

# 气候影响评价的若干进展

黄朝迎

(国家气象中心)

## 提 要

本文较详细地综述了国内外气候影响评价的途径、方法及研究的若干进展,并继续深入开展这项工作提出了一些看法和建议。

在1979年世界气候大会及所通过的世界气候计划推动下,气候影响评价在世界许多国家广泛开展。萨赫勒的干旱、非洲极为严重的蝗灾、欧洲和北美的严冬及北美、澳大利亚等地的严重干旱和森林大火、世界粮食储备量和粮价大幅度波动等一系列气候变化的事实及其所产生的影响已引起全世界的普遍忧虑。人们开始担心地球气候是否要发生一次大的变化,变化后的气候对社会可能会产生什么样的影响?显然,在这种形势下,对可能出现的气候状况的影响进行评价在某种程度上是有益的。

自工业革命以来人类大量燃烧化石燃料,包括煤、石油和天然气等,正在使地球大气中 $\text{CO}_2$ 和痕量气体浓度增加。一般认为,如果大气中 $\text{CO}_2$ 浓度增加1倍,由于温室效应会使地球大气温度升高 $1.5-4.5^\circ\text{C}$ ,世界各地降水分布也将发生很大变化,有的地区增加,有的地区减少,旱涝灾害频率将增加,许多河流将干涸,许多农田将沦为沙漠。对类似的有关人类生存和发展的气候变化影响问题,如果不能做出恰当、有效的评价估计并制定出种种适应和调整的措施,那么,对人类本身将是一种遗憾了。

目前,我们对于气候变化影响的评价能力十分有限。然而,几年来,气候学家们孜孜以求,不断拓宽气候影响评价领域的新天地。

### 一、气候影响评价途径

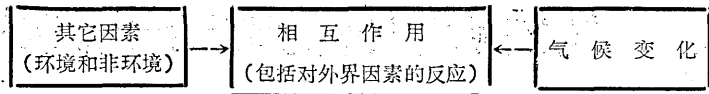
最近10多年来一直在鼓励开展气候影响评价途径的研究,本世纪70年代中期,研究的重点是放在气候对人类活动的影响上,近年来则更多地强调气候与人类活动之间的相互作用。由此产生研究气候影响的三种途径。

#### 1. 强调影响

强调影响的途径是以气候事件为直接原因和直接影响的假设为基础的。例如短期温度变化作用于一个给定的“裸露单位(exposure unit)”(如人类活动),则可能产生影响或作用,即气候变化 $\rightarrow$ 裸露单位,即人类活动 $\rightarrow$ 影响。这种研究途径是以建立回归模式来寻找气候和受影响单位之间的统计关系为特征的。由于这种方法几乎不大注意了解两者之间关系的性质,具有一定的盲目性,即所谓“黑匣子”(black-box)。1975年美国交通部的气候影响评价计划中,有一些则是利用这种方法估计引起大气中 $\text{O}_3$ 减少的可能范围。1980年美国国防大学也使用回归方法研究长期气候变化对作物产量和农产品的可能影响。这里强调的是寻求气候变化和可能响应之间的相对简单的联系。事实上,许多因素是交织在一起相互影响的,因而这种途径容易走入歧途,很少成功。

#### 2. 强调相互作用

近年来,更多的研究则是集中在寻找对气候和人类活动之间相互作用的更好了解。这种途径假定气候事件仅仅是影响“裸露单位”的许多过程(社会和环境)中的一种过程,

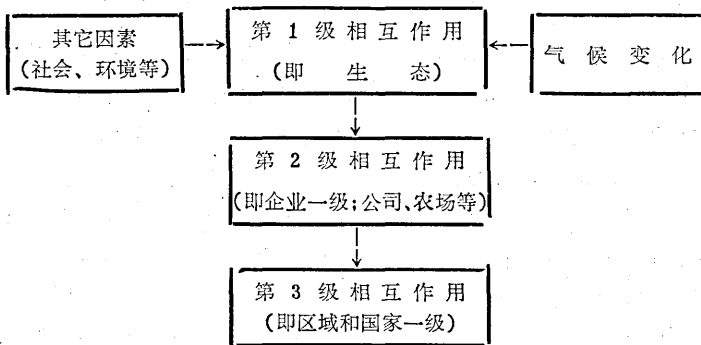


即这可用30年代干旱对加拿大草原区的影响程度来说明气候与其它因素交互作用对农业经济的影响。由于那时农产品价格低，干旱开始前草原区许多人的经济已达到危机的困境，这从根本上增加了干旱影响的严重程度。此外，由于大片土地被开垦，土壤风蚀加剧，作物被大量尘土掩埋，致使产量下降。因此，经济、天气和农业技术交互作用产生了严重的经济和社会影响，而且这种影响也许由于非气候因素作用而提前开始了。同样地，未来各种气候变化的影响都可能受

到经济和社会条件的影响，并在一定程度上增加气候变化影响的恢复力或脆弱性。1981年国际联合研究所干旱和人类的研究项目中就采用了相互作用的途径。注意这儿强调的是气候变化、社会、经济的综合影响。

### 3. 强调相互作用的次序

相互作用模式可通过考虑阶梯式相互作用达到较理想的结果。阶梯式相互作用模型可从第一级生态受影响开始，通过以企业单位(例如农场、合作社等)受影响为第二级到第三级(地区级和国家级)相互作用。即：



1984年欧洲共同体使用这种途径研究大气中CO<sub>2</sub>浓度增加引起的气候变化对社会经济的影响。首先，将2×CO<sub>2</sub>输入到大气环流模式(GCMS)中，得到温度和降水量可能变化的信息，然后以这种信息作为输入项输到包括径流和生物产量在内的模式中，得到第一级影响，并由此估计第二级、第三级的经济相互作用的影响。

上面三种研究途径，尽管逐渐深入，但总的来说，还是限于评价气候变化对某个部门的简单影响，今后的气候影响评价途径应更加强调建立一个完全综合的气候影响系统。在70年代世界气象组织采用了气候系统的概念。气候系统是指包括大气、海洋、陆地、冰雪、生物圈在内的庞大自然系统。气

候就是气候系统的产物。这一重大的概念更新，使得气候学成为有关气候系统各学科的一个汇集领域，对于认识气候问题具有重大意义。

在研究气候对国民经济影响时，采用与气候系统这一概念类似的气候经济系统。因为气候对国民经济的影响主要是通过资源和环境实现的。但这两个渠道都具有高度的综合性。因此在研究同一级相互作用时，需要研究不同部门(如气候变化对农业、林业、水资源等)、同一部门内不同单位(如农业内部不同农场)间的相互作用以及它们之间的反馈作用，可能更复杂。因此，在近来的气候影响评价方法论研究中，一直在建议研究一种完全综合的影响评价途径，但迄今还没

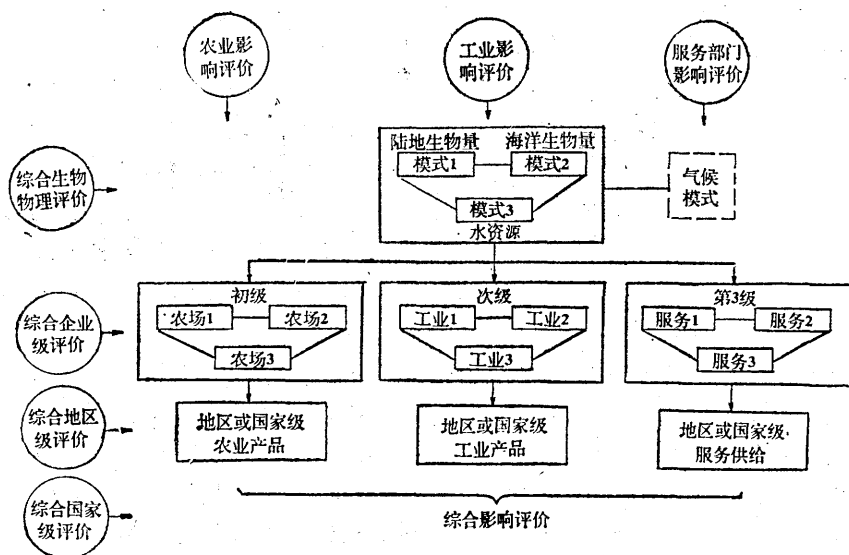


图1 综合气候影响评价模式示意图<sup>[1]</sup>

有成功地完成。在理论上，可把综合影响评价应用到任一级（企业、地区、国家）、任何部门以及各种情况的结合。图1给出了这种途径的结构框图，但到现在为止仍缺乏一些模式，而且还没有能力把这些模式满意地联结起来，有待今后逐步研究解决。

## 二、气候影响评价方法

从方法论角度看，气候影响评价方法包括的范围很广，目前业务和研究中常用的具体评价方法有两类，一类是指数，一类是模式。气候指数包括干燥度、气候度、有效积温、降水有效性、度日等，此外还有的把对某项经济最有影响的若干个气候变量综合成一个变量，例如评价气候对家庭耗能的影响所采用的人口加权重度日。

气候影响评价模式分为经验-统计模式和模拟模式。经验-统计模式系使用统计方法如回归分析，把同时期的经济资料和气象资料进行统计分析，建立一种统计模型。这类模式对估计短期气候异常的影响是最有用的。使用这种模型来评价对某个气候变量高度敏感的经济活动是最成功的。

模拟模式在评价气候变化对农业的影响

上应用较多，它是以对植物和作物生长的基本过程和环境因素之间的关系的认识为基础的。与经验-统计模式相比，它具有更坚实的试验观测基础，因而适于对所得结论进行试验验证，特别是考虑气候变化的长期影响时更是如此。但由于模拟模式对输入资料要求高，因需要十分详细的气象和生态资料，多半还在试验研究中，尚未普遍应用到业务中。然而，它毕竟代表着定量评价气候影响的发展方向。

此外，最近出现的气候-作物产量统计模式中，自变量除气候要素（例如降水、温度）外，还有非气候要素（例如肥料、灌溉、价格等），比单纯考虑气候因素的内容要丰富得多了。

## 三、气候情景研究

对未来可能出现的气候状况做一情景假设，被认为是一个可供参考的将气候及其影响联系在一起的方法。到目前为止，有许多非常有效的气候情景研究，例如1987年WMO, UNEP, ICSU在奥地利Villach和意大利的Bellagio就为温室气体气候影响提出三种情景：1. CO<sub>2</sub>排放量最大、气候

最敏感时的影响,估计每10年增温 $0.8^{\circ}\text{C}$ ,海平面上升 $0.24\text{m}$ ; 2.  $\text{CO}_2$ 排放量最小、气候最不敏感,则每10年增温 $0.3^{\circ}\text{C}$ ,海平面上升 $5.5\text{cm}$ ; 3. 维持现状则每10年增温 $0.06^{\circ}\text{C}$ ,海平面下降 $1\text{cm}$ 。

气候情景研究一般可分为四种气候情景:

1. 标准气候情景。假定30年气候变量平均状态作为标准气候情景,例如假定1951—1980年30年气温、降水量等平均为标准气候情景,记为HIST1。

2. 极端年份气候情景(如极旱或极冷等)。这类气候情景是根据有记录以来的历史

资料中挑选最早(涝)或最冷(暖)一年,这一年的气候情景可记为HIST2。

3. 极端连续气候情景(如连续5年或10年)。这类气候情景也是从历史记录中挑选出来的,可记为HIST3。

4.  $2 \times \text{CO}_2$ 气候情景。这是模拟的气候情景,即把 $2 \times \text{CO}_2$ 输入到大气环流模式(GCM)中,模拟 $2 \times \text{CO}_2$ 的气候情景,记为GISS2。

将上述四种气候情景分别输入到气候影响评价模式中,即可得到各种气候情景下的影响结果,再把这些结果进行比较,便可得到大气中 $\text{CO}_2$ 浓度加倍后对经济影响的估

表 1 冰岛气候变化对农业生产的影响(相对于标准气候)

	标准气候 (1951~1980)	寒冷10年 (1959~1968)	10个最冷年 (1931~1984)	10个最暖年 (1931~1984)	GISS 2
年平均温度	$3.7^{\circ}\text{C}$	$-1.3^{\circ}\text{C}$	$-0.8^{\circ}\text{C}$	$+1.1^{\circ}\text{C}$	$+4.0^{\circ}\text{C}$
平均年降水量	704mm	-9%	-3%	+12%	+15%
生长季开始日期	4/5	17/5	9/5	21/4	17/3
干草产量	4620千克/公顷	-19%	-13%	+18%	+66%

计。表1给出了气候情景分析的实例。

似乎可以肯定地说,气候情景研究对于气候变化影响评价的研究是极其有用的,问题是如何进一步优化情景研究。

大气环流模式的结果表明了它在情景模拟工作中的优越性能,尤其在 $\text{CO}_2$ 及痕量气体增加而导致的长期气候变化影响评价方面,如果在网格点、参数化及敏感度等工作上有若干进展,情景研究将会更出色。

当时间长度较短时,经验情景研究十分有用,尤其是热带地区,因为相对于高纬地区而言,低纬地区的模式模拟结果不很理想。还可以用某一区域今天的气候来类比分析另一区域未来的气候,如未来增暖的话,冰岛东南地区的气候可能类似于今天的苏格兰东北地区的状况,这称之为地理情景,它在阐释社会系统对突然的气候变化适应能力方面十分有益。

#### 四、气候影响评价领域的扩展

目前,气候影响评价已经涉及到社会经济活动的许多方面,诸如农业、工业、交通、水资源、能源、水产和人体健康等等,其中取得显著进展的有如下几个方面。

##### 1. 农业

农业对气候变化极其敏感。天气和气候变化对农业影响是多方面的,效果也是异常深远的。例如1976年巴西严酷的霜冻导致了世界咖啡市场行情猛涨旋即猛跌的局面;而且还使世界信贷、股票市场紊乱,甚至还造成部分出产咖啡国家政局不稳,国际关系紧张和复杂化。因此,气候变化对农业影响的评价工作是个很复杂的系统。80年代前,气候影响农业评价工作,大多为经验-统计模式,强调的是类似于平均产量的变化这样简单的第一级影响。近年来,气候影响农业的评价工作有了很大发展,不仅广泛地应用经验-统计模式,还应用了大气-作物-土壤系统模式,大大提高了估计精度,而且还考虑了更

深层次较复杂的影响及有关响应策略。这方面做得比较好的是M·L·Parry设计并指导的International Institute for Applied

Systems Analysis(IIASA)的研究,表2给出了该研究的部分结果。通过这个研究得到了如下一些有意义的结论:

表 2 加拿大萨斯克彻温省南部的气候影响总结(相对于常年HIST1) [2]

	HISST2 (1961)	HIST 3 (1929—38)	GISS 1 (2×CO <sub>2</sub> TP)	GISS2(2×CO <sub>2</sub> T)
度 日	+10—+18%	+3—+16%	+48—+53%	+48—+53%
降水量有效性	-18—-53%	-21—-26%	+1—+13%	-10—+63%
生物生产潜力	-53—-100%	-26—-60%	+30%	-19—-12%
可能风蚀	+123%	—	-14%	+26%
	HIST 2 (1961)	HIST 4 (1933—37)	GISS 1 (2×CO <sub>2</sub> TP)	GISS 2 (2×CO <sub>2</sub> T)
春小麦产量	-76%	-20%	-18%	-28%
农业费用(百万元)	-\$1810	-\$599	-\$163	-\$277
农业雇员	-8000	-2647	-722	-1224

(1) 气候变化可能影响方面

①气候变化影响的空间复杂性和非线性。气候影响型式具有地区的复杂性,比如温度和降水的绝对变化量具有明显的地区性,各地差别很大;其次,气候对农业的影响是气候变化的函数。气候变化和作物生长,特别是气候变化与农业决策之间具有强烈的非线性关系,即在某些地区很小的气候变化可能会超过未来彻底改变农业制度所需农业系统的阈值;或即平均气候相对小的变化可能会导致异常(异常暖或干)年出现频率的很大变化,甚至围绕平均值的年际变化没有改变。这对农业生产的稳定性有很大的影响。

②气候变化对农业的影响具有多重性和累积性。所谓多重性,就是气候异常变化对农业的最终影响常常比对产量的第一级简单影响大,在某些情况下,两个或两个以上的第一级影响,形成一个综合性的影响。例如,冰岛在寒冷的10年期间,一方面产草量减少,另一方面还由于寒冷减少放牧有效性及缩短生产季,羊饲料量增加。这些因素造成的综合影响使草场载畜力急剧减小,所需买

人的饲草增加。高温年则相反,产草量高且放牧时间长,冬饲料则减少。

所谓累积性系指气候异常不仅影响当时,还可能影响到以后相当长的时间,甚至可能与下次出现的气候异常相叠加。在气候异常连续出现的地区,气候影响的累积效应显著。

③产量和产量响应的变化。气候变化可通过下列几个方面影响农产品:(a)可能生长季长度和作物生长率变化,由于作物生长期变化,导致作物需求与气候资源之间失调;(b)平均产量变化,不同作物平均产量变化不同;(c)作物产量的变化性改变;(d)作物产量水平变化;(e)农产品质量变化;(f)作物对不同施肥量、病虫害和除莠剂的敏感性变化。

④农业生产潜力空间型式变化。

⑤气候因素之外的其它因素的第一级影响。

⑥气候的高级影响

(2) 农场一级的可能调整

为适应气候变化,农场必须对农业生产进行相应地调整,比如改变作物品种,改变

施肥量及排灌措施；改变农业投入和非农业消费等。

### (3) 地区级和国家级政策响应

地区级和国家级的政策响应包括改变地区土地利用的分配和国家的农业政策。

鉴于气候变化对农业影响的复杂性和深远意义，评价工作着力于综合研究已是非常迫切的了。气候-农业-经济-社会模式如何耦合和优化，在很大程度上将是未来气候变化对农业影响的评价工作的重点和关键。如若评价的范围单是区域性，就显得很不够。

## 2. 水资源

水是生命必不可少的因素，对气候变化和变动非常敏感。历来人们就十分重视气候变化对水影响的评价工作。例如早先设计的水利工程，水利专家们大都考虑了气候变化的影响。只是人们仅研究了气候变化对水的第一级影响，而较少分析间接影响或高级影响。对于气候异常的情况下，水系统的运转状况及其对社会经济系统的影响等方面研究则基本未涉及。近年来，这种状况开始改变。图2是气候对水资源影响评价示意图。它试图抓住气候对水资源系统影响的复杂性

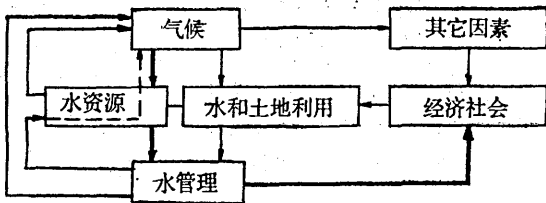


图2 气候对水资源影响评价示意图<sup>[3]</sup>

的某些方面，分析“气候-水资源-水管理-经济-社会”这一过程(图中以粗箭头表示)以及作为气候要素之一的水和人类活动之间的反馈机制。

已大量出现的关于水资源对气候变化敏感性的研究，和在区域水平方面的集水区个例研究，虽然没有对于气候、水资源、政策方面做系统化的工作，但对水分信息及不确定影响方面进行了恰当的讨论。它们的若干方

法、结论无论在理论上还是实践上都是肯定的，尤其在水资源对气候响应意识方面。

在确定气候和水资源的定量关系时，通常把一些气候特征量转换成水资源。其方法有三种：统计、分析和数值模拟。目前在从统计到分析再到数值模拟的发展过程中，其理论基础越来越复杂。统计转换是确定气候波动指标和水资源之间的关系；分析转换是在简化的物理基础上，从气候要素(如降水、蒸发)和水资源(如径流、土壤水分变化等)的平衡来确定两者之间关系；数值模拟转换是以一些理论模式为基础，比分析考虑的物理过程更详细。例如，Langbein(1949年)利用统计方法确定了美国部分地区降水、气温和年平均河水量的关系(见图3)。

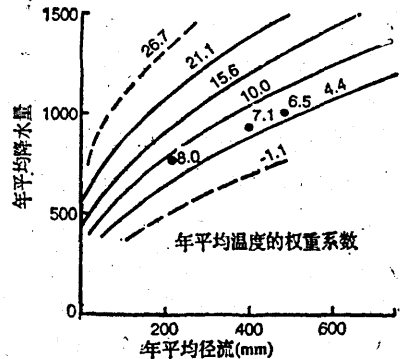


图3 年平均降水量、径流量和气温的相关图<sup>[4]</sup>

巴拉顿湖是匈牙利的最大湖，面积600 km<sup>2</sup>，湖面上年降水量约630mm，流入量约880mm，总补给量为1510 mm，蒸发量870 mm，流出量则为640mm。假如湖区附近的气候变化类似于蒂萨河中游目前的气候变化，年平均气温升高0.5℃，平均年降水量减少5%，那么，这样相对小的气候变化可足以导致该湖水生生物的变化，因为湖面蒸发将耗掉大部分流入量和降水量，流出量将减少到现在的1/10，巴拉顿湖将会成为一个孤立的岛状湖，从而影响水质和水生生物。这是一个使用分析法的例子。

通过模式进行气候影响评价一般分三个阶段：

(1) 确定对气候敏感的水资源管理系统的特殊属性, 如水库出水量、地下产水量、异常流量、系统稳定性等;

(2) 确定影响水资源管理系统属性的气候参数, 如径流增加(减少)、径流持续时间、流速变化等;

(3) 根据影响将气候参数和水资源管理因素间的关系公式化。

Schwarz 1977年调查了美国东北部大城市供水系统对气候的敏感性, 并慎重地分析了调查结果, 确定了气候变化对城市供水系统影响的9个特征因子, 描述了技术、经济和管理在供水系统中的作用。

洪涝灾害的模拟是水资源管理的重要方面。芝加哥大学怀特和他后来领导的克罗拉多大学自然灾害研究小组, 在这方面的研究中取得了较好的结果。

因为痕量气体的增加, 人们对地球增暖时与气候的相互影响也产生兴趣, 特别是中纬度大陆地区, 如美国大平原。考虑到地形作用, GCM试验认为气温上升将导致降水和土壤水分减少。近年来, Gleick对Sacramento峡谷进行水平模拟试验, 其气候情景由三种不同的GCM得出。Cohen(1986)分别以GISS和GFDL的GCM试验结果输入Thorntwaite-type经验模式, 计算了美国五大湖区水的变化。不足的是在这些分析中存在一个严重的不确定性, 即大气中CO<sub>2</sub>增加对于植物蒸散潜在作用如何。

关于气候变化对其它部门诸如能源、渔业、畜牧业、森林和热带生物的影响研究, 都取得了可喜的进展, 限于篇幅就不再一一介绍了。

## 五、我国气候影响评价的进展

气候影响评价我国早已开始, 而作为一项全国性的业务工作是从1984年开始的, 经过5年的努力取得了如下几个方面的进展:

1. 对气候与社会经济发展问题的重要

性和迫切性有进一步理解。5年来, 收集、整理的大量全国性、地区性、地方性的气候影响情报表明, 气候对农业、工业、能源、水资源、交通运输、旅游、社会和政治各方面以及社会经济总体的重要意义和合理对策。这对于确定社会经济发展的战略方向, 制定规划和基建标准有重要参考价值。

2. 探讨气候影响评价方法, 气候评价不断走向客观化、定量化。几年来, 通过开办短训班、学习班及经验交流会, 较系统地学习与气候影响评价有关的理论、方法, 并着重介绍了国外气候影响评价的先进方法, 有力地推动了适合我国实际的方法的研究。目前, 不少省级气候影响评价中, 应用了自己研究的方法, 包括各种指数分析、模式分析, 并把近代数学、统计学的技术应用到气候影响评价中, 例如回归分析、谱分析、正交多项式、模糊数学、聚类分析和灰色系统等。

以上这些方法的应用反映了气候影响评价工作由定性描述逐渐地走向客观化和定量化。与此同时, 在气候影响情报的处理上也取得了新的进展。

## 3. 气候影响评价的研究

近年来, 气候影响评价研究进展比较集中地体现在1988年11月在大连召开的《全国气候与社会经济发展关系研讨会》上。会议筹备过程中共收到论文88篇, 这些文章来自全国各省(市、自治区)气象局、科研院所和院校共44个单位, 这说明气候与经济发展关系的专门研究, 得到广泛的关注。

会议明确地提出了系统理论在气候影响评价中的指导意义。事实上气候对社会经济的影响, 不仅气候本身是一个重要因素, 而且资源与灾害的形成机制及人类利用这些资源的能力与效率也是极为重要的。对于这许多问题的综合处理, 借助于系统论是很重要的。当前我国广泛开展的气候评价, 系统地总结了各地区各年的个例, 为广泛深入地开

展气候影响评价研究创造了条件。

模式是表现系统思想的重要科学工具。各级气候影响评价机构都在从事各类气候影响评价模式的探索,包括按行业、事件、地区和方法而建立的不同模式。由于这一问题涉及面广、问题十分复杂,有关模式目前还只处在探索阶段。

情景研究是模式研究的具体应用。我国在这一方面的研究还不多,仅在个别研究报告中具有情景分析的内容。

对气候影响社会经济的过程的研究,如成灾过程和资源形成过程等,也具有重要意义。这种研究不但能加深我们对气候影响社会经济机制的理解,而且对采取相应对策提供了科学依据。

气候影响研究,除经济外,还探讨了气候与社会问题,例如1501~1900年冬季冷暖与人口变化,广州冬季天气对死亡率的影响,利用历史资料分析气候异常对中国王朝衰亡的影响。

气候心理与人类行为则是气候影响在心理领域的开拓,反映了气候影响的广泛意义。

在我国当前气候影响研究中,山区气候

与城市气候占有显著地位。大兴安岭中段农业结构的决策分析和湖北山区气候垂直分层及其资源利用的最优途径,以及城市气候对城市社会经济的影响等研究,表明这两方面已经向气候对社会经济影响领域渗透。

气候影响的社会性、生产性及气候影响敏感性和尺度的研究,反映了对气候影响评价理论问题的探讨。

在我国气候领域中气候影响评价异军突起,全国性业务工作已开展多年,探索了一些方法和理论,但还很不成熟,极需努力建立自己的一套评价理论和方法。研究气候与社会经济发展关系的问题,不但是气候发展的一个重要领域,也是对我国四个现代化作出贡献的良机。

## 参 考 文 献

- [1] M.L.Parry et al.,The impact of climatic variations on agriculture Vol.1, Kluwer Academic Publishers,P.16.1988.
- [2] 同上,P.353.
- [3] 北京气象中心气候资料室,气候影响评价译文集,P40,气象出版社,1988.
- [4] 同上,P43.

## Some advances in climate impact assessment

Huan Chaoying

(National Meteorological Centre)

### abstract

In this paper, some advances in the approach, method and study of climate impact assessment in and out of China are reviewed in detail. Then some proposals for further development of this study are suggested.