

CO₂ 导致的全球增暖及其影响

任国玉

(地理系)

摘要 CO₂ 导致全球气温上升问题日益受到人们关注。本文对近年在这方面的研究成果进行了比较全面的总结,并讨论了未来全球气候变化的地域性差异及其对自然生态系统和农业生产的可能影响。

关键词 二氧化碳, 气候变化

中图分类号 X21, P461.8

近几十年来,国际科学界对大气CO₂浓度增加将可能引起的全球气候变暖问题给予了严密关注,并组织大批科学家对此进行研究。80年代,全球地面平均气温加速上升,这进一步刺激了地学界对CO₂增暖问题的广泛兴趣,并且通过各种宣传媒介使公众了解CO₂问题的性质和后果。到80年代后期,这个问题已经越出科学界,成为政治家谈论的重要议题。1988年9月20日开幕的联合国第43届大会第一次把气候变化和环境破坏作为三个主要讨论的议题之一,标志着CO₂及其气候效应问题已经开始扩展到了国际政治领域^[1]。在这次大会上,马耳他外长提交了关于“气候是人类共同财富的一部分”的提案。经代表们讨论,一致通过了“人类保护全球气候的决议”^[2]。

1989年3月,包括国家主要领导人的23国代表聚集在荷兰海牙讨论全球气候增暖问题,法国和其它欧洲国家领导呼吁授予联合国更大权力,去协调那些可能会引起温室气体增加的全球性活动^[3]。

同年,联合国环境规划署宣布,1989年6月5日的世界环境日主题是:“警惕:全球变暖”。这进一步把CO₂及全球增暖问题渗透到普通公众之中。到目前,应该承认,国际社会对CO₂问题的关注和担心已经达到科学界始料未及的地步。

那么,CO₂问题到底严重到什么程度?科学界对CO₂的排放、转换和作用及可能引起的各种后果现在究竟认识到什么水平?下面我们将对此做一个综合评述。

1 大气中CO₂含量变化

水汽、CO₂是大气里的主要温室气体。水汽很难看出有随时间长期变化的趋势(从全球平均来看),因而一般不认为它和全球气温变化有直接关系。但温度升高后,对流层水汽含量增加引起的反馈作用却普遍受到注意。CO₂是标准大气中仅次于水汽的第二重要温室气体^[4]。它主要吸收波长在12~18μ的地面长波辐射。由于CO₂随时间有明显的变化,它在导致全球温度变化方面的作用远比武汽重要。通常说的“温室效应”和全球增温,主要是指CO₂所起的作用。

收稿日期:1991-06-04

由于人类广泛使用煤、石油和天然气等化石燃料的结果, 大气中的 CO_2 含量在近 100 年时间里一直在上升。据估计, 19 世纪后期以前, 大气中 CO_2 含量长期稳定在 290ppm 左右。但从那以后, CO_2 含量持续增加, 到目前, 已达 350ppm^[2], 比工业革命前增加了大约 60ppm。根据夏威夷群岛上的冒纳罗亚山(Mauna Loa)观测站记录, 1958 年大气 CO_2 含量为 315ppm^[5]。因此, 在 30 年时间里, CO_2 含量增加了 35ppm, 平均每年增加速率约为 1.0ppm。

对比全球化石燃料使用释放出 CO_2 数量与大气中 CO_2 含量的变化, 可以发现, 燃料释放出 CO_2 约有 55% 存留在大气中^[6]。另外近一半可能为海洋和生物所吸收。其中海洋可能是大气多余 CO_2 的主要吸收者。显然, 要预测将来大气 CO_2 , 必须首先了解释放到大气中的 CO_2 及海洋和生物作为汇吸收的 CO_2 怎样随时间发生变化。而要做到这一点目前还有极大困难。这是因为人们还不十分清楚化石燃料消耗情况, 各类燃料含炭量和蕴藏量情况, 由于技术进步将导致的能源结构的可能变化情况等; 人们也不清楚全球生物, 特别是热带森林的减少是不是会导致生物作为 CO_2 吸收者作用的变化; 人们更不清楚海洋将以多大的速率吸收大气中的 CO_2 , 因为现在还基本不清楚表层海水和深层水之间的交换或混合速率。

很难推测未来人类使用化石燃料排放的 CO_2 达到什么规模。本世纪前 70 年, CO_2 排放量大致呈直线型上升, 在后期, 化石燃料的消耗大约以每年 4.3% 的速率增加^[6]。但进入 80 年代以后, 世界化石燃料消耗量似乎已出现下降或缓慢增长趋势。这可能和新能源的开发及节能技术的广泛采用有关^[7]。现在还不知道未来化石燃料增长趋势会有怎样的变化, 不过很可能不会出现 80 年代以前的那种高速增长情况。

目前对于作为 CO_2 主要吸收者的陆地植物和海洋浮游生物以及海水本身中的交换过程等的认识还相当模糊, 甚至对于陆地植物到底是大气 CO_2 的汇还是源这一根本问题也是不清楚的。实验表明, 大气 CO_2 增加将有利于植物生长, 因此也有助于把大气中多余的一部分碳固定到生物量中去。但是, 世界森林面积, 特别是雨林面积的减少又会导致森林作为 CO_2 吸收者的一部分作用消失, 同时也有更多的 CO_2 释放到大气中。对海水来说, 已经知道它是 CO_2 巨大的潜在汇, 它包含的 CO_2 数量是大气 CO_2 总量的 60 倍^[5]。然而, 海洋只有上部水层才和大气直接接触, 占海洋 90% 的中下层水和表层水的交换过程十分缓慢, 要达到大气和海洋之间 CO_2 分压的新的平衡可能需要几千年时间。这样, 在几十年到一个世纪期间, 大气中多余的 CO_2 似乎不能为海洋很快地吸收。在这种情况下, 任何对大气 CO_2 同植物和海洋交换比率的估计都只能是十分粗略的。根据 Sellers 和 Robinson (1986) 估算, 近期人类活动释放出的 CO_2 有 57% 保留在大气中, 34% 进入海洋, 另外 9% 为植物吸收^[8]。

此外, 近年来, 其它温室气体的不断增加, 越来越受人们注意。大气里甲烷(CH_4)正在以每年 1%~2% 的速率增加, 一氧化二氮(N_2O) 增长速率为 0.2%^[9], 氟里昂(CF_2Cl_2 , 包括 CFCl_3 、 CF_2Cl_2 、 CF_2Cl_3 等) 为百分之几^[10]。从 1970~1985 年的十几年里, 北半球中高纬度地区对流层中臭氧(O_3)含量估计增加了 70% 以上^[9]。这些气体多数是具有长生命期的, 有的则具有较快速的增加(如 O_3), 还有的是在大气窗区有很强的长波辐射吸收能力, 如氟里昂可以强烈吸收波长在 8~13 μ 的地面辐射, 这是 H_2O 和

CO₂的弱吸收谱区^[11]。因此,尽管在大气里的总含量不很高,但它们在增强温室效应方面是不可忽视的。据估计,到21世纪中期,除了CO₂以外的这些微量气体对温室效应增强的作用可以和目前CO₂的作用相当^[10]。事实上,现在有一些研究人员已经把这些微量组分转换成当量CO₂输入气候模式。

2 全球增温的预测

预测主要由CO₂增加引起的全球增温,通常采用三种方法,即:气候模式法、根据目前气候变化的趋势外推法和根据地质时期相应CO₂浓度的温度重建法。其中以气候模式法应用最为普遍。

大气环流模式(GCMS)可以反映调节大气变化的各种反馈过程,用这种模式模拟CO₂增加导致的气温变化是比较理想的方法。Manabe和Wetherald(1975)最先进行了这项工作的尝试,并得出当CO₂增加1倍时,全球表面气温平均可升高2~3℃的结论。他们的工作还表明,高纬地区增温幅度比低纬大几倍,全球平均降水量也增加百分之几^[6]。尽管他们采用了理想的大陆分布和沼泽状的海洋(没有混合和输送)及年平均的辐射(无季节变化),是一种相当简化的模式,但上述几点重要结论却都经受住了时间的考验。

后来的模拟实验包括了更真实的海陆分布和季节变化,并考虑了海洋的动力和热力交换过程,但所得出的增温幅度与Manabe等的结果相似,一般在2~4℃之间。同时证实最大增温确在高纬,特别是北半球高纬地区。也发现显著的增温季节是在冬季^[6,8]。美国国家科学院(1982)的报告预测CO₂加倍后全球地表温度升高 3 ± 1.5 ℃,这就是后来长期引用的估计数字。当然,有的模拟未能见到高纬度地区变暖幅度的增强现象。Washington和Meehl(1984)的研究表明高纬地区升温增幅现象只出现在海冰边缘,而不出现在陆地上^[12]。

对一个理想的北半球大陆,Manabe和Wetherald(1980)预测了CO₂加倍增温幅度随高度和纬度而变化。在地面,赤道附近增暖约2℃左右。35°~50°N之间为3~4℃,80°N附近可达7~8℃。在中高纬地区温度增加数值随高度减小,在平流层气温是下降的^[13]。这表明,在对流层,南北向温度梯度将明显减弱,同时,在中高纬地区大气层结的稳定度也将减小。美国国家大气环境中心(NCAR,1980)的报告反映了大致相似的结果,但在细节上与Manabe等人略有差异^[8]。

全球各个地区在CO₂加倍情况下的增温幅度比同纬度平均的增温幅度更难预测。这是因为目前的模式是为模拟全球气候设计的,分辨率还比较低,对某个具体地区常常会出现很大误差。尽管如此,如果结合历史资料和大气动力学分析,根据气候模式计算出的全球各地区温度变化状况仍有一定参考价值。

Manabe和Stouffer(1980)用大气环流模式模拟了当大气中CO₂达到工业革命前4倍时全球各地区温度变化^[8,14]。在他们的气温变化分布图上,高纬地区冬季升温幅度最大的特点仍然很明显。在北半球冬季,亚洲和北美洲大陆东岸升温幅度都高于同纬度。但两个大陆的干燥地区升温幅度并不大。在北半球夏季,最大变暖地区是南极大陆和南大洋,南半球其它大陆增暖并不比它们的夏季更明显,北半球此时有三个较大增暖中心,一是北大西洋及其两岸陆地,二是北太平洋地区,第三个在欧亚大陆内部。

注意一下中国的情况是很有趣的.中国的年平均增温幅度比美国和西欧要小.在冬季,中国东部沿海增暖程度与同纬度美国东部相似.同时这两个国家西部气温升高值都相对较小.在夏季,中国东部温度升高幅度只及美国东部一半左右,明显低于同纬度其它地区.值得指出的是,最近赵宗慈(1989)分析了5个模拟大气 CO_2 加倍时中国气温变化的模式,表明有更多模式反映冬季中国北方和东部地区增温在 4°C 以上,多数模式反映西南部增温在 4°C 以下.在夏季,有较多模式表明西北地区增温幅度高于东部^[15].这个冬夏季温度变化的区域状况和Manabe等模拟全球温度变化的结果大致相似.这也使我们有理由认为Manabe等的增温分布图是可信的.

如果80年代的显著增温是由于 CO_2 作用的结果,那么王绍武(1990)的工作进一步证实中国东部温度变化幅度较小的结论.中国东部80年代平均气温距平比北半球及全球的都要明显小^[16].中国东部年平均气温变化小与夏季温度变化小是一致的,因此80年代夏季气温很可能也是增暖幅度比较小的.将来由于 CO_2 增加引起的温度上升在中国东部夏季可能将继续是不显著的.

中国东部地区冬季增温与同纬度平均情况相似,但夏季的变暖并不明显,这将使气温年较差减小.很有可能,这种变化同冬夏季大气活动中心的变化有联系.张家诚(1989)认为,由于北半球高纬冬季增温幅度较大,这会使西伯利亚冷空气的堆积作用减弱,冷高压强度减小,中国东部冬季风可能将变弱,但低纬地区增温幅度小于中纬度,则可能引起夏季风增强,使中国东部夏季气温升高幅度小于同纬度平均值^[7].

3 干湿状况预测

大气 CO_2 增加导致气候变化的另一个重要方面就是降水量或土壤水分的改变.在某种程度上说,这种水分条件的变化比气温变化更有意义.但是,要预测 CO_2 增暖可能引起的降水量或土壤水分变化的空间分布状况更为困难.在研究这个问题时,有几种方法已经被采用^[17,18].它们是气候模式法、历史类比法和动力分析法.气候模式法仍然是近年运用较多的.历史类比法也得到广泛采用.它是以地质时期(常常是全新世大西洋期)或仪器记录期内的温暖阶段或暖热年份为背景,分析当时土壤水分或大气降水相对现在或冷期的差别.动力分析法是一种经验方法,它是根据大气动力学或有关气候和空间相关的经验知识所做的推断.在进行水分变化分布格局问题研究时,把这几种方法结合起来才可以得到较满意的效果.

还在模拟预测 CO_2 影响的初期,就已经指出,由于增强的蒸发作用,全球平均降水将有所增加. CO_2 倍增后,降水平均可增多百分之几(Manabe和Wetherald, 1975)^[5].后来的模式还发现,中高纬夏季雨带明显向高纬方向迁移,中纬度地区夏季土壤水分变得更为不足.

Manabe和Wetherald(1985)的模拟工作表明, CO_2 增加后一个基本变化就是全球水分循环过程的加强,蒸发和降水都将增加.在高纬度地区, CO_2 引起的降水率的增强高于蒸发率,因此径流率和土壤水分也相应明显增高.在中纬度和副热带,地带平均的土壤水分都有减少,从季节来看,夏季中纬和中高纬土壤水分有明显降低,而冬季在副热带平均土壤水分要下降.中高纬度夏季土壤水分减少和夏季增强的蒸发及融雪季节提前

有关,同时中纬度夏季雨带明显向高纬移动也是重要的,这使在盛夏可能有一段时间降水不多。副热带冬季的更趋于干燥也同中纬度雨带向高纬迁移有关,这种迁移使这里冬季气候更接近低纬一边的干燥地带^[19]。

从具体的地区来看,在北半球夏季,除了南美洲大部分、中国东部、非洲大部分和澳大利亚西部土壤水分有增加以外,其余基本上都趋于干燥,尤其是澳大利亚东南部和美国东南部土壤水分减少更显著,冬季北非和北美洲南部的副热带地区土壤水分显著下降。欧亚大陆和北美大陆的中高纬地区土壤水分增加,此时处于夏季的南美大部分和南非也表现更为缺水^[19,5]。从全年来看,赵宗慈(1996)提供的资料表明,变干区有北美中部、东西伯利亚、南非南部、南美南部。变湿区包括阿拉斯加、北美南部、非洲大部分、亚洲季风区和澳洲等^[20]。

研究CO₂增暖的地球上各地区干湿状况的历史类比法有两种:一种是分析地质时期全球降水或土壤水分变化的分布,目前广泛引用的Kellogg (1977)气候适宜期图就是这项工作的代表成果^[8,18,21];另一种是分析本世纪一系列暖年和冷年之间的降水差别的区域分布(Wigley et al, 1980)^[5,8,18]。

根据Kellogg (1977, 1978, 1979)推测,在全新世中期的温暖阶段,北非和东非、印度、中国东部、欧洲中南部、澳大利亚和阿拉斯加地区是比目前要湿润些。在中高纬度,主要指夏季更湿润些。北美洲中部平原和加拿大北部反映比较干燥。这可能说明当时的夏季土壤水分是更缺乏的。从北半球1925~1974年5个最冷年到5个最暖年的平均年降水变化来看,在暖期里,东北非、印度、中国东部和蒙古、北美洲北部降水相对比较多,而西北非、欧洲大部分、中亚和北亚及北美洲中部和南部降水则减少^[5]。

综上所述,可以看出,只有北美中部平原的干燥,东北部非洲、印度和中国东部的湿润才是各种方法所得结论完全一致的。因此,在CO₂引起全球增温的情况下,北美中部草原地区很可能将趋向干燥,东北非、印度和中国东部可能会有更多的降水和更充分的土壤含水量。其它地区还不能有把握地预测。

有一些工作更详细地分析了某些地区降水对CO₂增加的响应。根据Cohen (1986)推测,在CO₂加倍时,北美五大湖地区降水将有不同程度增加(0.8%~6.5%)。但由于温度升高导致的更强的潜在蒸发作用,湖盆流域水的净供应量将减少,夏季南部的密执安湖和伊利湖减少更明显^[22]。Pittock和Salinger (1982)用三种方法综合分析了澳大利亚和新西兰的雨量可能变化,指出,在30°S以北的澳大利亚北部地区雨量将增加,新西兰东部和东北部雨量也增加,但其南部有所减少^[17]。Meehl和Washington (1985)利用大气环流模式研究了热带地区的降水变化,指出,当CO₂加倍时,冬夏季太平洋低纬地区降水都增加。南美热带在两个季节降水也增加,但印度降水却发现减少,尤其在北半球冬季。非洲在北半球夏季雨量减少,冬季略有增加。他们指出,这种区域变化相似于目前东太平洋赤道地区水温升高年份的情况^[23],即相似于ENSO事件出现时期的情况。

赵宗慈(1989)报告了中国在大气CO₂增暖情况下的降水变化。在他的工作中,5个模式中的多数表明,冬季东北北部和华南地区降水减少,其它地区尤其西北地区降水会增加。在夏季,华中和华北西部、东北北部降水是减少的,东北南部和华东、华南、西南等地区降水将增多,夏季降水变化大致是东南沿海增多而西北内陆减少。这基本上同

Manabe等人(1985)的模拟结果相似。中国东部历史上的温暖时期常和湿润时期相对应,而寒冷时期同干旱时期一致^[7,24],也有助于说明在将来CO₂引起变暖的时期,中国东部土壤水分条件会变得更湿润一些。

4 气温和降水变化的后果

大气CO₂浓度升高造成全球气温变暖和降水分布状况的改变,必然会对陆地和海洋生态系统以及人类活动产生深远的影响。在最近十几年,对这种影响的调查也构成了CO₂问题研究的一个重要方面。直到目前为止,气候学家讨论比较多的是当CO₂浓度达到某一水平时气温和降水的变化。但对于什么时候达到这一水平(比如增加1倍达到600ppm)还由于很多不确定因素而没有一致意见。为了预测大气中CO₂含量加倍的时间,需要全面了解化石燃料用量增长、海洋吸收及生物量变化等情况。已经推测的CO₂加倍时间归纳起来有3个:2025年,2050年和22世纪初。据计算,如果化石燃料消耗以每年4%速率增长,则CO₂加倍时间是在2025年;如以每年2%速率增长,这个时间应是2050年^[25];但如以低于2%速率增长,大气中CO₂含量加倍时间就要推迟到21世纪末或22世纪初。取折衷的估计,到下个世纪中期CO₂含量比工业革命前水平增加1倍是有可能的。这表明在半个世纪多一点时间内,地球平均气温会升高3℃左右,并伴随着降水分布格局的改变。

自从全新世大西洋暖期以来,在几千年时间里全球平均气温变化幅度最大只达2~3℃。人类活动有可能使全球平均气温在几十年的时间内产生自然条件下数千年才能达到的变化幅度,大大地增加了气候变化的速率。在研究自然环境系统和人类社会对气候变化的响应时,必须考虑人类将面临的气候变化的急剧性。这种迅速的变化使得自然环境系统和人类社会有时难于适应,从而会产生一些独特的过渡阶段特征。这种过渡阶段特征既不同于原来的相对稳定状态,也明显有别于它们最终将要达到一个新的平衡时的状态。由于我们更关心的是十几年或几十年时间的未来,因此我们处理和分析的很多问题都将带有这种过渡性质。

在这种情况下,同样是植物,但乔木和草本植物对气候变化的响应表现出明显不同的性质。草本植物对变化了的气候响应迅速,可以很快在新的水热条件下达到平衡态。乔木对气候变化的响应缓慢,它要完全调整到平衡态需很长时间。因此在森林和草原的边界上会出现一些复杂的变化情形。当在这个边界附近变干燥时(如北方针叶林和温带草原之间边界),一些针叶树可能在短期内死亡,为草原所取代;当边界附近趋于更湿润时,乔木却不能很快侵入草原。缓慢的生长周期使它难于迅速地对变化的气候做出反应。可见森林的扩张是需要一定时间的。绝不是CO₂引起气候变化,每一种植被类型都能快速调整的。北方针叶林北界在几十年内很少能够向高纬迁移,但它的南界却可能向北收缩。这将导致森林面积的暂时缩小。

如果说森林的形成需要以百年计的话,那么土壤的形成速率则更缓慢。一种自然土类的形成至少需要几千年时间。因此,即使植被类型最终由于和新的气候条件达到平衡而稳定下来,原来两种土壤类型之间的边界还是没有表现出迁移。例如,温带草原和北方针叶林的界线向北移动了,但南部的黑钙土(湿软土)与北部的灰化土(灰土)由于本身的

惰性一时还难以有显著变化。于是一种独特的综合自然特征出现了:在原来森林和草原边界的北侧附近,将见到温带草原—灰化土的奇特组合类型。在CO₂导致气候剧烈变化的情况下,这种过渡时期不稳定的景观类型将十分普遍。

上述认识还能帮助我们正确评价CO₂引起气候变化后各个地区的农业生产潜力。在了解了由CO₂导致的温度和水分变化有显著区域差异以后,人们往往从各自国家的得失加以评价:如,许多美国人强调CO₂引起全球增暖对人类是一种灾难,而苏联气候学家则预言温室效应会造福于人类^[25]。正如我们已经知道的,在CO₂增暖的情况下,美国中西部主要粮食产区的土壤水分情况将趋于恶化。这必然对未来美国农业造成不良影响。苏联人的乐观态度源于中高纬度升温幅度大的预测,他们认为这会给他们带来繁荣,这种繁荣首先是由于农业种植带可以向北推进很多。如果说美国人的悲观还有些道理的话,那么苏联人的乐观就有点缺乏依据了。这是因为,即使针叶林带南部由于热量增高而有利于农作物生长,但原来林下的灰化土不能很快转变成肥沃的土壤。这种矿物质和有机质都贫乏的土壤无疑是不利于在短时间内耕作的。由于同样的原因,加拿大目前的农业带在将来变暖以后也不会很快向高纬推进的。

中国的情况可能是不同的。中国的主要农业区位于东部季风区,CO₂引起的气候变化使这个地区没有美国农业地带那样的干旱,同时在这个地区的北部也没有象苏联北方那样的限制性土壤。未来的增暖很有可能使中国东部土壤水分条件趋于有利。这一点再加上生长季的延长和夏季热量的略有增加,将更有利于作物生长。由于雨带在春季向北推进更早,华北地区的春旱将缓解,但黄淮流域可能会出现短暂伏旱现象。东北地区由于温度的升高,过去曾对农作物造成严重危害的低温冷夏问题将趋于消失。丁一汇(1990)通过农业产量模式模拟指出,全国除华南外粮食单产都将增加。这和CO₂本身促进光合作用及水热条件的适宜都有关系^[27]。因此CO₂增加总的来说对中国农业生产是有利的。

全球海平面的上升是人们对CO₂增暖引起后果的又一个主要担心。据观测,近一百年全球海平面处于持续上升过程中,平均每年上升速率在1.0~1.5mm之间,但有迹象表明后50年来上升速率有加快趋势^[28]。一百年的累积上升量可能在10~15cm之间。一般认为,导致这种平均海平面上升的主要原因是全球平均气温的变暖。这种变暖有两个后果:一是加热了海水,使海水由于热膨胀而引起海平面上升;二是较高的气温改变了较小山地冰川的质量平衡,冰川消融超过积累,使水体转移到海洋,同样造成全球海面上升^[29]。因此在较短时间尺度上,气温变暖是引起全球海平面升高的基本原因。

对这种海面上升的估计差别也很大。1985年奥地利维拉赫会议认为CO₂倍增后全球地表平均温度升高1.5~4.5℃,海平面相应上升20~140cm。但1987年在同一个地点的另一次专家会议上,估计到2030年全球升温幅度在0.3~4.0℃之间,海平面上升处于-0.05~1.2m之间^[7]。另据Poskoff(1987)推测,全球海平面到2025年升高约在13~55cm,到2050年升高为24~117cm^[30]。

当然,海面上升由冰川融化所起的作用可能仍然限于陆地小型冰川。尽管高纬地区增温幅度很大,但由于大冰盖对变暖的响应缓慢,在几十年里可能不会表现明显的收缩。另一方面,有证据说明,在更新世当全球气温变暖时,南极冰盖可能还扩张了。这

可能同变暖的大气造成了更多的降水有关。本世纪的观察也表明, 南极冰川, 特别是东南极冰川没有出现明显的质量平衡变化^[21, 28]。

对西南极冰川, 特别是那里的冰架, 曾经有一种担心, 认为它可能在增暖的情况下消融更快, 甚至发生突发式脉冲滑动(surge)。在这个地区, 巨大的冰体已经位于罗斯海和威德尔海里, 由沿海大陆架支撑, 或浮在海水上。海水的变暖可能会使它们融化更迅速。如果出现一种更极端的情形, 即巨大冰体由于温度和重力共同作用的结果发生崩解, 那么会产生更严重后果。据估计, 西南极冰川若全部消失, 可以使全球海平面升高约5米^[31]。当然, 这种情况在人们关心的时期里不一定发生, 而且即使出现, 由于它的消融还得花费多年时间, 人类也有充分时间从沿海低地转移走。

和人类关系更直接的还是山地冰川和海水热膨胀引起的海面缓慢升高。它也会产生比较大的生态环境和社会问题。如可以淹没大片滩涂, 加速海岸侵蚀, 冲破护岸海堤, 增加风暴潮发生的频率, 阻碍沿海内陆低地的排水泄洪能力, 导致盐水在地下的内侵, 等等^[29]。世界上最易受海平面上升影响的地区包括欧洲低地各国(特别是荷兰)、孟加拉国和热带大洋上一些岛国。中国东部沿海的辽东湾沿岸、渤海湾沿岸、长江三角洲和苏北沿岸等地区都将受到不同程度影响。据报道, 塘沽附近从1950~1981年相对海面已上升25cm, 每年平均上升0.81cm^[32]。在这种有海岸沉降因素参与的地区, 尤其应该注意预防可能产生的不良后果。

5 问题与展望

应该承认, 对大气中CO₂含量增加及可能产生影响的研究已经构成当今地球科学一个最重大的课题。最近十几年的研究活动也取得了一系列令人鼓舞的成果。但是, 也必须看到, 对CO₂增加导致气候变化的研究中还存在许多不确定成分。认识到这些问题也是有必要的。

首先, 不确定性来自对CO₂排放量, CO₂被植物和海洋吸收的估计。每一个问题都不很清楚。将来排放量怎么增长? 植物能储存多少, 同时又将放出多少? 海洋能否因为上层的加热和由于吸收一些CO₂变酸而影响进一步吸收? 这些都是需要深入研究的。

其次, 不确定性是关于本世纪全球的增温是否确系CO₂在大气内的集中引起。纵观本世纪气候学发展, 可以看到, CO₂的温室效应学说基本是和平均气温同时变热或同时变冷的。50年代以前, 全球平均气温升高时, 温室效应说曾普遍受到重视。但随后的20多年温凉期, 这个学说也受到较多批评。70年代以来, 在地球气温重新升高以后, CO₂及其影响的研究再度兴起。尽管气温记录表现出的变暖趋势, 与气候对CO₂敏感性的模式估计一致, 也与大气CO₂浓度增加一致, 但还不能肯定地认为这种变暖就是由大气多出的CO₂造成的。Sellers和Robinson(1986)认为, 只有未来温度变化幅度超出自然年际变率两个标准差时, 才可以有把握地认为增暖是由CO₂造成的。如果模式预测是正确的, 应该在90年代中期看到这种情况^[8]。

对于除了CO₂以外的其它几种微量温室气体, 人们还不十分清楚它们的来龙去脉。尤其对于它们在将来的温室增暖中究竟占多大份额尚有待研究。要准确预测未来的增温, 必须把这个问题调查清楚。

再次,是关于气候模式本身的缺陷。现在的模式已经简化了气候系统的许多重要方面,因此必然带有许多不精密性和不确定性。如在气候模拟中,当CO₂加倍时,有时海洋的输送作用、植被和陆地冰川等都被当作是固定的。但实际上它们可能会随着CO₂增加产生某种变化,即存在着复杂的反馈关系。对于这些反馈机制既没有充分理解,更没有在模拟时把它们考虑进去,这不可避免地和真实气候系统的响应有一定差距。事实上,用不同模式所得出的结果,特别是关于降水和土壤水分的结果,还有相当大的差别,反映了模式的局限性。这种情况可能会随着时间推移有所改进。

由于上述不确定性,具体分析某个地区CO₂及其增温作用的影响,就带有更多的任意性了。且其它影响自然生态系统和农业作物的气候因子如光照、风、灾害事件等也是不清楚的,因此也就无法准确地做出预测。另外,在把气候模式与生态系统模式及农业产量模式结合起来的过程中,还会遇到尺度不兼容和气候模式产品时间分辨率不能满足要求等问题^[33]。可见,预测CO₂增暖的生态和农业影响在很大程度上依赖于气候预测本身。

至于采取行动,可能更主要的是设法适应变化。和任何其它人类污染引起的环境后果不一样,CO₂产生的影响从全球气候角度来看,谈不上好,也谈不上坏。它对有些国家是有利的,但对另一些国家则是不利的,因此净效果不明显。这一点与SO₂、NO₂和CF₂Cl₂等造成的酸雨和臭氧层破坏显然有区别。因为后者从总体上来说是对人类有害的,因而,达成统一行动纲领和法规是容易做到的。然而CO₂的温室效应问题很难达成明显一致的行动意见。针对这种情况,各个国家唯一能够采取的行动就是深入研究,特别是研究适应将发生重大改变的气候和自然环境。

致谢: 本文承牟昀智教授提供了不少有价值资料和意见,在此表示感谢。

参 考 文 献

- 1 联合国. 人类共同关切的问题. 联合国纪事, 1989; 6(1)
- 2 高振刚等. 世界气候趋势及其治理对策. 人民日报, 1989-07-31
- 3 White R M. Greenhouse Policy and Climate Uncertainty. Bull Amer Meteorol Soci, 1989; 70(9)
- 4 Kondratyev K Y. CO₂和其它微量气体及气溶胶在辐射收支中的作用. 见: Houghton J T. 全球气候. 北京: 气象出版社, 1984
- 5 Lockwood J G. World Climatic Systems. London: Edward Arnold, 1985
- 6 WMO and ICSU. The Physical Basis of Climate and Climate. Modelling, GARP Publications Series, 1975; (16)
- 7 张家诚. CO₂的气候效应与华北干旱问题. 气象, 1989; 15(3)
- 8 Sellers A H, Robinson P J. Contemporary Climatology. Longman Scientific & Technical, 1986
- 9 Crutzen P J, Andreae M O. Atmospheric Chemistry. in: Malone T F, Roederer J G. Global Change. Cambridge University Press, 1984
- 10 Golitsyn G S. The Changing Atmosphere. in: Malone T F, Roederer J G. Global Change. Cambridge University Press, 1984
- 11 Hobbs J E. Applied Climatology. Dawson, Westview Press, Inc. 1980
- 12 Dickinson R E. Climate Sensitivity. in: Barry Saltzman. Advances in Geophysics Vol. 28: Issues in Atmospheric and Ocean Modelling, Part A, Climate Dynamics. Academic Press, Inc. 1985
- 13 Rosenberg N J. The Increasing CO₂ Concentration in the Atmosphere and Its Implication on Agricultural Productivity, Climatic Change, 1982; (4); 239~254

- 14 Simmons A J, Bengtsson L. Atmospheric general Circulation models: their design and use for climate studies. in: Houghton J T. The Global Climate. Cambridge University Press, 1984
- 15 赵宗慈. 模拟温室效应对我国气候变化的影响. 气象, 1989; 15(3)
- 16 王绍武. 近百年我国及全球气温变化趋势. 气象, 1990; 16(2)
- 17 Pittcock A B, Salinger M J. Towards Regional Scenarios For a CO₂-warmed Earth. Climatic Change, 1982; (4): 23~40
- 18 Kellogg W W. Regional Scenarios of Future Climate Change. in: Angeles L. Third Conference on Climate Variations and Symposium on Contemporary Climate: 1850~2100. Amer Metro Society, 1985; Jan: 8~11
- 19 Manabe S, Wetherald R T. CO₂ and Hydrology. in: Syukuro Manabe. Advances in Geophysics, Vol.28: Issues in Atmospheric and Oceanic Modelling, Part A, Climate Dynamics, 1985
- 20 赵宗慈. 五个全球大气海洋模拟CO₂增加对气候变化的影响. 大气科学, 1990; 14(1)
- 21 Kellogg W. Global influences of mankind on the Climate. in: Gribbin J. Climatic Change. Cambridge University Press, 1978
- 22 Cohen S J. Impacts of CO₂-Induced Climatic Change on Water Resources in the Great Lakes. Climatic Change, 1986; (8): 135~153
- 23 Meehl G A, Washington W M. Tropical responses to a doubling of CO₂ with an atmospheric GCM coupled to a simple mixed layer ocean model. in: Los Angeles, Third Conference on Climate Variation and Symposium on Contemporary Climate: 1850~2100. Amer Metro Society, 1985; Jan: 8~11
- 24 竺可桢. 中国近五千年来气候变迁的初步探讨. 考古学报, 1972; (1)
- 25 Waterstone M. The Equity Aspects of Carbon Dioxide-Induced Climate Change. Geoforum, 1985; 16(3)
- 26 苏气候学家预言温室效应会造福人类. 中国科学报, 1989-11-28
- 27 丁一汇. 未来30年气候对我国农业的影响. 中国科学报, 1990-02-20
- 28 王珏. 近百年世界海面及其原因. 海洋科学, 1989; (2)
- 29 施雅风. 沿海地区经济建设要注意海平面上升的危害. 百科知识, 1988; (9)
- 30 Poskoff R. 海平面的变化. 生态学进展, 1987; 5(4)
- 31 林观得, 孙亨伦. 海平面. 北京: 地质出版社, 1986
- 32 中国海平面变化. 科技日报, 1989-07-18
- 33 丁一汇. 气候变化对生态系统和农业的影响. 气象, 1989; 15(5)

A Review on CO₂ Induced Global Warming and Its Impacts

Ren Guoyu

(Department of Geography, Liaoning Normal University)

Abstract Great attention has been paid to the carbon dioxide-induced climatic change in recent years. A comprehensive review on the global warming and its influences on the land ecosystems of the earth has been made in this paper. In particular, the regional scenarios of the climatic change caused by the green-house gas and their implication for agricultures in different parts of the world have been discussed in detail.

Key words carbon dioxide, global warming