

## 中国主要农作物产量波动影响因素分析\*

郭 梁<sup>1,3</sup>, Andreas Wilkes<sup>2</sup>, 于海英<sup>1</sup>, 许建初<sup>1,2\*\*</sup>

(1 中国科学院昆明植物研究所资源植物与生物技术重点实验室, 云南 昆明 650201;

2 世界农用林业研究中心, 北京 100081; 3 中国科学院大学, 北京 100049)

**摘要:** 为研究我国主要农作物(粮食、水果、油料、糖料和棉花作物)产量波动特征及相关影响因素,以我国1981~2010年主要农作物产量和种植面积资料为基础,同时利用4种方法对农作物单产进行趋势拟合与分解。结果表明:(1)近30年来我国农作物总产和单产都逐步提高,特别是水果产量的增长最快,其中柑橘单产年均增长率达7.09%;各类作物趋势产量也呈上升趋势;但气象产量波动剧烈,年际间缺乏连续性,其中水果气象产量波动幅度最大(柑橘为17.76%、苹果为15.83%)。(2)作物总产的年际波动中,种植面积和单产因素的贡献率因作物类型不同而有所差异,其中粮食作物和水果总产波动的主要原因是单产波动,糖料作物和棉花产量波动主要因种植面积波动导致,油料作物总产的波动中单产和种植面积贡献相当。(3)各类作物单产年际波动均取决于气象因素,农业政策和科技进步等社会因素对单产年际波动的贡献较低。(4)作物趋势产量的4种拟合方法,其结果无显著差异。各影响因素对我国农作物产量波动的贡献率因作物类型不同而有所差异;重视作物单产提高、关注气候变化对农作物生产的影响是目前我国农业安全生产的重要任务。

**关键词:** 农作物; 单产; 种植面积; 产量波动; 趋势产量; 气象因子

中图分类号: F 307.1

文献标识码: A

文章编号: 2095-0845(2013)04-513-09

## Analysis of Factors Influencing Yield Variability of Major Crops in China

GUO Liang<sup>1,3</sup>, ANDREAS Wilkes<sup>2</sup>, YU Hai-Ying<sup>1</sup>, XU Jian-Chu<sup>1,2\*\*</sup>

(1 Key Laboratory of Economic Plants and Biotechnology, Kunming Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences,

Kunming 650201, China; 2 World Agroforestry Centre, Beijing 100081, China; 3 University of

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** The objective of this research was to analyze the characteristics and major factors influencing yield variability of a number of major crops in China from 1981 to 2010. Based on data for yield and sown area of a crop, four methods were used to separate crop trend yield and meteorological yield from actual yield. There was an association between total yield and per unit area yield for all major crops over the past 30 years in China. The per unit area yields of fruits increased more rapidly than other crops, and was about 7.09% for citrus fruit annually. The trend yield for different crops also increased year by year. However, meteorological yield fluctuated greatly with greatest fluctuations occurring for fruits (17.76% for citrus and 15.83% for apple). The contributions of sown area and per unit area yield to variability of total yield varied among the major crops. For grains and fruits, the contribution of per unit area yield had the dominant effect, while the opposite was the case for sugar crops and cotton. For oil crops both factors contributed almost equally. The variability in per unit area yield of all crops could be largely attributed to var-

\* 基金项目: 国家自然科学基金(31270524)和国家自然科学基金青年科学基金项目(31101753)

\*\* 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: jxu@mail.kib.ac.cn

收稿日期: 2012-09-04, 2013-02-25 接受发表

作者简介: 郭 梁(1984-)男, 博士, 主要从事气候变化对作物生长影响的研究。E-mail: guoliang@mail.kib.ac.cn

iability of meteorological factors. Social factors, such as agricultural policy and improved technology, played relatively lesser roles. The four methods used in the analysis showed no significant differences. The contributions of the above factors to yield variability were species dependent. To ensure agricultural production security, more attention should be paid to enhance the per unit area yield of crops together with the impact of climate change on yields.

**Key words:** Crop; Yield per unit area; Sown area; Yield variability; Trend yield; Meteorological factors

中国是历史悠久的农业大国, 农业在整个国民经济中占有重要地位。上世纪 80 年代改革开放以来, 中国农业生产发展迅猛, 以有限耕地养活世界近五分之一人口, 取得了举世瞩目的成就 (卢良恕, 2001)。我国农业生产总体虽呈增长趋势, 但作物产量年际间的波动日益加剧, 是普遍存在、不容忽视的问题 (林燕和于冷, 2006)。作物产量波动不仅制约国民经济的稳定发展, 给作物生产者和消费者也带来极为不利的影响。农作物产量波动研究一般以粮食作物为主。前人研究表明, 我国粮食作物产量总体呈上升趋势, 年际间存在一定程度波动, 且具有周期性等特点 (张宇, 1995; 赖红兵, 2009); 粮食作物产量波动的影响因素大致归结为社会因素、气象因素及其他一些偶然因素, 其中气象因素对粮食作物产量波动的影响远大于社会因素的作用 (张宇, 1995; 王玉斌等, 2007)。近 30 年来, 粮食作物在农业生产中的主导地位有所降低, 其他农作物如水果、油料作物等无论种植面积、产量及对农业总产值的贡献都在不断提高。但迄今为止, 对全国范围内粮食、水果、油料、糖料及棉花等主要农作物的产量波动特征及影响因素尚缺乏全面、系统的研究。此外, 在农作物产量波动影响因素分析研究中, 大多学者都采用单一方法 (秦剑, 2000; 方福平等, 2005; 张越杰和王军, 2007; 田德斌和车明诚, 2009), 缺乏不同方法之间的比较, 一定程度上增加了研究结论的不确定性。本研究同时采用 4 种方法对我国主要农作物产量的波动特征及其影响因素进行综合分析, 以期制定并调整我国农作物生产发展策略, 保障粮食、水果等作物安全提供理论依据, 并为系统研究作物产量波动影响因素提供方法论支持。

## 1 数据来源及研究方法

### 1.1 数据来源

我国主要农作物包括粮食、水果、油料、糖料和棉花等作物。本文针对每种作物类型, 依据种植面积、产

量高低及其在农业生产中的重要性, 分别选取了 2 种代表性作物 (棉花作物单列), 即: 以稻谷和小麦代表粮食作物, 柑橘和苹果代表水果作物, 油菜和花生代表油料作物, 甜菜和甘蔗代表糖料作物。1981~2010 年上述主要农作物产量及种植面积数据来源于同期《中国农村统计年鉴》、中国种植业信息网及各省市统计年鉴等。

### 1.2 研究方法

农作物产量的构成因素包括作物单产和种植面积。其中, 作物单产又是在各种自然和非自然因素的综合影响下形成的。本研究首先从作物单产和种植面积角度分析两者对农作物总产的影响, 进而再分析作物单产的影响因素, 以确定影响作物产量波动的关键因子。

#### 1.2.1 单产和种植面积变化对作物总产波动的影响

作物总产量是由种植面积和单产水平共同决定的, 即  $TY(i) = Y(i) \cdot S(i)$ , 其中  $TY(i)$  为  $i$  年的总产,  $Y(i)$  和  $S(i)$  分别为同年的单产和种植面积。以  $\Delta TY(i)$ 、 $\Delta Y(i)$  和  $\Delta S(i)$  分别表示第  $i$  年与第  $i-1$  年总产、单产和种植面积的年际变化, 即:  $\Delta TY(i) = TY(i) - TY(i-1)$ ;  $\Delta Y(i) = Y(i) - Y(i-1)$ ;  $\Delta S(i) = S(i) - S(i-1)$ 。由此可将作物总产的年际变化简化为单产变化的影响 (假定种植面积不变)、种植面积变化的影响 (假定单产不变) 及其互作三部分, 即:  $\Delta TY(i) = \Delta Y(i) \cdot S(i-1) + Y(i-1) \cdot \Delta S(i) + \Delta Y(i) \cdot \Delta S(i)$ 。参照张宇 (1995) 的方法, 分别计算单产变化、种植面积变化及其互作对我国近 30 年主要农作物总产年际波动的影响。

#### 1.2.2 社会因素和气象因素对作物单产波动的影响

在农业气象研究中, 作物实际产量通常分解成三部分, 即趋势产量、气象产量和随机误差。可表示为  $Y = Y_t + Y_m + \Delta Y$ , 式中:  $Y$  为实际产量;  $Y_t$  为趋势产量;  $Y_m$  为气象产量;  $\Delta Y$  为随机误差。趋势产量是农业政策、农业科技和投入等社会因素对实际产量的解释部分, 其中农业科技提高包括品种改良、合理施肥与灌溉、病虫害防治及其他管理措施的改善等, 反映了一段历史时期社会生产力的进步; 气象产量为气象因子对实际产量的影响; 随机误差为其他偶然因素对实际产量可能产生的影响, 一般不予考虑 (王馥棠等, 1990)。因此, 作物实际产量变化最终可归为趋势产量变化和气候波动影响两大部分。本文采用以下 4 种方法对作物单产中的趋势产量分别进行计算, 作物实际单产与趋势产量的差值即为气象产量。

### (1) 回归拟合法

回归拟合是最常用的一类拟合趋势产量的方法，包括线性回归、正交多项式、对数函数、指数函数（Nicholls, 1997）、幂函数及 Logistic 函数拟合等。此类方法函数关系明确、计算简单，外推也很方便，但对于产量资料年代较长或曲线关系复杂的情况，应用此方法有一定的限制（王馥棠等, 1990）。

### (2) 线性滑动平均法

线性滑动平均估算法是由线性回归模型与滑动平均相结合的拟合方法，它将产量的时间序列在某个阶段内的变化看作线性函数，随着阶段的连续滑动，可以反映产量的连续变化。其优点在于不必主观假设作物历史产量的曲线类型，也不损失时间序列的样本容量，是一种应用较为广泛的经典方法（魏凤英, 1999；秦剑, 2000）。

### (3) 灰色系统模型法 GM (1, 1)

灰色系统理论由中国学者邓聚龙于 1982 年创立，现已广泛应用于农业、气象等诸多领域，被认为是一种研究“少数据、贫信息”问题的新方法（刘思峰等, 2010）。该理论认为，符合“灰因白果律”的数据是全信息的。在作物产量波动分析中，影响作物产量的因素是复杂多变的，具有“灰信息覆盖”特点，而每年作物产量又是确定的，具有“白信息覆盖”特点，从影响因子到作物实际产量符合“灰因白果律”。因此，利用灰色系统理论可以对作物产量进行有效地分析与预测。其中，灰色系统模型 GM (1, 1) 可将具有随机性特点的数据转化为具有较强规律性的数列，从而建立连续微分方程，可进行长时间高精度的估算与预测（田德斌和车明诚, 2009），近年来在农作物趋势产量估算中得到了一定应用。

灰色系统模型 GM(1, 1) 常用的精度检验方法为平均相对误差法，计算方法如下： $\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x^{(0)}(i) - \hat{x}^{(0)}(i)|}{x^{(0)}(i)}$ ，

式中  $\varepsilon$  代表模型平均相对误差， $n$  为时间序列个数， $x^{(0)}(i)$  为第  $i$  个时间序列的原始值， $\hat{x}^{(0)}(i)$  为第  $i$  个序列的估算值。其中， $\varepsilon < 20\%$  为模型适用条件（尹世久等, 2009）。

### (4) HP 滤波法

HP 滤波法是 Hodrick & Prescott 在分析美国战后经济景气度时首先提出的一种分析方法。HP 滤波法假设时间序列  $Y_t$  由趋势性成分和波动性成分组成，通过对时间估计序列  $S_t$  的选择，使下述损失函数的估算值达到最小，这时的  $S_t$  即认为是时间序列  $Y_t$  的趋势成分（Cogley 和 Nason, 1995；方福平等, 2005）。本方法理论系统完善，但计算方法复杂，在作物趋势产量估算中应用相对较少。

损失函数为： $\min \{ \sum_{t=1}^T (Y_t - S_t)^2 + \lambda \sum_{t=1}^T [(S_{t+1} - S_t) - (S_t - S_{t-1})]^2 \}$ ，式中  $\lambda$  为 HP 滤波法的计算步长，对于年度数据，取  $\lambda = 100$ 。HP 滤波法采用 EViews 6.0 进行分析。

在利用上述 4 种方法求得作物趋势产量和气象产量的基础上，同样参照张宇（1995）的方法计算社会因素和气象因素对我国主要农作物单产年际波动的影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 单产和种植面积变化对作物总产波动的影响

我国近 30 年来主要农作物总产年际波动影响因素的分析结果见表 1。可以看出，粮食和水果作物的单产变化是其总产年际波动的主要决定因素，其平均作用超过 1/2。棉花和糖料作物与此相反，特别是糖料作物单产变化对总产波动的平均作用只有 1/3 左右，种植面积变化解释了近 30 年总产波动的 60% 左右。油料作物单产和种植面积的变化对总产波动的影响几乎相等，共同决定着总产的年际变化。

表 1 我国农作物单产和种植面积变化对总产年际波动的贡献

Table 1 Contributions of per unit area yield and sown area to the total yield variability of the major crops in China (%)

主要农作物 Major crops		单产贡献 Contribution of the per unit area yield	种植面积的贡献 Contribution of the sown area	交互作用的贡献 Contribution of the interactions
粮食作物 Grain crops	小麦 Wheat	62.80	35.63	1.57
	稻谷 Rice	54.33	44.71	0.96
水果作物 Fruit crops	柑橘 Citrus	55.55	37.02	7.43
	苹果 Apple	52.80	39.81	7.39
油料作物 Oil crops	花生 Peanut	49.13	47.96	2.91
	油菜 Rapeseed	47.31	49.90	2.79
棉花 Cotton	棉花 Cotton	40.39	54.72	4.89
糖料作物 Sugar crops	甜菜 Sugar beet	34.80	59.68	5.52
	甘蔗 Sugarcane	33.10	64.90	2.00

## 2.2 主要农作物单产的分解

**2.2.1 粮食作物单产的分解** 利用上述4种方法对我国1981~2010近30年粮食单产中的趋势产量进行拟合,进而求得相应的气象产量,结果见图1和图2。其中,最优回归拟合方程为:稻谷  $y = 4.3956x^{0.1147}$ ,  $R^2 = 0.9447$ ,  $P < 0.001$ ; 小麦  $y = 0.0773x + 2.4069$ ,  $R^2 = 0.9381$ ,  $P < 0.001$  (式中,  $x$  为时间序列;  $y$  为稻谷、小麦趋势产量),由模型的  $R^2$  和  $P$  值可看出,稻谷和小麦的趋势产量拟合度很高。灰色系统模型 GM (1, 1) 趋势产量拟合公式为:稻谷  $\hat{y}^{(0)}(x+1) = 5.1729e^{0.0089x}$ ; 小麦  $\hat{y}^{(0)}(x+1) = 2.6493e^{0.0205x}$  ( $x, y$  意义同上),模型相对误差分别为2.24%和3.15% ( $< 20\%$ ),说明拟合精度很高。此外,由图1和图2可看出,线性滑动平均法和HP滤波法也很好模拟了作物单产的趋势变化。粮食作物实际单产与趋势产量的差值即为相应气象产量。

对4种方法获得的农作物趋势产量和气象产量分别进行单因素 ANOVA 检验。结果表明,4

种拟合方法得到的粮食作物趋势产量和气象产量差异均不显著,稻谷相应的  $P$  值分别为1.0000和0.9970、小麦相应的  $P$  值分别为1.000和0.991 ( $> 0.05$ ),说明4种方法在拟合粮食作物趋势产量上具有等效性。

**2.2.2 水果单产的分解** 利用上述4种方法对我国近30年水果单产进行了趋势产量和气象产量的分解,结果见图3和图4。其中,最优回归拟合方程为:柑橘  $y = 0.3155x + 1.9473$ ,  $R^2 = 0.9018$ ,  $P < 0.001$ 、苹果  $y = -0.9413x + 0.0786x^2 - 0.0012x^3 + 5.8692$ ,  $R^2 = 0.9815$ ,  $P < 0.001$  ( $x$  为时间序列;  $y$  为柑橘、苹果趋势产量)。由模型的  $R^2$  和  $P$  值可看出,两模型拟合度也很高。灰色系统模型 GM (1, 1) 趋势产量模拟公式为:柑橘  $\hat{y}^{(0)}(x+1) = 3.3120e^{0.0456x}$ 、苹果  $\hat{y}^{(0)}(x+1) = 2.1149e^{0.0717x}$  ( $x, y$  意义同上),模型的相对误差分别为9.47%和18.75%,仍满足模型的适用条件。此外,线性滑动平均法和HP滤波法也很好地反映了柑橘和苹果单产的趋势变化。

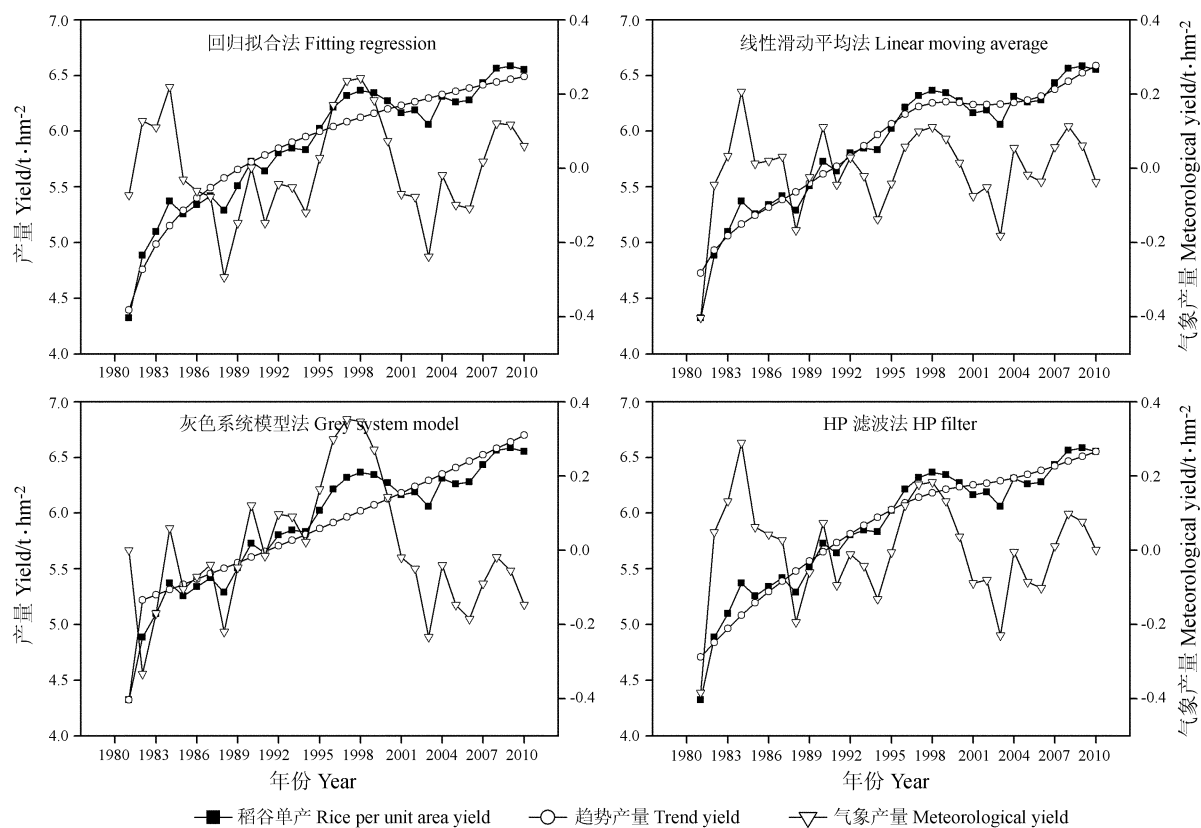


图1 全国稻谷单产分解

Fig. 1 Separation of rice per unit area yield in China



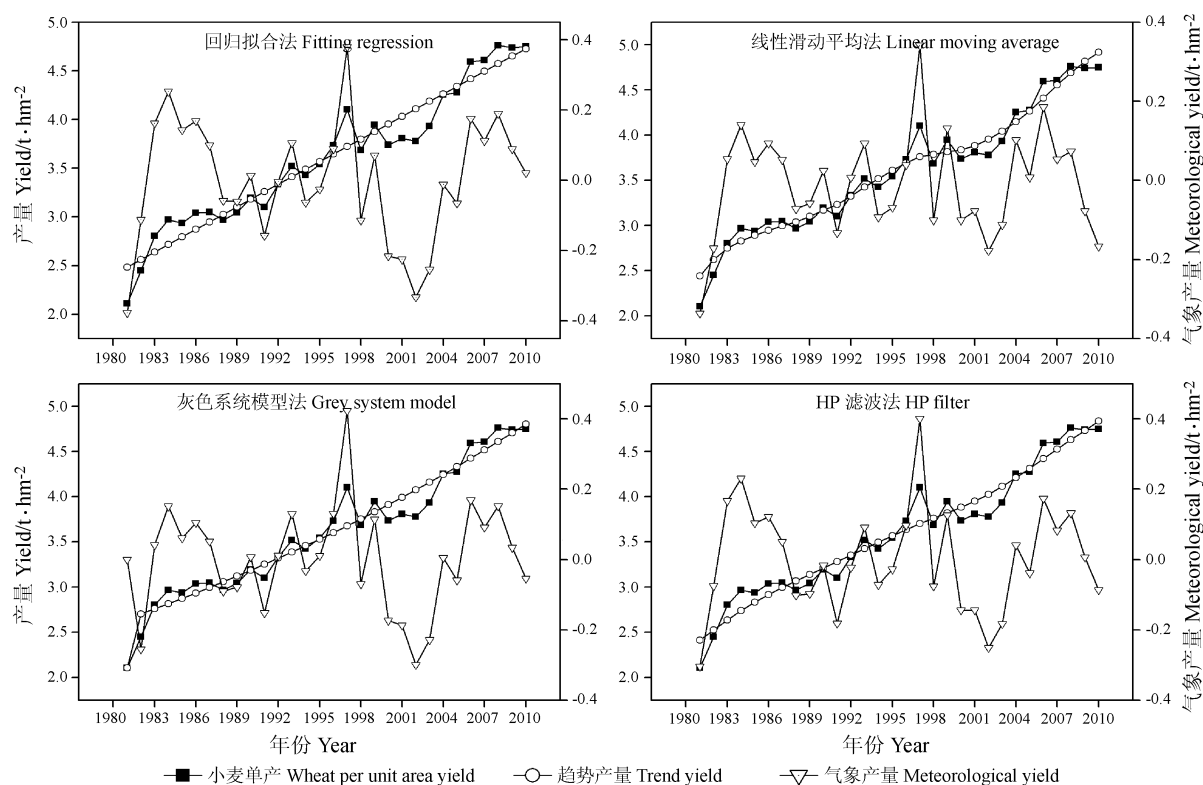


图2 全国小麦单产分解

Fig. 2 Separation of wheat per unit area yield in China

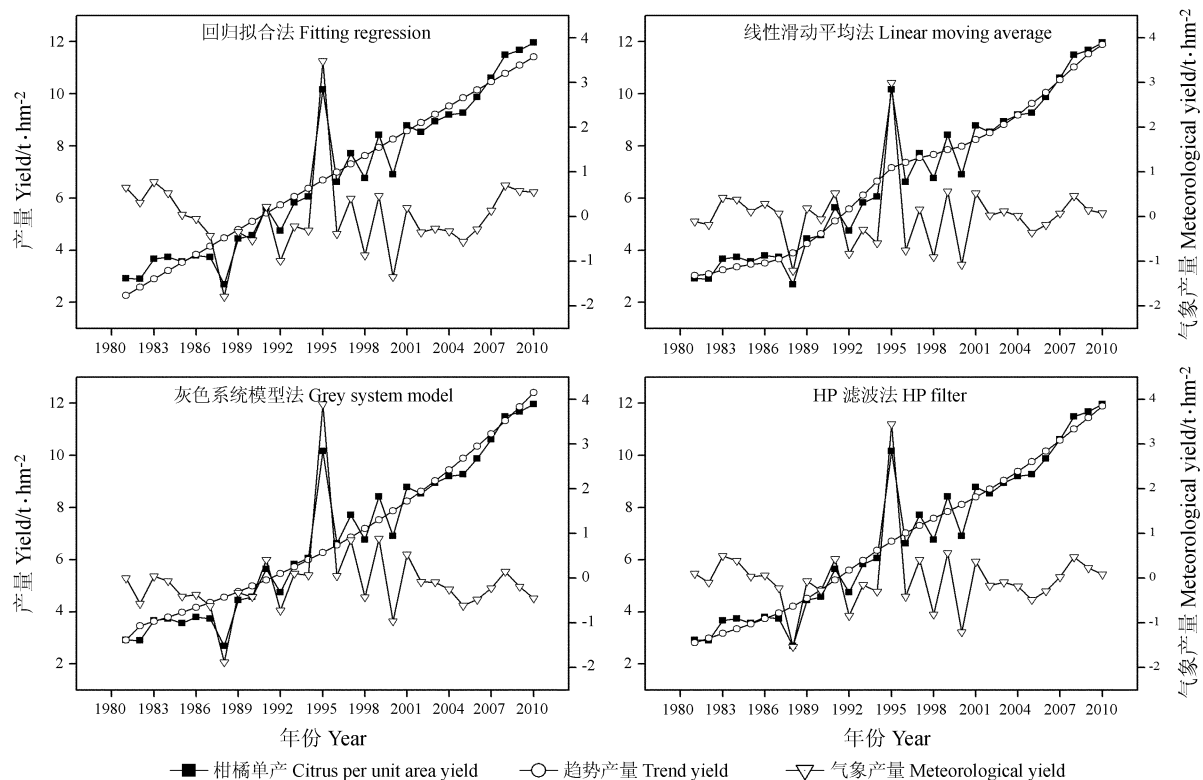


图3 全国柑橘单产分解

Fig. 3 Separation of citrus per unit area yield in China

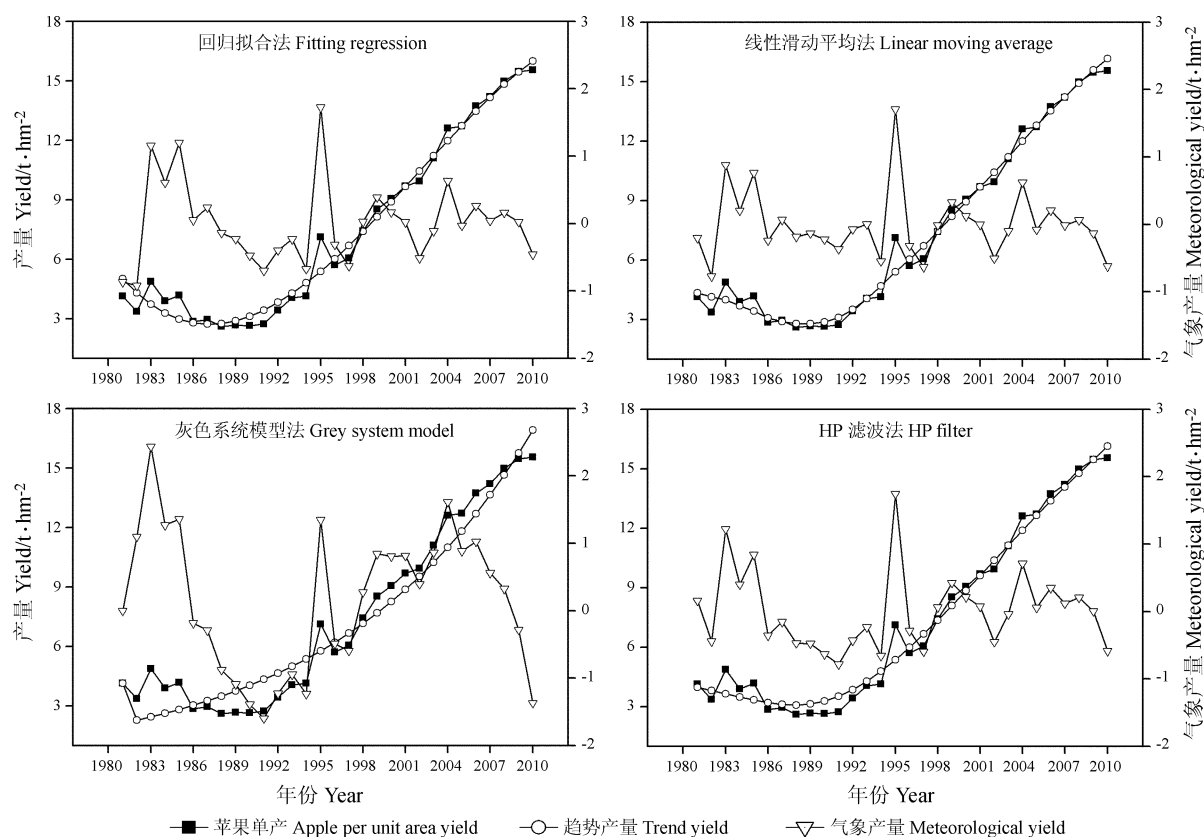


图4 全国苹果单产分解

Fig. 4 Separation of apple per unit area yield in China

对4种方法获得的农作物趋势产量和气象产量分别进行单因素 ANOVA 检验。结果同样表明,4种方法得到的作物趋势产量和气象产量差异均不显著,柑橘相应的  $P$  值分别为 0.9990 和 0.9770、苹果相应的  $P$  值为 0.9990 和 0.8180 ( $>0.05$ ),4种方法同样在水果趋势产量拟合上具有等效性。

**2.2.3 其他作物单产的分解** 对于油料、糖料和棉花作物的单产同样运用上述4种方法进行分解,对得到的各作物趋势产量和气象产量分别进行单因素 ANOVA 检验,结果表明,4种方法彼此间同样无显著性差异。因此,本研究中4种方法对各作物趋势产量拟合是等效的。

### 2.3 主要农作物单产波动的特征分析

以上研究表明,4种作物产量分解方法具有等效性。现以 HP 滤波法所得分解结果为例,分析比较了我国主要农作物实际单产、趋势产量和气象产量的变化规律(图5)。可以看出,近30年来,我国主要农作物单产均呈上升趋势,特别

是水果产量上升最为显著,柑橘单产年均增长率达 7.09%,苹果单产年均增长率为 6.29%;其次为棉花(3.26%)、油料作物(花生 3.15% 和油菜 2.21%);粮食作物单产年均增长率相对较低(小麦 2.99% 和稻谷 1.49%);糖料作物的单产年均增长率不太一致,甜菜较高为 4.39%,甘蔗最低为 0.85%。各类作物趋势产量变化和相应单产的变化趋势基本一致。各类作物气象产量呈剧烈波动特征,年际间缺乏连续性。通过计算比较各作物相对气象产量(即气象产量/相应趋势产量)的平均波动幅度发现,水果气象产量波动最为剧烈(柑橘相对气象产量的平均波动幅度为 17.76%、苹果为 15.83%),其次为棉花(13.22%)、油料作物(花生 9.58%、油菜 9.23%)、粮食作物(小麦 6.39%、稻谷 4.59%),糖料作物气象产量波动不太一致,甜菜较高为 15.11%,甘蔗较低为 4.93%。

**2.4 社会因素和气象因素对作物单产波动的影响** 仍以 HP 滤波法所得结果为例估算社会因素

和气象因素对我国主要农作物单产年际波动的影响, 结果见表 2。

可以看出, 所有作物单产的年际波动都主

要由气象因素决定, 年际间气候条件变化对作物单产波动的影响占整个单产波动的 57.47% ~ 80.02%。

表 2 社会因素和气象因素对我国主要农作物单产年际波动的贡献

Table2 Contributions of social and meteorological factors on the per unit area yield variability of the major crops in China (%)

主要农作物 Major crops		社会因素的贡献 Contribution of social factors	气象因素的贡献 Contribution of meteorological factor
粮食作物 Grain crops	小麦 Wheat	37.37	62.63
	稻谷 Rice	36.88	63.12
水果作物 Fruit crops	柑橘 Citrus	27.34	72.66
	苹果 Apple	42.53	57.47
油料作物 Oil crops	花生 Peanut	31.11	68.89
	油菜 Rapeseed	20.63	79.37
棉花 Cotton	棉花 Cotton	23.42	76.58
糖料作物 Sugar crops	甜菜 Sugar beet	32.34	67.66
	甘蔗 Sugarcane	19.98	80.02

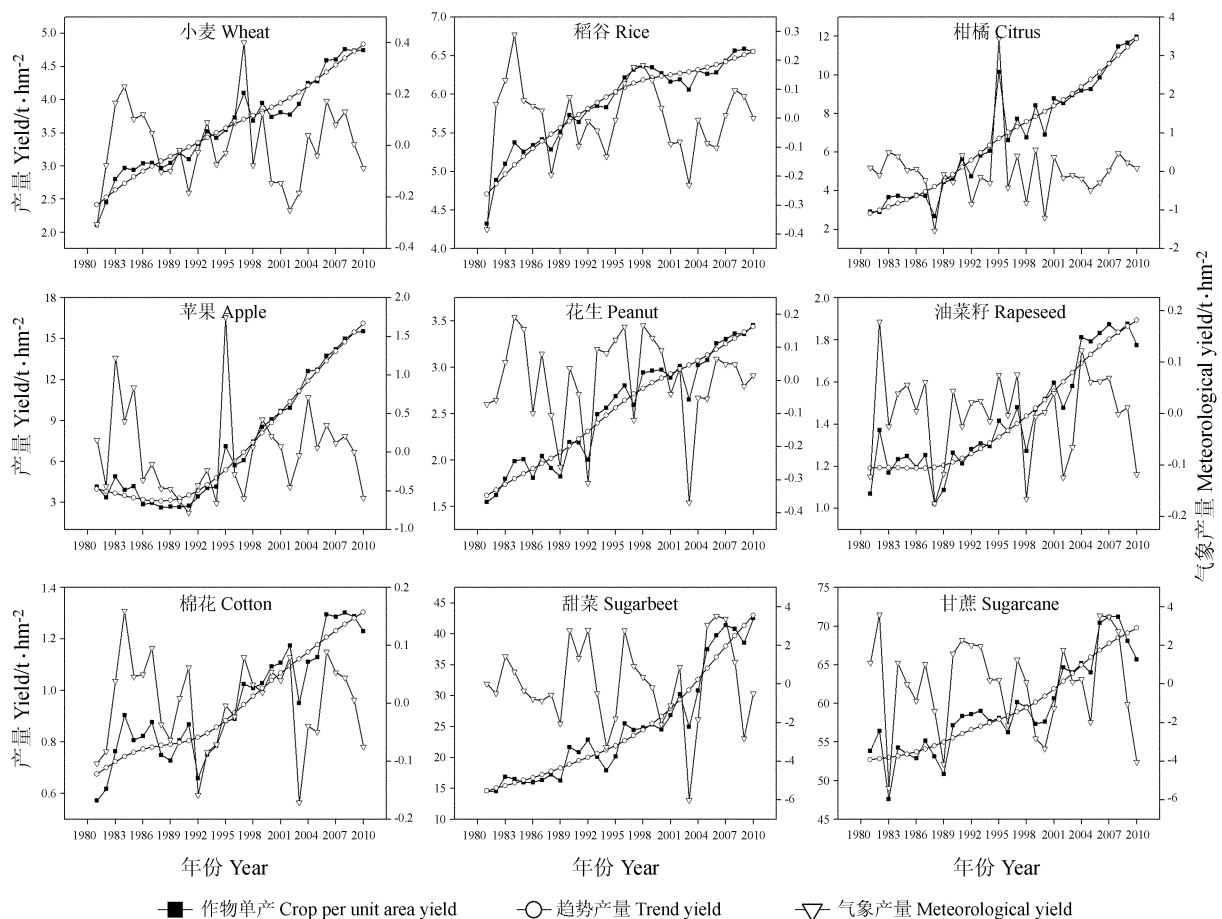


图 5 全国主要农作物单产分解 (以 HP 滤波为例)

Fig.5 Separation of per unit area yield of major crops in China (Taking HP filter model as example)

### 3 讨论

#### 3.1 我国主要农作物产量波动影响因素

我国是一个农业生产大国,耕地是农业生产的根本,是人类的衣食之源,也是实现社会经济持续、稳定、健康发展的重要保证。我国耕地资源总量虽大,但人均耕地却很少、耕地质量较差且耕地后备资源严重不足。特别是近些年来,随着人口增加、经济发展和城镇扩张,我国耕地面积逐年减少。因此,保护耕地面积、提高单位面积产量成为稳定并提高农业生产的必须途径。本研究表明,粮食作物和水果总产的提高主要依赖于单产的提高,油料作物总产的提高中单产和种植面积作用相当。但近30年来糖料作物和棉花总产提高主要是种植面积增加的结果,单产对总产提高的作用较小,这便对进一步提高糖料和棉花作物产量提出了严峻考验。因此,在当今耕地面积有限并日趋减少情况下,进一步提高作物单产对总产贡献率是保证我国农业生产持续发展的一项迫切任务。

作物单产波动主要依赖于农业政策、农业科技进步和投入等社会因素及气候变化。现有的对粮食作物研究表明,农业技术及投入等社会因素对单产的贡献率越来越受到外界环境因素削弱或掩盖,其作用不断下降,而外界环境因素的制约则越来越强(潘根兴,2010)。张宇(1995)对我国1951~1990年粮食产量波动特征研究表明,气象因素影响比其他因素如技术水平作用大,占整个单产变化的一半。叶殿秀(1996)在研究我国关中地区1973~1994棉花产量波动中也发现,棉花产量年际波动主要受气候波动影响。Lobell等(2003)分析比较了气候和农业管理技术对美国玉米和大豆产量波动的影响,结果表明气候条件特别是生长季温度变化对作物产量波动具有较大影响,农业管理技术对作物产量提高的回报率则越来越低。本研究结果进一步表明,近30年来我国主要农作物单产波动均由气象因素决定,气候变化制约着农作物单产变化。20世纪90年代以来,全球气候变化程度日益加剧,其对农作物年际间产量的影响也将越来越严重,这对我国农业生产安全提出了严峻考验。气候变化下中国农业能否保持可持续发展,能否继续稳定并提高作物生产能力,是关系国民经济持续稳

定发展和13亿人口食物保障的重大国计民生问题。因此,进一步深入研究气候变化对中国农业生产的影响特点和表现,分析气候变化对农业生产影响的机制和途径,提出未来我国农业应对气候变化的总体战略是亟待解决的重大社会和科研问题。

#### 3.2 我国主要农作物产量分解模型的比较

作物产量是在各种自然因素和非自然因素的综合影响下形成的。目前为止,国内外研究者大多将这些因素归为社会因素、气象因素和随机误差三类。相应将作物产量分解为趋势产量、气象产量和随机误差。农作物产量分解方法在实践中不断得到发展。

趋势产量的拟合方法主要有滑动平均、线性回归、非线性回归、阶段函数、Logistic函数、线性滑动平均、调和权重、指数平滑法等。此外,应用灰色系统模型GM(1,1)(于平福等,2008;Yuan和Jiang,2011)及计量经济学中的HP滤波法(李富欣等,2008;魏宏杰等,2011)进行趋势产量估算近年来也多有应用。为了比较不同方法的拟合效果,提高结论的准确性,本研究从中选取了4种方法分别对我国9种主要农作物趋势产量进行了拟合。结果表明4种方法具有等效性,都很好的对近30年来我国主要农作物趋势产量进行了拟合。

### 4 结论

近30年来,我国主要农作物总产和单产都呈逐步增长趋势,但年际间存在一定程度波动。总产年际波动可由单产和种植面积的年际变化解释;单产年际波动是社会因素和气象因素综合作用的结果。上述各影响因素对作物产量波动的贡献率因作物类型不同而有所差异。总体上,所有作物的产量波动都主要由种植面积和气候条件决定,农业政策和科技进步等社会因素对作物产量波动的贡献较小,表明我国农业生产仍需进一步加大科技投入力度,加快科学技术转化与推广,制定更为合理的农业政策;此外,深入研究气候变化对我国农作物产量的影响亦是当今我国农业生产安全的重要任务之一。

本研究所采用的4种农作物趋势产量拟合方法具有等效性,都很好的对近30年来我国主要



农作物趋势产量进行了拟合。

### 〔参 考 文 献〕

- 刘思峰, 党耀国, 方志耕等, 2010. 灰色系统理论及其应用-第五版 [M]. 北京: 科学出版社, 1
- 潘根兴, 2010. 气候变化对中国农业生产的影响分析与评估 [M]. 北京: 中国农业出版社, 274—283
- 王馥棠, 李郁竹, 王石立, 1990. 农业产量气象模拟与模型引论 [M]. 北京: 科学出版社, 40—60
- 魏凤英, 1999. 现代气候统计诊断预测技术 [M]. 北京: 气象出版社, 59—79
- Cogley T, Nason JM, 1995. Effects of the Hodrick-Prescott filter on trend and difference stationary time series implication for business cycle research [J]. *Journal of Economic Dynamics and Control*, **19**: 253—278
- Fang FP (方福平), Wang L (王磊), Liao XY (廖西元), 2005. The analysis of contributing factors affecting rice production fluctuation in China [J]. *Journal of Agrotechnical Economics* (农业技术经济), **6**: 72—78
- Lai HB (赖红兵), 2009. Analysis of the fluctuation and structure of grain yield in China [J]. *Journal of Agrotechnical Economics* (农业技术经济), **5**: 91—96
- Li FX (李富欣), Xu ZC (许自成), Zhao JZ (赵建州) *et al.*, 2008. Analysis of factors influencing flue-cured tobacco production in Henan province [J]. *Acta Tabacaria Sinica* (中国烟草学报), **14** (2): 39—43, 49
- Lin Y (林燕), Yu L (于冷), 2006. A study on the fluctuation of China's grain yield [J]. *Journal of Jilin Agricultural University* (吉林农业大学学报), **28** (3): 346—350
- Lobell DB, Asner GP, 2003. Climate and management contributions to recent trends in U. S. agricultural yields [J]. *Science*, **299**: 1032
- Lu LS (卢良恕), 2001. Current situation and prospect of agricultural development in China [J]. *Engineering Science* (中国工程科学), **3** (11): 28—31
- Nicholls N, 1997. Increased Australian wheat yield due to recent climate trends [J]. *Nature*, **387**: 484—485
- Qin J (秦剑), 2000. Relationship between climatic factors and grain production in Yunnan province [J]. *Quarterly Journal of Applied Meteorology* (应用气象学报), **11** (2): 213—220
- Tian DB (田德斌), Che MC (车明诚), 2009. A study on fluctuation and policy suggestion of grain yield in Heilongjiang province [J]. *Research of Agricultural Modernization* (农业现代化研究), **30** (3): 284—287
- Wang YB (王玉斌), Jiang JP (蒋俊朋), Wang XZ (王晓志) *et al.*, 2007. Positive analysis of influencing factors of grain output fluctuation in China [J]. *Journal of Beijing University of Agriculture* (北京农学院学报), **22** (4): 38—41
- Wei HJ (魏宏杰), Liu RJ (刘锐金), Yang L (杨琳), 2011. Analysis on the cyclic fluctuations of natural rubber production in China-empirical study based on HP filter method [J]. *Chinese Journal of Tropical Agriculture* (热带农业科学), **31** (3): 42—46
- Ye DX (叶殿秀), 1996. Characteristics of yield fluctuation of cotton in Guanzhong area and meteorological indicators of high and stable production [J]. *Chinese Journal of Agro-Meteorology* (中国农业气象), **17** (4): 12—14
- Yin SJ (尹世久), Wu LH (吴林海), Zhang Y (张勇), 2009. Empirical analysis of the factors influencing grain yield [J]. *Systems Engineering-Theory & Practice* (系统工程理论与实践), **10** (29): 28—34
- Yu PF (于平福), Li WK (李维科), Su XB (苏晓波) *et al.*, 2008. The applied research on time sequence & set pair analysis model for crop-yield forecasting [J]. *Sci-Tech Information Development & Economy* (科技情报开发与经济), **18** (26): 108—109
- Yuan L, Jiang B, 2011. Study on the yield prediction model of processing tomato based on the grey system theory [J]. *Agricultural Science & Technology*, **12** (5): 632—633, 642
- Zhang Y (张宇), 1995. The variation features of grain yield in China in recent 40 years [J]. *Chinese Journal of Agro-Meteorology* (中国农业气象), **16** (3): 1—4
- Zhang YJ (张越杰), Wang J (王军), 2007. Analysis of grain yield fluctuation in Jilin [J]. *Journal of Agro-Technical Economics* (农业技术经济), (3): 74—79