科学通报 2011 年 第 56 卷 第 10 期：725 ~ 727
快 讯 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社 SCIENCE CHINA PRESS

# 定量评估气候变化影响经济产出的方法

丑洁明①, 董文杰①, 封国林②

① 北京师范大学全球变化与地球系统科学研究院, 北京 100875;
② 中国气象局国家气候中心, 北京 100081
E-mail: choujm@bnu.edu.cn

2010-11-22 收稿, 2011-01-24 接受
国家重点基础研究发展计划(2010CB950504)和国家高技术研究发展计划(2010AA012305)资助

**摘要** 将经济-气候模型(C-D-C), 推广成一个预测“气候变化影响量”的方法, 可以对未来气候变化对经济产出的影响给予定量的评估. 为了对该定量评估方法的可行性进行验证, 提出了一个从实际资料中提取实际的“气候变化影响量”的办法来进行历史回报检验. 用中国 8 个农业区域 1980~2000 年的不同粮食作物资料和粮食总量资料以及中国 160 站点的 1980~2000 年气象资料对该经济模型方法进行了历史回报检验, 结果表明该方法具有一定合理性、可靠性和较好的运用效果, 并得出了一些有意义的结论. 本文将经济学的成果引入全球气候变化研究, 希望能为进一步开展该领域研究提供参考.

**关键词**
气候变化
评价
经济-气候模型
经济产出

科学家们对未来气候变化的区域响应情景进行了大量的模拟预测[1~3]. 针对预测的变化信息, 定量评估其对社会经济的影响, 是当前需要开展的工作[4~7]. 我们曾在研究气候变化对粮食产量的定量评估研究中提出过“气候变化产量”的概念[8], 该概念只是针对粮食产量的波动影响提出的一个单一评价指标, 不能涵盖所有经济产出的定量评价要求, 目前还很少见到研究定量评价气候变化对经济产出影响的方法和指标, 对于这些空白研究, 本文利用由经济模型推导出的一个“经济-气候模型”[9], 给出了一个评估预测“气候变化影响量”的经济模型方法; 并对该方法用中国 8 个农业区域进行了可行性的检验, 验证结果表明用这个指标和方法定量预测“气候变化影响量”具有很好的合理性和较好的运用效果. 本研究对气候变化影响经济产出的评价指标建设有重要意义, 本文将经济学的成果引入全球气候变化研究, 为未来气候变化对经济影响的研究做一个新的探讨.

假设要评估的经济产出量符合“柯布-道格拉斯”生产函数[10~12], 由柯布-道格拉斯”生产函数推导出的“经济-气候模型(C-D-C 模型)”的建立和运用已经有所进展[8,9,13]. 以粮食产量为例: 将气候因子作为投入因子引入经济-气候(C-D-C)模型, 就可以写为

$$Y = x_1^{\beta_1} x_2^{\beta_2} x_3^{\beta_3} C^{\gamma} \mu = N_c C^{\gamma}, \quad (1)$$

其中 $Y$ 是产出量, $N_c = x_1^{\beta_1} \cdots \mu$ 可称为非气候因子对粮食单产量的贡献[9]. $C$ 是某种气候因素, $\gamma$ 为气候因素 $C$ 的产出弹性[9].

如要预测未来 $n$ 年内的气候变化影响量, 设前 $n$ 年期间的 $Y, N_c, C$ 的平均状况为 $Y_1, N_{c1}, C_1$, 要预测评估的后 $n$ 年期间的平均状况记为 $Y_2, N_{c2}, C_2$, 则

$$Y_1 = N_{c1} C_1^{\gamma}, \quad (2)$$

$$Y_2 = N_{c2} C_2^{\gamma}, \quad (3)$$

$$Y^* = N_{c2} C_1^{\gamma}, \quad (4)$$

$Y^*$ 是 $N_c$ 变化了而 $C$ 相对未变时的经济产出的变化量. 定义气候变化影响量为 $\Delta Y$, 则

$$\Delta Y = Y_2 - Y^* = Y_2 \left( \frac{C_2^{\gamma} - C_1^{\gamma}}{C_2^{\gamma}} \right), \quad (5)$$

$\Delta Y$ 就是“预测的气候变化影响量”.

将公式(5)的形式加以推导变化, 可得出下式:

$$\frac{\Delta Y}{Y_2} = \frac{C_2^{\gamma} - C_1^{\gamma}}{C_2^{\gamma}}, \quad (6)$$

$\frac{\Delta Y}{Y_2}$ 是一个比值, 称为预测的经济产出量的“气候变化影响率”, 它是衡量未来气候变化对经济产出影响的效益指标, 反映了未来气候变化的影响在实际产出中所占的分量, 同时也反映了产出变化对气候变化的敏感程度. 此方法及评估结果是否可靠, 需要对此方法进行历史回报验证.

在未来的变化中, 因为非气候因子按实际情况变化, 而气候情况不变的产出值是一个设想值, 没有实际资料可以提供, 以前的文献中没有进行过这种提取“实况”的检测工作, 我们

**英文版见**: Chou J M, Dong W J, Feng G L. The methodology of quantitative assess economic output of climate change. Chinese Sci Bull, 2011, 56, doi: 10.1007/s11434-011-4429-8

设想了用下面的办法加以解决.

设 $C$ 为气候变化的影响因子, 根据科学家预测出未来较长时间内的气候变化的某种指标 $C$ 的变化为$\Delta C$, 评价出$\Delta C$引起的"气候变化影响量".

以粮食产量为例:

设 $Y_1,k_1,C_1$ 表征第一时间段 1, 2, 3, …, $n$ 年的平均的粮食产量、非气候因子状况和气候状况, $Y_2$, $k_2$, $C_2$ 表征第二时间段 $n+1$, $n+2$, $n+3$, …, $2n$ 年的平均的粮食产量、非气候因子状况和气候状况, 当$\Delta C$ 较小时, 略去高阶项, 于是有

$$\begin{aligned} B = Y_2 &= F(C_2,k_2) = F(C_1+\Delta C,k_2) \\ &\approx F(C_1,k_2)+\frac{\partial F}{\partial C}\Delta C \\ &= A+\frac{\partial F}{\partial C}\cdot\Delta C. \end{aligned} \tag{7}$$

在历史气候变化的时间尺度或者年代际时间尺度 $C$ 发生突变时, $\Delta C$ 可能较大, (7)式可能不再适用.

(7)式中, $F$ 表示是 $k$ 和 $C$ 的函数关系, $B$ 为社会因素和气候因素均为 $n+1$, $n+2$, $n+3$, …, $2n$ 时间段的粮食产量, 即实际值. $\Delta C = C_2 - C_1$, $A = F(C_1,k_2)$, $A$ 是社会因素为实际情况 $k_2$, 而气候因素设想不变时 $C_1$ 的粮食产量, 可知

$$D = B - A = \frac{\partial F}{\partial C}\cdot\Delta C, \tag{8}$$

$D$ 就是要提取的"实际气候变化影响量", 显然, $B$ 和 $\Delta C$ 可由实际资料获得. 要提取"气候变化影响量"就变成了估算 $\frac{\partial F}{\partial C}$.

$$\frac{\partial F}{\partial C} \approx \frac{Y_h - Y_l}{C_h - C_l}, \tag{9}$$

这里 $Y_h$ 和 $Y_l$ 是在非气候因子状况相同时, 对应于气候因子为 $C_h$ 和 $C_l$ 的值, 无实测. 利用这样一个特点来估算: 即气候因子的年际变化远大于其年代际变化, 非气候因子则正恰相反, 这样一来, 对于 $2n$ 年资料, 气候因子 $C_1$ 低于 $2n$ 年的平均值的年数和高于平均值的年数, 一般说来大体相等, 设各为 $n$ 年, 而且都会分布于整个区间, 设其平均值为 $C_l$ 和 $C_h$, 设 $C_1$ 低值年的平均产量为 $Y_l$, 设 $C_1$ 高值年的平均产量为 $Y_h$, 则可以认为: $Y_l$ 和 $Y_h$ 所对应的非气候因子状况 $A_l$ 和 $A_h$ 在统计意义下近似相等.

利用上述方法, 从实际资料中可以检测到"实际的气候变化影响量", 作为检验评估预测的"实况".

定义 $\frac{D}{\overline{Y}}$ 为: "实际气候变化影响率" 反映了过去的实际的气候变化影响在实际产出中所占的分量.

进行 $\frac{D}{\overline{Y}}$ 和 $\frac{\Delta Y}{Y_2}$ 的模拟并加以比较, 以检验该方法合理性和运用前景.

运用中国 1980~2000 年的 160 站点气象资料, 将中国粮食生产地分成 8 个区域[14,15], 用中国 8 个农业区域 1980~2000 年的不同粮食作物资料和粮食总量资料(来源《经济统计年鉴》)以及中国 160 站点的 1980~2000 年气象资料对此方法进行了检验, 考虑到对未来气候变化情景的预测可能提供的预报量, 本文统一选取作物生长季节(4~9 月)的平均降水和平均温度, 并用 EOF 展开选取第一分量作为气候变化投入因子, 检验结果表明, 这一方法具有一定的合理性和可靠性, 具有很好的应用前景[8,13].

比较 $\frac{D}{\overline{Y}}$ 值和 $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ 值之间的误差, 从表 1 可以看出:

小麦在 8 个地区的预测检验中有 5 个地区比较准确, $\frac{D}{\overline{Y}}$ 和 $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ 分别是东北

**表 1 8 个地区的 $\frac{D}{\overline{Y}}$ 值和 $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ 值的综合比较**

| 农业区域 | | 粮食(%) | 小麦(%) | 稻谷(%) |
|---|---|---|---|---|
| 东北 | $\frac{D}{\overline{Y}}$ | 2.33 | 2.36 | 1.86 |
| | $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ | 0.90 | 1.63 | 1.86 |
| 华北 | $\frac{D}{\overline{Y}}$ | 3.22 | 1.91 | 2.45 |
| | $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ | 2.94 | 0.50 | 2.35 |
| 华中 | $\frac{D}{\overline{Y}}$ | 2.22 | 2.95 | –0.10 |
| | $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ | 3.22 | 3.22 | 0.18 |
| 华东 | $\frac{D}{\overline{Y}}$ | 2.49 | 3.68 | 2.01 |
| | $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ | 2.91 | 3.18 | 2.30 |
| 华南 | $\frac{D}{\overline{Y}}$ | 0.51 | 7.98 | 0.56 |
| | $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ | 0.50 | 8.22 | 0.52 |
| 西南 | $\frac{D}{\overline{Y}}$ | 4.38 | 5.07 | 3.61 |
| | $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ | 8.76 | 5.94 | 7.10 |
| 西北 | $\frac{D}{\overline{Y}}$ | 6.39 | 12.58 | 0.74 |
| | $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ | 0.94 | 4.13 | 2.64 |
| 新疆 | $\frac{D}{\overline{Y}}$ | 7.35 | 7.93 | 9.02 |
| | $\frac{\Delta Y}{\overline{Y}}$ | 9.45 | 12.79 | 5.73 |

(2%左右)、华中(3%左右)、华东(3%左右)、华南(8%左右)、西南(5%左右); 华北地区也是比较准的, 两者误差在 2%以内; 在西北和新疆地区, 两者误差均超过 2%, 结果不准确.

稻谷在 8 个地区中描述准确的有 5 个地区, 它们分别是东北(1.86%)、华北(2%左右)、华中(0.1%左右)、华东(2%左右)和华南(0.5%左右); 西南、西北和新疆 3 个地区的实际资料估算值和模型预测值之间误差较大.

对于粮食总产量, 在华北、华中、华东和华南4个地区, 其实际资料估算值和模型预测估计值均很准确, 误差均在 1%以内; 东北地区的误差在 1%~2%之间; 西南、西北和新疆地区的误差都超过了2%; 误差最大的是西北地区, 超过了5%.

鉴于模型的不确定性和资料的不完整所限, 实际资料估算值和模型预测估计值在不同区域有些差异.

为了能定量评估气候变化对经济产出量的影响, 首先依据经济-气候模型推导出了一个经济模型办法预测“气候变化影响量”, 为检验该方法预测的“气候变化影响量”的准确性和可信度, 我们提出了一个利用实际资料提取“实况”——“实际的气候变化影响量”的办法, 然后进行历史回报验证. 利用这一方法对我国 8 个地区农业产量进行了检验, 表明具有较好结果, 该评估指标和方法也可以用于其他行业或产业的影响评估中.

我们建立的定量评估气候变化影响经济产出的方法, 主要用于评估在现实经济持续发展的条件下气候变化对经济产出的影响, 该方法可以较大范围内运用于实际的评估预测工作, 本文思想的提出及方法的检验为后续的实际运用工作开辟了一个可行的通道.

**致谢** 感谢中国科学院大气物理研究所叶笃正院士的指导和参与.

## 参考文献


1 Fu C B. Potential impacts of human-induced land cover change on East Asia monsoon. Glob Planet Change, 2003, 37: 219–229
2 Ye D Z, Jiang Y D, Dong W J. The northward shift of climatic belts in China during the last 50 years and the corresponding seasonal responses. Adv Atmos Sci, 2003, 20: 959–967
3 Gao X J, Zhao Z C, Giorgi F. Changes of extreme events in regional climate simulations over East Asia. Adv Atmos Sci, 2002, 19: 927–942
4 叶笃正. 人类活动引起的全球气候变化及其对我国自然、生态、经济和社会发展的可能影响. 中国科学院院刊, 1986, 1: 112–120
5 丁一汇. 中国气候变化: 科学、影响、适应及对策研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2009. 1–455
6 丑洁明, 封国林, 董文杰, 等. 气候变化影响下我国农业经济评价问题探讨. 气候与环境研究, 2004, 9: 597–603
7 潘家华. 减缓气候变化的经济与政治影响及其地区差异. 世界经济与政治, 2003, 6: 66–71
8 Dong W J, Chou J M, Ye D Z. A new economic assessment index for the impact of climate change on grain yield. Adv Atmos Sci, 2007, 24: 336–342
9 丑洁明, 董文杰, 叶笃正. 一个经济-气候新模型的构建. 科学通报, 2006, 51: 1735–1736
10 Cobb C W, Paul H. Douglas, 1928: A theory of production. Am Econ Rev, 1928, 18: 139–165
11 Solow R M. A contribution to the theory of economic growth. Quart J Econ,1956, 70: 65–94
12 Solow R M. Technical change and the aggregate production function. Rev Econ Stat, 1957, 39: 312–320
13 Chou J M, Dong W J, Feng G L. Application of an economy-climate model to assess the impact of climate change. Adv Atmos Sci, 2010, 27: 957–965
14 气候变化与作物产量编写组. 气候变化与作物产量. 北京: 中国农业科技出版社, 1992. 1–2
15 刘冬梅. 关于我国种植业区域布局调整的若干思考. 中国农业资源与区划, 2002, 4: 56–59