

构建一个经济-气候新模型评价 气候变化对粮食产量的影响

丑洁明^{1,2} 叶笃正¹

1 中国科学院大气物理研究所东亚区域气候-环境重点实验室, 北京 100029

2 中央民族大学, 北京 100081

摘要 将气候变化研究和农业经济研究相结合, 构建了一个经济-气候新模型, 用来评价全球气候变化对粮食产量影响的问题。提出在经济模型 C-D 生产函数中添加气候变化因子, 建立一个新的评价模型, 作为连接气候变化因素和经济变化因素的桥梁, 并对该模型的性能及合理性进行了初步的模拟和验证。

关键词 经济-气候模型 气候变化 农业经济 经济评价 生产函数

文章编号 1006-9585 (2006) 03-0347-07 **中图分类号** S162 **文献标识码** A

Assessing the Effect of Climate Changes on Grains yields with a New Economy-Climate model

CHOU Jie-Ming^{1,2} and YE Du-Zheng¹

1 Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Central National University, Beijing 100081

Abstract Effect of global climate changes on grain yields is assessed using an economy-climate model, which integrates economy and climate change. The new (C-D-C) model for assessing and predicting the effect of climate changes on grain yields is developed by introducing climate change factors into the C-D (Cobb-Dauglas) production function, and the preliminary simulation and verification of the model are performed.

Key words economy-climate model, climate change, agricultural economy, economic assessment, production function

1 引言

全球变化及其响应和适应的研究正成为当前越来越重要的热点问题^[1,2], 农业和粮食产量受气候变化的影响而发生相应的变化, 也正引起人们的极大关注^[3]。对粮食产量及其变化的研究, 在经济学领域已有大量的研究方法和成果, 但大都

是将自然气候变化因素视为既定不变的前提条件下进行讨论的, 研究的是生产力与生产关系、生产要素与生产系统等关系的影响。而全球变化将对人类的社会经济、生态环境等许多方面造成影响^[4,5], 粮食产量也必然会受到社会经济因素和自然气候因素的共同作用, 因此, 这样的假定显然会影响研究结论的准确性和科学性。

从自然科学角度研究气候变化对粮食产量的

收稿日期 2006-03-17 收到, 2006-04-01 收到修定稿

资助项目 中国科学院知识创新工程方向项目 KZCX3-SW-218 和国家自然科学基金资助项目 40231006

作者简介 丑洁明, 女, 1965 年生, 博士, 副教授, 主要从事环境经济和全球变化研究。E-mail: choujm@tea.ac.cn

影响,科学家们已作过不少工作。从方法论角度看,主要有两类:一类是作物模型或作物生长的动态模拟^[6~10],它以对作物生长的基本过程和环境因素之间关系的认识为基础,运用“作物模型”或作物生长的动态模拟,研究作物的“气候生产潜力”。这些工作对于合理利用气候资源,做好农业区划,改革种植制度,以及进行品种优化等有重要的理论意义和实用价值。另一类是经验数据的统计方法,在分析气候波动对作物产量影响时,提出了“气象产量”概念,从而建立起一种统计模型,得出气象因子导致的产量波动。这对估计短期气候异常的影响特别是产量预报具有一定的实用性,对评价某个地区的粮食产量时某个气象要素的敏感性已有不少成功的范例^[11~13]。

自然科学领域的这些研究,注重农田微生态环境与作物生理生态效应,从运用相关回归数理统计到定位定点实验等,是从自然生态因素的变化探讨农业发展和粮食产量波动可能受到的影响,因此所建立的作物模型的运用、各种气候模式的模拟以及情景预测,是对实验数据进行统计分析得到的,判别模型的标准和数理统计的因素主要是技术分析。这些评价方法是纯自然的实验研究方法,需要有坚实的观测实验基础,一般不涉及社会经济因素^[14]。

目前国外的一些相关研究也有采用现成经济模型办法的,但大都没有专门涉及气候变化问题,没有考虑气候变化因素。此外,我国用经济模型研究气候变化影响的工作涉及甚少。

粮食产量受社会经济因素和气候因素的共同影响,气候变化对农业的影响取决于世界不同农业区的不同气候条件和经济条件及农业政策的相互作用,需要作为气象学与经济学的交叉学科问题来加以探讨。

因此,研究气候变化对中国农业发展乃至整个经济的影响,必须提出新方法,并为此构建一些新的研究模式,特别是加入气候因子的经济模式和考虑经济因素的气候变化模式。这是本研究的构思和工作的出发点。

寻找气候变化对粮食产量影响的评价方法,关键是要找到一个可行的气候变化与经济研究的结合点。将气候因子引进经济学生产函数模型并加以改进,使之符合经济发展规律的模拟结果,

同时可以借助于大气环流模型(GCM)或区域气候模型的研究结果,对粮食生产的结果进行模拟、检验和预测。运用经济生产函数模型加入气候因子的分析,既是经济理论和经济现实的反映,也是全球气候变化研究发展与经济现实研究相结合的有效方法和手段。

本文将经济学理论、经济现实与全球气候变化的研究成果结合起来,探讨一条能对粮食生产影响进行较为客观、准确的模拟和预测的新途径,从交叉领域角度评价气候变化对粮食产量的影响。本文首先扼要介绍评价模型设想及依据,基于经济上的C-D生产函数模型,引进了气候因子,构建了一个新的经济-气候模型,称为“C-D-C模型”;其次给出C-D-C模型的初步的模拟、验证;最后为总结与讨论。

2 C-D-C模型的建立

选择在经济研究中运用较为成熟的柯布—道格拉斯生产函数(简称C-D生产函数模型)作为研究的起点。这一模型是数学家柯布(Charles Cobb)与经济学家道格拉斯(Paul Douglas)合作于1928年首先提出的,经过其他经济学家不断的修改和完善,一直沿用至今^[15~18],在经济学生产函数模型中仍占有重要的地位。C-D生产函数模型比其他函数形式更适合描述粮食投入产出的过程,可以用它连接经济指标,进行经济分析。我们在C-D生产函数模型的基础上建立一个经济-气候模型,即在模型中添加气候变化因子,以此研究气候变化对粮食产量的影响。现在通常用的C-D模型有3个输入因子:土地、劳动力、资金投入,这3个因子在某一地区和某一时间段内不变,在此将可变的气候因子也作为输入因子,以求用这个新模型从总体上评价、分析和预测气候变化对中国粮食产量影响。

2.1 C-D生产函数模型的简介

生产函数是描述生产过程中投入生产要素的某种组合与它可能产生的最大产量之间的依存关系的数学表达式,即: $Y=f(A, K, L, \dots)$ 。其中Y为产出量,A、K、L等表示技术、资本、劳动等投入要素。反映农业生产中生产要素的投入和产品产出之间数量关系的函数就叫农业生产函

数。

C-D 生产函数是一种广泛应用的生产函数模型, 它主要用于农业生产过程中要素投入对产出贡献大小的经济分析^[19]。

现在通常用的完善的 C-D 生产函数模型一般表达式为

$$Y = ax_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3},$$

式中, Y 为产出量; x_1 、 x_2 、 x_3 分别为土地、劳力和资金投入量; b_1 、 b_2 、 b_3 为待定系数。

对模型 $Y = ax_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3}$, 分别关于 x_1 、 x_2 、 x_3 求偏导数:

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial x_1} = b_1 \frac{Y}{x_1} \\ \frac{\partial Y}{\partial x_2} = b_2 \frac{Y}{x_2} \\ \frac{\partial Y}{\partial x_3} = b_3 \frac{Y}{x_3} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} b_1 = \frac{\partial Y}{Y} / \frac{\partial x_1}{x_1} \\ b_2 = \frac{\partial Y}{Y} / \frac{\partial x_2}{x_2} \\ b_3 = \frac{\partial Y}{Y} / \frac{\partial x_3}{x_3} \end{cases}$$

由此可以看出, b_1 、 b_2 、 b_3 分别是土地、劳力和资金的生产弹性值。它表示一定的劳力、资金和土地投入的变化率所引起的产出量的变化率。 a 是转换系数, 它表示除生产要素 x_1 、 x_2 、 x_3 以外的其他生产要素对产出量 Y 的影响。所以, 在生产函数模型中除自变量以外其他可控的生产因素对因变量 Y 的影响都可以用 a 来表示。

C-D 生产函数之所以应用十分广泛, 是因为它具有如下特点:

(1) 可以线性化, 建立模型和计算都比较容易。对 C-D 生产函数模型两边取对数得到

$$\ln Y = \ln a + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 \ln x_3,$$

令

$$y = \ln Y, \quad a_0 = \ln a, \quad X_1 = \ln x_1,$$

$$X_2 = \ln x_2, \quad X_3 = \ln x_3,$$

则上式为

$$y = a_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3,$$

此为线性函数模型, 在建模时只须对产出量 (y)、土地 (X_1)、劳力 (X_2)、资金 (X_3) 的投入量取自然对数, 再对其值进行回归分析得出各参数值, 由此得到各个投入量的变化对产出量的影响。

(2) 函数模型中的参数 a 、 b_1 、 b_2 、 b_3 与各生产要素变量的经济意义是相联系的, 考虑投入量的变化对产出量变化的影响时, 与变量的量纲无关, 计算方便。例如, 产出量可以是产量也可以

是产值, 劳动投入量可以是劳动力数也可以是劳动日数, 这些变量之间的量纲不需要统一。

(3) 通过函数模型中的弹性值 b_1 、 b_2 、 b_3 , 能够比较客观地反映农业生产实际。

2.2 C-D-C 模型的建立

C-D 生产函数模型具有经济学家所关心的很多性质, 同时具有参数求取方便等特点^[19]。然而, 在实际应用 C-D 生产函数模型时, 往往不能以令人满意的精度拟合历史数据, 除了选取资料的科学性和准确性有严格要求外, 其中一个主要原因是我们所考察对象的生产过程往往呈现明显的多元结构特点, 每种产品都有各自的产出与投入的函数关系。当我们需要用一个 C-D 生产函数来描述农业生产总量与资本、劳动和技术等投入量之间的函数关系时, 我们只能得到一组综合的弹性系数和一个大致反映投入产出关系的生产函数。因此, 在生产函数研究中, 经济学家索洛提出并论证了 C-D 生产函数具有下述特征:

(1) 推广式为 $Y = ae^{\delta t} x_1^{b_1} x_2^{b_2} \cdots x_n^{b_n}$ 。

(2) 生产函数的因素产出弹性固定不变, 分别为 b_1 、 b_2 、 $\cdots$ 、 b_n , 它说明当第 i 种投入要素增加 1%, 产出将增加 b_i %。

(3) 对任何正的常数 λ 有

$$ae^{\delta t} (\lambda x_1)^{b_1} (\lambda x_2)^{b_2} \cdots (\lambda x_n)^{b_n} = \lambda^{b_1+b_2+\cdots+b_n} ae^{\delta t} x_1^{b_1} x_2^{b_2} \cdots x_n^{b_n},$$

这就是说 C-D 型生产函数是投入要素 X_1 , X_2 ,

$\cdots$, X_n 的 $\sum_{i=1}^n b_i$ 齐次阶函数, 当投入要素都增加 λ

倍时, 产出将增加 $\lambda^{b_1+b_2+\cdots+b_n}$ 倍。生产的报酬由

弹性系数之和 $\sum_{i=1}^n b_i$ 确定, 当 $\sum_{i=1}^n b_i > 1$ 时, 规模

报酬递增; 当 $\sum_{i=1}^n b_i = 1$ 时, 规模报酬固定不变;

当 $\sum_{i=1}^n b_i < 1$ 时, 规模报酬递减。

(4) 生产函数满足欧拉方程, 即

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} x_2 = (b_1 + b_2) y.$$

C-D 生产函数这一特性有利于对各因素的作用大小分离, 并通过它建立生产函数型经济效益指标。

(5) 生产函数中 λ 表示的是技术进步率, 通过有关数学推导可得

$$y \frac{dy}{dt} = \delta + \frac{b_1}{x_1} \frac{dx}{dt} + \frac{b_2}{x_2} \frac{dx_2}{dt}.$$

这一特性说明,产品的年增长率,一部分是靠投入要素的增长率引起,另一部分是靠技术进步实现。

索洛的这一证明为我们改进和新建模型提供了理论基础。有关经验证明,这种推广形式具有很好的效果,可以将需要讨论的诸多因子引入模型进行分析。

我们认为,影响生产过程的因素很多,其中既有可控的因素,也有不可控的因素,还有一些使用不受限制的因素。生产函数作为对生产过程高度简化的数学模型,应当尽可能抽象地反映出各类因素的作用。传统的生产函数模型旨在揭示某些可以控制且数量有限的生产因素与产品间的数量关系,对生产过程中的自然因素通常不予考虑,并将自然因素视为既定不变加以忽略,这种限定是不妥的。从广义上说,凡是生产领域都会存在各种相互依存的多种多样的数量关系,有的属于经济研究领域,有的属于自然科学研究领域。自然因素如光能、温度、气候等,它是农业生产过程中不可缺少的生产要素,将这些要素加以舍弃,显然会使生产函数的局限性增大。将这些要素考虑进来,既可以更科学地反映投入产出要素间的关系,也可以使农业生产函数趋于完善。因此,我们就是要考虑气候因素的影响,将气候变化因子作为一个重要的投入因子加进模型,建立一个新的“经济—气候模型”,简称为 C-D-C 模

型。这是我们所要做的一个新探索。

将农业生产中生产要素和产品产出之间的关系用图 1 表示。

用引进的推广式 C-D 生产函数研究气候变化对粮食产量的影响,将气候因子作为一个可变的投入因子引进模型,在改进 C-D 生产函数模型的基础上建立一个新模型,使这一模型成为连接经济分析和气候变化影响分析的桥梁和通道,成为我们分析气候变化对粮食产量影响时要使用的模型。这对传统的 C-D 生产函数模型的应用是一个突破。

设反映气候因素的参数为 C , 新模型表达式为

$$Y_i = X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} X_3^{\beta_3} C^{\gamma} \mu,$$

X_1 、 X_2 、 X_3 、分别代表劳动力、播种面积、肥料等投入要素, β_1 、 β_2 、 β_3 为各要素的产出弹性; 这里用 β_1 、 β_2 、 β_3 来区别 C-D 生产函数模型中的 b_1 、 b_2 、 b_3 , 表示不同模型的不同产出弹性, C 代表气候变化影响的参数,是选取的气候变化投入因子(参数), γ 为选取的气候变化因素 C 的产出弹性。在研究气候变化对粮食产量影响时,重点分析气候变化因素 C 的投入带来的影响。

3 C-D-C 模型的初步模拟与验证

在新建的 C-D-C 模型中,选择主要投入要素作为粮食产量的解释变量,选定农业劳动力

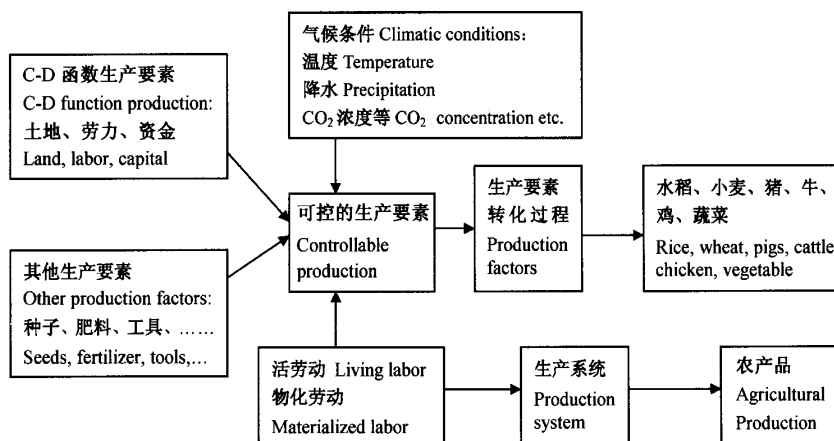


图 1 农业生产要素与产品产出的关系

Fig. 1 Relations between production factors and product

(X_1)、粮食作物播种面积 (X_2)、化肥施用量 (X_3) 作为粮食产量 (Y) 的解释变量。

气候变化投入因子 C 的选取，可以有多种指标，如温度、降水等，这些指标均可当成自然气候投入因子加入模型进行分析。在本文的工作中，目的是建立模型并初步验证模型，要检验的是逐年产量与逐年关键月份干旱指数之间的关系，即哪几个月的干旱指数对全国粮食年产量影响最大。全年的干旱指数或其他气候因素情况由于问题的复杂性和多样性，该文暂时没有涉及。因此我们在此先简单选取月气候干旱指数，作为引进的气候指标，进行初步的模拟与验证。

将模型线性化，选择对数线性为模型的数学形式，即

$$\ln Y = \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln (X_3 / X_2) + \gamma \ln C.$$

这里，经济数据资料来源于《中国农业年鉴》和《中国统计年鉴》1981~1995 年共 15 年，气候指标选取的是中国 160 个站点的 1981~1995 年的月平均干旱指数。计算中分别加入各月的干旱指数作为气候因子，各月的干旱指数对产量的贡献是单独模拟的。

我们验证了不考虑气候因子的 C-D 生产函数模型和添加了不同月份干旱指数后经过线性化的 C-D-C 气候模型模拟的产量与实际产量的差值。需要指出的是，不考虑气候因子的 C-D 生产函数模型模拟的结果是按年给出的，与月份无关，所

以这些结果（实线）是完全相同的（图 2）。从拟合的结果来看，3 月和 6 月的干旱指数对年产量的贡献最大。这一点，从图 3 看得更加清楚，该图反映了拟合与实际产量差值的绝对值。

用 C-D-C 模型模拟了各月的降水量对粮食年产量的影响，模型模拟结果表明：

(1) 从全国的粮食产量情况看，生产函数模型添加 3 月和 6 月的干旱指数后，模拟的结果明显好于没有添加气候因子的模拟，与实际生产量差距缩小，而添加其他月份的干旱指数后影响不明显。

(2) 3 月和 6 月正好是重要的春天播种季节和初夏生长季节，说明 3 月和 6 月的降水量对全年粮食产量有重要影响。这 and 实际生产情况以及诸多农业气象学科研究结果是吻合的。

(3) 在选取降水量这个气候因子时，要考虑气候因子的季节性。

(4) 在生产函数中添加适当的气候变化因子，可以更好地模拟和预测粮食产量的波动，为后期的市场预测和农业影响及反应提供更为科学的分析基础，和制定适应政策的依据。

(5) 用 C-D-C 模型完成“经济评价”应当是一个较好的方法。

(6) 气候变化对粮食产量影响的评价，要根据气候因素和经济因素划分不同的区域进行，要诊断出不同区域的不同气候影响指标对不同粮食

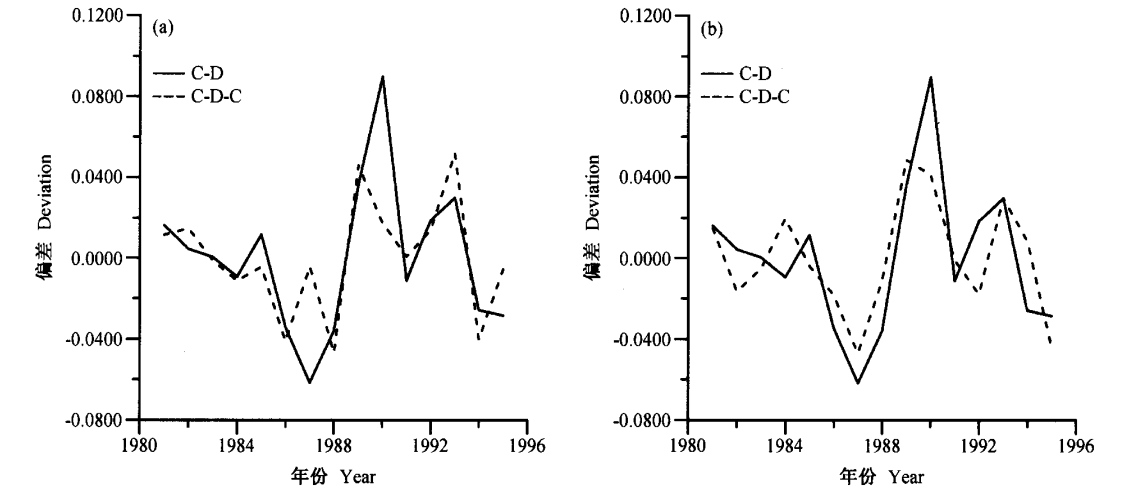


图 2 C-D 模型与 C-D-C 模型添加 3 月和 6 月干旱指数后模拟的粮食产量与实际粮食产量的差值
Fig. 2 Differences of the C-D and C-D-C model simulated and actual grain outputs

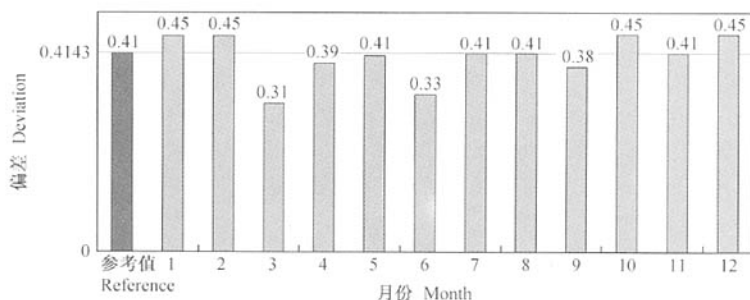


图3 C-D模型与C-D-C模型拟合的粮食产量与实际产量的差值。左边的第一个柱条为参考值，是C-D模型与实际产量差值的绝对值的多年平均。其余是加入各月干旱指数后拟合的年产量取对数与实际产量取对数差值的绝对值多年平均。

Fig. 3 Differences of simulated and actual grain outputs by the C-D and C-D-C models. Column ref represents the reference value, which is the long-term mean of the absolute vale of the logarithm difference of the C-D model simulated and actual outputs. Other columns represent those of the logarithm difference of the C-D-C model simulated and actual grain outputs.

产品的影响，这是有待改进的工作。

4 总结与讨论

综上所述，气候变化对中国粮食产量的影响，是多方面和错综复杂的。评价方法的选取，会直接影响到评价的结果。

(1) 提出并构建了一个新的经济-气候模型(C-D-C模型)来评价气候变化对粮食产量的影响，即采用经济模型加进气候变化因子评估气候变化对粮食产量影响的思路，以此将经济现实与自然科学中的气候变化研究连接起来，希望架起一座连接经济学研究和气候变化研究的桥梁。

(2) 选择经济学研究中运用较成熟的拓展的C-D生产函数模型作为基础模型，引进气候因子(干旱指数)建立一个新模型，这是一个将经济因素和气候因素结合起来考虑的评价模型，可能具有较好的应用前景。

(3) 将建立起来的新评价模型用中国1981~1995年的资料进行检验，表明改进后的模型模拟效果好于未添加气候因子的C-D函数模型，所得出的结论与农业气象学的研究结果和农业经济的实际情况基本相符。

(4) 将自然因素的投入因子添加到模型中进行分析，本文选用的是一个气候因子(干旱指数)，从原理上看，还可将自然因子扩展到其他的自然因素，如环境变化、CO₂浓度等均可以进行

类似的分析研究。

(5) 模型的应用可以推广到很多投入-产出领域的经济分析，本文仅选取了全国粮食产量作为解释变量，也可以评价某地草场产量、林业产量等。模型的应用不仅可以用于农业，还可以用于牧业、林业等。某地区土地利用变化(Land Cover Change)如草地变农田，湖泊变耕地等所带来的投入-产出也可以进入该模型进行分析和讨论。这也说明模型的推广运用可以带来可观的后续工作。

我们把经济学研究与气候变化研究结合起来，建立经济-气候模型来探讨粮食产量评价问题，这是一个新的尝试，这个交叉领域还有许多有趣而实际的问题需要我们去发现和解决。

需要进一步讨论的问题主要有：区域的划分有可变动性；气候因子指标选取的复杂性；C-D生产函数模型本身的局限性；气候变化因子本身的不确定性等。

参考文献 (References)

- [1] Ye Duzheng, Jing Yundi, Dong Wenjie. The Northward Shift of Climatic in China Duing the Last Years and the Corresponding Seasonal Responses. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2003, **20** (6): 959~967
 - [2] 叶笃正, 符淙斌, 董文杰. 全球变化科学进展与未来趋势. *地球科学进展*, 2002, **17** (4): 467~469
- Ye Duzheng, Fu Congbin, Dong Wenjie. Progresses and

- future trends of global change science. *Advances in Earth Science (in Chinese)*, 2002, **17** (4): 467~469
- [3] 符淙斌, 董文杰, 温刚, 等. 全球变化的区域响应和适应. 气象学报, 2003, **61** (2): 245~249
- Fu Congbin, Dong Wenjie, Wen Gang, et al. Regional response and adaptation to global change. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 2003, **61**: 245~250
- [4] Fu Congbin. Potential impacts of human-induced land cover change on East Asia monsoon. *Global and Planetary Change*, 2003, **37**: 219~229
- [5] Zhang jingyong, Dong wenjie, Fu congbin, et al. Impact of land cover change in East China on Regional water Balance. *Korea Journal of Atmospheric Sciences*, 2002, **5** (8): 101~110
- [6] Curry R B. Dynamic simulation of plant growth I. Development of a model. *ASAE Trans*, 1971, **14** (5): 946~959
- [7] Sinclair T R, Seligman N G. Crop modeling: from infancy to maturity. *Agronomy Journal*, 1996, **88**: 698~704
- [8] 张宇, 王馥棠. 气候变暖对中国水稻生产可能影响的研究. 气象学报, 1998, **56**: 369~376
- Zhang Yu, Wang Futang, On the possible impacts of climate warming on rice production in China. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 1998, **56**: 369~376
- [9] Gerrit Hoogenboom. 农业气象学在作物生产模拟及其应用中的作用. 苏高利, 邓芳萍译. 浙江气象科技, 2001, **22** (4): 43~47
- Gerrit Hoogenboom. Roles of agrometeorology in crop production modeling and its application. Translated by Su Gaoli, and Deng Fangping. *Zhejiang Meteorological Science and Technology (in Chinese)*, 2001, **22** (4): 43~47
- [10] 王馥棠. 我国小麦产量农业气象预测模式的初步研究. 科学通报, 1983, **28** (9): 546~567
- Wang Futang, A preliminary study on the agrometeorological prediction model for wheat yields in China. *Chinese Science Bulletin (in Chinese)*, 1983, **28** (9): 564~567
- [11] 张镭, 汪铎. 气候振动对作物产量影响的分析研究. 见: 邓根云主编, 气候变化对中国农业的影响. 北京: 北京科学技术出版社, 1993. 419~466
- Zhang Tan, Wang Duo. Analysis on effects of climatic oscillations on crop yields. In: *Influences of Climate Changes on Agriculture in China (in Chinese)*, Deng Genyun, Ed. Beijing: Beijing Science and Technology Press, 1993. 419~466
- [12] 汤志成, 高苹. 作物产量预报系统. 中国农业气象, 1996, **17** (2): 49~52
- Tang Zhicheng, Gao Ping, A crop yield prediction system. *Agricultural Meteorology in China (in Chinese)*, 1996, **17** (2): 49~52
- [13] 王建林, 杨霁云, 宋迎波. 西北地区玉米产量动态业务预报方法探讨. 应用气象学报, 2004, **15**: 51~57
- Wang Jianlin, Yang Feiyun, Yingbo. Method research for operational dynamic forecasting of maize yield in northwest of China. *Journal of Applied Meteorological Science (in Chinese)*, 2004, **15**: 51~57
- [14] 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** (2): 597~603
- Chou Jieming, Feng Guolin, Dong Wenjie, et al. A new approach on the economy evaluation of influence on China agriculture by climate change. *Climatic and Environmental Research (in Chinese)*, 2004, **9** (2): 597~603
- [15] 顾焕章, 王志培. 农业技术进步贡献率测定及其方法研究. 江苏社会科学, 1994, **6**: 7~11
- Gu Huanzhang, Wang Zhipai. Measurement of the contribution of agricultural technology progresses and its methods. *Jiangsu Social Sciences (in Chinese)*, 1994, **6**: 7~11
- [16] 黄敬前, 郑爱明. 探 C-D 生产函数在经济增长评价中的应用. 系统工程, 1995, **15** (3): 22~27
- Huang Jingqian, Zheng Aiming. Application of the C-D production function in assessing economic growth. *Systems Engineering (in Chinese)*, 1995, **15** (3): 22~27
- [17] 成邦文, 刘树梅, 吴晓梅. C-D 生产函数的一个重要性质. 数量经济技术经济研究, 2001, **18** (7): 78~80
- Cheng Bangwen, Liu Shumei, Wu Xiaomei. A major property of C-D production. *Quantitative and Technological Economy (in Chinese)*, 2001, **18** (7): 78~80
- [18] 惠凤莲. 关于生产函数的分析. 统计与信息论坛, 2000, **15** (6): 19~22
- Hui Fengliang. Analysis of Production function. *Forum on Statistics and Information (in Chinese)*, 2000, **15** (6): 19~22
- [19] 徐浪, 马丹. 关于 C-D 生产函数的参数估计. 科技与管理, 2001, **4**: 58~60
- Xu Lang, Ma Dan. On parameter estimation of the C-D production function. *Science-Technology and Management (in Chinese)*, 2001, **4**: 58~60