

近十年来我国气候变暖影响研究的若干进展*

王馥棠

(中国气象科学研究院,北京 100081)

提 要

近年来,我国政府和科技界十分关注气候变暖对我国经济发展可能影响的评估,开展了许多重大项目和课题的研究。该文仅就气候变暖对我国自然植被、农业、森林、水资源、能源利用和区域海平面上升等领域影响评估研究的若干有意义的初步结果简要归纳和评述如下:取自不同 GCM 模型的未来气候变化情景下的影响评估模拟表明,我国的特征性自然植被类型将会发生明显的变化。同当前气候(1951~1980年)下的模拟分布相比,到2050年我国几乎所有地方的农业种植制度均将发生较大变化;气候变暖将导致复种指数增加和种植方式多样化,但降水与蒸散之间可能出现的负平衡和土壤水分胁迫的增加以及生育期的可能缩短,最终将导致我国主要作物的产量下降。气候变暖对我国水资源最明显的影响将会发生在黄淮海流域,这个区域的水资源供需短缺将大大提高。同时,气候变暖将改变我国室内取暖和降温的能源需求关系:北方冬季取暖的能源消耗将减少,而南方夏季降温的能源消耗将会增加。海平面的上升将使我国三个主要沿海低洼脆弱区,即珠江三角洲、长江三角洲和黄河三角洲,面临部分遭受海水淹没的威胁。

关键词:气候变暖影响 植被 种植制度 水资源 能源需求

引 言

由于气候变化与社会经济发展的关系极为密切,长期以来,我国政府和科学家们在气候变化对我国社会经济发展的影响研究方面做了很多工作,并在气候变暖影响研究上取得了很多成果^[1,2,3]。

众所周知,大气中温室气体含量增加将会导致温室效应增强,引起全球气候变暖和更多的其它变化,如全球水文循环变化等。我国是一个农业大国,这就更显示出气候变暖对国民经济发展的重要性。

我国人口众多,耕地和水资源相对不足,经济发展对气候变暖非常敏感,因此进行气候变暖对我国经济发展的影响研究是非常重要的。为此,近年来,我国规划并开展了许多重大项目和课题的研究;有些研究计划还正在实施过程中。本文仅就气候变暖对我国自然植被、农业、森林、水资源、能源利用和区域海平面上升等领域影响评估研究的若干有意义的初步结果作一简要归纳与评述。

* 资助课题:国家“九五”重中之重科技项目“我国短期气候预测系统的研究”(96-908)。

2002-04-02 收到,2002-05-21 收到修改稿。

1 中国未来的气候变化情景

以全球社会经济-气候影响模型(按 IPCC 1992 报告中 IS92a 情景设计)与 7 个 GCM 模型及其合成模型相结合模拟全球气候变化的方案,可以得到未来东亚和中国区域的气候变化情景^[4,5,6]。而作为比较,把 1951~1980 年标准时期的气候选用为当前气候,并进一步把 2050 和 2030 年选作为大气 CO₂ 浓度将会加倍的样本年。表 1 给出了不同 GCM 模型模拟的 2050 年的气候变化情景及其合成情景。表 2 显示了东亚和中国地区到 2030 和 2050 年的温度将比当前分别上升 0.88 °C 和 1.40 °C,降水将有可能增加 2.6% 和 4.2%。这表明在东亚和中国地区,未来由于人类活动引起的温度变化可能比降水变化更为明显。

表 1 7 个 GCM 模型模拟的 2050 年东亚和中国地区的气候变化情景及其合成情景
(与 1951~1980 年气候相比较)

GCM 模型	GFDL	GISS	OSU	LLNL	MPI	UKMO-L	UKMO-H	合成模型
ΔT (°C)	1.34	1.14	1.25	1.47	1.35	1.33	1.82	1.40
ΔP (%)	2.6	3.3	5.1	4.4	4.0	4.0	5.9	4.2

注 ΔT : 温度变化(°C); ΔP : 降水变化(%)。

表 2 由合成 GCM 导出的东亚和中国地区 2000~2090 年的气候变化情景
(与 1951~1980 年气候相比较)

年份	2000	2010	2020	2030	2040	2050	2060	2070	2080	2090
ΔT (°C)	0.20	0.35	0.65	0.88	1.06	1.40	1.64	2.01	2.30	2.66
ΔP (%)	0.6	1.1	1.9	2.6	3.2	4.2	4.5	5.5	6.3	7.2

注 ΔT : 温度变化(°C); ΔP : 降水变化(%)。

2 对自然植被的影响

用专门为表示我国特征性自然植被类型而研制的植被-气候模式,与 7 个 GCM 模型模拟的 2050 年的不同气候变暖情景相结合,模拟估算了人类活动引起的气候变暖对我国自然植被的潜在影响。图 1 显示了我国当前气候(1951~1980 年)下的特征性植被类型的模拟分布,此分布与植被类型的实际分布吻合很好^[7,8]。从东到西植被类型的演变正反映出一种湿度梯度的变化,东部温带针叶阔叶混交林向西逐渐转变为内蒙古的温带草原,然后再转变为新疆地区的温带荒漠。从北向南,寒温带针叶林逐渐转变为暖温带落叶阔叶林,继续往南为亚热带常绿阔叶林,最终在我国的最南部替代为热带雨林。而西南部的青藏高原地区覆盖着西藏高山植被。从图 2 可以清楚地看出,各类植被将有明显的北移,南方的热带雨林范围将扩大,东北地区的寒温带针叶林和西南地区的西藏高山植被将缩小。在我国西北地区(新疆等),由于温度相对增加较多,所增加的降水不足以弥补由于温度增加引起的蒸发蒸腾所需耗失的水分,所以这个地区的气候将会比现在变得更加干热。因此,相应的特征性植被将可能从现在的温带荒漠或草原转变为暖温带或亚热带荒漠。这将会给西北大部分地区的经济可持续发展,如畜牧业生产,带来很大困难。总的来

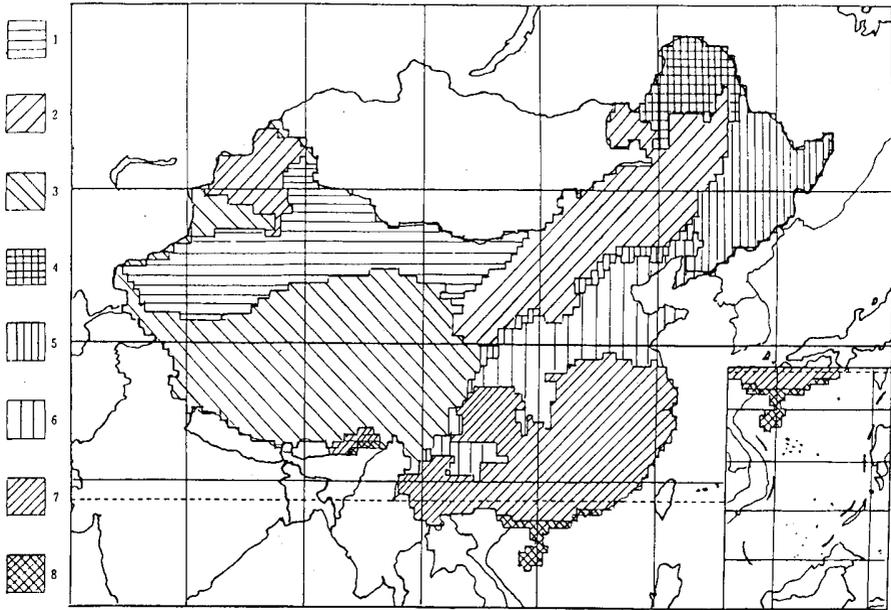


图 1 当前(1951~1980年)气候下,我国特征性植被类型的分布
(符号 1~8 分别代表温带荒漠、温带草原、西藏高山植被、寒温带针叶林、
温带针叶阔叶混交林、暖温带落叶阔叶林、亚热带常绿阔叶林和热带-季风雨林)

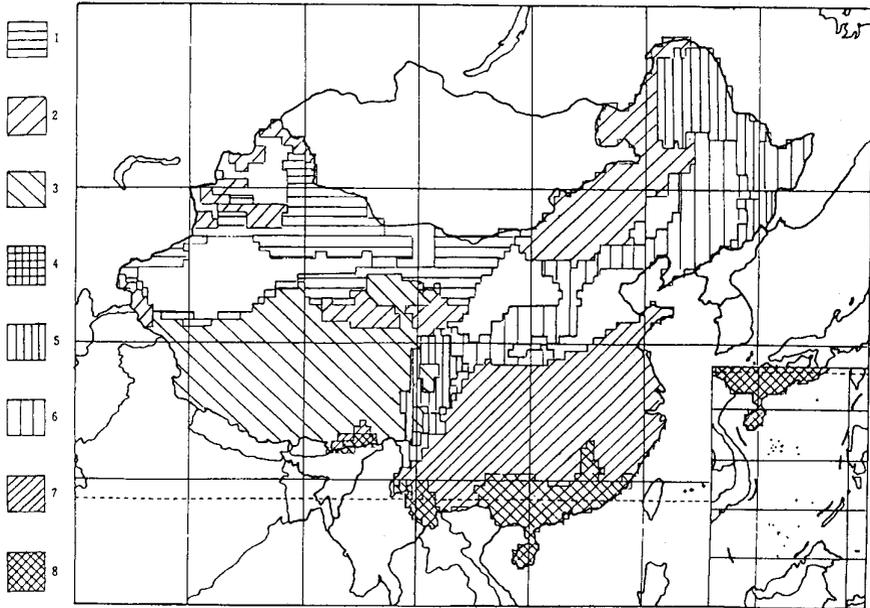


图 2 未来(2050年)气候情景下,我国特征性植被类型的可能分布
(符号 1~8 的意义同图 1,空白区表示未定义类)

说,尽管不同的气候变化情景下模拟预测的植被类型变化各不相同,但所有模拟结果均表明特征性植被类型的分布将会发生重大变化(表3),而这些植被类型的转移变化将会对土地利用带来很大的影响^[4,5,9,10]。

表3 由合成 GCM 模式模拟的 2050 年气候变化情景下
我国特征性自然植被类型分布面积的可能变化

特征性自然植被类型	当前气候(1951~1980年)	2050年气候	可能变化 %
寒温带针叶林	2	0	-2
温带针叶阔叶混交林	7	6	-1
暖温带落叶阔叶林	11	11	0
亚热带常绿阔叶林	21	21	0
热带-季雨林	1	7	+6
温带草原	16	11	-5
温带荒漠	14	10	-4
西藏高山植被	28	20	-8
未定义类	0	14	+14

3 对农业的影响

3.1 对种植方式的影响

根据上文提到的合成 GCM 产生的中国区域气候变化情景,与我国主要种植类型的

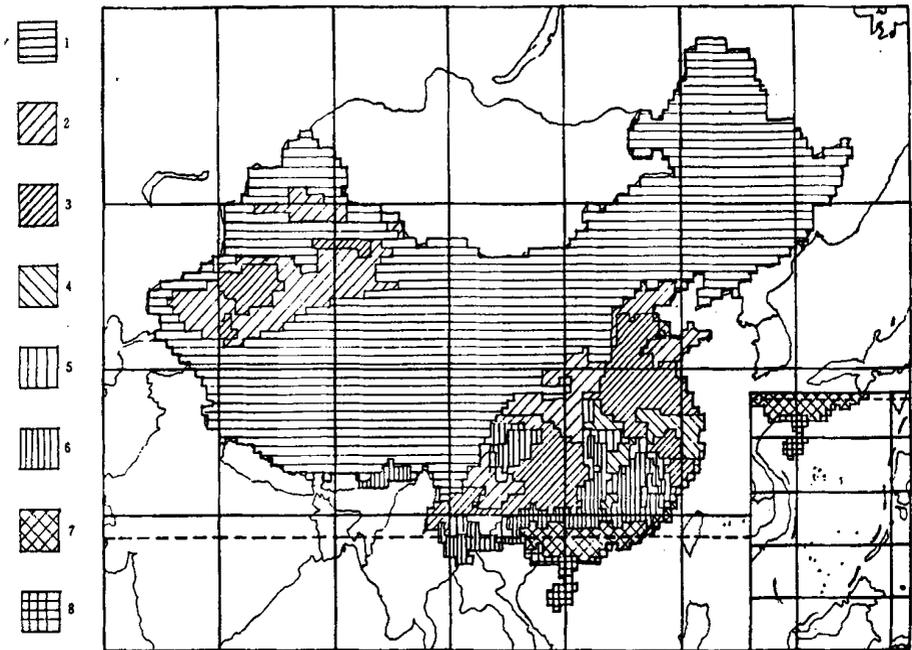


图3 当前(1951~1980年)气候下,我国作物种植制度的分布
(符号1为一熟制,2~4为不同组合的二熟制,5~8为不同组合的三熟制)

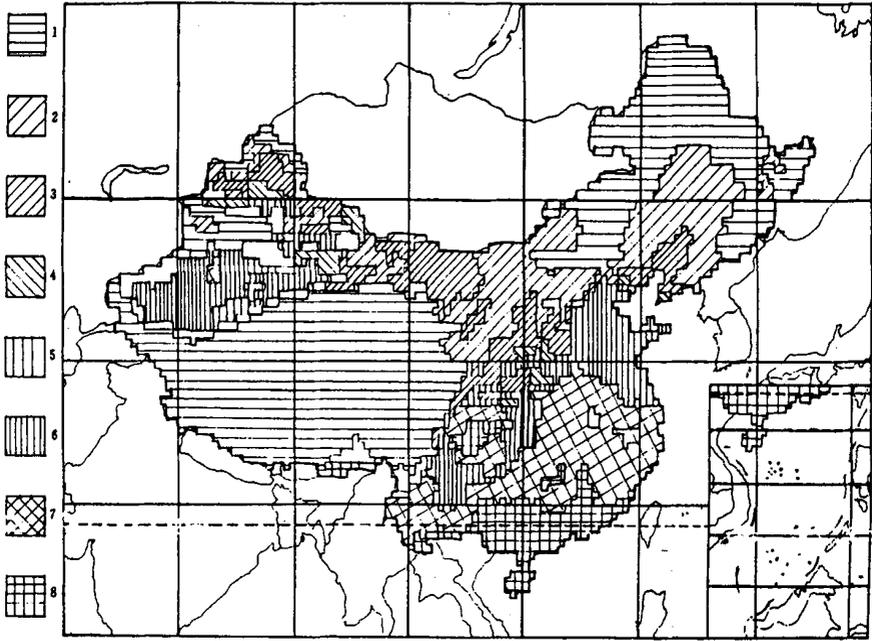


图4 未来(2050年)气候情景下,我国作物种植制度的可能分布
(符号1~8的意义同图3)

种植制度模式相联接,可以模拟评价气候变暖对我国种植制度的潜在影响^[1]。结果表明,到2050年,除了海拔很高的青藏高原地区和东北北部的部分地区以外,几乎其他所有地方的种植制度都将发生较大的变化(图3,4与表4)。最显著的变化将会发生在我国最重要的东部农业生产区。目前大部分两熟制地区将会被不同组合的三熟制所替代,而目前的两熟制地区将会北移到目前一熟制地区的中部。三熟制一个很明显的变化就是其北界将会由目前的长江流域北移到黄河流域。因此,在一定程度上可以说,由于种植制度的多样化和复种指数的增加,气候变暖对我国的农业生产将是有利的。尤其是在最冷的东北地区,那里低温冷害经常影响作物成熟,早霜冻的发生也常导致作物减产或绝收,而预测的到2050年温度增加的情景将会有利于东北的作物增产。但是,在我国大部分地区栽培的主要作物是多熟制的水稻和小麦,其正常生长需要大量的水分。遗憾的是,到2050年降水与蒸散的净平衡预测结果很可能是负的,尤其在华北地区水分胁迫将有所加剧^[11],也就是说作物可以利用的水资源将比现在少。此外,按世界粮农组织有关作物生长期的计算方法估算表明,在我国大部分中低纬度地区作物实际有效生长期将比目前有所缩短^[5,6]。因此,尽管适合水稻和小麦种植的范围将会扩大,但由于水分胁迫增加和有效生长期缩短可能最终导致水稻和小麦因平均产量下降而减产。

表4 由合成 GCM 模式模拟的 2050 年
气候变化情景下我国不同作物种植制度

	分布面积的可能变化		%
	当前气候(1951~1980年)	2050年气候	
一熟制	62.3	39.2	-23.1
两熟制	24.2	24.9	+0.7
三熟制	13.5	35.9	+22.4

3.2 对作物产量的影响

另一方面,在三种平衡 GCM 模式(GFDL, MPI 和 UKMO-H)产生的 2050 年气候变化情景的基础上,利用改进的适合于我国农业实际的三种作物模型(ORIZAI 水稻模型, CERES-wheat 和 CERES-maize 模型)完成了对作物产量影响的模拟试验。表 5 给出了作物产量可能变化范围的模拟结果。由此,可以看出初步结果是:在上述气候变化情景下,到 2050 年三种主要作物的产量平均将可能减少 5%~10%^[12-14]。

表 5 GFDL、MPI 和 UKMO-H GCM 模拟 2050 年气候变化情景下
估算的作物产量可能变化 %

作物种类	雨养冬小麦	灌溉冬小麦	雨养春小麦	灌溉春小麦	早稻	
范围	-0.2 ~ -23.3	-1.6 ~ -2.5	-19.8 ~ -54.9	-7.2 ~ -29.0	-1.9 ~ -5.2	
平均	-7.7	-2.0	-31.4	-17.7	-3.7	
作物种类	晚稻	单季稻	雨养春玉米	灌溉春玉米	雨养夏玉米	灌溉夏玉米
范围	-8.8 ~ -12.9	-8.0 ~ -13.7	-19.4 ~ +5.3	-8.6 ~ +3.6	-11.6 ~ -0.7	-11.6 ~ +0.7
平均	-10.4	-10.5				

值得指出的是,作为对作物产量影响进行定量评估的主要技术途径和方法,即模式研制与模拟试验,在过去的 10 年间,我国各相关科研机构 and 高等院校在借鉴国外模拟与模式研究经验基础上,对我国主要作物的生长发育动态模拟模型进行了大量的试验研究,取得了较快的进展。例如,中国气象科学研究院农业气象研究中心在全国 7 个站点对三种主要作物进行了 35 个生长期、80 个播期之多的生长模拟系列田间试验。利用这些试验收集的观测资料,在菲律宾国际水稻研究所的 ORIZAI 水稻模型、前苏联玉米模型、荷兰小麦模型以及美国 CERES 小麦、玉米模型等一些国际作物模型的基础上,开发研制了针对我国种植方式特点的我国自己的水稻、小麦和玉米等作物生长模型。例如,历经多年研制试验的双季稻生长发育动态模拟模型就是一个将早稻和晚稻作为一个完整的两熟生长季考虑而开发的模拟模型,它考虑了双季稻两季耕作交替的特点。总体而言,这些模型的模拟试验数据和敏感性分析结果还是比较令人满意的,生物量模拟误差一般不超过 10%^[13,15-17]。特别是近五年来,还在开发研制可与短期气候模式相嵌套联接的、能适用于我国农情的作物生长评估模式(包括江南双季稻、华北小麦、东北玉米和新疆棉花等 4 个模式),以及以日为时间步长输出的随机天气模式嵌套应用技术上取得了初步成功,进一步推动了我国气候变化影响评估应用研究的开展^[2,3,12,18,19]。

3.3 温室气体增加的直接影响试验

限于我国的国力和科技水平,这方面的研究大体上起步于 20 世纪 80 年代末 90 年代初。主要是开展了 CO₂ 浓度影响和水稻田的 CH₄ 浓度测定诊断试验。前者利用开顶式或密闭气室对小麦、水稻、大豆和棉花等作物的光合速率、生长发育及产品质量进行了不同浓度影响的对比观测试验^[20],后者主要测定稻田中的 CH₄ 通量浓度及其对水稻生长发育的影响^[21]。此外,还对土壤-植物系统中氧化亚氮(N₂O)的排放进行了测定和分析^[22]。从已测得的一些初步结果来看,大体上与国外同类研究的结果相类似;但在测试手段、设施和规模上还存在有相当的差距。这些温室气体对作物的生长发育大都有正面的直接影响,如提高光合同化速率、减少蒸腾耗水等。但究其量级,则由于许多科学上的

不确定性,尚未得出比较一致的定量概念,需作进一步的试验研究。

4 对森林的影响

近年来,有关气候变化对我国主要树种地理分布的影响研究及其对森林生产力的影响研究很多^[23-25]。以森林气候指标模型和各树种的气候临界阈值为基础,应用为模拟树种分布专门开发的 GREEN 制图软件绘制了当前气候及由 7 个 GCM 模式模拟的未来(2030 年)气候变化情景下 7 个树种的潜在分布区和中心分布区图(略)。另外,还应用一组回归方程模拟估算了未来 2030 年森林生产力的可能变化^[23,24]。

表 6 和表 7 分别给出了 5 种主要树种和 2 种濒危树种可能分布的面积变化和森林生产力的可能变化。总体看来,未来气候变化情景下,适合所有 7 种评估树种的可能分布面积将会减少 10%,个别树种还会更多;而对所有气候区的森林生产力来说,将有可能增加 1%~10%^[23]。然而这只是根据森林气候指标模型模拟的一种可能分布和变化,由于 GCM 模式给出的气候变化情景存在很大的科学不确定性,以及综合考虑森林演替、森林火灾、病虫害等因素影响的不确定性,故还不能由此得出任何结论或明确的结论性结果。

表 6 未来气候变化情景下(2030 年)7 个树种可能分布的面积变化

树种	目前适宜面积 (10 ⁶ hm ²)	未来适宜面积 (10 ⁶ hm ²)	面积变化 (%)
落叶松	43.0	39.0	- 8.5
红松	29.0	30.0	- 3.4
油松	77.4	70.1	- 9.4
马尾松	158.0	143.0	- 9.0
杉木	138.1	135.6	- 2.0
洪桐	45.4	36.2	- 20.0
秃杉	12.0	5.1	- 57.0

表 7 未来气候变化情景下(2030 年)森林生产力的可能变化 %

地区	增加的生产力
热带亚热带地区	1~2
暖温带地区	2~5
温带地区	5~8
寒温带地区	10

表 8 未来气候变化情景下(2030 年)气候变暖对主要流域水资源短缺的影响 10⁸ m³

	保证率 (%)	当前 短缺 [*]	未来短缺 ^{**}				增加的短缺量			
			GISS	LLNL	UKMOH	OSU	GISS	LLNL	UKMOH	OSU
海河	50	15.3	20.5	25.9	13.7	5.2	10.6	- 1.6		
	75	29.7	39.2	42.7	30.0	9.5	13.0	0.3		
	95	36.1	46.2	50.4	37.6	10.1	14.3	1.5		
淮河	50	36.0	37.3	42.4	28.4	35.1	1.3	6.4	2.4	- 0.9
	75	51.2	53.4	62.9	55.3	50.3	2.1	11.7	4.2	- 0.8
	95	159.2	164.7	194.6	171.1	154.8	5.5	35.4	11.9	- 4.4
黄河	50	163.4	161.5	238.5	219.9	197.0	- 1.9	74.8	56.5	33.6
	75	218.4	242.2	312.6	295.9	275.3	23.8	94.2	77.6	56.9
	95	271.7	330.5	392.9	378.2	360.5	58.8	121.2	106.5	88.8
东江	50						6.7	1.6	1.7	- 12.2
	75						7.3	1.7	1.9	- 13.4
	95						10.9	2.6	2.8	- 19.9

注: * 当前短缺量是指没有考虑到 2030 年的气候变化的模拟结果。

** 未来短缺量是指考虑了到 2030 年的气候变化的模拟结果。

5 对水资源的影响

预测气候变暖对水资源的影响主要是通过模拟气候变暖对我国主要流域的水文循环影响得到的。这些流域主要包括东江(珠江支流)、黄河上中游、海河、淮河和汉江(长江支流)等。根据 GCM 模式模拟的气候变化情景(2030 年),应用月水分平衡模式和水资源综合评估模式研究了气候变暖对年和月径流、蒸发以及水资源供需平衡的潜在影响。表 8 给出的研究表明,气候变暖对水资源最显著的影响将会发生在黄淮海流域。作为水资源主要来源的年径流,其增加或减少在很大程度上取决于汛期径流和蒸发的变化。因此,在未来气候变化情景下(2030 年),这个地区水资源供需的短缺将会显著增加。具体而言,海河流域的京津塘地区水资源短缺将由当前的 $1.6 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 $14.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,淮河流域的短缺将由当前的 $4.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 $35.4 \times 10^8 \text{ m}^3$,而黄河流域的短缺将由 $1.9 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加到 $121.2 \times 10^8 \text{ m}^3$ ^[26-28]。

6 对家庭能源需求的影响

目前我国家庭冬季取暖和夏季降温的能源消费约占总的能源需求的 19% 左右,气候变暖将会改变这种需求状况,并且作为一种反馈效应,还会反过来影响 CO_2 向大气中的排放。

首先,在未来气候变化情景下(2050 年),气候变暖将会使我国北方 10 月到次年 3 月的取暖期的能源消耗减少。可以用一个“度日”指数(DD)来表示全年为取暖或降温的能源需求量。取暖指数(HDD, $^\circ\text{C}$)是指在整个日平均气温不超过 12°C 的取暖期内所需的取暖量,以日平均气温低于基本温度(12°C)的差值的逐日累加值来表示。模拟显示,我国北方 HDD 将有可能减少 $300 \sim 500^\circ\text{C}$,约占原取暖能源消耗的 15%^[4,29]。

相反,在所设定的气候变化情景下(2050 年),目前 5~9 月用于降温的能源需求量将会增加。这里,降温的能源需求包含空调和冰箱两方面的能源消耗,降温指数(CDD, $^\circ\text{C}$)是指在整个日平均气温超过 25°C 的降温期间所需的能源消耗量,以日平均气温高于基本温度(25°C)的差值的逐日累加值来表示。模拟估算表明,2050 年我国南方大部分地区 CDD 约需增加 $100 \sim 250^\circ\text{C}$ 。说明气候变暖将导致这些地区用于降温的能源消耗有比较明显的增加^[4,30]。

然而,由于气候变化研究中存在很多科学不确定性,估算和解释能源消耗增加或减少的潜在变化也是非常困难的和不确定的。所以目前还不能对气候变暖将如何影响我国的潜在能源需求作出结论性的解释。

7 对我国区域海平面的影响

全球气候变暖将引起海水的膨胀及高山冰川、格陵兰冰盖和南极冰盖融化等,这些因素将会引起全球平均海平面上升。在本文前述提到的气候变化情景下,最好的估计是

到 2050 年全球海平面平均比现在上升约 20 cm,到 2100 年将比现在上升约 50 cm。这样的一个平均结果将会对我国产生什么样的结果?总的来说,对特定环境的影响可能会是多种多样的,它主要取决于自然的陆地垂直运动、海岸线特征以及现在或以后人类对此的响应等因素。

我国有长达 18000 km 的海岸线,并有许多低洼的岛屿。沿海地区是我国人口密度最大的地区,同时也是最关键的农业和经济区;许多重要的工商业城市(如上海、天津、广州等)座落于此,几个大而低洼的冲积平原和三角洲也分布于此。相对于目前的海平面,其平均海拔不足 10 m。因此在没有任何防护措施的情况下,未来海平面上升对社会经济的影响有可能是相当严重的。

根据 IPCC 1995 年公布的海平面上升情景(按 IS92a 情景),模拟估算表明,我国沿海相对海平面 2030 年将上升 4~16 cm,最好的估计是 6~14 cm;2050 年上升 9~26 cm,最好的估计是 12~23 cm(表 9)。另外,在我国三个主要沿海低洼脆弱区,即珠江三角洲、长江三角洲和黄河三角洲,海平面上升将有可能淹没约 143900 km² 的面积。而受海水淹没影响的人口数及其它相应变化带来的经济损失等方面的具体分析请参阅有关文献[31],[32]。

表 9 未来气候变化情景下(2030 和 2050 年)我国 5 大沿海地区海平面的可能上升估计值

	cm					
	2030 年			2050 年		
	低估计	最好估计	高估计	低估计	最好估计	高估计
辽宁 - 天津沿海地区	9.5	11.4	13.1	16.2	19.6	22.5
山东半岛东南沿海地区	-2.5	-0.6	1.1	-0.6	2.8	5.7
江苏 - 广东东部沿海地区	5.5	11.5	13.5	19	22.5	25.4
珠江三角洲沿海地区	4	5.9	7.6	8.5	11.9	14.8
广东西部 - 广西沿海地区	11.6	13.6	15.3	19.2	22.7	25.5

8 讨论与展望

值得强调的是,目前无论是定性还是定量,对气候变暖对我国社会经济的影响进行结论性评估都是极为困难的。这是因为不仅气候变化研究存在着很多科学不确定性,而且社会经济对气候变化的响应也存在着很多不确定性。这些不确定性包括人类活动导致的气候变化、自然的气候变化趋势、科学预测估算方法等等。同时必须指出的是,上文提到的所有 GCM 模式在预测估算重要的区域气候变化方面几乎都存在很大的局限性。一方面是由于使用的数据来自有限的气象观测站,特别是在模式中没有考虑青藏高原对我国气候变化的潜在影响。另一方面,气候变暖对社会经济的影响不仅依赖于大气温室效应的增强,而且也依赖于各种社会和环境因素的影响。因此,以上所述的各项研究结果仅仅是就气候变暖对我国社会经济发展可能发生影响的领域、尺度范围、趋向和后果效应等提供一些非常粗略的概念与评述。随着影响研究的深入、认识的提高以及科学不确定性的改进与缩小,人类将能制定出更多更现实有效的适应对策和措施保护大气和生态环境,促进社会经济的稳定和健康发展。

综上所述,虽然近年来我国的气候变暖影响研究取得了较快的进展,但与国外相比,有不小差距。在当今世界科技飞速发展的时代和背景下,我国气候变暖影响研究必将迎来其发展的新阶段,其特点可大致展望如下:

(1) 气候变暖影响评估不仅以宏观的平均气候变暖情景为背景,更将进一步考虑各种异常事件与极端现象(干旱、洪涝、热浪等)可能产生的不利影响。

(2) 全球性的宏观评估将进一步与区域性的评估相结合,更多地发展区域性评估模型和分析方法,以弥补和改善全球模型评估区域影响的局限性和科学不确定性。

(3) 作为评估工具的各类数值模拟模式和作物生长模拟模式将进一步规范化、系列化和通用化,不仅能与 GCM 模式相嵌套耦合,也将与经济影响评估模型及适应性对策模型相联接。

(4) 在影响评估的适应性对策研究方面,将由“被动适应”发展为以“主动适应”和“控制减排”为主的对策研究;经济损益评估将进一步扩展为与贸易、市场价格和社会经济发展的安全保障政策的制定相联接。

参 考 文 献

- 1 王守荣. 气候变化对我国社会经济影响评价综述. 见: 丁一汇等主编. 中国的气候变化与气候影响研究. 北京: 气象出版社, 1997. 497~505.
- 2 Wang Futang and Wang Shili. Progress on the subject of the operational assessment system of impact of climate anomalies on national economy. Annual Report 1998. 28~29.
- 3 Research Team of China Climate Change Country Study. China Climate Change Country Study. Beijing: Tsinghua University Press, 1999.
- 4 Hulme M, Zhao Zongci, Wang Futang, et al. Climate Change Due to Greenhouse Effect and Its Implication for China. CRU/WWF/SMA, Banson Production, UK, 1992.
- 5 Wang Futang and Zhao Zongci. Impact of climate change on natural vegetation in China and its implication for agriculture. *Journal of Biogeography*, 1995, 22: 657~664.
- 6 Wang Futang. Impact of climate change on cropping system and its implication for agriculture in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1997, 11(4): 407~415.
- 7 吴征镒编. 中国植被. 北京: 科学出版社, 1980.
- 8 Ye Duzheng. The research of global change in China. *Bulletin of CNC-IGBP*, 1992, 2: 6~23.
- 9 Wang Futang, Zhao Zongci. Climate change and natural vegetation in China. *Acta Meteorologica Sinica*, 1994, 8(1): 1~8.
- 10 张新时. 中国全球变化研究的植被分类系统. 科学通报, 1993, 2: 157~169.
- 11 王石立, 姜秀荣. 气候变化对华北地区小麦水分亏缺状况及小麦生长的影响. 应用气象学报, 1996, 7(3): 308~315.
- 12 Wang Jinghua, Lin Erda. The impacts of potential climate change and climate variability on simulated maize production in China. *Water, Air and Pollution*, 1996, 92: 75~85.
- 13 Wang Futang, Yu Zhang, Qiu Guowang. Modeling estimation on the potential impacts of global warming on rice production in China. *World Resources Review*, 1997, 9(3): 317~325.
- 14 张宇, 王石立, 王馥棠. 气候变化对中国小麦发育和产量可能影响的模拟. 应用气象学报, 2000, 11(3): 264~270.
- 15 高翔, 王馥棠. 双季稻生长动态模拟模式的研究. 见: 王馥棠主编. 气候变化对我国农业影响的研究. 北京: 气

- 象出版社, 1996. 1 ~ 8 .
- 16 王馥棠主编. 气候变化对我国农业影响的研究. 北京:气象出版社, 1996 .
- 17 裴国旺, 王馥棠. 气候变化对我国江南双季稻生产可能影响的数值模拟研究. 应用气象学报, 1998, 9(2): 151 ~ 159 .
- 18 王馥棠, 林而达, 刘春葵, 等主编. 气候异常对国民经济影响评估业务系统的研究. 北京:气象出版社, 2001 .
- 19 吴金栋, 王馥棠. 利用随机天气模式及多种插值方法生成逐日气候变化情景的研究. 应用气象学报, 2000, 11(2): 129 ~ 136 .
- 20 王春乙, 潘亚茹, 白月明, 等. CO₂ 浓度倍增对我国主要作物影响的试验研究. 气象学报, 1997, 55(1): 86 ~ 94 .
- 21 Wang Mingxing, Shangguan Xingjian, Shen Renxing, et al. Methane in the rice field: production, emission and control measure. In: Proceedings of the CEC and PRC Workshop: Contribution to Global Change: Biosphere-Atmosphere Interactions. CEC, Brussels, Belgium, 1993 .
- 22 Chen Guanxiong, Huang Guohong, Shang Shuhui, et al. Measurement of N₂O emission from soil, plants and soil-plant systems. In: Proceedings of the CEC and PRC Workshop: Contribution to Global Change: Biosphere-Atmosphere Interactions. CEC, Brussels, Belgium, 1993 .
- 23 徐德应, 郭泉水, 阎洪, 等. 气候变化对中国森林影响研究. 北京:科技出版社, 1997 .
- 24 Xu Deying, Yan Hong, Guo Quanshui. A study on the impacts of climate change on the distribution of *Pinus tabulaeformis*. IUFRO Proceedings of Impacts of Environmental Factors on Forest and Tree Growth. Technische Universitat Dresden, Dresden, 1996. 304 ~ 310 .
- 25 李克让, 陈育峰. 全球气候变化影响下中国森林脆弱性分析. 地理学报, 1996, 51(增刊): 40 ~ 49 .
- 26 刘春葵. 气候变化对我国水文资源的可能影响. 水科学进展, 1997, 8(3): 220 ~ 225 .
- 27 刘春葵. 气候变化影响与适应研究中的若干问题. 气候与环境研究, 1999, 4(2): 129 ~ 134 .
- 28 耿全震, 黄朝迎, 丁一汇. 华北地区降水变化对水资源影响的评估. 见: 丁一汇等主编. 中国的气候变化与气候影响研究. 北京:气象出版社, 1997. 521 ~ 526 .
- 29 陈峪, 黄朝迎. 气候变化对能源需求的影响. 地理学报, 2000, 55(增刊): 11 ~ 19 .
- 30 陈正洪, 洪斌. 华中电网四省日用电量与气温关系的评估. 地理学报, 2000, 55(增刊): 34 ~ 38 .
- 31 杜碧兰, 刘发孔, 张锦文. 威胁中国沿海脆弱区的海平面上升及预测. 见: 杜碧兰等主编. 海平面上升对中国沿海主要脆弱区的影响及对策. 北京:海洋出版社, 1997. 1 ~ 9 .
- 32 杜碧兰等主编. 海平面上升对中国沿海主要脆弱区的影响及对策. 北京:海洋出版社, 1997 .

ADVANCES IN CLIMATE WARMING IMPACT RESEARCH IN CHINA IN RECENT TEN YEARS

Wang Futang

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract

Increasing of greenhouse gas concentration in the atmosphere will strengthen the natural greenhouse effect, which could lead to global climate warming more than other changes. China is a large agricultural country with a large of population and relatively deficient farming lands and water resources; thus climate warming is very important to the national economy development. Therefore, the Chinese government and scientists paid great attention to the

impact assessment of climate warming on the national economy in China, especially during the past 10 years. A brief description is made on major issues of climate warming impact research on the national vegetation, agriculture, forest, water resources, energy use, regional sea level rise in China, etc. As a result, all climate change scenarios derived by GCMs suggest a substantial change in the characteristic natural vegetation types. It is also shown that comparing with the distribution simulated under the normal time period of 1951 to 1980 as the present climate, by 2050 large changes in cropping systems would occur almost everywhere in China. Climate warming would lead to increasing cropping diversification and multiplication. Unfortunately, the possible net balance between precipitation and evapotranspiration would be negative and the length of growing period would be shortened; therefore, all of these would lead to the reducing grain production in China significantly due to the enhanced moisture stress in soil. The most evident influence of climate warming on water resources would happen in the Huang-Huai-Hai River plain and the water supply-demand deficit would be substantially enhanced in this area. And also, a warmer climate for China will alter the energy demand for domestic heating and cooling, that is, reduce energy use for heating in northern China and increase energy consumption for cooling in southern China. Meanwhile, the projected sea level rise would result in partial submergence of three China's major coastal vulnerable regions, i.e. the Zhujiang River Delta, Changjiang River Delta and Huanghe River Delta.

Key words: Climate warming impact Vegetation Cropping system Water resources
Domestic energy demand