

气候变化对生态系统和农业的影响

丁一汇

(气象科学研究院)

提 要

本文简述了近百年全球气候和中国气候的变化,以及这种变化对生态系统和农业产量的影响。对于用模式研究气候变化对农业产量影响的方法,也进行了初步介绍。

一、全球和中国的气候变化

许多观测事实和研究表明,无论是在漫长的历史时期,还是在近100年,地球上的气候都发生了显著的变化。这种变化从时间尺度上可以分为两类:一是短期变化,如季节和年际变化;二是长期变化,如10年以上或更长时间的变化。引起气候变化的原因,概括起来主要是自然原因和由人类活动引起的。在气候的自然变化中,时间尺度愈长,外界强迫因子的影响愈重要。如对季节和年际的气候变化,最重要的强迫因子是地面的下边界条件,这包括海表温度、雪盖、海冰、土壤湿度、反照率和植被等,这些下垫面参数基本上决定了气候系统中大气与海洋和陆面之间的热量和能量交换,从而制约着大气的气候状态。对于长期的气候变化,来自外部上边界的强迫更加重要,其中包括大气顶部的太阳辐射、轨道特征、太阳常数的变化以及其它外部因子(如行星的影响等)。

近年来人类活动对气候变化的影响已愈来愈引起人们的重视,其原因主要有以下两个方面:一是人类通过生产活动向大气不断排放出大量的温室气体和气溶胶,如 CO_2 , CO , CH_4 (甲烷), N_2O 及氟里昂等;二是由于森林、植被等过度的砍伐和破坏,土

地的不合理使用,水体的污染和变质等,改变了人类生存的地圈和生物圈环境与气候条件。

图1给出全球三个地区的区域降水指数(代表年际降水距平)的长期变化。从中可以看到,在这些地区降水有明显的10年时间尺度的脉动,尤其是西非地区。在50年代降水偏多,之后降水连续减少,出现大范围持续的干旱。这种气候的脉动不仅出现在上述三个地区,也出现在世界的许多其它地区。图2是全球平均的近地面气温变化。也可以看到在40年代以前气温是偏低的,以后的30年气温在平均值的上下脉动,但在最近10年气温却出现明显的上升趋势。如果从最近100年气温变化的总趋势来看,则气温是不断上升的,平均每年约增加 0.5°C ,北半球大陆地区每年上升 1°C 以上。

中国气温的变化趋势与北半球情况大致一致(图3)。在本世纪前期增暖,40年代中期以后变冷,而在70年代中期以后至今气温有明显的回升。温度的平均变化幅度在 $0.4-0.8^\circ\text{C}$ 。中国降水条件的长期变化(图4)表明,本世纪降水的总趋势是从18与19世纪较为湿润的时期转为干燥的过渡时期。

由上面简短的分析可以看出,无论是全球范围还是中国,近百年来气候都发生了明显的变化。目前需要研究探讨的问题有以下

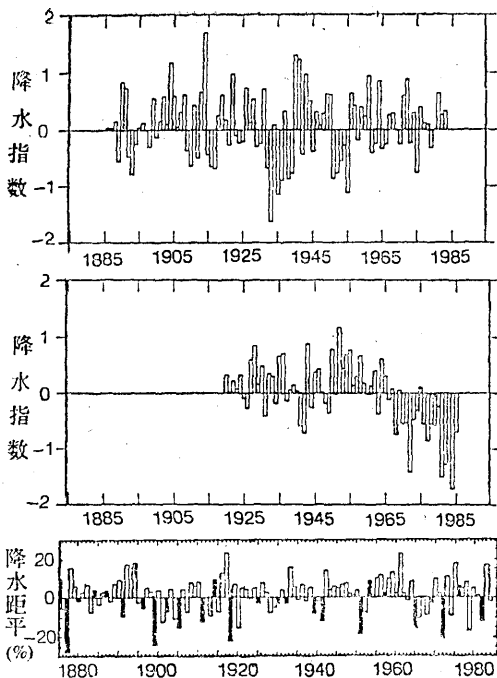


图1 区域降水指数(表示实际的降水距平)
 (上)95°W以西美国大平原地区, 9—10月;
 (中)11—19°N, 10°E以西的西非地区, 6—9月(雨季);
 (下)印度, 6—9月(西南季风季) 黑杆代表ENSO年

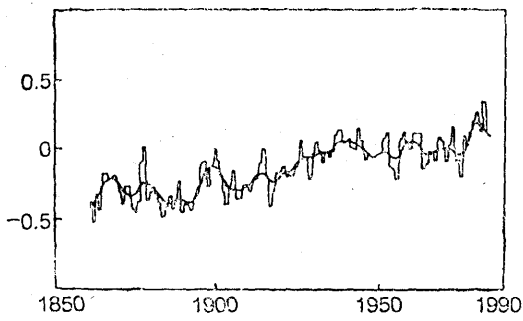


图2 全球平均的近地面气温变化

两个: 第一, 虽然从全球范围来看, 气候的变化(如气温)表现出一定的趋势, 但不同地区的差别很大。由图1也可以看到, 这三个地区之间并没有清楚的系统性变化趋势, 这说明气候变化具有明显的区域特征; 第

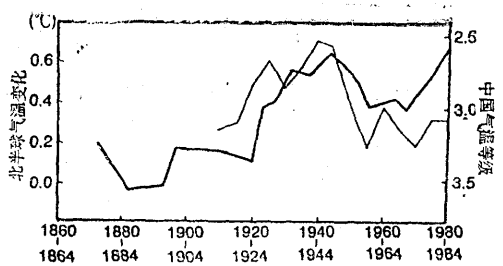


图3 中国气温等级的5年平均值(细线)和北半球气温等级的5年平均值(粗线)的变化(北半球气温变化以1880—1884年为基准年)
 5个等级的划分为: 1级暖, 2级偏暖, 3级正常, 4级偏冷, 5级冷

二, 是否能够完全肯定近百年的气候变化主要是由于人类活动, 尤其是大气中CO₂的增加引起的。观测表明, 大气中的CO₂浓度已由工业化前(1750年前后)的270ppm增加到1985年的345ppm, 尤其最近25年增加的速度更快, 约为30ppm。这是人类对能源消耗的日益增加造成的, 但是目前还没有从观测上找到充分的证据, 证明这种温室气体的增加是引起气候变化, 尤其是大气增暖的主要原因, 只是从数值模拟上得到了CO₂的增加可以引起大气温度的升高。

不论全球和区域的气候变化原因是什么, 但有一点是肯定的, 即越来越多的资料和研究表明, 全球气候系统可能正经历着重大的变化。相应于这种变化, 社会经济活动以及生态系统和农业必然会受到重大的影响。这是现今人类所面临的重要问题之一。

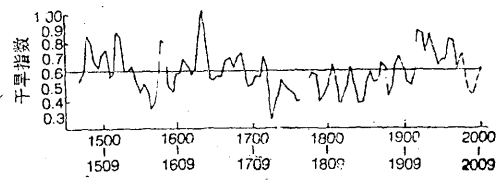


图4 1470—1977年我国东部地区干旱指数10年滑动平均曲线(每隔5年取一点)

二、气候变化对生态和农业的影响

图5表示由于人类活动引起的CO₂增加所造成的直接影响及其后果。首先受到影响的是气候和植被，继而影响到社会和经济的许多重要方面，诸如捕捞、生态系统、水资源、农业、健康等，最终使人类的福利事业受到影响和危害。下面将重点讨论对生态系统和农业的影响，因为这两个方面对CO₂的增加及气候的变化是很敏感的。

众所周知，光、水和CO₂是植物生长的

三个基本要素。在一般情况下，这三种资源增多，将会增加生物圈的植物生长和初级生产力。因而随着CO₂的不断增多，从植物生理学的角度考虑，将会增加植物的光合作用，并引起生态系统初级生产力的变化。根据大量大豆研究的资料表明，在过去几个世纪CO₂增加75ppm的情况下，对生物所造成的影响为15—25%。在近40年，CO₂迅速增加，树木的生长率增加，植物对水份的利用率也增加。但是不少研究也表明，实际上植物对CO₂增加的直接响应并不完全相同，其

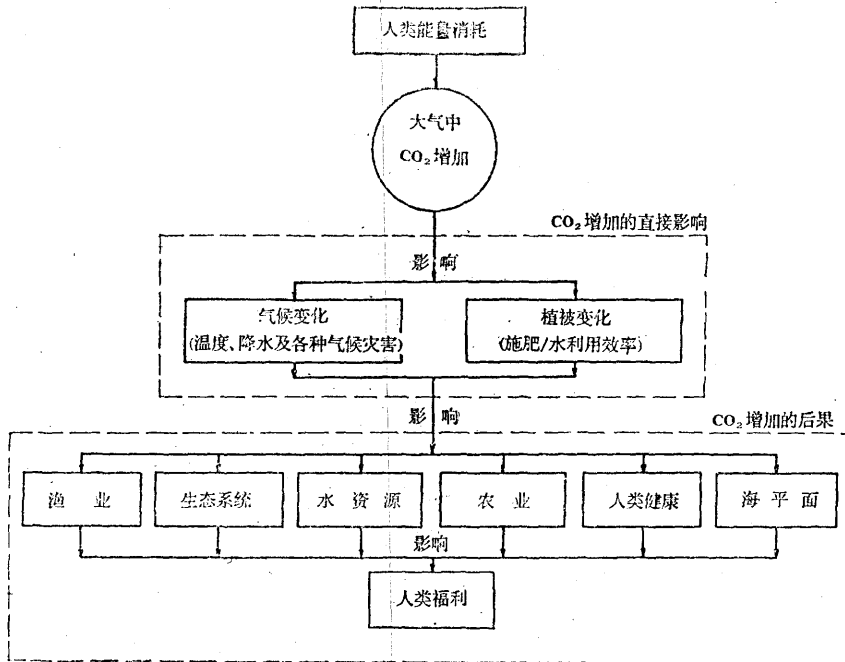


图 5 由于CO₂增加所产生的直接影响和后果

中有许多复杂的问题和不确定性，从目前的知识水平看，还很难科学地确定植物和生态系统对CO₂增加的直接响应关系。要解决这一问题，除了进行实验室和野外试验工作之外，还应该使用数值模式方法来研究⁽¹⁾。

由CO₂增加等因子造成的气候变化对生态和农业的影响是气象学家更为关心的问题。由于气候异常，可以产生低温或高温、光照强度减弱、土壤湿度减小、降水减少等现象。这些天气和气候异常是改变生态系统

和使农业减产的主要因子。例如异常高温气候下，冷型温带森林或温带草原将代替目前的北方森林，而亚热带森林将变为热带森林。据加拿大有关部门估计，平均气温若升高1℃，则加拿大林线将北移100km⁽²⁾，另一方面气温的升高还将加速林木生长，并使木质和品种改变。温度和降水变化对农业的影响是多方面的，例如温度平均每升高1℃，农业气候带将北移100km，并使主要作物生产区的空间分布也发生变化。温室效应使极

区的增温比低纬更显著,从而减弱了南北经圈环流,使干旱季节延长,四季温差减弱。

低温冷害、长期的干旱等对我国的农业,尤其是粮食产量有重大影响^[3]。例如1972年夏季东北气温明显偏低,致使该年水稻减产57%,大豆减产43%;又如1976年是东北地区的另一个明显冷害年,该年水稻减产43%,大豆减产26.4%。1951年以来我国东北地区的5个严重低温冷害年(1954、1957、1969、1972和1976年),由于夏季低温使粮豆平均减产20—30%。相反,当夏季气温明显偏高时,如1970和1975年,粮食生产都获得丰收。东北地区是我国重要的商品粮基地,所以东北地区夏季的温度状况,对农业的稳产、增产有很大意义。日本的异常冷害对稻米生产的影响也很大,尤其是在日本北方。根据日本气候资料和稻米产量的统计分析,在日本北部稻米生长季,如气温降低2—3℃,则足以给这个地区的粮食供应带来严重的影响。研究进一步表明^[4]在降水和其它因子不变的条件下,如果气温降低10℃,则日本的稻米将颗粒无收;如果气温降低8℃,则在日本南部局部地区,不可能再栽种水稻;如果气温降低2℃,则会使日本北部稻米产量减少一半以上。如果再考虑到其它气候因子,如降水和太阳辐射的变化,则影响将会更加严重。上面的事实也告诉我们,中国和日本的夏季低温冷害不是一个局地现象,而是属于东亚冷夏的一部分。东亚冷夏是一个大尺度气候异常现象^[5]。

气候变化对我国的水资源尤其是华北地区的水资源有重要影响。除了日益增长的人口和工农业发展的需求迅速增加的因素外,降水的减少也是一个重要因子。根据河北省11个站的统计,从50年代以来降水出现了明显减少的趋势(附表)。华北其它地方也有类似现象。这说明干旱问题在华北是普遍存在的^[6]。特别是80年代以来,华北的干旱十分明显,如北京在1980—1984年连续5年

降水偏少。5年的平均降水量比多年平均降水量少28%,从而加重了水荒。因此华北干旱问题已成为当前中国气候变化中的一个十分突出的现实问题。它对农业和生态系统已产生并将继续产生明显的影响。为了人类的生存环境和生存条件,人们必须对这种影响作出预测,以利于积极地采取对策,把气候灾害的影响减少到最低限度。

附表 河北省11站各年代的平均降水量

年 代	50	60	70	80
降水量 (mm)	623	585	574	464

三、气候变化对生态系统和农业影响的模式研究

数值模式是用来预测生态系统和农业产量对气候变化响应的主要工具。这需要结合使用两种模式,即气候模式和生态系统或农业产量模式。一般气候模式是模拟和预报全球尺度的气候变化,但近十几年来,随着大气环流模式(GCM)的不断改进(如模式物理学和分辨率),不但可以更好地模拟行星尺度的气候状况和气候变化(如考虑CO₂增加一倍时产生的气候影响等),而且已有可能研究区域气候现象如季风环流和地形影响等。与此同时,生态学家也提出了各种生态系统的模式,并把这些模式用于研究气候变化的条件下,气候变化对各种生态系统的影响。其中农业产量是这些模式所考虑的最重要的问题。其原因有三个:一是人类需要日益增加的食物供应;其次是它有比较确定的判据(如粮食产量)来评价气候对作物的影响,而其它大多数自然生态系统则不易具备这一点;第三是作物要比其它自然生态系统对气候的脉动更敏感。此外,有些作物模式已用许多生长季得到的植物生长状况和产量的实测资料进行了验证和应用,能够在各种生长条件下较真实地估计作物的产量。因

而用这些模式来评价气候变化的影响，其结果实际上将主要取决于气候模式模拟结果的可靠性。

在把气候模式与农业产量模式结合起来的过程中，还会遇到不少问题和困难，尤其是在气候预报与农作物模式输入的交界问题上。众所周知，气候模式与农作物模式在一些基本方面并不完全兼容，GCM模式是大尺度的，水平格距一般是500km，其主要目的是模拟物理过程，计算量很大；而作物模式是地方性的，其尺度一般只有几公里，甚至更小，主要目的是为了在给定的物理条件下模拟生物过程。因而两者之间存在着尺度不兼容的问题。因此，欲使两者结合，就必须设计一个合理的方法，由GCM模式得到的区域平均的物理气候预报来获取局地的信息，并且在这个转换过程中还必须保留影响能农业系统的局地天气气候变化。另一个重要问题是资料或产品内容的兼容问题。

GCM模式不可能计算出所有物理上对作物模式都是很重要的输入参数。另外，气候模式产品的时间分辨率也不能满足作物模式的要求。

图6是最近提出的把气候模式与作物模式联系起来的过程^[4]。为此，首先要得到研究区内许多台站有关的许多年地面气候变量的资料，至于取多少年为宜，取决于当地天气的变率及作物模式输入和背景气候定义的双重需要。在一些有代表性的地点，需要每天的资料，包括作物模式输入所必需的一些变量。以后用这些资料作为作物模式的输入参数。根据单站的多年生长季资料，由作物模式可以算出产量的分布，这种分布代表着由正常的天气气候年变率引起的作物产量的变化。把这套资料作适当的时空平均，所取的时空尺度要相当于GCM控制模式的输出量所代表的尺度，则可以此作为检验GCM控制试验是否可靠的比较标准。如图6

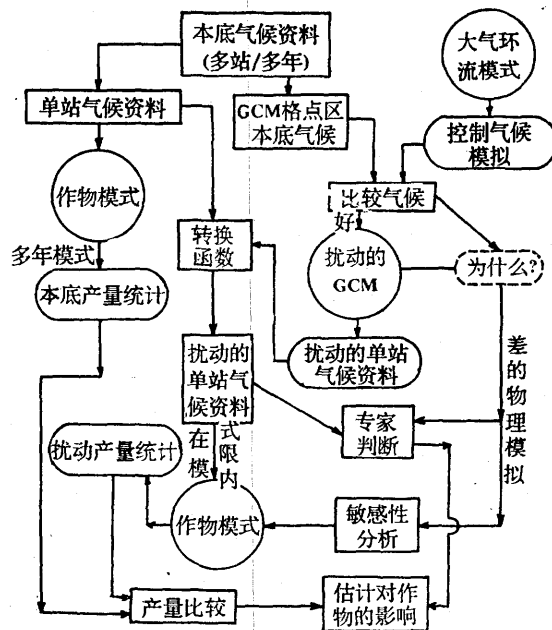


图6 把气候预测结果转换到作物模式的过程

所示,在这个地方出现一个决策点,即通过上述的比较要确定GCM气候模拟的好坏程度。

接着是第二个决策点,即要确定扰动的GCM模拟扰动影响的能力(包括CO₂浓度增加, O₃的减少和破坏以及其它因素)。这里不再详细介绍这个过程的作法,应该指出的一点是,其决策主要取决于专家的判断,包括大气环流模式专家和熟知当地气候条件的气候专家。

下一步是把扰动的GCM结果和原始的单站资料送入转换函数。在这里通过事先确定的一套规则,把GCM计算出的时间平均的网格点的扰动值转换为单站的气候资料。这些规则简繁不一,以温度转换为例,简单的规则是计算出GCM扰动和背景气候结果的温度差,并把这个温度差时空均匀地用在格点区;较复杂的则可按格点内所占面积的不同,取不同的温度差的比例。但不论何种形式,这些转换函数的应用也要求依据专家的判断和当地气候条件的知识。用过转换函数之后,则可以分析所得到的一套扰动的生长季资料,并确定它们是否超过了作物模式输入可接受的上下限。如果在界限之内,就可以根据这些扰动资料用作物模式来计算出第二种产量分布。有了两种产量分布,即对观测的或实际气候的和对扰动气候的之后,由这两套基本的产量分布资料,可推论出气候变化对农业生产的影响。

四、结束语

本文主要介绍了用模式研究气候变化对农业产量影响的方法。目前这种方法,在国内外已开始用于研究气候变化对小麦、大豆、玉米、高粱、水稻等作物产量的影响。如果稍加改变,也可以用于生态系统的研究。虽然这种方法在概念上很简明,但是进行起来还会遇到一些问题,主要的问题有:确定GCM控制气候模拟的质量,评价GCM模式得到的扰动气候的可靠性,规定转换函

数和估计扰动条件下作物模式的可靠性。要解决这些问题,在很大程度上都要依赖气候模式专家、当地气候专家以及作物模式专家的判断和决策。这样,不可避免地又要引入一些人的主观性。但是在现阶段,由于所研究的系统是十分复杂和高度非线性的,人工干预和由此而产生的主观性只能看作是整个过程的一个有机组成部分。

今后在气候和生物(生态系统和农业等)两大领域的发展,将是不断地缩小物理和生物模式之间的距离,减少人工干预。气候上,目前所设计的套网格模式可能对所选地点提供更详细的气候资料,另外GCM模式中植被等地表特征的参数化方法也有相当改进。另一方面,可用来模拟不同地点、不同作物品种的标准化作物模式正在设计、试验和应用。这种模式可以接受标准形式的气候、土壤、栽培和遗传资料输入。

气候变化,尤其是人类活动引起的气候变化对生态系统和农业产量的影响是一个重要的问题。在我国,这方面的研究工作才开始不久,需要大量的实验室试验、野外试验和基本理论(包括模式研究)工作。另外,预测和对策的研究工作也应同时开展,以使这项研究日益在国民经济,尤其是在环境保护和农业产量预测中起重要的作用。

参考文献

- (1) Dahlman, R. C., Modeling needs for predicting responses to CO₂ enrichment: plants, communities and ecosystems, *Ecological Modeling*, 29 (1985), 77-106.
- (2) 周秀麟, 人类活动、气候变化与社会发展, *气象科技动态*, 1989年, 第1-2期。
- (3) 张光恭, 丁一汇, 马世骏, 中国的气候变化, 影响和对策, PAN-EARTH 第二次会议, 美国康乃尔大学, 1989年3月1-7日。
- (4) Working Report of the Workshop on China Case study for PAN-EARTH Project. 23-31. August, 1988. Beijing.
- (5) 王绍武, 赵宗慈, 长期天气预报基础, 上海科技出版社, 1987。
- (6) 张家诚, 二氧化碳的气候效应与华北干旱问题, *气象*, 1988年, 第3期。

Effects of climatic change on ecosystem and agriculture

Ding Yihui

(Academy of Meteorological Science)

Abstract

The climatic change during the last 100-yr has been described briefly on the global basis as well as in China for the first time. Then the methods for study on the effects of climatic change on ecosystem and agricultural production have been discussed.

