

气候变化对苹果主产区单产及单产增长的贡献研究

白秀广 陈晓楠* 郑少锋

(西北农林科技大学 经济管理学院,陕西 杨凌 712100)

摘要 以中国的渤海湾和黄土高原等两大苹果主产区为例,运用超越对数随机前沿生产函数模型,分析了1992—2012年以气温、降水量和日照时数等指标衡量的气候变化对苹果单产及单产增长的贡献。结果表明:气温升高、降水量减少和日照时数减少均有利于苹果单产增加,气温每升高1℃,单产将增加2.38%~2.89%;降水量每减少10 mm,单产将增加2.07%~5.43%;日照时数每减少10 h,单产将增加1.01%~1.33%;气候因素主要通过与地区的交互作用影响苹果单产,降水量和日照时数对两地区苹果单产影响为负,气温对单产的影响为正,且气候因素对黄土高原区比对环渤海地区的影响力度更强。不同因素对苹果单产增长的贡献具有差异,气候因子贡献率为-12.79%,主要投入要素贡献率为21%,TFP增长的贡献达到32.98%。

关键词 气候变化;随机前沿生产函数;全要素生产率;苹果

中图分类号 F 323.21

文章编号 1007-4333(2015)04-0082-10

文献标志码 A

Impact and contribution of climate change on apple productivity in China

BAI Xiu-guang, CHEN Xiao-nan*, ZHENG Shao-feng

(College of Economics and Management, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract The impact of climate change on crop productivity is a hot research topic in agricultural production, and indirect crop simulation models have been evaluated by many researchers. During the years of 1992 to 2012, the apple yield in 8 main producing provinces of China was significantly influenced by the climate change factor, which was indicated by temperature, precipitation and sunshine hours. In this paper, the impacts and contribution of climate change on apple productivity were explored by using stochastic frontier trans-log function with a panel data set from the 8 provinces. The empirical results showed that the apple yield potential increases about 2.38% - 2.89% induced by raising per 1℃ in temperature factor, decreases about 2.07% - 5.43% induced by raising per 10 mm in precipitation factor, and decreases about 1.01% - 1.33% induced by raising per 10h in sunshine hours factor; secondly, the climate factors affect apple yields through interaction with area, the precipitation and sunshine hours have negative effects on the yield, and the temperature has positive effects on the yield; thirdly, the major contributor to the apple yield growth is TFP growth which accounts for 32.98% of apple production growth in the period of 1992—2012, the average contribution sourced from the input growth is 21%, whereas the climate has a negative contribution at the level of -13.6%.

Key words climate change; stochastic frontier function; TFP; apple

联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)的研究表明,近百年间(1906—2005年)全球平均气温上升0.74℃,中国气温上升幅度为0.5~0.8℃^[1]。近50年中国气温变化与全球较一致且增温趋势略

收稿日期:2014-10-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(71303188);教育部人文社科基金项目(11YJC630003);西北农林科技大学基本科研业务费(QN2012050)

第一作者:白秀广,副教授,主要从事农业资源与环境管理、农业经济理论与政策研究,E-mail:baixg960@nwsuaf.edu.cn

通讯作者:陈晓楠,讲师,主要从事资源经济与环境管理研究,E-mail:blueklin@nwsuaf.edu.cn

高于全球平均水平,达到 $0.22\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{年}$,尤其在中国北方增温更加明显。全球气候变暖,将对依赖自然环境并且反应最敏感的农业生产部门产生重要影响。

全球气候变化及其响应和适应的研究越来越成为研究的热点问题^[2],气候变化对农业和作物产量的影响也正引起人们的极大关注^[3],目前主要有3种方法。一种是利用作物气候模型等进行模拟气候变化对作物产量的影响,如 Sinclair 等^[4]通过运用作物模型对特定气候条件下的生产潜力进行了动态模拟。林而达等^[5]通过区域气候模式分析指出,在 CO_2 浓度加倍条件下,小麦、水稻和玉米三大作物均以减产为主,而棉花以增产为主,其中,小麦、玉米和水稻最高产量变化幅度在 $-21\%\sim 55\%$,棉花在 $13\%\sim 93\%$,且其变化幅度随不同的气候情景和地点而不同。然而这种方法往往通过特定情景和条件来研究气候变化对农业产量的影响,由于模拟试验的条件太苛刻,忽视了其他因素,从而使结果不准确或不符合现实生产情况。实际上,气候和社会经济因素共同影响作物产量,因此,在社会经济领域利用引入气候因素的经济模型进行研究就成了自然科学方法的一个重要的补充,即目前运用较广泛的基于生产函数的气候产量模型法。David 等^[6]首先运用气候产量法研究了1982—1998年气候变化对美国玉米和大豆产量的影响,指出生长季温度每上升 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,美国的玉米和大豆产量就会减产 17% 左右,而降水量和日照对作物产量影响不显著。Lin 等^[7]利用3年农户面板数据分析了气候变化对中国粮食产量的影响,指出气候变化对小麦有负面影响,而对大豆和玉米有正向作用,且对中国中部和北部地区粮食产量有正向影响,对中国南部和西部地区有微弱的正向影响,而对中国东部、西南部和东北部地区有负向影响。崔静等^[8]运用超越对数生产函数模型分析了1975—2008年作物生长期气候变化对中国小麦、水稻和玉米等3种粮食单产的影响,指出生长期内气温升高对粮食单产具有负向影响,但对不同品种、不同地区粮食单产的影响具有差异性,降水增加对单产的影响因粮食品种而异。刘天军等^[9]利用气候产量模型基于陕西6个苹果基地县调研数据研究了气候变化对产量的影响,指出温度对苹果产量产生正影响,而降雨量对苹果产量产生负影响。气候产量模型法虽同时考虑了气候与生产要素对产量的影响,但却忽视了生产过程中的无效率,因此,

Chen 等^[10]在气候产量模型法的基础上进一步提出了考虑生产效率的基于随机前沿生产函数的气候产量模型,并利用此模型对中国粮食产量2006—2009年的增长来源进行了分解,指出粮食产量增长的主要来源是投入要素增长,占 60.92% ,TFP增长贡献 17.30% ,气候因素中的气温贡献 4.20% ,而降水量贡献 -0.88% ,且存在技术无效率。

可以看出,气候变化对农作物产量的研究目前主要集中在粮食作物,且气候变化的影响表现出在一些地区是正效应,在另一些地区是负效应,而气候变化对不同农作物产量的影响也具有差异性。已有研究表明,近几十年来由气候变化导致的作物减产逐渐增多,而由技术进步导致的增产越来越少^[11-12],导致某些国家的气候趋势大到可以抵消很大一部分由技术、投入要素和其他因素带来的产量增长^[13]。

苹果作为中国传统的优势经济作物,在全球气候变暖和生产技术发生变化的情况下,气候变化对苹果产量有何影响,苹果产量变化的主要动力来源是什么,对这2个问题进行研究有助于回答如何应对气候变化提升苹果产量这一政府和专家学者所关心的问题。然而目前有关气候变化对全国苹果甚至水果产量影响的研究还未涉及。因此,本研究以中国的渤海湾区(辽宁、河北和山东)及黄土高原区(河南、山西、陕西、甘肃和宁夏)等两大苹果主产区的8个主产省为研究对象,在考虑农民应对气候变化的适应性行为的基础上,揭示气候变化对中国不同地区苹果单产及单产增长的影响,旨在为农户和政府应对气候变化采取有效的措施提供科学依据。

1 研究方法与数据来源

1.1 理论模型及方法

作物生长过程是光、温、水、土地及养分等要素相互作用的结果。气候因素与劳动、资本和土地不同,这些因素不是生产要素,但会影响生产要素的使用效率^[8],进而影响苹果产量和全要素生产率。由于随机前沿生产函数模型同时考虑了生产效率和随机因素(不可控因素)的影响,使用最大似然估计法(ML)可以很好地完成估计,所以在研究中应用更为广泛。因此,本研究将气候因素作为外生变量引入超越对数形式的随机前沿生产函数模型,用以估计各种气候因素和生产效率对苹果产量及产量增长的影响程度。

根据 Chen 等^[10]和 Aigner 等^[14]的方法,考虑

气候因素的随机前沿生产函数模型一般形式为:

$$\ln y_{it} = A(t) + \ln f(x_{ijt}, t) + g(z_{ilt}) + v_{it} - u_{it} \quad (1)$$

式中: y_{it} 为苹果产量; $A(t)$ 为纯技术进步; x_{ijt} 为生产要素投入向量; 函数 f 中包含时间 t 表示允许生产前沿随着时间移动即出现非中性技术进步; z_{ilt} 为气候因素; u_{it} 为技术非效率项, 服从均值非负的截尾正态分布即 $u_{it} \sim N(\mu, \sigma_u^2)$; v_{it} 为残差项, $v_{it} \sim iidN(0, \sigma^2)$ 。

将式(1)两边对 t 求导得到:

$$\frac{\partial \ln y_{it}}{\partial t} = \frac{\partial A(t)}{\partial t} + \frac{\partial \ln f(x_{ijt}, t)}{\partial t} + \frac{\partial g(z_{ilt})}{\partial t} - \frac{\partial u_{it}}{\partial t} \quad (2)$$

式(2)可以变换为:

$$\begin{aligned} \frac{\partial y_{it}/\partial t}{y_{it}} &= \frac{\partial A(t)}{\partial t} + \sum_{j=1}^k \frac{\partial f}{\partial x_{ijt}} \times \frac{x_{ijt}}{f} \times \frac{\partial x_{ijt}/\partial t}{x_{ijt}} + \\ &\frac{\partial f}{\partial t} \times \frac{1}{f} + \sum_{l=1}^m \frac{\partial g}{\partial z_{ilt}} \times \frac{z_{ilt}}{g_{it}} \times g_{it} \times \frac{\partial z_{ilt}/\partial t}{z_{ilt}} - \frac{\partial u_{it}}{\partial t} \end{aligned} \quad (3)$$

设

$$\dot{y}_{it} = \frac{\partial y_{it}/\partial t}{y_{it}} \quad (4)$$

$$\dot{A}_{it} = \frac{\partial A(t)}{\partial t} + \frac{\partial f}{\partial t} \times \frac{1}{f} \quad (5)$$

$$e_{ijt} = \frac{\partial f}{\partial x_{ijt}} \times \frac{x_{ijt}}{f} \quad (6)$$

$$\dot{x}_{ijt} = \frac{\partial x_{ijt}/\partial t}{x_{ijt}} \quad (7)$$

$$e_{ilt}^z = \frac{\partial g}{\partial z_{ilt}} \times \frac{z_{ilt}}{g_{it}} \times g_{it} \quad (8)$$

$$\dot{z}_{ilt} = \frac{\partial z_{ilt}/\partial t}{z_{ilt}} \quad (9)$$

$$\dot{TE}_{it} = -\frac{\partial u_{it}}{\partial t} \quad (10)$$

则式(3)可以写成:

$$\dot{y}_{it} = \dot{A}_{it} + \sum_{j=1}^k e_{ijt} \dot{x}_{ijt} + \sum_{l=1}^m e_{ilt}^z g_{it} \dot{z}_{ilt} + \dot{TE}_{it} \quad (11)$$

式中: \dot{y}_{it} 为苹果产量增长率; e_{ijt} 为第 j 种投入要素的产出弹性; \dot{x}_{ijt} 为第 j 种投入要素的投入增长率; e_{ilt}^z 为第 l 种气候因素的产出弹性; \dot{z}_{ilt} 为第 l 种气候因素的变化率; \dot{A}_{it} 为技术进步。从式(11)可知, 苹果产量增长可由四部分引起, 即投入要素增长 $\sum_{j=1}^k e_{ijt} \dot{x}_{ijt}$, 技术进步 \dot{A}_{it} , 技术效率变化率 \dot{TE}_{it} , 及气候因素引起的变化 $\sum_{l=1}^m e_{ilt}^z g_{it} \dot{z}_{ilt}$; 并参照全炯振^[16],

将全要素生产率(TFP)记为技术进步 \dot{A}_{it} 与技术效率变化率 \dot{TE}_{it} 之和。

根据作物生育期气候因素与单产之间的二次函数关系及地区的地理特征和气候因素对作物单产具有交互影响, 本研究将分别对土壤和灌溉条件相似的苹果两大主产区采用超越对数形式的随机前沿生产函数模型, 其表达形式为:

$$\begin{aligned} \ln y = & \alpha_0 + \beta_1 \ln la + \beta_2 \ln fa + \beta_3 \ln wz + \beta_4 t + \\ & 0.5\beta_5 (\ln la)^2 + 0.5\beta_6 (\ln fa)^2 + 0.5\beta_7 (\ln wz)^2 + \\ & 0.5\beta_8 t^2 + \beta_9 \ln la \ln fa + \\ & \beta_{10} \ln la \ln wz + \beta_{11} \ln fa \ln wz + \beta_{12} t \ln la + \\ & \beta_{13} t \ln fa + \beta_{14} t \ln wz + \gamma_1 \ln te + \\ & \gamma_2 \ln pe + \gamma_3 \ln sun + 0.5\gamma_4 (\ln te)^2 + \\ & 0.5\gamma_5 (\ln pe)^2 + 0.5\gamma_6 (\ln sun)^2 + \gamma_7 \ln pe \times D + \\ & \gamma_8 \ln te \times D + \gamma_9 \ln sun \times D + v - \mu \end{aligned} \quad (12)$$

式(12)中, 各变量均省略了下标 i 和 j , 分别表示第 i 个省份和第 j 年。 Y 为苹果每公顷产量, 在生产投入要素中, la 为每公顷劳动用工投入, fa 为每公顷化肥投入, wz 为其他物质每公顷投入; 时间趋势项 t 代表技术进步的程度; 气候因素不是生产要素, 但是, 它影响生产要素投入的数量和质量, 进而影响生产效率, 因此, 本研究考虑的气候因素包括苹果生育期内的月平均气温(te)、降水量(pe)和日照时数(sun), 考虑到气候因子对苹果产量的非线性影响, 用各自的自然对数值及其二次项分别表征这一影响; 加入区域变量 D 来表征地区的地理特征和气候因素对作物单产具有的交互影响; v_{it} 表示随机统计误差, 假定服从正态分布; u_{it} 表示技术非效率引起的误差, 假定服从截尾正态分布, 且 v_{it} 与 u_{it} 相互独立。

1.2 数据来源与说明

本研究选取 1992—2012 年中国苹果两大主产区 8 个省份的苹果生育期内的月平均气温、降水量和日照时数作为影响苹果产量的气候因素, 这些数据来源于中国气象局中国地面气候资料月值数据集 (<http://cdc.cma.gov.cn/home.do>) 中的 121 个苹果主产县的临近站点的气候数据, 并做插值处理。刘璐等^[15]指出苹果生育期主要集中在 4—10 月, 因此, 本研究所用生育期气候数据是利用 GIS 软件对 121 个气象站点生育期月值数据进行分省份处理。1992—2012 年各省区苹果的单位面积产量、用工数量、化肥费用和物质费用等生产要素数据均来自历年的《全国农产品成本收益资料汇编》, 同时, 为了剔

除价格变化的影响,化肥费用和物质费用的数据均用相应各省份化肥价格指数和农业生产资料价格指

数按 1992 年不变价格进行平减。各主要变量的描述性统计见表 1。

表 1 生产要素及气候因素的统计指标

Table 1 Indicators of production factors and climate factors

| 指标 Index | 产量/ (kg/hm ²) Yield | 用工数量/ (d/hm ²) Labor input | 化肥费用/ (元/hm ²) Fertilizer cost | 物质费/ (元/hm ²) Material expenses | 降水量/ (mm/月) Average precipitation | 平均气温/ (℃/月) Average temperature | 日照时数/ (h/月) Average sunshine hours |
|-------------|---------------------------------------|--|--|---|---|---------------------------------------|--|
| 均值 | 25 625.85 | 762.90 | 3 483.60 | 4 453.50 | 64.79 | 19.43 | 217.28 |
| 标准差 | 7 276.80 | 304.20 | 1 627.05 | 2 312.70 | 20.01 | 1.24 | 25.18 |
| 最小值 | 9 642.60 | 333.00 | 366.45 | 1 412.55 | 17.66 | 16.31 | 161.49 |
| 最大值 | 48 167.70 | 1 771.50 | 9 881.10 | 13 289.10 | 118.56 | 21.77 | 284.49 |
| 变异系数 | 0.28 | 0.40 | 0.47 | 0.52 | 0.31 | 0.06 | 0.12 |

从表 1 可以看出,物质费用的变异系数最大,说明苹果生产的单位面积物质成本变化在所有投入要素中最大;化肥费用的变异系数也较大,仅次于物质费的变化,说明苹果单位面积的化肥投入的变化幅度也较大,是影响苹果单产的重要因素;单位面积产量的变异系数最小,表明在 1992—2012 年苹果单位面积产量变化不大,单产相对比较稳定。

气候因素中,降雨量变化幅度最大,其次为日照时数,气温变化最小。苹果主产省的苹果生育期月均降雨量在 1997 年集中出现一次谷值,在 2003 年出现一次峰值,且各地区在 2006 年后平均降水量呈现上升趋势。在 1992—2012 年的研究区间内,环渤

海区的辽宁、山东和河北省平均降水量及波动幅度均高于黄土高原区 5 省,且河北在环渤海区波动最小,而河南在黄土高原区波动最大,山东平均降水量最多为 82.21 mm,宁夏最少为 32.22 mm,整体平均降雨量为 64.79 mm,整体波动为 20.01 mm,各省苹果生育期月均降水量差异较大(图 1)。图 2 显示,苹果主产区月均日照时数在 1997 年集中出现一次峰值,在 2003 年集中出现谷值,而区域差异较明显,在研究区间内,宁夏的月均日照时数最多为 253.98 h,河南最少为 191.18 h,而宁夏的月均日照时候波动最小为 11.56 h,陕西的波动最大为 18.07 h,不同地区月均日照时数变化无规律,整体平均为

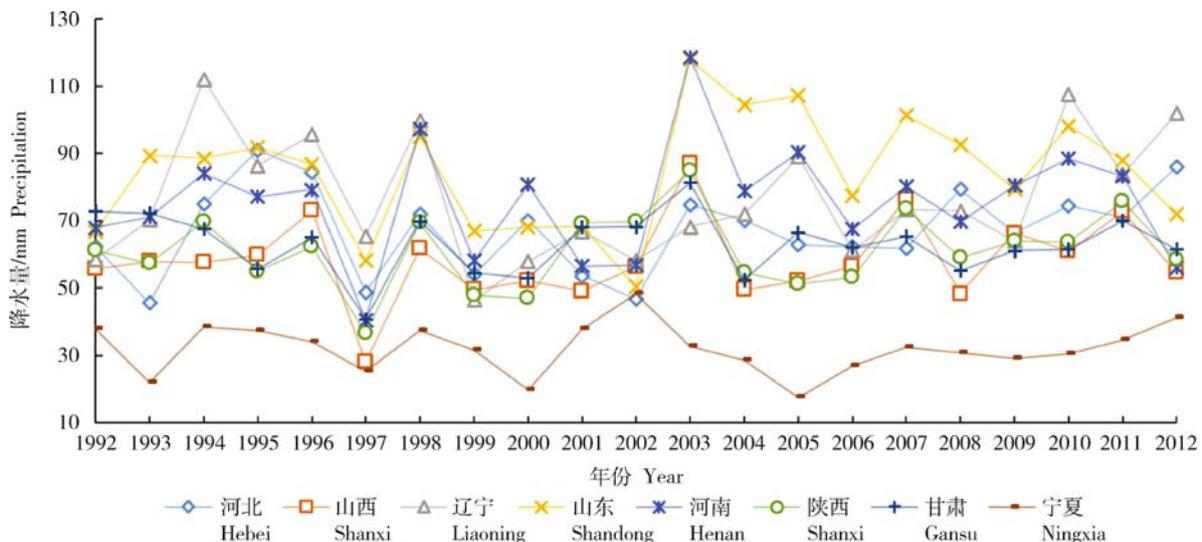


图 1 苹果 8 个主产省区月均降水量变化情况(1992—2012)

Fig. 1 Changes of the average monthly precipitation in 8 apple main production provinces from 1992—2012

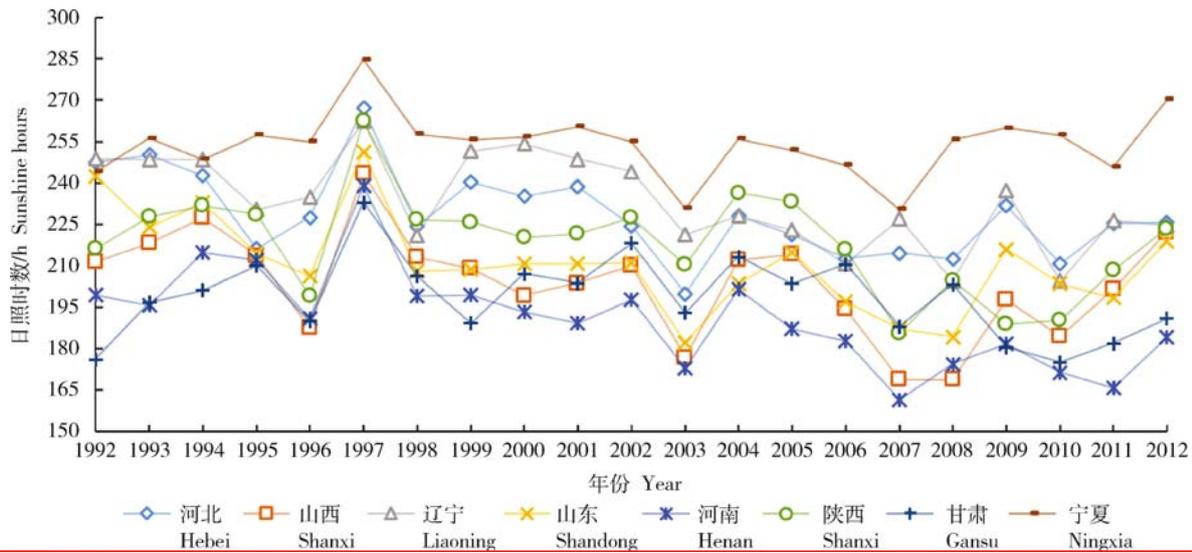


图2 苹果8个主产省区月均日照时数变化情况(1992—2012)

Fig. 2 Changes of the average monthly sunshine hours in 8 apple main production provinces from 1992—2012

217.28 h, 整体最大值为 284.49 h, 最小值为 161.49 h, 整体波动约为 25.18 h, 而各主产省之间月均日照时数差异较大。另外, 不同地区的气温差异较明显, 但不同地区月均温度随年度的波动较为一致, 均在 1993 年出现最低气温, 在 2006 年出现最高气温。8 个苹果主产省份中, 河南省苹果生育期

月均气温最高为 21.11 °C, 宁夏的月均气温最低为 17.42 °C, 而月均气温波动最大的是陕西省 0.59 °C, 波动最小的是山东省 0.45 °C。8 个苹果主产省的月均气温差异不大, 1992—2012 年生育期月均气温为 19.43 °C, 最低月均气温为 16.31 °C, 最高月均气温为 21.77 °C, 整体波动约为 1.24 °C(图 3)。

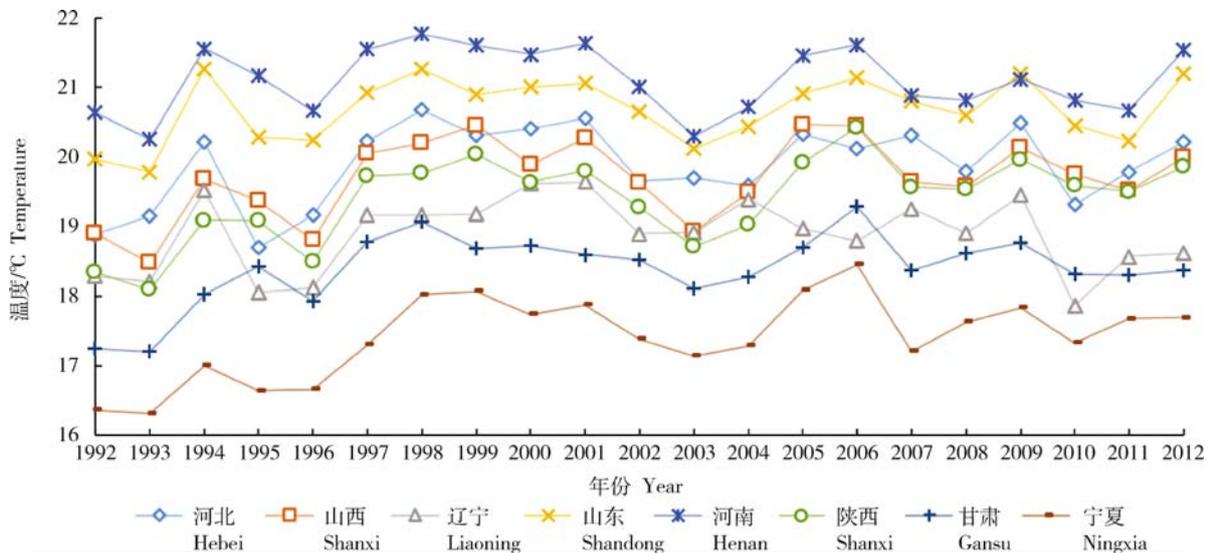


图3 苹果8个主产省区月均气温变化情况(1992—2012)

Fig. 3 Changes of the average monthly temperature in 8 apple main production provinces from 1992—2012

2 模型估计结果与分析

2.1 参数估计结果

运用 Stata12.0 软件, 利用最大似然估计法对

式(12)进行估计, 并对模型的适用性进行检验, 估计和检验结果如表 2 所示。表 2 的最后 4 行是对不同的随机前沿生产函数形式的 LR 检验结果, 原假设 H_{10} 、 H_{20} 、 H_{30} 和 H_{40} 分别是对不同的对数生产函数

形式的检验,结果显示,存在交叉项和二次项的超越对数生产函数模型相对更优;另外,表2指出,复合扰动项中技术无效项所占的比例 γ 为0.7525,且在10%的统计水平下显著,说明复合误差项的变异主要来自于技术非效率 μ ,占75.25%,而只有

24.75%来源于统计误差等外部因素,表明1992—2012年苹果生产非效率主要来自于生产技术非效率,且运用随机前沿生产函数是合适的,因此,后面的分析将采用表2的结果。

表2 生育期气候变化对苹果单产影响模型估计结果

Table 2 Estimation result of the climate change impact on apple tree yield model

| 变量名称 Variable | 参数估计 Estimation | t t value | 变量名称 Variable | 参数估计 Estimation | t t value |
|---|--------------------|--------------|------------------|--------------------|--------------|
| 常数项 | 0.4008 | 0.4069 | 时间×物质费 | -0.0246** | -2.2618 |
| 劳动力投入 | 0.9851 | 1.0645 | 降水量 | -0.1696* | -0.1865 |
| 化肥投入 | -2.1317** | -2.4654 | 气温 | 14.7828*** | 15.5117 |
| 物质费 | -1.9945** | -2.3663 | 日照时数 | -2.8068*** | -3.1808 |
| 时间 | 0.2663*** | 4.0213 | 降水量二次项 | 0.0115 | 0.1085 |
| 劳动投入二次项 | -0.3342** | -2.5200 | 气温二次项 | -2.5227*** | -13.1283 |
| 化肥投入二次项 | 0.0693 | 0.8544 | 日照二次项 | -0.2646*** | -3.0998 |
| 物质费投入二次项 | -0.0801 | -0.6078 | 降水量×区域虚拟变量 | -0.1598 | -1.0403 |
| 时间二次项 | 0.0002 | 0.3813 | 气温×区域虚拟变量 | 1.0874** | 1.9813 |
| 劳动力×化肥 | -0.0624 | -0.3250 | 日照×区域虚拟变量 | -0.4768* | -1.8129 |
| 劳动力×物质费 | 0.3475* | 1.7631 | γ | 0.7525* | 1.8763 |
| 化肥×物质费 | 0.3733** | 1.9519 | 似然值 | 52.9526 | |
| 时间×劳动力 | 0.0036 | 0.2899 | Sigma-squared | 0.0312*** | 8.5779 |
| 时间×化肥 | -0.0242* | -1.8073 | | | |
| LR 检验 | | | | | |
| $H_{10} : \beta_5 = \dots = \beta_{14} = 0, \beta_8 \neq 0$ | | | 35.28*** | | |
| $H_{20} : \beta_{12} = \beta_{13} = \beta_{14} = 0$ | | | 22.16*** | | |
| $H_{30} : \beta_9 = \dots = \beta_{14} = 0$ | | | 27.20*** | | |
| $H_{40} : \beta_5 = \beta_6 = \beta_7 = \beta_8 = 0$ | | | 12.36** | | |

注:***、**、* 分别表示在1%、5%、10%的水平上显著。

Notes:***、**、* indicates that the variables is statistically significant at the 1%,5%,10% level respectively.

2.2 生育期气候变化对苹果单产的影响

从表2可以看出各因素对苹果单产的影响,其中气候对苹果单产的影响有以下结论:

从降水量变化来看,苹果生育期内降水量的增加对苹果单产具有显著的负向影响,这表明与降水量不均匀及灌溉等条件有关;其次,降水量二次项系数为正,表明降水量与单产呈“U型”曲线关系,表明降水量过多或者过少对苹果生产均会产生负面影响,从而给苹果的产量和品质带来直接影响。年降

水量大于800mm特别是在高温高湿的情况下,果树生长过旺,导致产量和品质下降并且容易发生病虫害;降水量小于500mm,往往分布不均匀,导致早春干旱和夏季伏旱,使果树遭受干旱的风险,进而影响苹果单产^[16]。

从气温变化来看,首先,苹果生育期气温升高对苹果单产具有显著的正向影响,且显著性水平达到1%。其次,气温变化二次项对苹果单产在1%的水平下具有显著负向影响,这表明气温变化对苹果单

产的影响是“倒U型”形式,即气温变化可使苹果单产具有最大值,这与现实情况相符。此外,从地区层面可以看出,气温变化对两大苹果主产区苹果单产均具有显著的正向影响,但气温变化对黄土高原区苹果产量的影响显著大于对渤海湾区的影响。

从日照时数变化来看,苹果生育期内日照时数增加对苹果单产具有负向影响,且显著性水平达到1%。其次,日照时数变化的二次项对苹果单产具有显著的负向影响,且呈倒“U型”曲线,表明日照时数过长和过短均会影响苹果产量。此外,从日照时数变化与地区的交叉项可见,平均日照时数增加对黄土高原区苹果单产的影响显著大于对渤海湾区的影响,主要与黄土高原区处于高纬度其本身日照时数偏高有关。

各主要投入要素中,劳动力投入二次项对单产有负影响,呈“倒U型”形式,表示劳动力投入过多或过少均对苹果单产有负作用。化肥和物质费均在5%水平下对苹果单产有显著负影响,表明盲目增加

化肥和物质费投入将不利于苹果单产增加。代表技术进步的时间趋势项在1%的显著水平下对苹果单产有正向影响,表示技术进步将促进苹果单产增加,且时间与化肥交叉项在10%的水平下显著为负,时间与物质费交叉项在5%的水平下显著为负,而时间与劳动力交叉项系数为正但不显著,表明技术进步呈现非希克斯中性的特征,且技术进步属于化肥和物质费消耗性,劳动力节约型,生产技术开始由资本替代型向劳动替代型转变,这与郭亚军等^[17]的研究结论相似。

2.3 气候要素的产出弹性分析

将表2结果带入式(8)可以计算出气候因子的弹性如表3所示。表3显示,降水量的产出弹性为负,1992—2012年平均为-0.1749,表明降水量每增加1%,产出将减少0.1749%。研究区间内,降水量的总体变化范围为17.66~118.56mm,根据降水量的产出弹性,可计算出生育期月平均降水量每增加10mm,苹果单产将降低2.07%~5.43%。

表3 各气候要素产出弹性和全要素生产率

Table 3 Production elasticity of each climate factor and the total factor productivity

| 年份 Year | 降水量 产出弹性 ϵ_{pc} | 温度 产出弹性 ϵ_{te} | 日照时数 产出弹性 ϵ_{sun} | 技术进步率 TC | 技术效率 TE | 全要素生产率 TFP |
|------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------|------------|---------------|
| 1992 | -0.1757 | 0.7318 | -0.2457 | — | — | — |
| 1993 | -0.1767 | 0.7703 | -0.2357 | 0.0209 | -0.000014 | 0.0209 |
| 1994 | -0.1715 | 0.4779 | -0.2256 | 0.0156 | -0.000014 | 0.0156 |
| 1995 | -0.1731 | 0.6280 | -0.2444 | 0.0213 | -0.000016 | 0.0213 |
| 1996 | -0.1720 | 0.6814 | -0.2742 | 0.0202 | -0.000014 | 0.0202 |
| 1997 | -0.1842 | 0.4306 | -0.1723 | 0.0220 | -0.000015 | 0.0220 |
| 1998 | -0.1712 | 0.3595 | -0.2527 | 0.0261 | -0.000015 | 0.0261 |
| 1999 | -0.1796 | 0.3803 | -0.2469 | 0.0183 | -0.000015 | 0.0183 |
| 2000 | -0.1785 | 0.4040 | -0.2478 | 0.0236 | -0.000015 | 0.0236 |
| 2001 | -0.1764 | 0.3752 | -0.2479 | 0.0249 | -0.000015 | 0.0249 |
| 2002 | -0.1769 | 0.5164 | -0.2434 | 0.0259 | -0.000015 | 0.0259 |
| 2003 | -0.1694 | 0.6167 | -0.3072 | 0.0245 | -0.000016 | 0.0245 |
| 2004 | -0.1754 | 0.5412 | -0.2460 | 0.0186 | -0.000016 | 0.0185 |
| 2005 | -0.1754 | 0.3933 | -0.2553 | 0.0197 | -0.000016 | 0.0197 |
| 2006 | -0.1769 | 0.3465 | -0.2794 | 0.0159 | -0.000016 | 0.0159 |
| 2007 | -0.1727 | 0.4843 | -0.3166 | 0.0136 | -0.000016 | 0.0136 |
| 2008 | -0.1752 | 0.5005 | -0.3016 | 0.0185 | -0.000016 | 0.0185 |
| 2009 | -0.1749 | 0.3887 | -0.2745 | 0.0151 | -0.000016 | 0.0151 |
| 2010 | -0.1723 | 0.5691 | -0.3053 | 0.0074 | -0.000017 | 0.0074 |
| 2011 | -0.1719 | 0.5393 | -0.2866 | 0.0081 | -0.000017 | 0.0081 |
| 2012 | -0.1739 | 0.4390 | -0.2532 | 0.0114 | -0.000017 | 0.0114 |
| 平均 | -0.1749 | 0.5035 | -0.2601 | 0.0186 | -0.000016 | 0.0186 |

气温的产出弹性为正,1992—2012年气温的产出弹性平均为0.5035,表明气温每升高1%,产出将增加0.5035%。样本年度内,气温的总体变化范围为16.31~21.77℃,依据气温变量的产出弹性,可计算出生育期内月平均气温每升高1℃,苹果单产将增加2.38%~2.89%。日照时数的产出弹性为负,1992—2012年平均为-0.2601,表明日照时数每增加1%,产出将减少0.2601%。日照时数的总体变化范围为161.49~284.49h,根据日照时数变量的产出弹性,可计算出生育期月日照时数每增加10h,苹果单产将降低1.01%~1.33%。研究区间内,苹果主产区生育期平均气温由18.85℃增加到19.49℃^①,气候变暖趋势明显,为苹果单产的增加创造了条件;日照时数呈现下降趋势,由223.08h

降为209.53h,也有利于苹果单产的增加,而降水量变化规律不明显,呈现无规则性。

2.4 苹果单产增长来源分解

由式(11)可分解出苹果产出增长的来源(表4)。表4中,苹果单产增长来源于四部分:主要生产投入要素的变化、气候因素的变化和全要素生产率的变化及其他未能测度因素的变化。本研究计算得到的各投入要素和TFP及气候因子对产出增长的分解与Chen等^[10]的研究结果相似。由表4可以看出,1993—2012年苹果单产的增长主要依赖于TFP的增长,贡献达到32.98%,其次是生产要素的投入贡献,占21%,气候要素对单产的平均贡献为-12.79%,即气候变化对苹果单产的增长起到限制性作用。

表4 中国苹果主产区苹果单产增长分解

Table 4 Source of the apple yield increasement in the apple main production area of China

%

| 年份 Year | 估计的 产量增 长率 Y. ~ | 劳动力 投入增 长率 $e_{la} \times la.$ | 化肥 投入 增长率 $e_{fa} \times fa$ | 物质费 投入 增长率 $e_{wz} \times w$ | 投入 要素 增长率 eX | 降水量 增长率 $e_{pc} \times pe.$ | 温度 增长率 $e_{te} \times te.$ | 日照时数 增长率 $e_{sun} \times$ sun. | 气候 因素 增长率 eZ | 全要素 生产率 TFP | 实际 产量 增长率 Y. | 残差 增长率 res |
|-----------------------------|--------------------------|---|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|-------------------------|-------------------|-----------------------|------------------|
| 1993 | 0.59 | 0.37 | 6.47 | -6.59 | 0.26 | 1.12 | -0.82 | -1.29 | -0.98 | 2.09 | 1.36 | -0.77 |
| 1994 | 3.34 | -12.17 | 7.61 | 4.67 | 0.11 | -4.26 | 2.21 | -0.84 | -2.89 | 1.56 | -1.22 | 4.56 |
| 1995 | 8.45 | 0.38 | 3.57 | -3.90 | 0.04 | 1.36 | -0.37 | -0.08 | 0.91 | 2.13 | 3.09 | 5.36 |
| 1996 | 17.57 | -2.40 | -2.11 | 2.25 | -2.27 | -1.31 | -1.43 | 2.88 | 0.14 | 2.02 | -0.12 | 17.68 |
| 1997 | -1.71 | -2.16 | 1.37 | -2.96 | -3.75 | 7.69 | 2.26 | -4.63 | 5.32 | 2.20 | 3.77 | -5.48 |
| 1998 | 9.07 | 0.03 | 0.53 | -3.24 | -2.67 | -14.89 | 0.71 | 3.21 | -10.98 | 2.61 | -11.04 | 20.12 |
| 1999 | 12.94 | -0.97 | 10.60 | 6.05 | 15.67 | 4.89 | 0.17 | 0.96 | 6.03 | 1.83 | 23.53 | -10.59 |
| 2000 | -2.83 | -3.10 | -1.52 | -0.29 | -4.90 | -0.43 | -0.93 | 0.05 | -1.31 | 2.36 | -3.85 | 1.01 |
| 2001 | -4.12 | -1.32 | -0.31 | -4.41 | -6.04 | -3.85 | 0.25 | -0.02 | -3.62 | 2.49 | -7.17 | 3.05 |
| 2002 | -1.91 | -0.05 | 0.09 | -0.05 | -0.01 | -0.77 | -1.11 | -0.93 | -2.82 | 2.59 | -0.23 | -1.66 |
| 2003 | 16.49 | 0.82 | 0.88 | 0.88 | 2.57 | -6.39 | -1.64 | 3.59 | -4.44 | 2.45 | 0.57 | 15.91 |
| 2004 | 24.77 | 0.56 | 3.69 | 0.98 | 5.22 | 4.87 | 0.87 | -3.61 | 2.13 | 1.85 | 9.21 | 15.56 |
| 2005 | -14.39 | -2.02 | 1.30 | 2.31 | 1.58 | -0.03 | 1.73 | 0.81 | 2.51 | 1.97 | 6.07 | -20.45 |
| 2006 | 24.56 | 0.40 | 7.10 | 3.72 | 11.21 | -0.58 | 0.85 | 1.01 | 1.28 | 1.59 | 14.08 | 10.48 |
| 2007 | 8.49 | 0.59 | 1.73 | -0.52 | 1.80 | -3.85 | -3.04 | 3.80 | -3.09 | 1.36 | 0.05 | 8.43 |
| 2008 | 4.02 | -1.00 | 1.10 | 0.31 | 0.41 | 2.53 | 0.69 | -2.11 | 1.11 | 1.85 | 3.38 | 0.64 |
| 2009 | 1.82 | 0.50 | 2.15 | 0.38 | 3.03 | -1.54 | 0.36 | 0.19 | -0.99 | 1.51 | 3.55 | -1.74 |
| 2010 | -9.28 | -0.69 | 0.87 | 0.45 | 0.63 | -1.02 | -1.31 | 1.00 | -1.34 | 0.74 | 0.02 | -9.30 |
| 2011 | 11.45 | -0.93 | 0.33 | -1.87 | -2.47 | -1.44 | 0.10 | -0.77 | -2.11 | 0.81 | -3.78 | 15.23 |
| 2012 | 3.28 | -0.88 | 1.44 | 2.61 | 3.17 | 1.96 | 0.20 | -2.29 | -0.13 | 1.14 | 4.18 | -0.89 |
| 平均 Average | 5.63 | -1.20 | 2.34 | 0.04 | 1.18 | -0.80 | 0.03 | 0.05 | -0.72 | 1.86 | 2.27 | 3.32 |
| 贡献 Contribution ratio | 100.00 | -21.30 | 41.64 | 0.70 | 21.00 | -14.20 | 0.53 | 0.80 | -12.79 | 32.98 | 40.36 | 58.96 |

① 平均气温和平均日照时数均采用5年移动平均消除随机性。

研究区间内,各生产投入要素对苹果单产的贡献有所不同,其中,化肥的贡献率最高,达到41.64%,表明土壤有机质及肥力的提升是苹果单产增加的关键,其次是物质费,贡献率为0.70%,而劳动力的贡献为负,表明劳动力投入过多,这与技术进步是劳动力节约型有关。从表3的TFP构成可以看出,技术进步对TFP增长的贡献最大,占到99.00%以上,而技术效率呈下降趋势,表明在技术进步的同时应加强技术培训提高技术的掌握程度,从而提高技术效率,实现TFP增长的双驱动。

在1993—2012年的研究区间内,气候变化对苹果单产的贡献中,日照时数的贡献最大为0.80%,气温的贡献次之为0.53%,而降水量变化的贡献为负为-14.2%,整体来讲,气候因素对单产的贡献为-12.79%,表明气候变化不利于苹果单产的增加,且主要由降水不均匀引起。从各气候因素贡献的趋势来看,气温和日照时数自2005年对单产增加的贡献趋于有利,而降水量仍为阻碍单产增加的最大因素。气候各因素表现出不同的贡献程度与方向,表明各因素之间可能存在一定的交互作用,反映出气候变化的复杂性与时空差异性。

3 结 论

本研究利用1992—2012年我国两大苹果主产区8个省份的面板数据,运用加入气温、降水量和日照时数等气候因素的超越对数随机前沿生产函数,通过将苹果产量增长和TFP增长的分解,实证分析了气候变化对我国苹果产量和TFP增长的影响,主要研究结论有以下4点:

第一,气候变化对中国苹果主产区苹果单产有显著影响,但不同气候因子的影响程度及方向存在差异。降水量和日照时数对苹果单产有负向影响,气温对单产有正向影响,表明气温升高和降水量及日照时数减少均有利于苹果单产增加,且对不同地区的影响具有差异性,表现在对黄土高原地区的影响较大,表明气候因素通过与地区因素的交互作用影响苹果单产。具体而言,生育期月均降水量每增加10 mm,苹果单产将降低2.07%~5.43%;生育期月均气温每升高1℃,苹果单产将增加2.38%~2.89%;生育期月均日照时数每增加10 h,苹果单产降低1.01%~1.33%。

第二,苹果单产增长来源的4个要素的贡献差异较大。研究区间内TFP增长的贡献达到

32.98%,其次是生产要素的投入贡献,占21%,而气候要素对单产的平均贡献为-12.79%,即在1992—2012年间气候变化对苹果单产的增长起到限制性作用,但气温和日照时数对单产的贡献从2005年开始趋于有利,而降水量仍是阻碍单产增加的不利因素。

第三,TFP的增长中,技术进步的平均贡献最大,且技术进步是劳动力节约型、化肥节约型和物质费消耗型的,呈现非希克斯中性的特征,生产技术开始由资本替代型向劳动替代型转变,这与郭亚军等^[17]的结论相吻合;而技术效率损失最为严重,这与全炯振^[18]的“中国农业技术进步与农业技术效率损失并存”的结论一致。

本研究结论为应对气候变化,提升我国苹果产业的竞争力,实现可持续发展具有明显的政策意义。为促进我国苹果产业更好的应对气候变化,提升TFP和竞争优势,提出如下建议:第一,各生产投入要素对苹果单产的影响不同,各生产要素的投入要与当地的经济环境、气候环境相适应,不应盲目加大投入;第二,要加强苹果生产和管理技术的研发,加大耐高温、抗旱等苹果新品种等的研发及配方施肥、水肥一体化等新技术的推广普及力度,在提升技术进步的同时,通过科学管理来提高技术效率;第三,气候变化对苹果产量及TFP的影响具有两面性,政府相关部门应加强气象预报预警体系建设和服务,为果农适应气候变化提供技术指导和政策支持,同时,要注重苹果品种结构的调整,并完善农业基础设施,兴修农田水利,降雨量较多的渤海湾区应加强排水设施建设,而降雨量较少的黄土高原区应加强灌溉设施和雨水利用工程的建设,强化气候变化的有利影响而弱化其不利影响。

参 考 文 献

- [1] IPCC. Climate change 2007. Contribution of working group ii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007
- [2] Ye Duzheng, Jing Yundi, Dong Wenjie. The northward shift of climatic in china during the last years and the corresponding seasonal responses [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2003, 20(6): 959-967
- [3] 符淙斌,董文杰,温刚,等. 全球变化的区域响应和适应[J]. 气象学报, 2003, 61(2): 245~250
- [4] Sinclair T R, Seligman N G. Crop modeling: From infancy to

- maturity[J]. *Agronomy Journal*, 1996, 88(5): 698-704
- [5] 林而达, 许吟隆, 蒋金荷, 等. 气候变化国家评估报告(II): 气候变化的影响与适应[J]. *气候变化研究进展*, 2006, 2(2): 51-56
- [6] David B Lobell, Gregory P Asner. Climate and management contributions to recent trends in U. S[J]. *Science*, 2003(299): 1032
- [7] Tun Lin, Xiaoyun Liu, Guanghua Wan, et al. Impact of climate change on the People's Republic of China's grain output-regional and crop perspective (ADB Economics Working Paper Series, Publication Stock No WPS113172) [R]. Manila: Asian Development Bank, 2011
- [8] 崔静, 王秀清, 辛贤, 等. 生长期气候变化对中国主要粮食作物单产的影响[J]. *中国农村经济*, 2011(9): 13-22
- [9] 刘天军, 蔡起华, 朱玉春. 气候变化对苹果主产区产量的影响: 来自陕西省6个苹果生产基地县210户果农的数据[J]. *中国农村经济*, 2012(5): 32-40
- [10] Chen Yongfu, Wu Zhigang, Zhu Tieshui, et al. Agricultural policy, climate factors and grain output: Evidence from household survey data in rural China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 2013, 12(1): 169-183
- [11] Cassman K. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture [J]. *P Natl Acad Sci USA*, 1999, 96(11): 5952-5959
- [12] Conway G, Toenniessen G. Feeding the world in the twenty-first century[J]. *Nature*, 1999, 402(6761): 55
- [13] Lobell D B, Schlenker W. Climate trends and global crop production since 1980[J]. *Science*, 2011, 333: 616-620
- [14] Aigner D J, Lovell C A K, Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models [J]. *Journal of Econometrics*, 1977, 6(1): 21-37
- [15] 刘璐, 王景红, 屈振江, 等. 陕西省苹果单产非线性预测模型研究[J]. *中国农学通报*, 2012, 28(25): 248-251
- [16] 孔尚文, 宗锋. 气候变化对苹果生长的影响及对策研究[J]. *北京农业*, 2012, 36: 150
- [17] 郭亚军, 姚顺波, 霍学喜. 中国苹果主产区全要素生产效率研究: 基于HMB指数的分析[J]. *农业技术经济*, 2011(10): 78-86
- [18] 全炯振. 中国农业全要素生产率增长的实证分析: 1978—2007 [J]. *中国农村经济*, 2009(9): 36-47

责任编辑: 苏燕