换特征,有效测度区域粮食生产空间集聚和异常,为该区域进行粮食生产宏观布局与优化提供科学依据。

**关键词:**粮食单产; 区域差异; 泰尔指数; 空间自相关; 河北省

中图分类号:F307.11

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)02-0192-06

## Spatial Disparity and Dynamic Evolution of Grain Yield Per Unit Area and Its Driving Factors in Hebei Province

ZHANG Lu-lu<sup>1</sup>, ZHANG Yue-guo<sup>2</sup>, LIU Rui-qing<sup>1</sup>, XU Hao<sup>1</sup>, CHEN Ya-heng<sup>1</sup>

(1. College of land Resource, Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China;

2. Yixian Water Authority, Baoding, Hebei 074200, China)

**Abstract:** The purpose of this study is to investigate the regional disparity and dynamic evolution patterns of grain yield per unit area and its driving factor using the Theil index, spatial autocorrelation and grey relation based on statistical data during last twenty years. The results indicate that: (1) The overall and interregional disparity of different cultivation areas tend to be lower, while the differentiations exist in different intraregional of cultivation areas. The intraregional disparity of the plain region of the east Taihang and Yanshan Mountains, the geomorphologic low region of Jinjiluyu and the plateau region of Tangshan reduced gradually, while the Liaojiximeng and southeast of North Mountain Area show the increasing process. The internal disparity contribution ratio to the overall disparity decreased; (2) The tendency of spatial concentration was declining during the study. From local spatial cluster, the aggregation of core production area appear to be different. The area Shijiazhuang city as the central, keep the pace of grain production, but Tangshan and Qinhuangdao city, appeared to be one-performer recently; (3) Grey relation analysis shows that the main agent for grain yield per hectare situation is the change of agricultural input, then agricultural products price and natural disaster. Machinery dynamic, the amount of unit aera using land and rural per-capita net income affect grain yield per hectare relatively less. It is concluded that the method of ESDA could reveal the regional disparity and dynamic evolution patterns of grain yield per unit area effectively, detecting gather and abnormality of regional grain production. It could provide scientific basis for macroscopic distribution and optimization on regional grain production.

**Key words:** grain yield per unit area; regional disparity; Theil index; spatial autocorrelation; Hebei Province

粮食安全是国家安全的基石。随着中国人口的增加、社会经济的发展、耕地面积的减少,粮食安全已

成为一个紧迫的问题<sup>[1]</sup>。粮食产量波动与粮食安全问题密切相关<sup>[2-3]</sup>。自 1984 年发生“卖粮难”以来,我

国粮食经济陷入了“短缺”与“过剩”的循环波动之中,粮食产量波动成为政府和公众关心的焦点问题之一<sup>[4]</sup>。粮食产量是众多因素共同作用的结果<sup>[5]</sup>。近些年来,一些学者通过对我国的粮食产量进行的研究表明,几十年来驱动我国粮食产量变化的直接推动力是单产,其次才是播种面积<sup>[6]</sup>。粮食单产水平及其波动状况直接影响粮食产量及其稳定性,粮食单产地域格局变化对区域粮食供需平衡与流通有重要影响,单产变化及其波动的区域差异已经引起我国许多学者的关注<sup>[7-9]</sup>。这些研究大多是基于国家或省级尺度的研究,较好地揭示了粮食单产宏观格局的变化规律,但缺乏省域内的研究,且囿于统计分析和 GIS 的空间表达,难以反映区域内部粮食生产的异质性。而基于 GIS 平台的探索性空间数据分析 ESDA (Exploratory Spatial Data Analysis) 方法通过对事物或现象空间分布格局的描述与可视化,可以发现空间集聚和空间异常,解释研究对象之间的空间相互作用机制,为区域差异提供了一种有效的全新的度量路径。已有学者利用此技术研究区域经济<sup>[10]</sup>、建设用地动态演变<sup>[11]</sup>,但用于粮食生产地域格局方面的研究还鲜见报道。

本研究以河北省 136 个县为研究基本单元,基于泰尔系数指数模型与 ESDA 空间分析技术,分析河北省不同生态类型区的粮食单产的区域差异,重点探讨 1987—2006 年省域范围内县级层次粮食单产的空间格局变化特征与规律,以期从宏观上为区域粮食安全,科学划定河北省粮食生产重点区提供决策依据。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区概况

河北省地跨 36°03′—42°40′N, 113°27′—119°50′E 之间,总面积为 18.88 万 km<sup>2</sup>。该区域平均气温自南向北,自东向西逐渐降低。地形地貌类型多样,平原分布在东南方,山地呈半环状耸于西北部,高原镶嵌在西北边缘,由海陆节节上升。河北省拥有良好的农业基础和农业区位优势,是《全国新增 500 亿公斤粮食生产能力规划(2009—2020 年)》中确定的重点区域之一。河北省的粮食生产状况对保障区域粮食供应与经济良性发展发挥的重要作用日益增强。

本文的县域单元包括县、县级市(不包含地级市的市区),研究的数据来源于《河北省统计年鉴》(1986—2006 年)。河北省目前有 136 个县市(按经济统计年鉴)。根据国土资源部颁发的《农用地分等定级规程》“全国耕作制度分区”中,涉及到河北省辖区的有 2 个国家一级区,4 个国家二级区:黄淮海区:Ⅱ 1 燕

山太行山山前平原区;Ⅱ 2 冀鲁豫低洼平原区;内蒙古高原及长城沿线区:Ⅴ 1 辽吉西蒙东南冀北山地、Ⅴ 2 后山坝上高原区。

### 1.2 泰尔系数模型

研究区域差异的定量化指标很多<sup>[13-15]</sup>,如极差、标准差、变异系数和泰尔(Theil)系数等,其中泰尔指数和变异系数应用较为普遍。泰尔指数(Theil)的意义在于可将区域总体差异分解成不同空间尺度的区内差异(TWR)和区间差异(TBR),便于比较它们对区域整体差异的影响和贡献。

按照国家二级区的划分,对泰尔指数进行阶分解,就可以将河北省总体差异分解 4 个国家二级区区间的差异和 4 个国家二级区内各縣市之间的差异,其计算公式为<sup>[15]</sup>:

$$T = \sum_{i=1}^N Y_i \lg \frac{Y_i}{P_i} \quad (1)$$

$$T = T_{BR} + T_{WR} \\ = \sum_{i=1}^4 y_i \lg \frac{y_i}{p_i} + \sum_{i=1}^4 y_i \left[ y_{ij} \lg \frac{y_{ij}}{p_{ij}} \right] \quad (2)$$

式中: $N$ ——县市数; $Y_i$ —— $i$ 地区的粮食产量占河北省的份额; $P_i$ —— $i$ 县市的播种面积占河北省的份额; $T$ ——泰尔指数; $T_{WR}$ ——区内差异; $T_{BR}$ ——区间差异; $y_i$ —— $i$ 区播种面积占河北省的总播种面积的比重; $p_i$ —— $i$ 区粮食产量占河北省的比重; $y_{ij}$ —— $i$ 区第  $j$  个县市占  $i$  区的播种面积; $p_{ij}$ —— $i$  区第  $j$  个县市的粮食产量占  $i$  区的粮食产量比重。

$$C_v = \frac{1}{y} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

式中: $C_v$ ——变异系数; $\bar{y}$ ——河北省的平均粮食单产; $y_i$ —— $i$ 县市的粮食单产; $n$ ——县市个数。

### 1.3 ESDA 方法

ESDA 方法是一系列空间分析方法和技术的集合<sup>[16]</sup>,为事物或现象的空间相关性测度提供了有效工具。根据研究目的的不同,可分为全局空间自相关和局部空间自相关。

(1) 全局自相关。全局空间自相关反映了观测变量在整个研究区域内空间相关性的总体趋势, Moran's I 指数是空间自相关分析中普遍采用的一种方法。由于粮食单产是一个比率,在分析比率变量的空间自相关时,比率所固有的方差不稳定性违背了方差稳定性的基本假设,尤其当区域的基数值存在极大差异时,方差不稳定性更为显著,从而导致 Moran's I 统计得出虚假的推论<sup>[17]</sup>。为了避免比率所固有的方差不稳定性,本文采用经验贝叶斯方法修正的全局空间自相关指数 EBI。EBI 统计量的定义<sup>[10]</sup>如下:

$$EBI = \frac{m \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} R_i R_j}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m w_{ij} (R_i - \bar{R})^2} \quad (4)$$

式中:  $W_{ij}$ ——空间权重,  $R_i = \frac{P_i - b}{\sqrt{v_i}}$ ;  $P_i$ ——估计比率;  $v_i$  用来估计  $P_i$  的边缘方差;  $b$  用来估计  $P_i$  的边缘期望。EBI 统计量取值介于 -1 和 1 之间, 其绝对值越趋近于 1, 表示粮食单产的空间相关性越显著, EBI 为 0, 表示粮食单产随机分布。其假设检验一般采用得分检验方式, 即  $Z = \frac{EBI - E(EBI)}{\sqrt{Var(EBI)}}$ , 当  $|Z| > 1.96$  时, 拒绝  $H_0$ 。假设 ( $p < 0.05$ ), 可以认定存在空间相关性。本研究基于 Rook's 邻接标准构建河北省 136 个县市的权重矩阵, 当县市  $i$  和县市  $j$  至少有一条边相邻接时,  $W_{ij}$  为 1, 反之为 0。所有计算通过 Luc Anselin 教授开发的 GeoDa0.9.5-i 软件实现。

(2) 局部自相关。空间自相关的局部指标 LISA 可以进一步度量区域  $i$  与周边地区的空间关联程度, 其中 Moran's I 的分解形式<sup>[17]</sup>。基于上文同样的原因, 运用经验贝叶斯方法对 Moran's I 指数修正得到局部空间自相关指数, 该统计量的定义<sup>[11]</sup>如下:

$$EBI_i = (R_i \sqrt{v_i}) \sum_{j=1}^m w_{ij} (R_j \sqrt{v_j}) \quad (5)$$

式子(5)参数定义同式(4)。EBI<sub>i</sub> 为正, 表示该区域单元周围相似性(高值或者低值)的空间聚集, EBI<sub>i</sub> 为负, 表示该区域单元周围非相似值(高低值或者低高值)的空间集聚。  $Z_i = \frac{EBI_i - E(EBI_i)}{\sqrt{Var(EBI_i)}}$ ,  $Z_i$  为正, 即 EBI<sub>i</sub> 于  $E(EBI_i)$ , 说明该区域单元的值相对较高,  $Z_i$  为负, 即 EBI<sub>i</sub> 小于  $E(EBI_i)$ , 说明该区域单元的值相对较低。

## 2 区域差异分析

### 2.1 区间、区内差异呈现缩小趋势

采用泰尔指数和变异系数两种差异测度方法所得的河北省粮食单产总差异变化趋势基本一致。即在 1987—2006 年粮食单产总差异呈现逐渐缩小趋势, 大致分为两个阶段: 1987—1999 年的波动趋势和 2000—2006 年总差异缓慢下降阶段。

### 2.2 总体差异呈现逐渐缩小趋势

河北省粮食单产的整体差异由 II 1 燕山太行山前平原区、II 2 冀鲁豫低洼平原区、VI 1 辽吉西蒙东南冀北山地区、VI 2 坝上高原区这四个国家二级区之间的差异以及各二级区内部的差异构成。由图 2 可知, 4 个地区之间的差异以及区内差异均与总体差异

的变动一致, 均经历了逐渐缩小的过程。从对总差异的贡献率来看各区有所不同: 横向来看, VI 1 区对全省整体差异的贡献最大, 历年平均贡献水平达到 20%, II 2 区次之, II 1 区和 VI 2 区对全区整体差异的贡献最低, 平均贡献水平低于 10%; 纵向来看, II 1 区、II 2 区和 VI 2 区的内部差异经历了缩小的趋势, VI 1 区的内部差异则呈现增长的势头, 由 12.37% 增加到 22.9%, 共同导致区内差异对总体差异的贡献由 50.08% 下降到 48.44%。区内差异源自最初农业基础条件的差异, 但各地区的农业发展轨迹改变了原有的基础差异, 形成了目前的粮食单产空间格局。VI 1 区涵盖河北省 8 个市, 农业发展也各有差异, 处于冀东地区和冀中地区的县市利用其经济上的优势, 积极改善第一产业发展, 冀北地区则由于经济相对薄弱, 发展经济的同时农业提高并没有相应跟进。综合来看, 区间差异、冀鲁豫低洼平原区、辽吉西蒙东南冀北山地区内部差异“三足鼎立”, 是河北省整体差异的主要贡献者, 在未来粮食生产中, 应注意 VI 1、VI 2 区内差异的控制管理以确保河北省粮食生产安全。

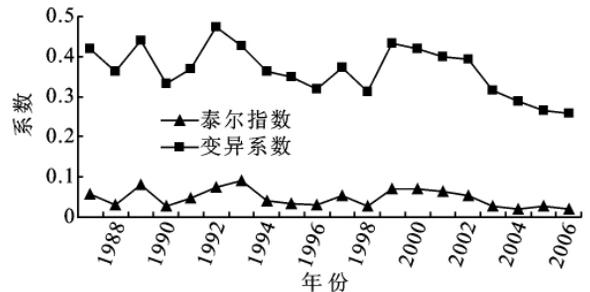


图 1 河北省粮食单产差异变化

表 1 河北省粮食单产的 EBI 估计值

年份	EBI	Z	年份	EBI	Z
1987	0.6243	11.3154	1997	0.6786	2.2704
1988	0.5723	10.4450	1998	0.5651	10.5823
1989	0.734	13.9361	1999	0.7156	12.8648
1990	0.5999	10.7677	2000	0.7663	13.9657
1991	0.5571	10.7116	2001	0.5963	1.0180
1992	0.4707	8.8701	2002	0.6600	11.5467
1993	0.5805	12.6703	2003	0.6545	11.1431
1994	0.5192	10.0688	2004	0.4108	7.2228
1995	0.4206	8.1836	2005	0.5204	9.2434
1996	0.5267	9.7286	2006	0.5248	8.9146

## 3 河北省粮食单产空间演变特征

### 3.1 空间格局的总体特征

表 1 列出了河北省 1987—2006 年粮食单产的 EBI 估算值, 在  $p < 0.05$  的显著性水平下, 其检验统计量  $z$  均仅有两年未通过  $z$  值检验 ( $Z$  的临界值为 1.96), 其余均通过检验, 且相关性显著。所有的 EBI

值为正,且有不断减小的趋势。对比泰尔系数的变化,二者所反应的变化基本上吻合。对于全局自相关不显著的年份,并不能由此推断其局部自相关也不显著,为了全面分析河北省粮食单产的局部空间演化特征,还需要进一步分析。

### 3.2 空间分布格局的局部特征

进一步考察河北省各县粮食单产在空间上的相互关联类型,根据县域与其相邻县域的关系,即依据计算公式中  $Z_i$  和利用  $EBI_i$  及标准化  $Z_i$  值可以判断县市  $i$  与周边区域的关联类型:①若  $EBI_i > 0$  且  $Z_i > 0$ ,则为 H-H 关联类型,即区域自身和周边区域的

观测值均较高,二者的空间差异程度较小,其中通过显著性检验的区域为高值集聚中心;②若  $EBI_i > 0$  且  $Z_i < 0$ ,则为 L-L 关联类型,即区域自身和周边区域的观测值均较低,二者的空间差异程度较小,其中通过显著性检验的区域为低值集聚中心;③若  $EBI_i < 0$  且  $Z_i > 0$ ,则为 H-L 关联类型,即区域自身观测值较高而周边区域较低,二者的空间差异程度较大,其中通过显著性检验的区域为高值孤立点;④若  $EBI_i < 0$  且  $Z_i < 0$ ,则为低-高关联类型,即区域自身观测值较低而周边区域较高,二者的空间差异程度较大,其中通过显著性检验的区域为低值孤立点。

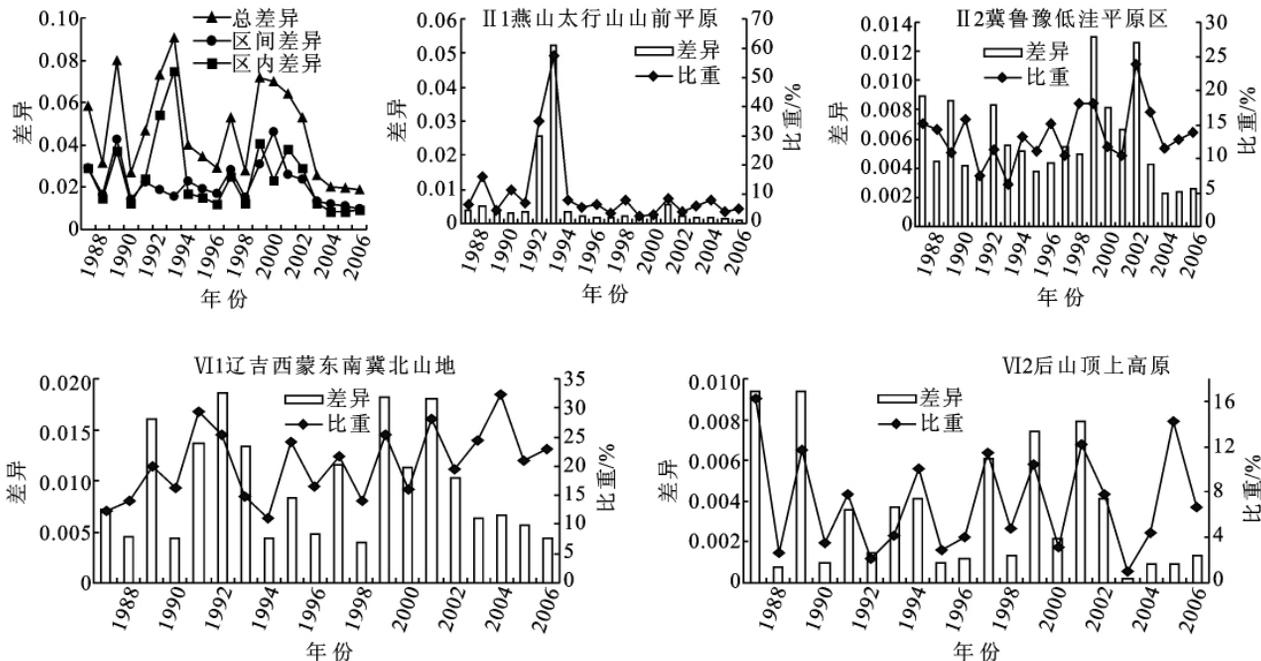
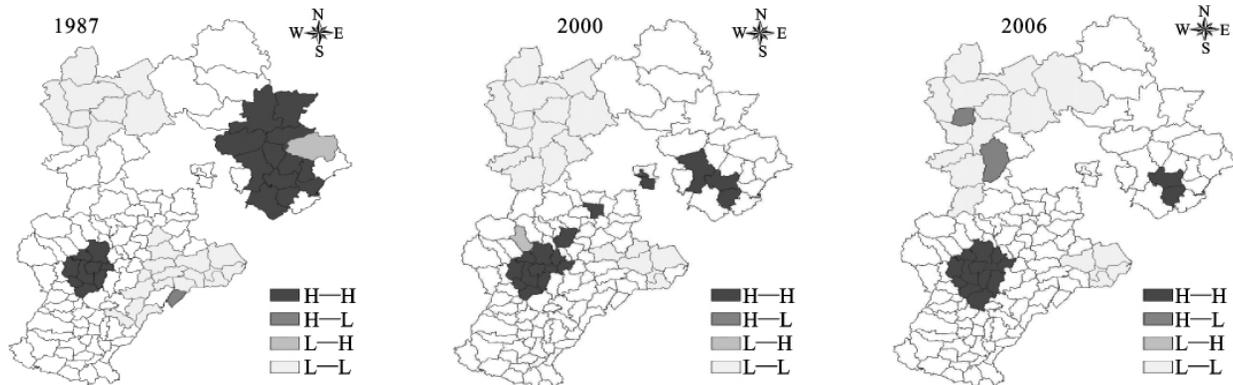


图 2 河北省粮食单产差异演化及分解



H-H 高高关联型区;H-L 高低关联类型区;L-H 低高关联类型区;L-L 低低关联型区

图 3 河北省粮食单产的空间动态演变(LISA 聚集图)

为挖掘出粮食单产空间格局变化的可视化聚集信息,在  $Z$  检验(5%)的基础上绘制出了 LISA 聚集图(图 3)。由图 3 可以看出:(1)空间差异较小、区域自身和区域周边粮食单产均显著较高(H-H)的县市个数由 1987 年的 25 个减少到 2006 年的 16 个,燕

山太行山山前平原区和辽吉西蒙东南冀北山地区的粮食高产中心出现分异。以石家庄市为中心基本保持不变,并辐射到周围的几个县市,成为粮食生产的“热点区域”,该区粮食生产集约化、集中化特征日益明显,始终保持着“齐头并进”发展粮食生产的大好局

面,而以唐山市、秦皇岛为粮食高产中心的地区,处于燕山太行山山前平原区和辽吉西蒙东南冀北山地区交界处,近些年则出现了一枝独秀的局面,仅有滦南、滦县保持着较高发展水平,但对周边的辐射作用未体现;(2)空间差异较小、区域自身和区域周边粮食单产均显著较低(显著 L-L)的县市个数由 24 个减少到了 14 个,主要表现在以冀鲁豫低洼平原区的衡水、沧州市一带,随着农业投入水平的提高,大力改造盐碱地,逐步摆脱了单产水平低的局面;(3)在研究期间,位于坝上高原的张家口地区始终是粮食单产的低值中心,但从其周边有 H-L 型的县市来看,其有单产提高的趋势,这是因为怀来、涿鹿盆地虽然处于坝上高原区但农业生产条件好,有粮食提高的潜力。燕山太行山山前平原区和的邢台、邯郸两市和坝上高原区的承德粮食单产空间分布格局没有明显的变化。

#### 4 粮食单产空间格局变化的原因分析

自然资源、社会资源、自然灾害、农田土壤及粮食作物是影响粮食单产的 5 大要素<sup>[8]</sup>。农产品价格变动对粮食单产格局变化的影响也不容忽视<sup>[9]</sup>。依据粮食单产变化影响因素的重要程度,选择 10 个具体指标进行灰色关联分析: $X_1$  代表有效灌溉面积保证率(%), $X_2$  代表单位面积农药施用量(万 kg/hm<sup>2</sup>), $X_3$  代表单位面积劳动力投入(万人/hm<sup>2</sup>), $X_4$  代表粮

食收购价格指数、 $X_5$  代表农业生产资料价格指数、 $X_6$  代表农作物成灾面积比例(%), $X_7$  代表单位面积农业机械总动力(万 kW/hm<sup>2</sup>), $X_8$  代表单位面积化肥使用量(折纯万 t/hm<sup>2</sup>), $X_9$  代表单位面积农村用电量(万 kW·h/hm<sup>2</sup>), $X_{10}$  代表农民人均纯收入(万元)。根据灰色建模理论<sup>[19]</sup>,建立河北省各县市粮食单产变化量与上述各因素指标变化量的灰色系统模型,根据粮食单产波动规律,将研究期划分为 3 个阶段,计算其动态关联度,结果如表 2。

##### 4.1 农业投入变化和农作物灾害是影响粮食单产格局变化最为主要的因素

突出反映在灌溉率、单位面积农药施用量和单位面积劳动力投入对粮食单产的影响。从 1987—2006 年动态关联分析结果看,有效灌溉面积保证率、单位面积农药施用量和单位面积劳动力投入与粮食单产的关联度分别为 0.856 3,0.782 0 和 0.781 0,在对粮食单产的贡献率在 10 个因素中分别位居第 1、第 2 和第 3 位,这 3 个因素是影响粮食单产变化的主要因素。但是,这 3 个因素对粮食单产的影响呈现逐渐减弱的态势,尤其是单位面积劳动力人数与粮食单产的关联度序由 1987—1993 年的第 1 位降至 1994—1999 年的第 5 位,又降至新世纪以来的第 8 位。而单位面积化肥施用量对粮食单产贡献不断增大,并逐渐成为影响粮食单产变化的主要因素之一。

表 2 1987—2006 年河北省粮食单产空间格局变化的灰色关联分析

年份	项目	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$
1987—1993	关联度	0.5121	0.6710	0.7471	0.5393	0.5243	0.5907	0.7233	0.4614	0.5187	0.2958
	关联序	7	3	1	5	6	4	2	9	8	10
1994—1999	关联度	0.8209	0.7142	0.5847	0.4077	0.5272	0.6627	0.4285	0.6376	0.4053	0.2729
	关联序	1	2	5	8	6	3	7	4	9	10
2000—2006	关联度	0.6859	0.6283	0.4394	0.5230	0.5923	0.5424	0.4641	0.6485	0.1535	0.3839
	关联序	1	3	8	6	4	5	7	2	10	9
1987—2006	关联度	0.8563	0.7820	0.7810	0.7420	0.7070	0.5900	0.581	0.5790	0.520	0.3600
	关联序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

##### 4.2 农产品价格变动对粮食单产格局变化的影响不断加大

作为全国重要的商品粮食生产基地之一,粮食收购价格始终对河北省粮食单产波动有很大影响,主要体现在农业生产资料价格指数和粮食收购价格指数的影响。反映在灰色关联分析结果中,农业生产资料价格指数与粮食单产的关联度呈现上升趋势,由 1987—1993 年的 0.524 3 提高到 0.527 2,新世纪又提高至 0.597 3,在对粮食单产的贡献率由第 6 位上升至第 4 位。粮食收购价格与粮食单产指数关联度有些波动,近年来随着粮食价格的持续走低,极大地影响了农民种粮的积极性,粮食收购价格指数在 10

个因素中的排序由第 8 位上升到第 4 位。

##### 4.3 自然灾害对粮食单产变化的影响不容忽视

从灰色关联分析结果看,受灾面积比例与粮食单产的关联度 1987—1993 年的 0.590 7 提升至 1994—1999 年的 0.662 7,21 世纪初又降至 0.542 4。在 10 个因素中的排序也由第 4 位上升到第 3 位又下降到第 5 位。

##### 4.4 机械总动力、单位面积用电量和农民人均纯收入对粮食单产影响相对较小

除单位面积机械总动力在第一阶段处于关联序的第 2 位外,这 3 个因素在整个研究期间与粮食单产的关联度较低,在 10 个因素中的排序也处于第 7、9、

10位。单位面积机械总动力与粮食单产的关联度不高,这个结果是出乎意料的。本文推测的可能原因是:一方面,由于河北省农业机械化发展快,导致农机利用效率低,管理粗放;另一方面,一家一户的分散经营方式显然不能适应现代农业的发展方向,特别是山区,土地块小且多为不平的山坡地,坡度较大,与机械化的大面积作业不相匹配,直接影响了农机使用效率。这一点还需要进一步调查研究来验证。

## 5 结论

基于GIS平台的探索性空间数据分析ESDA可以很好地揭示粮食单产的地域格局时空变换特征,有效地测度区域粮食生产空间集聚和异常。本文以我国的农业大省同时也是保障京津冀都市圈的粮食供应及安全的河北省为例,应用泰尔指数、变差系数和经验贝叶斯方法修正的空间自相关指数,探讨了1987—2006年河北省县域粮食单产的区域差异特征和空间格局演化特征,并利用灰色关联分析,研究粮食单产格局变化的主要动因。得到如下结论:

(1)河北省的粮食单产总体上呈现不断上升趋势,但是县市间的差异明显,大部分县市的粮食单产高于平均水平,粮食单产高值区主要位于石家庄市、唐山以及秦皇岛的部分县市。

(2)粮食单产的总体差异和不同耕作区的区间差异呈现波动性缩小趋势,耕作区内差异则出现分歧。燕山太行山山前平原区、冀鲁豫低洼区和后山坝上高原区的内部总体差异在研究期内经历了先波动后缩小的过程,辽吉西蒙东南冀北山地的内部差异经历了波动性增长的过程,共同导致区域内差异对总体差异的贡献下降。

(3)研究期间,河北省的粮食单产整体上趋于空间集聚下降状态。局部空间自相关来看,以石家庄市为中心基本保持不变,成为粮食生产的热点区域,始终保持着齐头并进发展粮食生产的大好局面。而以唐山市、秦皇岛为中心的地区,近些年则出现一枝独秀的局面,衡水市、沧州市一带,逐步摆脱了单产水平低的局面。张家口地区始终是粮食单产的低值中心,但从其周边有H-L型的县市来看,其有单产提高的趋势。在冀南地区的邢台、邯郸两个县市粮食单产空间分布格局没有明显的变化。

(4)灰色动态关联分析表明:农业方面投入变化是粮食单产格局变化的主要动因,农产品价格的影响

不断扩大,自然灾害影响不容忽视,机械总动力、单位面积用地量和农民人均纯收入对粮食单产影响相对较小。

### 参考文献:

- [1] 杨萍果,毛任钊,赵建林,等.区域粮食综合生产能力及粮食安全分析:以河北省石家庄市为例[J].农业工程学报,2006,22(增刊2):279-282.
- [2] 蒋乃华,李岳云.论中国粮食生产的稳定性[J].农村经济问题,1998(5):2-7.
- [3] 李国祥,陈劲松.粮食减产与粮食安全[J].中国农村经济,2001(1):4-10.
- [4] 李新旺,王树涛,门明新,等.基于EMD的河北省粮食产量波动及其成因的时空多尺度分析[J].自然资源学报,2009,24(11):1994-2003.
- [5] 卢布,陈印军,吴凯,等.我国中长期粮食单产潜力的分析预测[J].中国农业资源与区划,2005,26(2):1-5.
- [6] 林毅夫.我国主要粮食作物单产潜力与增产前景[J].中国农业资源与区划,1995(3):4-7.
- [7] 党安荣,阎守邕,王世新.GIS在中国粮食单产空间变化研究中的应用[J].地理科学,1999,19(3):205-210.
- [8] 程叶青.东北地区粮食单产空间格局变化及其动因分析[J].自然资源学报,2009,24(9):1541-1549.
- [9] 钟甫宁,邢鹂.粮食单产波动的地区性差异及对策研究[J].中国农业资源与区划,2004,25(3):16-19.
- [10] 仇方道,朱传耿,佟连军,等.淮海经济区县域经济差异变动的空间分析[J].地理科学,2009,29(1):56-63.
- [11] 中国建设用地扩展的空间动态演变格局:基于EBI和EBI<sub>i</sub>的研究[J].中国土地科学,2008年,22(1):23-31.
- [12] 许月卿,李秀彬.河北省粮食生产灰色关联动态分析[J].地理研究,2002,21(3):339-346.
- [13] 魏后凯.当前区域经济研究的理论前沿[J].开发研究,1998(6):34-38.
- [14] 宋德勇.改革以来中国经济发展的地区差异状况[J].数量经济技术经济研究,1998(3):15-18.
- [15] 赵建新.论区域经济差距的衡量指标与测度方法[J].经济地理,1998,18(3):63-67.
- [16] 鲁凤,徐建华.基于二阶段嵌套锡尔系数分解方法的中国区域经济差异研究[J].地理科学,2005,25(4):401-407.
- [17] Anselin L. Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook[EB/OL]. <http://sal.uiuc.edu>,2005:148.
- [18] Anselin L. Local indicators of spatial association-LISA[J]. Geographical Analysis,1995,27(2):93-115.
- [19] 王学萌,聂宏声,李晋陵,等.灰色系统模型在农村经济中的应用[M].武汉:华中理工大学出版社,1989.