

# 中国粮食产量变化的时空格局与影响因素

陈秧分, 李先德\*

(中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081)

**摘要:** 基于1990—2011年分省面板数据, 应用均值、标准差与区位基尼系数揭示了中国粮食产量的阶段特征与主导类型, 进而利用空间面板计量经济模型探讨了中国粮食产量变化的影响因素。结果表明: 中国粮食产量变化可分为3个阶段, 主要年份各粮食主导类型包含的省份存在较大差异; 土地投入的影响由强转弱, 劳动力依次表现为正显著、不显著与负显著, 不同类型的资本投入存在迥异的影响效应; 粮食产量同时受到农业结构调整、非农产业发展等宏观背景以及空间随机误差溢出效应的影响; 不同主导类型的粮食产量变化机制存在差异, 体现要素边际报酬递减、规模效应、政府调控等内在规律与外在因素的综合作用。该文揭示了全国及各主导类型的粮食产量波动原因及其作用规律, 有助于确定各区域粮食增产的主要制约因素与提升途径, 该研究为中央制定差别化的粮食生产支持政策提供参考。

**关键词:** 粮食, 模型, 农业, 经济, 空间面板计量经济模型, 产量, 影响因素, 中国

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.20.001

中图分类号: F326

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2013)-20-0001-10

陈秧分, 李先德. 中国粮食产量变化的时空格局与影响因素[J]. 农业工程学报, 2013, 29(20): 1-10.

Chen Yangfen, Li Xiande. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of grain yield change in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(20): 1-10. (in Chinese with English abstract)

## 0 引言

粮食是关系国计民生的重要战略产品。以“谁来养活中国”为代表的国际舆论曾激发中国政府与学术界的广泛争辩<sup>[1-2]</sup>。在利用国际市场调剂余缺空间有限的客观背景下, 保障粮食基本自给成为确保国家粮食安全的现实选择, 也确实成为近年粮食政策的基本方针。国家粮食安全中长期规划纲要(2008—2020年)等规划文件均提到保障95%的粮食自给率。然而, 尽管政府日益重视稳定并持续提高粮食生产与市场供应能力, 中国粮食产量的年际波动仍较为剧烈, 区域变化同样较为明显<sup>[3-4]</sup>。

大量研究关注了中国粮食生产格局<sup>[3,5]</sup>、粮食产量变化原因<sup>[4,6]</sup>、粮食生产能力<sup>[7-8]</sup>等相关领域。如从大区和省区层面研究了全国粮食生产的区域格

局变化, 并从人地关系、非农就业与劳动报酬视角探究了变化原因<sup>[4-5]</sup>; 指出中国粮食生产与耕地变化呈现北进中移态势<sup>[3]</sup>, 发现粮食主产区地位明显上升、主销区地位显著下降<sup>[9]</sup>, 粮食产量存在明显波动性与显著周期性<sup>[10]</sup>。相关成果支撑了国家战略决策, 但结论并不一致, 如有研究发现中国北方和中部地区已成为粮食生产新的增长中心<sup>[11]</sup>, 也有研究发现粮食产量重心沿“东北-西南-东北”轨迹移动<sup>[3]</sup>; 有研究证实了化肥投入对于粮食产量的正向作用<sup>[5,12]</sup>, 也有学者发现近期化肥施用量的增产效果不再显著<sup>[13]</sup>。究其原因, 一是多数研究采用一期截面或几期面板数据, 二是研究区域面向全国、省域、县域等不同尺度, 划分7大粮食生产大区、4大经济区等不同区域类型, 回归分析结果存在一定的随机性和偶然性。

从空间层面看, 受资源禀赋、发展阶段等多种因素影响, 各省市粮食生产的比较优势存在显著差异, 形成了粮食主产区、产销平衡区、主销区等3种主导类型, 并日益成为中央制定差别化粮食支持政策的主要依据, 体现在全国主体功能区划、全国新增500亿kg粮食生产能力规划(2009—2020年)等重要战略规划中。从时序特征看, 粮食产量与上年市场行情、当年政策支持等因素显著相关, 彰显不同阶段的粮食产量变化机制可能存在差异。本文引入空间计量经济学模型, 区

收稿日期: 2013-05-13 修订日期: 2013-09-22

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41101165); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项(0052013024)。

作者简介: 陈秧分(1983—), 男, 湖南湘乡人, 博士, 助理研究员。主要从事农户生计、农产品贸易、农地管理与农业政策研究。北京 中国农业科学院农业经济与发展研究所, 100081。

Email: chenyangfen@caas.cn

\*通信作者: 李先德(1964—), 男, 湖北监利人, 博士, 研究员, 博士生导师。主要从事中国农业发展、农业政策、项目监测评价研究。北京 中国农业科学院农业经济与发展研究所, 100081。

Email: lixiande@caas.cn

分粮食产量变化的不同阶段以及粮食主产区、产销平衡区与主销区等 3 种主导类型, 从省域尺度分析 1990 年以来中国粮食产量的时空演化及其影响因素, 以期为因地制宜出台粮食生产支持政策提供科学依据。

## 1 研究区域与数据来源

### 1.1 研究区域

考虑数据可获得性与样本代表性, 本文研究全国除港澳台以外的省级区域。重庆市于 1997 年成为直辖市, 由于缺乏之前年份的部分数据, 将其并入四川省, 并记为川渝, 最终样本共包括 30 个省、自治区与直辖市(简称为省份或省域)。各年份粮食主产区、产销平衡区与主销区包含的省份存在一定差异, 在分区域建模以分析成因机制时, 为了避免分别针对不同年份不同主导类型建立模型而可能导致的模型过于复杂问题, 同时考虑到现有的各种粮食主导类型均有其相对一致的成因机制, 且基于最新年份的研究结论更具政策意义, 因此, 本文选用 2011 年测算结果作为依据。

### 1.2 数据来源

本文研究时段为 1990—2011 年, 数据来源于《新中国 60 年统计资料汇编》、《中国统计年鉴》、《中国农村统计年鉴》以及各省统计年鉴。需要说明的是: 1) 人均粮食产量中总人口为常住人口, 反映人口流动及其对该省粮食供求关系的影响; 2) 由于第二次土地调查数据尚未正式公布, 2009—2011 年部分省份的耕地面积数据或空缺或为 2008 年面积, 采取该省 2005—2008 年耕地平均变化率来推测 2009—2011 年耕地面积; 3) 农业劳动力人均受教育年限选用农村居民家庭劳动力文化状况, 并按各类文化程度对应的受教育年限进行加权求和; 4) 个别指标缺乏个别省份的少数年份数据(如化肥施用量仅缺乏海南 2011 年数据), 如为 2010 年及之前年份, 采用前后 2 a 的平均值, 如为 2011 年, 则用 2008—2010 年该指标平均变化率进行推测。

## 2 研究方法

### 2.1 均值、标准差与区位基尼系数

均值与标准差常用来衡量样本的集中与分散程度, 本文用于划分粮食主导类型。根据主产区定义<sup>[14]</sup>, 主导类型主要取决于区内粮食供求关系。其中, 粮食供给主要取决于粮食产量, 粮食需求分为口粮、饲料用粮、种子用粮和工业用粮。由于缺乏公开出版的历年各省市的口粮、饲料用粮、种子用

粮和工业用粮数据, 且各省市统计年鉴中的“城镇居民家庭平均每人全年购买的主要商品数量”未考虑居民在外用餐数量, 《新中国 60 年统计资料汇编》、各省市统计年鉴等资料缺乏广东等省份多数年份的城乡常住人口数据, 难以根据城乡人口结构以及城镇居民、农村居民人均消费数量来准确推算历年各省份的口粮数据。因此, 基于人均粮食产量来判定各省的粮食盈余状况, 如显著大于均值, 则归为主产区; 显著低于均值, 则归为主销区; 否则为产销平衡区。计算公式如下

$$\bar{X}_t = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_{tk} \quad (1)$$

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{k=1}^n (X_{tk} - \bar{X}_t)^2} \quad (2)$$

式中,  $n$  为省份数量;  $X_{tk}$  为  $t$  年  $k$  省人均粮食产量, kg/人;  $\bar{X}_t$ 、 $\sigma_t$  分别为  $t$  年各省人均粮食产量的均值与标准差, kg/人。

各粮食主导类型的划分标准如下

$$k_t = \begin{cases} \text{粮食主产区} & \text{当 } X_{tk} \in \left[ \bar{X}_t + \frac{1}{3}\sigma_t, +\infty \right) \\ \text{产销平衡区} & \text{当 } X_{tk} \in \left[ \bar{X}_t - \frac{1}{3}\sigma_t, \bar{X}_t + \frac{1}{3}\sigma_t \right) \\ \text{粮食主销区} & \text{当 } X_{tk} \in \left[ -\infty, \bar{X}_t - \frac{1}{3}\sigma_t \right) \end{cases} \quad (3)$$

进一步采用区位基尼系数衡量粮食产量的地理集聚程度<sup>[15]</sup>, 取值范围为 0~1, 值越大, 分布越为集中。

### 2.2 空间相关性检验

农业自然条件的区内相似性与区间差异性以及农业生产要素与农产品市场的跨区域流动性, 表明农业领域存在较强的空间关联<sup>[4,16]</sup>。为了保证结果的有效性和稳健性, 采取相对成熟的 Moran 指数 (Moran's  $I$ )、拉格朗日误差检验 (LMerr)、拉格朗日滞后检验 (LMsar)、LR 似然比 (Lratios)、Wald 值 (Wald) 等 5 个统计量来进行空间相关性检验, 并以此作为判断粮食产量变化规律与采用空间面板计量经济模型的重要依据。这 5 个统计量均针对单个截面回归模型, 采用分块对角矩阵  $C = I_T \otimes W$  来替代原有空间权重矩阵, 将  $T$  维单位时间矩阵  $I_T$  纳入空间矩阵  $W$ , 以应用于面板数据分析<sup>[17]</sup>。

### 2.3 空间面板计量经济模型

粮食产量变化是多种因素共同作用的结果, 既有研究均从自然条件、要素投入、经济发展等方面设置解释变量<sup>[6,13]</sup>。理论上, 粮食是农产品的一种, 遵循生产理论, 即粮食产出水平依赖于要素投入规

模与配置效率；从实际情况看，粮食因为比较效益低下而导致部分地方政府、农民等相关主体具有较低的生产积极性，同时也因为其战略地位而受到中央政府等相关主体的大力干预，其准公共产品属性决定了粮食产量变化还需考虑宏观背景的重要影响。因此，在借鉴既有研究的基础上，从生产要素投入即土地、劳动力、资本三方面设置控制变量，同时考虑宏观背景对粮食生产意愿的可能影响，模型变量说明见表 1。

农业生产存在显著的空间关联性，普通最小二乘法将是有偏的<sup>[16-17]</sup>。因此，结合空间相关性分析结果，选用空间滞后模型（spatial lag model, SLM）和空间误差模型（spatial error model, SEM）来分析粮食产量变化原因。前者考察粮食变量在某一区域是否存在显著的空间溢出效应，本地粮食产量既是当地相关因素的作用结果，同时也受到邻近地区粮食产量的影响；后者考虑气候、种

植传统等存在空间相关性的变量对农业产出的影响，并通过引入误差项的形式加以考虑，表达式分别如下

$$Y_{tk} = \alpha_0 + \alpha_1 X_{1tk} + \alpha_2 X_{2tk} + \alpha_3 X_{3tk} + \alpha_4 X_{4tk} + \alpha_5 X_{5tk} + \alpha_6 X_{6tk} + \alpha_7 X_{7tk} + \alpha_8 X_{8tk} + \alpha_9 X_{9tk} + \alpha_{10} X_{10tk} + \alpha_{11} X_{11tk} + \rho WY_{tk} + \varepsilon_{tk} \quad (4)$$

$$Y_{tk} = \alpha_0 + \alpha_1 X_{1tk} + \alpha_2 X_{2tk} + \alpha_3 X_{3tk} + \alpha_4 X_{4tk} + \alpha_5 X_{5tk} + \alpha_6 X_{6tk} + \alpha_7 X_{7tk} + \alpha_8 X_{8tk} + \alpha_9 X_{9tk} + \alpha_{10} X_{10tk} + \alpha_{11} X_{11tk} + \lambda W\mu_{tk} + \varepsilon \quad (5)$$

式中， $Y_{tk}$ 为粮食产量， $10^4$ t； $W$ 为空间权重矩阵，本文选取基于空间地理距离的权重矩阵；空间滞后变量  $WY_{tk}$  为邻近省域粮食产量的加权求和； $\rho$  为空间回归系数，度量邻近省域粮食产量对本省粮食产量的影响方向与程度， $\lambda$  衡量样本观察值的误差项对粮食产出的空间误差溢出效应， $\mu_{tk}$  为随机误差项， $X_1$  至  $X_{11}$  的定义见表 1。

表 1 模型变量说明

Table 1 Variables related and their explanation

类别 Sort	变量及符号 Variables and its sign	指标 Indicators	选取依据及预期效应 Basis and expectation effect
粮食 Grain	粮食产量 Grain yield, $Y$	粮食总产量 Total grain yield/ $10^4$ t	采用总产量而非人均粮食产量，是因为本文关注粮食总产量的变化规律，且各解释变量对应采取总量或相对指标，不影响研究结论。
土地 Land	耕地规模 Arable land scale, $X_1$	耕地面积 Area of arable land/ $10^4$ hm <sup>2</sup>	耕地是粮食生产的基本载体。从全球范围看，土地资源竞争直接影响全球食物供给能力 <sup>[18]</sup> ；从国内看，各省市的耕地规模存在显著差异，粮食产量变化对耕地变化的敏感性呈现增强趋势 <sup>[3,19]</sup> 。预期耕地资源越丰腴，可供粮食生产的土地越多，粮食产量相应越高。
	土地适宜性 Land suitability, $X_2$	复种指数 Multiple cropping index	复种指数是衡量耕地质量的一个重要指标，同时体现自然条件、技术进步与农户行为的共同作用 <sup>[20-21]</sup> 。在单产一定的情况下，复种指数越大，粮食产量越高 <sup>[22]</sup> 。中国各省市的农作物种类和熟制存在较大差异，且既有研究表明复种指数的波动较为明显 <sup>[20-21]</sup> ，预期效应为正。
	土地脆弱性 Land vulnerability, $X_3$	受灾面积 Affected area/ $10^3$ hm <sup>2</sup>	气候变化是影响全球粮食产量的重要因素 <sup>[18,23]</sup> 。中国作为灾害频发的国家，粮食生产同样深受气候变化因素影响，以成灾面积、干旱指数等不同指标测度的研究结果均证实了显著的负向作用 <sup>[4,12,24]</sup> 。受灾面积反映气候变化、农田基础设施建设等情况，预期效应为负。
劳动力 Labor	劳动力规模 Amount of labor, $X_4$	农业劳动力 Amount of agricultural labor/ $10^4$ 人	劳动力是农业的基本生产要素，中国相对较高的农地利用效率即得益于“精耕细作”的传统农作方式。劳动力规模与刘易斯拐点直接相关，对应不同的影响效应 <sup>[25]</sup> 。预期劳动力投入越多，粮食产量越高。
	劳动力素质 Quality of labor, $X_5$	农村劳动力人均受教育年限 Average educational attainment of rural labors/a	人力资本投资是传统农业向现代农业转型的关键动力，农村劳动力文化素质所依附的农民对新技术的接受能力等因素均与农业技术效率显著相关 <sup>[26]</sup> 。预期人均受教育年限越长，粮食产量越高。
	兼业化程度 Pluriactivity, $X_6$	农村非农就业劳动力比例 Proportion of off-farm employment/%	非农就业影响农业生产投工量与农业投资能力 <sup>[27]</sup> ，农民非农就业机会增多、非农产业收入上升和农民种粮机会成本提高，可使粮食生产出现弱化 <sup>[4]</sup> ，预期效应为负。
资本 Capital	灌溉设施投入 Irrigation investment, $X_7$	有效灌溉面积 Irrigated area/ $10^3$ hm <sup>2</sup>	灌溉发展及其供水保证率是中国粮食安全的主要影响因素，灌溉设施投入的显著作用得到证实 <sup>[4,20]</sup> ，预期效应为正。
	机械化投入 Mechanization investment, $X_8$	农业机械总动力 Total agricultural machinery power/ $10^4$ kW	农业机械化可以减少土地撂荒，完成人力畜力难以达到的作业效率与效益，有利于粮食增产 <sup>[12,20]</sup> ，预期效应为正。
	农资投入 Agriculture material investment, $X_9$	化肥施用量 Consumption of chemical fertilizers/ $10^4$ t	以化肥施用量为代表的农资投入可以提高土地地力，是当前粮食生产最重要的物质投入，可促进粮食增产 <sup>[20]</sup> ，预期效应为正。
宏观背景 Macro background	农业结构调整 Agricultural structure adjustment, $X_{10}$	非粮作物占农作物总播种面积比 Proportion of sown areas sowing non grain crops/%	农业结构调整直接影响粮食作物播种面积，进而影响粮食产量，预期效应为负。
	非农产业地位 Status of non-agricultural industry, $X_{11}$	非农产值占总产值比例 Proportion of the secondary and tertiary industry's output/%	非农产业地位越高，建设占用耕地压力越大，种粮机会成本越高，由此对粮食生产形成冲击，预期效应为负。

### 3 结果与分析

#### 3.1 粮食产量变化的时空特征

##### 3.1.1 粮食产量的阶段特征

由粮食产量及其区位基尼系数变化趋势可知(图1),中国粮食产量存在3个比较明显的阶段:1)1990—1998年,粮食产量总体保持增长趋势,由 $4.46 \times 10^8$  t增至 $5.12 \times 10^8$  t。区位基尼系数无明显规律。2)1998—2003年,粮食产量大幅下滑,反应中央加快农业结构调整、城市发展大量占用耕地、推行“退耕还林”战略等重大政策的影响,也体现多年粮食丰收背景下粮价下降对种粮积极性的不利作用。区位基尼系数先增后减,反映发达地区与传统农区在农业结构调整等方面的响应速度差异。3)2003年以来,在农业税费政策调整、加快农业科技创新、推进高标准基本农田建设等重大利好政策作用下,粮食连年丰收,由 $4.31 \times 10^8$  t增至 $5.71 \times 10^8$  t,其中,传统农区对全国粮食产量的贡献渐趋增加,发达地区则因建设占用耕地、农业结构调整等原因,粮食产量相对减少,导致区位基尼系数显著提升。

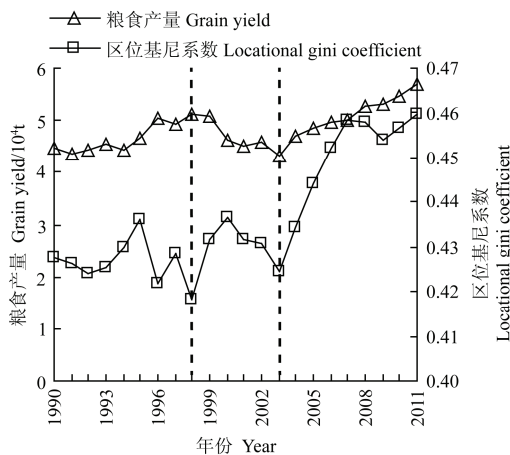


图1 1990—2011年中国粮食产量及其区位基尼系数

Fig.1 Grain yield in China and its locational gini coefficient from 1990 to 2011

##### 3.1.2 粮食产量的区域演化

基于式(3)划分粮食主产区、产销平衡区与粮食主销区(表2),可以发现:1)东部山东、江苏、河北由主产区演变为产销平衡区,浙江由产销平衡区演变为主销区,其他省份保持主销区,表明东部粮食生产地位明显下降;2)中部湖北、湖南、江西由主产区转变为产销平衡区,河南由产销平衡区转变为主产区,安徽、山西分别基本维持主产区、产销平衡区,可知中部粮食生产地位有所削弱;3)西部宁夏属于新增的主产区,云南、西藏、甘肃的粮食供求情况有

所改善,其他省份年际之间波动较小,表明西部粮食生产地位显著上升;4)东北黑龙江、吉林保持主产区地位,辽宁除2000年外均实现了产销平衡,表明东北的主产区地位长期较为稳固。

表2 主要年份粮食主产区、产销平衡区与粮食主销区

Table 2 Provinces with great surplus grain, with balanced grain supply and demand, and with insufficient grain supply in main years

年份 Year	区域 Area	粮食主产区 Province with great surplus grain	产销平衡区 Province with balanced grain supply and demand	粮食主销区 Province with insufficient grain supply
1990年	东部 Eastern region	鲁、苏	冀、浙	京、津、沪、闽、粤、琼
	中部 Central region	鄂、湘、赣、皖	晋、豫	-
	西部 Western region	蒙、新	桂、川、渝、宁	贵、云、藏、陕、甘、青
	东北 Northeastern region	黑、吉	辽	-
	东部 Eastern region	冀、鲁、苏	浙	京、津、沪、闽、粤、琼
1995年	中部 Central region	鄂、湘、皖	豫、赣	晋
	西部 Western region	蒙、新	桂、川、渝、宁	贵、云、藏、陕、甘、青
	东北 Northeastern region	黑、吉	辽	-
	东部 Eastern region	鲁、苏	冀	京、津、沪、浙、闽、粤、琼
	中部 Central region	豫、鄂、湘、皖	赣	晋
2000年	西部 Western region	川、蒙、宁、新	桂、贵、云、藏	陕、甘、青
	东北 Northeastern region	黑、吉	-	辽
	东部 Eastern region	-	冀、鲁、苏	京、津、沪、浙、闽、粤、琼
	中部 Central region	豫	鄂、湘、赣、皖	晋
	西部 Western region	蒙、宁	桂、贵、川、渝、云、藏、陕、甘、新	青
2005年	东北 Northeastern region	黑、吉	辽	-
	东部 Eastern region	-	冀、鲁、苏	京、津、沪、浙、闽、粤、琼
	中部 Central region	豫、皖	晋、鄂、湘、赣	-
	西部 Western region	蒙、宁、新	川、渝、云、藏、甘	桂、贵、陕、青
	东北 Northeastern region	黑、吉	辽	-
2011年	东部 Eastern region	-	冀、鲁、苏	京、津、沪、浙、闽、粤、琼
	中部 Central region	豫、皖	晋、鄂、湘、赣	-
	西部 Western region	蒙、宁、新	川、渝、云、藏、甘	桂、贵、陕、青
	东北 Northeastern region	黑、吉	辽	-

### 3.2 粮食产量变化的成因规律

#### 3.2.1 模型选择

本文数据属于小样本较短时间面板序列。变量相关系数最高为 0.804 ( $X_7$  与  $X_8$ )，方差膨胀因子最大为 7.37 ( $X_7$ )，容忍度均大于 0.1，不存在显著的共线性问题。根据面板数据估计原理，当回归分析局限于特定个体而非随机抽样时，固定效应模型将优于随机效应模型。Wald 检验表明，仅有粮食主产区模型、产销平衡区模型无法拒绝采用混合模型的原假设。因此，对于粮食主产区模型、产销平衡区模型外的其他 5 个模型，均应采用固定效应回归模型。进一步地，对于通过空间相关性检验的 1990—2011 年模型、1990—1997 年模型、1998—2003 年模型、粮食主销区模型（表 3），根据固定

效应对空间效应和时间效应两类非观测效应的不同控制，区分空间滞后模型与空间误差模型，选用无固定效应、空间固定效应、时间固定效应与空间时间双固定效应进行回归分析；对于未通过空间相关性检验的阶段 2004—2011 年模型、粮食主产区模型、产销平衡区模型，则用个体固定效应、时点固定效应、个体时点双固定效应进行回归分析。最终，考虑篇幅与对比研究需要，结合模型拟合优度、变量显著性等因素，列出总体、各阶段、各类型区的代表性回归结果（表 4、表 5）。模型拟合优度均在 0.9 以上，具有较强的解释能力；各阶段、各类型区采用不同方法所得的各变量的回归系数其正负值及显著性基本一致，表明模型较为稳健，是合理、可行的。

表 3 基于地理空间权重矩阵的空间相关性检验  
Table 3 Spatial correlation test based on spatial weight matrix

统计量 Statistics	1990—2011 年模型 Model during 1990—2011	1990—1997 年模型 Model during 1990—1997	1998—2003 年模型 Model during 1998—2003	2004—2011 年模型 Model during 2004—2011	粮食主产区模型 Model about province with great surplus grain	产销平衡区模型 Model about province with balanced grain supply and demand	粮食主销区模型 Model about province with insufficient grain supply
拉格朗日误差检验 LMerr	8.3600***	13.0346***	10.5819***	0.8651	1.3298	0.2393	8.9242***
拉格朗日滞后检验 LMsar	44.2523***	77.1257***	14.6203***	11.8752***	2.4276	0.0631	16.1546***
LR 似然比 Lratios	13.7060***	23.8683***	18.5531***	1.8406	2.6017	0.4474	13.0552***
Moran 指数 Moran's I	0.0702***	0.1454***	0.1512***	0.0374	-0.0662	0.0202	0.1351***
Wald 值 Walds	88.1233***	166.1461***	93.9646***	4.1435**	7.0575***	0.4615	61.1045***

注：\*、\*\*、\*\*\*分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著，下同。

Note: The signs ‘\*’, ‘\*\*’, and ‘\*\*\*’ mean the related variable is significant at 0.10 level, 0.05 level, and 0.01 level respectively. The below is same.

表 4 各阶段粮食产量变化成因的计量检验结果  
Table 4 Estimated results of the influence factors of grain yield change during each stage

变量与统计量 Variables and statistics	1990—2011 年模型 Model during 1990—2011		1990—1997 年模型 Model during 1990—1997		1998—2003 年模型 Model during 1998—2003		2004—2011 年模型 Model during 2004—2011	
	空间滞后加 空间固定效 应模型 Spatial lag plus spatial fixed effect model	空间误差加 空间固定效 应模型 Spatial error plus spatial fixed effect model	空间滞后加 空间固定效 应模型 Spatial lag plus spatial fixed effect model	空间误差加 空间固定效 应模型 Spatial error plus spatial fixed effect model	空间滞后加 空间固定效 应模型 Spatial lag plus spatial fixed effect model	空间误差加 空间固定效 应模型 Spatial error plus spatial fixed effect model	个体固定效 应模型 Entity fixed effect model	空间误差加 空间固定效 应模型 Spatial error plus spatial fixed effect model
	模型	模型	模型	模型	模型	模型	模型	模型
C	-	-	-	-	-	-	2 869.870***	-
$X_1$	1.643***	0.874***	1.971***	1.356***	1.400**	0.955*	0.297	0.235
$X_2$	274.812***	223.793***	545.657***	526.222***	348.274***	271.401**	82.193	88.288
$X_3$	-0.110***	-0.101***	-0.122***	-0.112***	-0.099***	-0.098***	-0.069***	-0.069***
$X_4$	0.482***	0.339***	0.319**	0.257*	1.136***	1.059***	-0.344**	-0.374***
$X_5$	72.931***	30.075	151.216***	91.463***	32.643	29.201	-122.450***	-119.275***
$X_6$	552.893***	346.157*	277.524	-69.057	1 107.423*	1 321.874**	-101.709	-142.981
$X_7$	0.595***	0.611***	0.476***	0.382***	0.187	0.308**	0.614***	0.588***
$X_8$	0.078***	0.060***	0.117***	0.123***	-0.193***	-0.211***	0.186***	0.199***
$X_9$	-0.028	0.038	1.047**	1.470***	-0.171	0.009	-0.066	-0.042
$X_{10}$	-1 758.922***	-1 396.534***	-1 842.293***	-1 652.631***	-822.156***	-538.443**	-1 475.775***	-1 307.371***
$X_{11}$	-598.146**	-422.464**	-570.534**	-401.703	-3 132.884***	-2 642.882***	-1 197.080**	-1 515.271**
空间滞后回 归系数 W*dep.var	-0.236***	-	-0.236***	-	-0.236***	-	-	-
空间误差系 数 spat.aut	-	0.077***	-	0.005	-	0.117**	-	0.146***
Wald 值 Wald	99.528***	99.528***	109.212***	109.212***	42.367***	42.367***	97.106***	97.106***
对数似然值 log-likelihood	-	-4247.045	-	-1 394.301	-	-1 063.316	-1 421.424	-1 418.559
模型拟合优度 $R^2$	0.981	0.987	0.994	0.996	0.993	0.995	0.996	0.996

表 5 不同类型区粮食产量变化成因的计量检验结果  
Table 5 Estimated results of influence factors of grain yield change among each type

变量与统计量 Variables and statistics	1990—2011 年模型 Model during 1990—2011		粮食主产区模型 Model about province with great surplus grain			产销平衡区模型 Model about province with balanced grain supply and demand		粮食主销区模型 Model about province with insufficient grain supply		
	个体固定效应模型 Entity fixed effect model	混合回归模型 Mixed regression model	空间误差加空间固定效应模型 Spatial error plus spatial fixed effect model	时点固定效应模型 Time fixed effects model	混合回归模型 Mixed regression model	时点固定效应模型 Time fixed effects model	混合回归模型 Mixed regression model	时点固定效应模型 Time fixed effects model	混合回归模型 Mixed regression model	空间误差加空间固定效应模型 Spatial error plus spatial fixed effect model
C	-29.226	41.126	-	-3 161.084**	-2 308.021***	179.052	470.013*	-391.865*	-254.999*	-
X <sub>1</sub>	0.943***	2.551***	0.874***	1.946***	1.978***	-2.386***	-1.779***	0.324**	0.299**	0.270**
X <sub>2</sub>	247.118***	391.512***	223.793***	958.668***	984.570***	-11.098	133.838	103.741***	122.535***	146.756***
X <sub>3</sub>	-0.102***	-0.077***	-0.101***	-0.183***	-0.171***	-0.063***	-0.062***	-0.077***	-0.078***	-0.080***
X <sub>4</sub>	0.328***	0.428***	0.339***	0.254***	0.213***	0.977***	0.883***	0.497***	0.469***	0.850***
X <sub>5</sub>	40.778*	-28.666*	30.075	359.368***	318.570***	129.495***	115.821***	18.782*	13.133	5.053
X <sub>6</sub>	318.734*	1 203.776***	346.157*	-1 021.083	-1 043.035*	1 942.918***	1 829.722***	-228.494	-213.934*	69.944
X <sub>7</sub>	0.603***	0.226***	0.611***	0.155	0.149**	0.245***	0.239***	0.587***	0.621***	0.726***
X <sub>8</sub>	0.061***	-0.009	0.060***	0.090***	0.108***	-0.073***	-0.080***	-0.079***	-0.098***	0.036
X <sub>9</sub>	0.035	1.272***	0.038	0.547**	0.504***	4.936***	4.958***	-0.291**	-0.313**	-0.311**
X <sub>10</sub>	-1 480.494***	-1 606.707***	-1 396.534***	-3 097.669***	-3 204.359***	-2 665.531***	-3 266.054***	-192.856*	-366.276***	-279.593**
X <sub>11</sub>	-466.185**	-611.327*	-422.464**	1 128.538	418.384	-482.440	-862.392**	291.521	221.785	-592.274**
Wald 值	99.528***	99.528***	-	0.538	0.538	1.317	1.317	1.461*	1.461*	-
空间误差系数 <i>spat.aut</i>	-	-	0.077***	-	-	-	-	-	-	0.126***
对数似然值 <i>log-likelihood</i>	-4 249.399	-4 821.595	-4 247.045	-1 090.820	-1 097.696	-1 755.541	-1 770.468	-1 433.154	-1 449.722	-1 415.622
模型拟合优度 <i>R</i> <sup>2</sup>	0.986	0.923	0.987	0.956	0.952	0.978	0.976	0.975	0.972	0.979

### 3.2.2 土地因素对粮食产量变化的影响

由表 4 可知, 耕地规模 ( $X_1$ )、土地适宜性 ( $X_2$ )、土地脆弱性 ( $X_3$ ) 的影响均符合预期。其中, 耕地规模  $X_1$  由较高的显著正向影响 (1.356~1.971), 转变为较低的显著正向影响 (0.955~1.400), 再到不显著, 土地适宜性即复种指数存在类似的变化规律。可能原因是耕地保护的“占优补劣”现象导致耕地质量有所降低, 同时, 粮食增产日益依赖于资本投入与劳动力之间的替代效应和互补效应<sup>[17]</sup>。事实上, 2004—2011 年粮食单产增加的贡献率为 59.0%, 2011 年达 85.4%, 单产增加成为粮食增产的主要来源。由表 5 可知, 就区域而言, 主产区的耕地规模系数与土地适宜性系数均显著为正, 且明显大于其他区域, 表明主产区耕地增加与集约化经营的粮食增产效果更为显著。土地脆弱性对粮食产量具有显著的负向作用, 且呈现递减趋势, 表明以受灾面积测度的土地脆弱性确实导致了粮食减产, 同时, 也意味着大规模的农业综合开发已经取得了显著成效。从各类型区看, 主产区受灾害的影响尤为显著, 表明该类地区防控自然灾害的能力尚显欠缺, 也一定程度上预示耕地重心北迁可能导致更多的受灾面积, 蕴含较大的生态风险。

### 3.2.3 劳动力因素对粮食产量变化的影响

劳动力规模 ( $X_4$ ) 的影响显著为正, 分为较低的显著正向效应 (0.257~0.319)、较高的显著正向效应 (1.059~1.136) 与显著负向效应 3 个阶段 (-0.374~-0.344), 体现农业劳动力由剩余转向稀缺的演变过程。农村不再存在大量剩余劳动力<sup>[28]</sup>, 导致部分耕地或撂荒或兼业经营, 青壮年与高素质劳动力作为非农就业的主要群体, 则进一步降低了粮食生产效率<sup>[29]</sup>。主产区的影响效应最低, 表明在农业低效益背景下, 主产区潜伏着更为严重的农业劳动力外出现象。劳动力素质 ( $X_5$ ) 的影响分为显著为正、不显著与显著为负 3 个阶段, 前期较高素质的农村劳动力约等于较高素质的农业劳动力, 对应较高的粮食产出效率, 后期随着以高素质劳动力为主体的农村劳动力大量外出, 农村劳动力素质较高的地区其农业劳动力素质反而越低。就区域而言, 主销区的影响效应并不显著, 这与主销区非农就业机会较多有直接关系。兼业化程度 ( $X_6$ ) 的影响显著为正, 这与预期存在差距, 可能原因是农户非农就业可以减少农业剩余劳动力, 并带来收入回流, 解决农业生产面临的资金短缺瓶颈<sup>[30]</sup>。但从时序上看, 影响效应由不显著到正向显著再到负向不显著, 表明依靠非农就业助推粮食增产尚未形成可持续范

式，打工收入主要用于非生产性支出，且大规模的非农就业还造成了农业劳动力短缺。类似地，可解释主产区、产销平衡区与主销区的影响差异。

### 3.2.4 资本因素对粮食产量变化的影响

灌溉设施投入 ( $X_7$ ) 的影响显著为正，且各阶段拟合优度最高的模型该变量的系数均显著，再次验证基础设施投入有助于改善生产效率。就区域而言，粮食主产区的数值最少 (0.149~0.155)，且拟合优度最高的模型该变量的系数不显著，产销平衡区次之 (0.239~0.245)，主销区最高 (0.587~0.726)。2011 年有效灌溉面积与耕地面积比值分别为 0.549、0.617、0.477，无明显规律，相关原因尚待深入研究。机械化投入 ( $X_8$ ) 的影响显著为正，呈现先正 (0.117~0.123)、后负 (-0.211~-0.193)、再正 (0.186~0.199) 的演变规律。前期较少的机械化投入，即可弥补“面朝黄土背朝天”式农作方式存在的不足，后期则改变了精耕细作农业在土地产出效率方面的优势，当前，农业机械成为劳动节约型投入，一定程度上解决了非农就业导致的农业劳动力短缺问题。就区域而言，主产区的影响显著为正，其他两类区域或为负或不显著。2011 年主产区的人均耕地面积为 0.145  $\text{hm}^2$ ，明显大于主销区 (0.048  $\text{hm}^2$ )、产销平衡区 (0.070  $\text{hm}^2$ )，且主产区主要分布于北方平原地区，可以认为机械化投入存在规模效应，并与耕地集中连片度、平整度显著相关。农资投入 ( $X_9$ ) 即化肥施用量的影响并不显著，就阶段而言，仅有 1990—1997 年显著为正；就区域而言，产销平衡区、主产区显著为正，主销区显著为负，2011 年单位农作物播种面积的化肥施用量分别为 338.94、370.53、380.97  $\text{kg}/\text{hm}^2$ ，表明农资投入符合边际报酬递减规律。

### 3.2.5 宏观背景对粮食产量变化的影响

农业结构调整 ( $X_{10}$ ) 的影响显著为负，且各阶段、各类型区均显著，验证农业结构调整对粮食增产的不利作用，其中，主产区与产销平衡区所受负面影响明显大于主销区，反映各主导类型的粮食产出效率差距 (2011 年单位播种面积的粮食产量分别为 4 945.98、5 290.88、4 136.51  $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。非农产业地位 ( $X_{11}$ ) 的影响显著为负，表明非农产业越发达，粮食种植的机会成本越高，建设占用耕地压力越大，地方政府越倾向于放松粮食生产，其中，主产区呈现不显著的正向影响，主要是现有政策背景下主产区承担了确保国家粮食安全重任，生产一定规模的粮食产量是中央指派并重点考核的关键指标，同时也反映近年支农惠农政策的积极成效。

### 3.2.6 空间因素对粮食产量变化的影响

空间误差系数 ( $spat.aut$ ) 的估计值显著为正，

且该系数呈现递增趋势 (分别为 0.005、0.117、0.146)，由不显著转向显著，表明邻近省份的误差冲击对各省粮食产出的影响非常明显，存在递增的、正向的空间误差溢出效应，即一省粮食产量既取决于当地要素投入、政府政策等因素，同时还日益受到邻近省份随机空间误差项的影响，包括市场、技术、种植制度等经济因素，以及气象灾害等自然地理因素。空间滞后回归系数 ( $W*dep.var$ ) 的估计值显著为负，邻近省份粮食丰收 (欠收) 将使得该省粮食欠收 (丰收)，反应市场供求关系等因素的作用。

## 4 结论与讨论

1) 中国粮食产量变化可分为 1990—1998 年 (波动增长，空间无序)、1998—2003 年 (不断下滑，空间异质)、2003 年以来 (持续增长，空间集中) 3 个阶段。各年份各粮食主导类型包含的省份存在较大差异，东部省份的粮食生产地位明显下降，中部省份的粮食生产地位有所削弱，西部省份的粮食生产地位显著提升，东北省份的主产区地位长期较为稳定。

2) 土地投入的影响由强转弱，粮食增产日益依赖于促成单产增加的技术进步、资本投入等其他因素；劳动力的影响由正显著到不显著再到负显著，反映农业剩余劳动力规模、劳动力转移就业结构等方面的变化情况；不同类型的资本投入存在迥异的影响效应，以灌溉设施为代表的农业基础设施投入存在强烈的正向效应，以农业机械总动力为代表的劳动节约型投入呈现先正后负再正的演变特征，以化肥使用量为代表的农资投入符合边际报酬递减规律；农业结构调整、非农产业发展等宏观背景，以及邻近省份随机误差等其他因素均影响实际的粮食产量；各类型区的粮食产量变化机制存在显著差异，反映要素边际报酬递减、规模效应、政府调控等内外因素的共同影响。

本文贡献主要是区分主导类型与演变阶段来探寻粮食产量变化的时空格局与影响因素，重要启示包括：①粮食产量与非农产业发展存在负向关系，农业结构调整对粮食减产影响的区域差异显著，由此，深化比较优势基础上的区域分工，推行 GDP 增长提成等合作机制，既可避免耕地保护与粮食生产成为主产区的道义责任，也可实现国家粮食安全战略的帕累托改进；②粮食增产日益依赖于单产增加，将面临土地综合生产能力与技术进步速度的限制，确保一定耕地面积仍是规避风险、保障安全的优先选择，优先推进主产区的整治整地与耕地保护工程，则可取得事半功倍的效果；③主产区受



灾害面积的影响效应最高, 农田灌溉投入的效率最低, 由此, 整合涉农资金, 攻克瓶颈环节, 切实提高财政资金用于改善重点农区农业基础设施、稳定粮食生产主体的利用效率, 仍是财政支农与土地整治的重要方向; ④农业劳动力贡献趋于下降, “谁来务农”事关粮食安全大局, 优化配置农村土地资源, 配合推进认定农业生产者、农业机械化等措施, 将有助于稳定提升粮食产量。⑤农业机械化的效果与耕地丰裕度、集中连片度、平整度显著相关, 农业机械化发展战略宜在平原农区优先推进; ⑤粮食产出的空间效应显著, 区域分工基础上的跨省区粮食政策将有助于发挥区域比较优势, 平抑粮食市场波动。

由于统计口径变化、相关数据缺失等原因, 本文仅研究了 1990 年以来省域尺度的粮食产量变化, 未考虑更长时间跨度与县域尺度, 以及财政支出等重要指标, 一定程度上影响了研究深度。各种生产要素并非全部用于粮食生产, 可能会对模型估计结果产生一定影响。主导类型基于人均粮食产量而非严格的粮食供求关系, 由于本文关注粮食产量, 且主导类型划分结果基本符合实际的粮食流通格局, 不利影响应该较为有限。受篇幅与关注重点所限, 本文仅研究粮食总产量, 并未具体到各个作物品种, 也未分别针对不同年份的粮食主导类型来设置模型, 同时, 也未采用传统的分区方法以开展对比分析。此外, 本文仅从数量分析层面揭示了中国粮食产量的变化原因, 基于主体调研与案例分析的机理研究尚待开展。

#### [参 考 文 献]

- [1] Brown L R. Who will feed China?[J]. *Futurist*, 1996, 30(1): 14—18.
- [2] Gong Peng. China needs no foreign help to feed itself[J]. *Nature*, 2011, 474(2): 7.
- [3] 刘彦随, 王介勇, 郭丽英. 中国粮食生产与耕地变化的时空动态[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(12): 4269—4274.  
Liu Yansui, Wang Jieyong, Guo Liying. The spatial-temporal changes of grain production and arable land in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(12): 4269—4274. (in Chinese with English abstract)
- [4] 陆文聪, 梅燕, 李元龙. 中国粮食生产的区域变化: 人地关系、非农就业与劳动报酬的影响效应[J]. *中国人口科学*, 2008, 80(3): 20—28.  
Lu Wencong, Mei Yan, Li Yuanlong. Regional change in China's grain production: Effects of labor-land ratio, off-farm employment opportunities and labor compensation[J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2008, 80(3): 20—28. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘东, 封志明, 杨艳昭, 等. 中国粮食生产发展特征及土地资源承载力空间格局现状[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(7): 1—6.  
Liu Dong, Feng Zhiming, Yang Yanzhao, et al. Characteristics of grain production and spatial pattern of land carrying capacity of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2011, 27(7): 1—6. (in Chinese with English abstract)
- [6] 陆文聪, 梅燕. 中国粮食生产区域格局变化及其成因实证分析: 基于空间计量经济学模型[J]. *中国农业大学学报: 社会科学版*, 2007, 24(3): 140—152.  
Lu Wencong, Mei Yan. Empirical studies on the variation and contributing factors of regional grain production structure in China: Based on spatial econometrics models[J]. *China Agricultural University Journal of Social Sciences Edition*, 2007, 24(3): 140—152. (in Chinese with English abstract)
- [7] Xin Liangjie, Li Xiubin, Zhu Huiyi, et al. China's potential of grain production due to changes in agricultural land utilization in recent years[J]. *Chinese Geographical Science*, 2009, 19(2): 97—103.
- [8] 张凤荣, 张晋科, 张迪, 等. 1996—2004 年中国耕地的粮食生产能力变化研究[J]. *中国土地科学*, 2006, 20(2): 8—14.  
Zhang Fengrong, Zhang Jinke, Zhang Di, et al. Change of potential grain productivity of cultivated land from 1996 to 2004 in China[J]. *China Land Science*, 2006, 20(2): 8—14. (in Chinese with English abstract)
- [9] 汪希成, 徐芳. 我国粮食生产的区域变化特征与政策建议[J]. *财经科学*, 2012(4): 80—88.  
Wang Xicheng, Xu Fang. Regional variation characteristics and policy suggestions of grain production in China[J]. *Finance and Economics*, 2012(4): 80—88. (in Chinese with English abstract)
- [10] 赖红兵. 中国粮食产量波动及其结构分析[J]. *农业技术经济*, 2009(5): 91—96.  
Lai Hongbing. The volatility and structure of China's grain production[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2009(5): 91—96. (in Chinese with English abstract)
- [11] 程叶青, 张平宇. 中国粮食生产的区域格局变化及东北商品粮基地的响应[J]. *地理科学*, 2005, 25(5): 513—520.  
Cheng Yeqing, Zhang Pingyu. Regional patterns changes of Chinese grain production and response of commodity grain base in northeast China[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(5): 513—520. (in Chinese with English abstract)
- [12] 顾乐民. 基于最小一乘准则的中国粮食产量与影响因素的相关性分析[J]. *农业工程学报*, 2013, 29(11): 1—10.  
Gu Leming. Relative analysis of China's grain yield and influence factors based on criterion of least absolute



- deviation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2013, 29(11): 1-10. (in Chinese with English abstract)
- [13] 刘玉, 郭丽英, 刘彦随. 1980—2008 年环渤海地区县域粮食的时空动态变化及分析[J]. 农业工程学报, 2012, 28(12): 230-236.  
Liu Yu, Guo Liying, Liu Yansui. Spatial-temporal dynamic change and analysis of grain production in county scale in Bohai Rim from 1980 to 2008[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(12): 230 - 236. (in Chinese with English abstract)
- [14] 顾莉丽, 郭庆海. 中国粮食主产区的演变与发展研究[J]. 农业经济问题, 2011(8): 4-9.  
Gu Lili, Guo Qinghai. Evolution and development of China's major grain producing areas[J]. Issues in Agricultural Economy, 2011(8): 4-9. (in Chinese with English abstract)
- [15] 王业强, 魏后凯. 产业特征、空间竞争与制造业地理集中: 来自中国的经验证据[J]. 管理世界, 2007(4): 68-77.  
Wang Ye qiang, Wei Houkai. Characteristics of industries, competition for space and the geographic concentration in manufacture[J]. Management World, 2007(4): 68-77. (in Chinese with English abstract)
- [16] 吴玉鸣. 中国区域农业生产要素的投入产出弹性测算: 基于空间计量经济模型的实证[J]. 中国农村经济, 2010(6): 25-37, 48.  
Wu Yuming. Calculation on the elasticity of agricultural Input-output in China: Based on spatial econometrics models[J]. Chinese Rural Economy, 2010(6): 25-37, 48. (in Chinese with English abstract)
- [17] 何江, 张馨之. 中国区域经济增长及其收敛性: 空间面板数据分析[J]. 南方经济, 2006(5): 44-52.  
He Jiang, Zhang Xinzhi. Chinese regional economic growth and convergence: Spatial panel data analysis[J]. South China Journal of Economics, 2006(5): 44-52. (in Chinese with English abstract)
- [18] Godfray H C J, Beddington J R, Haddad L R, et al. Food security: The challenge of feeding 9 billion people[J]. Science, 2010, 327(5967): 812-818.
- [19] 周小萍, 卢艳霞, 陈百明. 中国近期粮食生产与耕地资源变化的相关分析[J]. 北京师范大学学报: 社会科学版, 2005(5): 122-127.  
Zhou Xiaoping, Lu Yanxia, Chen Baiming. Correlation of grain production and cultivation land resources changes in recent China[J]. Journal of Beijing Normal University: Social Science Edition, 2005(5): 122-127. (in Chinese with English abstract)
- [20] 邓大才. 粮食安全: 耕地、贸易、技术与条件[J]. 财经问题研究, 2010(2): 3-7.  
Deng Dacai. Food security: Arable land, trade, technology and conditions[J]. Research on Financial and Economic Issues, 2010(2): 3-7. (in Chinese with English abstract)
- [21] 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.  
Yan Huimin, Cao Mingkui, Liu Jiyuan, et al. Characterizing spatial patterns of multiple cropping system in China from multi-temporal remote sensing images[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2005, 21(4): 85 - 90. (in Chinese with English abstract)
- [22] Cao Z, Dawson R. Modeling circulation function in agroecosystems[J]. Ecological Modeling, 2005, 181(4): 557-565.
- [23] Simelton E, Fraser E D G, Termansen M, et al. The socioeconomics of food crop production and climate change vulnerability: A global scale quantitative analysis of how grain crops are sensitive to drought[J]. Food Security, 2012, 4(2): 163-179.
- [24] 吴普特, 赵西宁. 气候变化对中国农业用水和粮食生产的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(2): 1-6.  
Wu Pute, Zhao Xining. Impact of climate change on agricultural water use and grain production in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2010, 26(2): 1-6. (in Chinese with English abstract)
- [25] 田玉军, 李秀彬, 陈瑜琦, 等. 城乡劳动力流动及其对农地利用影响研究评述[J]. 自然资源学报, 2010, 25(4): 686-695.  
Tian Yujun, Li Xiubin, Chen Yuqi, et al. A review on research advances in farm labor migration and its impacts on farm land use[J]. Journal of Natural Resources, 2010, 25(4): 686-695. (in Chinese with English abstract)
- [26] 张宁, 陆文聪. 中国农村劳动力素质对农业效率影响的实证分析[J]. 农业技术经济, 2006(2): 74-80.  
Zhang Ning, Lu Wencong. Empirical analysis of rural labor quality on agricultural efficiency in China[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2006(2): 74-80. (in Chinese with English abstract)
- [27] Gray C L. Rural out-migration and smallholder agriculture in the Southern Ecuadorian Andes[J]. Population and Environment, 2009, 30(4/5): 193-217.
- [28] 蔡昉. 破解农村剩余劳动力之谜[J]. 中国人口科学, 2007(2): 2-6, 95.  
Cai Fang. The myth of surplus labor force in rural China[J]. Chinese Journal of Population Science, 2007(2): 2-6, 95. (in Chinese with English abstract)
- [29] 陈秧分, 刘彦随, 王介勇. 东部沿海地区农户非农就业对农地租赁行为的影响研究[J]. 自然资源学报, 2010, 25(3): 368-375.  
Chen Yangfen, Liu Yansui, Wang Jieryong. Study on the impact of off-farm employment on peasant's agricultural land lease behavior in Eastern Coastal China[J]. Journal

of Natural Resources, 2010, 25(3): 368—375. (in Chinese with English abstract)

[30] Binford L. Migrant remittances and (under) development in Mexico[J]. Critique of Anthropology, 2003, 23(3): 305—336.

## Spatial-temporal characteristics and influencing factors of grain yield change in China

Chen Yangfen, Li Xiande\*

(Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Despite high attention to the stability and increase of grain production and market supply by Chinese government, grain yield in China has been undergoing a great fluctuation during the past decades, which could be a big challenge to national food security. This paper thus analyzes the spatial-temporal characteristics and influence factors of grain yield change in China since 1990 from the aspect of evolution stages and main types. Statistical indicators and spatial econometric models for panel data are introduced, which are supported by Geodata, ArcGIS, and Matlab software. It shows that the growing process of Chinese grain yield has three stages, namely stage 1990-1998, 1998-2003, and 2003-2011 respectively. Meanwhile, provinces in China can be categorized into three sets according to different supply-demand relationships, which are provinces with surplus grain (PGSG), provinces with balanced grain supply and demand (PBGSD), and provinces with insufficient grain supply (PIGS). The three separate types vary every year, with different provinces included each other. Roughly speaking, the grain production status of eastern provinces, central provinces, western provinces, and northeastern provinces is decreased, weakened, enhanced and strengthened respectively. In 2011, the PGSG, the PBGSD, and the PIGS distribute mainly at North, Middle, and South China respectively. Among all the factors that influence grain yield, the land factor has a significant positive impact, changing from strong to weak. It indicates grain production in China is increasingly dependent upon factors that contribute to per unit yield, such as technical progress, capital investment, etc. The labor factor brings an effect from positive significant to insignificant then negative significant, reflecting the change of agricultural surplus labor, rural labor structure, etc. The impact of different types of capital input varies as follows. Definitely, agricultural infrastructure investment, represented by irrigation facilities, has a strong positive effect. As a kind of labor saving capital investment, the total power of agricultural machinery brings about ‘positive to negative and positive again’ effect; the chemical fertilizer input, as a representative of agricultural materials, follows the law of diminishing returns to scale. Besides agricultural production factors, agricultural structure adjustment, non-agricultural industry development, and random error factors of neighboring provinces also influence the actual yield. As to the three separate types, the driving mechanism of grain yield change differs significantly, including the impact of agricultural production factors and that of macro environment. It is the mutual result of both internal law such as diminishing marginal returns and scale effect and external factors such as government regulation. Taking into account the above different driving mechanism, it will be meaningful to promote the regional division of grain production among the PGSG, the PBGSD, and the PIGS, to protect a large-scale arable land resource with a special priority to the project of arable land consolidation and protection in PGSG, to change the focal point of financial support and land consolidation to improve the efficiency of agricultural infrastructure, to solve the scarcity of agricultural labor by measures such as the cognizance of agricultural producers, and to promote agricultural mechanization with an emphasis to plain agricultural area, and which in all will help stabilize and increase grain yield in China.

**Key words:** grain, models, agriculture, economics, spatial econometric models for panel data, yield, influence factors, China

(责任编辑: 张俊芳)