

文章编号: 1007-6301 (2003) 03-0260-010

全球环境变化对我国区域发展的 可能影响评述

吕新苗, 吴绍洪, 杨勤业

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要: 随着环境问题的日益突出, 全球环境变化的区域响应已成为我国全球变化研究的优先领域和热点问题之一。国内外学者就全球问题与区域问题的结合达成共识: 全球性问题的研究需要由区域工作来完成; 区域性研究必须体现全球性问题。本文介绍了全球变化对区域发展影响评价的基本方法, 特别是 IPCC 评价报告中采用的区域脆弱性、敏感性评价方法; 概述了我国未来 50 年环境变化的可能情景; 从自然生态系统变化、水资源短缺、沙漠化、农业生产等方面评述了全球环境变化对我国区域发展可能影响研究的进展和成果, 最后指出了全球变化区域响应研究存在的问题, 并对其发展方向作了展望。

关 键 词: 全球变化; 区域发展; 响应; 评述

中图分类号: P467; X144

以全球气候变化为核心的全球环境变化问题, 已引起了各国政府、组织和科学工作者的高度重视, 80 年代以来, 在全球范围内开展了全球气候变化及其影响研究^[1~4]。全球环境变化的区域响应已构成了地理学联系当前社会发展的主题, 成为国际上未来全球变化研究的发展方向之一, 也是我国全球变化研究优先资助的领域^[4,5]。全球环境变化因区域不同而异, 生态系统和区域对此的响应, 也因自身的抗干扰能力和恢复能力的不同及地表时空特征的差异而变化。因此立足于区域的响应研究, 是全面预测全球变化对人类生存环境的影响, 制定适应与减缓全球变化对策的一个重要基础。

1 全球环境变化区域响应的脆弱性评估方法

自 1990 年第一次政府间气候变化专业委员会 (IPCC) 评估报告以来, 气候变化影响的研究取得了明显进展。本文结合 IPCC 的报告, 介绍气候变化对区域影响评估方法的最新进展。

IPCC 第二工作组为评估气候变化的影响制定了一个由七个步骤组成的分析思路, 为

收稿日期: 2003-03; 修订日期: 2003-05

基金项目: 国家自然科学基金重点项目 (NSFC No. 40131010); 中国科学院知识创新工程所长基金 (SJIOG-A00-06); 国家科技攻关项目 (2001-BA11B-02-05-03A) 资助。

作者简介: 吕新苗 (1976-), 女, 河南南阳人, 在读博士生。主要从事自然地理综合研究与全球变化的区域响应研究。Email: lvxm@igsnrr.ac.cn

不同地区或国家、不同经济部门提供了进行可比性的研究框架^[6,7]，并且得到了广泛的应用。然而在区域影响评价中，由于气候情景与评价模型缺乏统一性，以及区域气候预测的不确定性，这一成熟的思路遇到了挑战，因此 IPCC 的区域影响评估采取了敏感性和脆弱性的评价方法。

脆弱性是指系统易受或没有能力对付气候变化包括气候变率和极端气候事件不利影响的程度^[8,9]。脆弱性取决于系统对气候变化的敏感性（系统对气候变化有利和不利影响的响应程度）和系统对气候变化的适应能力（系统为趋利避害在实践、技能或结构方面可能做出的调整的程度）。上述关系可以表达为：

$$V = I - A^{[10]}$$

式中，V 为系统的脆弱性；I 为系统的敏感性；即外界对系统的影响；A 为系统的适应性。

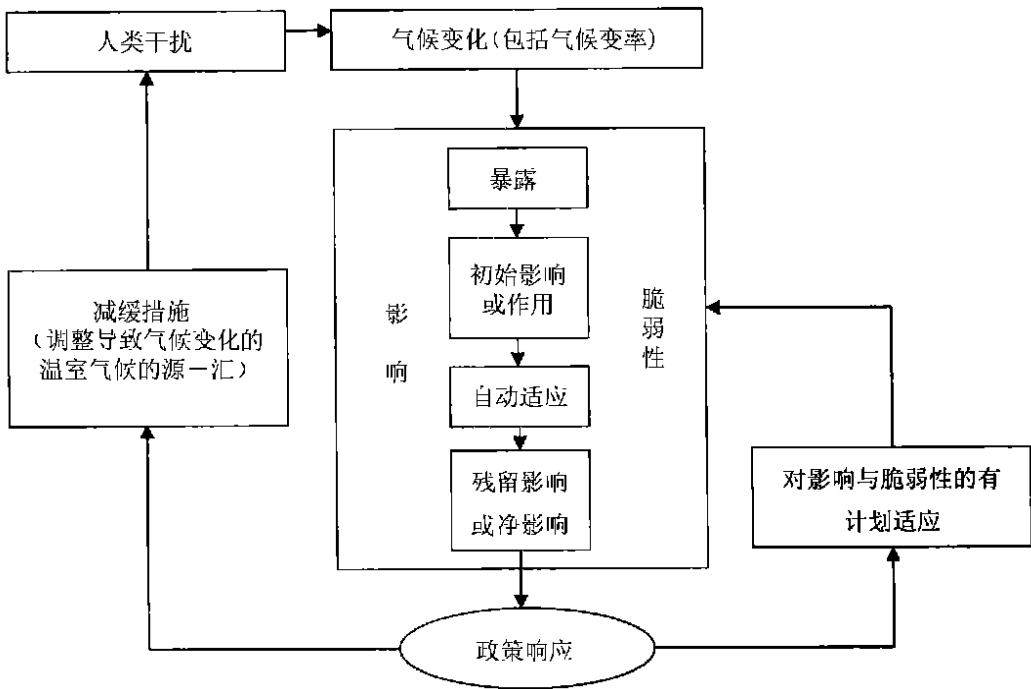


图1 气候变化问题脆弱性、适应性评价（引自 IPCC，2001）

Fig.1 Vulnerability and adaptation assessment in the climate change issue (from IPCC, 2001)

脆弱性、敏感性评价的核心是暴露——影响——脆弱性——适应性——政策响应环节链^[9]（图1）。导致气候变化的人类活动使自然和人类系统暴露在一系列可变的压力和刺激中。对这些刺激反应敏感的系统能够自动适应或在人类干扰下适应。这些自动适应将会改变气候变化所造成的残留影响（净影响）。相应的政策响应已经或者将在预计的潜在影响中产生有计划的适应，以减轻不利的变化、加强有利的变化。政策响应也能够形成一致的行动以减缓导致气候变化的温室气体（Green House Gas, GHG）的排放，并促进其沉降。

由于气候系统研究中的不确定性，区域脆弱性、敏感性评价往往是定性的。因而理解生态系统对不同尺度压力的动态反应；改进综合评估（包括风险评估）的手段，以研究自

然和人类系统各组成部分与不同决策结果之间的相互作用，将有助于提高对气候变化的影响、系统脆弱性及适应能力的评价水平。

2 我国未来 10~50 年气候变化的可能情景

关于我国未来气候的可能变化，采用大气环流模式等方法获得了大量的预测成果（表 1），从这些代表性的研究中可以看出：我国未来 50 年平均气温升高似乎是必然的趋势；增温幅度明显高于全球的平均增温值；从区域和季节分布看，北方较南方大，沿海地区的增温幅度小于内陆地区，冬季比夏季大；南北温差、年较差均有缩小的趋势。

表 1 不同方法模拟的我国气候变化的可能情景				
Tab.1 The projected climate scenarios in China under different methods				
时间	研究者	研究方法	气温变化	降水变化
1975	Manabe ^[11] , Wetherald	大气环流模式 (GCMs)	中国的年平均增温幅度比美国和西欧明显要小, 在冬季中国东部沿海增暖程度与同纬度美国东部相似, 而夏季升温幅度明显低于同纬度其他地区	与 HD、MPI 模式类似
1990	英国 Hadley 研究中心 ^[12]	大气环流模式 (HD)	到 2030 年, 各流域年平均气温增高 1.4~3.1℃。黄河流域及其以北地区气温平均增高 2.0℃ (HD) 或 2.38℃ (MPI), 黄河以南地区平均增高 1.8℃ (HD) 或 1.5℃ (MPI); 黑龙江及内陆河流域气温升高 3.1℃ (HD) 或 1.5℃ (MPI)	南北方降水量变化差异不大, 未来 30 年各流域降水量变化的范围, 南方增幅明显高于北方, 内陆河地区的降水可能减少, 东南部流域的降水量增加 (MPI)
	德国 MP 研究所 ^[12]	大气环流模式 (MPI)		
1992	英国东英格兰大学 Mike Hulme ^[13]	据 GCM 模拟结果, 提出区域气候变化构想的方法	除南方沿海地区外, 年平均气温增温幅度大于全球平均增温幅度, 北方年平均气温增幅可达 1.5 倍, 冬季达全球平均的 2 倍	大部分地区降水量增加, 夏季降水量一般随温度升高而增加, 只有中西部 (将出现夏旱) 和极南部 (将出现冬旱) 例外
1990	中国气候蓝皮书 ^[14]	温度序列外推法	大部分地区在 2010~2030 年将出现一个偏冷期, 2040 年后又回暖; 在总的增温趋势中会有波动, 最暖的时期比今暖 2℃ 左右	下个世纪中期, 110°E 以西长江黄河的上游地区将变湿, 东部地区变干 ^[15]
1990	赵宗慈 ^[16]	五个模式模拟结果的合成	CO ₂ 加倍时, 冬季北方和东部地区增温在 4℃ 以上, 西南部增温在 4℃ 以下; 在夏季, 西北地区增温幅度高于东部	冬季东北北部和华南地区降水减少, 其他地区尤其西部地区降水增加; 夏季, 东南沿海增多、西北内陆减少
1995	王绍武、赵宗慈 ^[17]	不同气候模式的对比	到 2030 年全球气温将比现在升高 0.6℃ 以上, 东亚地区的增温可能比全球平均稍强	气温变暖后, 东亚地区降水可能增加, 但在我国北方, 夏季干旱程度可能加大
2002	秦大河 ^[18]	多种气候模式综合评估	未来 10~15 年, 西北与西南气温有变暖趋势。到 2050 年, 西北气温可能变暖 2.1℃, 西南可能变暖 1.7℃, 青藏高原可能变暖 2.4℃	西北降水可能明显增加; 西南地区的降水具有波动特征, 没有明显的变化趋势
2002	沙万英、邵雪梅等 ^[19]	数理统计学方法	80 年代以来我国气候变暖表现为非均衡响应, 区域和季节差异颇大。在区域变化上有“北暖南冷”的趋势, 在季节变化上有“冬暖夏凉”的特点	

降水的预测研究相比气温，具有更大的不确定性。我国未来 50 年降水总的趋势增加，但增加幅度不大^[11~18]。从季节分布看，冬季降水增加的百分比较高，夏季变化较小；从降水区域分布上看，冬季东北北部和华南地区降水减少，其他地区尤其西部地区降水增加；夏季，季风区的降水增加显著增多、西北内陆减少，将导致夏季西北地区的干旱，这可能与冬夏季大气活动中心的变化有关。

尽管模型模拟的精度不断提高，但气候情景仍存在很大的不确定性。多数情景预测采用平衡模式，其前提假设是短时间尺度内太阳辐射不变，考虑由于人类活动造成 CO₂ 倍增时的气候变化。然而在 50 年内，自然变化至少在未来尚未小到可以忽略不计的程度，应当把人类活动与自然变化的影响结合起来进行估计。另外，也应当在模型中使 CO₂ 浓度的增长更加趋于自然的随机方式，减少人为的任意性。

3 全球环境变化对我国区域发展的可能影响

据 IPCC 第三次气候变化评估报告，到 21 世纪末，大气中 CO₂ 浓度可达到 $540 \times 10^6 \sim 970 \times 10^6$ ，全球近地面平均气温将增加 1.4~5.8℃；北半球中高纬度和南极地区的冬季降水增加，低纬度的降水随区域差异而不同^[20]。本文主要从自然生态系统、水资源、沙漠化和农业生产四个方面，论述未来 50 年气候的上述变化可能产生的影响。

3.1 对陆地生态系统的可能影响

全球变化与陆地生态系统关键作用机制在于两个方面^[21]：一是引起全球变化的地球大气中的温室气体，特别是 CO₂ 浓度对于植物的影响，主要是植物生理生态学方面的变化，称为直接影响，主要通过植物生理实验来获得相关信息；二是由于温室气体的猛增造成的全球气候变化对于植物的影响，包括陆地生态系统分布格局、结构与功能等的变化，称为间接影响，这方面的研究主要通过模型模拟来进行。两者构成了陆地生态系统影响的主要研究内容。

在植被分布格局方面，传统模拟方法是根据气候——植被之间的统计关系建立起来的，如 Koeppen 系统，Holdridge 的生命地带系统^[22]。张新时用 Holdridge 生命地带系统对我国植被分类进行模拟研究^[23~25]；Hulme 用上述相似的方法对我国当前和未来气候变化对植被的影响进行了模拟^[26]。目前研究植被气候关系的方法更多的是基于过程的机理模型。如 TEM^[27]、CENTURY 模型^[28]，林窗模型^[29]、生物地理模型 MAPSS^[30]用于植被响应气候变化的模拟。此外，从遥感信息中提取植被信息与 GIS 的结合，在陆地生态系统影响评价中得到了广泛的应用^[31,32]。上述研究认为在气候变化背景下，中国东部森林可能发生北移，较南的森林类型取代较北的类型，由于中纬度升温较多，落叶针叶林的面积缩小；CO₂ 浓度倍增后中国森林生产力有所增加，增加的幅度因地区不同而异，变化于 12%~35% 之间^[33]，但森林生产力分布格局与当前无大的变化^[34]。

3.2 水资源短缺及其影响

目前我国人均水资源量仅为世界人均占有量的 26%，且时空分布严重不均，已被列为世界上 13 个最贫水国之一。造成我国水资源短缺的根源，一是自然条件特别是气候条件的变化，二是人为因素、社会经济活动的影响^[35]。

水资源影响研究大多集中在西北、华北等水资源矛盾十分突出的地区。国内外学者运

用大气环流模式 (GCM) 输入水文模型、古气候信息模拟、现代气候记录和假设性气候变化框架等研究探讨全球环境变化对水资源系统的影响。其中, 模式研究大都以精度较高、综合性强的区域水量平衡模型为基础, 结合 GCMs 输出结果或假定的气候情景, 探讨未来水文因子的变化情况和趋势。施雅风等^[36, 37]研究了在 CO₂ 倍增情况下, 西北、华北水资源的可能响应。刘昌明、傅国斌^[38, 39]分析了全球变暖对我国华北、海南地区水资源的影响。秦大河等^[18]应用 IPCC 提供的模式, 认为气候变化导致西北地区蒸发量增加、径流减少, 水资源供需矛盾加剧。通过水文水资源模式 (MPI 模式) 对我国蒸发量和径流量的模拟, 认为黄河和内陆河蒸发量增大, 大部分流域天然径流量增加, 但是黄河上游和西北内陆河天然径流量减少。尽管上述研究采用不同的模式, 但是对西北地区水资源可能影响却得出了相似的结论: 由于温度升高, 蒸发量增加, 降水量增幅不大, 大部分内陆天然河径流量减少, 可能造成水资源短缺问题更加严重^[40, 41]。

水资源持续开发利用作为社会经济发展的重要支持系统, 对区域持续稳定发展起着举足轻重作用, 缺水引发了众多的环境和经济社会问题。首先, 直接影响人们的日常生活。第二, 影响农业的发展。中国是个农业大国, 农业是用水大户, 约占总用水量的 73%, 水资源短缺会致使农业成本提高, 长此下去势必导致粮价上涨, 加重贫困人口的负担, 进而危及粮食供应。Lester Brown 甚至认为, 日益严峻的水资源短缺将使中国的粮食进口需求大大增加, 导致世界粮食的总进口需求超过其总出口能力, 从而影响世界粮食安全^[42]。第三, 由于缺水, 一些工厂、矿山不得不停产限产。第四, 造成水资源缺乏地区的“生态难民”, 不得不离乡背井, 带来一系列的社会问题。最后, 缺水将导致区域生态环境恶化, 造成恶性循环。突出表现为干旱、土地荒漠化和沙漠化, 自然灾害增多。北方河流断流渐趋严重; 局部地下水超采导致地面沉降; 用水过量, 破坏了区域水环境容量, 从而加重了水质污染。

3.3 沙漠化及其影响

我国是世界上受沙漠化危害最为严重的国家之一。沙漠化土地的形成是自然因素和社会经济因素综合作用的结果。在全球变化的影响下, 中纬度大部分地区增温后蒸发加强, 径流量和土壤水分减少, 干旱区将扩大, 沙漠化发展的形势更加严峻, 许多专家开展了全球变化对沙漠化影响的研究。

董光荣详细论证了气候变化与沙漠化二者的关系, 强调从气候变化入手研究沙漠化。他还通过沙区古气候湿温变化规律的研究, 推测出气候变暖, 西部沙区的干旱将加强, 沙漠化加剧; 而东部沙区由于降水增多, 沙漠化减缓甚至逆转^[43]。

慈龙骏^[44, 45]采用联合国环境署环境监测系统的湿润指标和 Thornthwaite 经验公式, 用不同的湿润指标代表受荒漠化影响或威胁的地区, 通过分析我国干旱区空间分布格局的动态变化, 间接地预示了未来荒漠化演变的趋势。

董光荣^[46]还利用昆仑山古里雅冰帽降水资料、祁连山树轮指数和北京降水资料进行周期分析, 建立了各沙区的降水、气温回归统计预报模型, 发现温室效应与自然气候变化相比, 不起主导作用, 预测了未来 80 年自然沙漠过程的发展趋势。

朱震达^[18, 47]根据以往沙漠化发展的速度计算, 到 2030 年, 我国沙漠化面积将从现在的 39.68 万 km² 增加到 50.12 万 km², 沙漠化面积每年增加 3300 km², 到 2050 年其总面积达到 56.78 万 km², 内蒙东部和河北坝上将大面积出现类似戈壁景观; 内蒙中西部的毛乌素、浑善达克沙地的严重沙漠化类型有所增加。目前气候变化对我国荒漠化的研究集中在沙漠

化上，而其他类型的荒漠化研究较少；由于因素复杂，尤其气候变化的不确定性，未来沙漠化的趋势预测存在着更大的不确定性。

沙漠化不仅影响区域生态环境，而且引发一系列社会、经济问题。受沙漠化影响的西部地区地处我国主要江河源头和上游地区，生态环境保护和建设的成败不但是西部而且是整个中国生态环境安全、经济持续发展的关键所在。

首先，沙漠化的发生发展使地区生态环境严重退化，生物量及生物多样性锐减，草场载畜量减少，沙尘暴、大风等自然灾害频繁，有的地方甚至退化成不具备人类基本生存条件的地方，出现了大量的生态难民^[48]。

其次，直接影响当地经济发展。一方面限制农业的发展；另一方面，本来就落后的基础设施受风沙危害严重，需要经常性地维护、修复，投资环境差，不利于招商引资、发展旅游业。第三，经济发展长期滞缓将会使东西部经济的差距越来越大。最后，沙漠化威胁地区多是少数民族及边疆地区，将会对我国国民经济持续发展和社会全面进步产生深远影响。

3.4 自然地带位移后的农业生产

未来气候的变化必然导致由水热条件控制的自然地带的位移，我国自然地带变化的研究往往和农业生产的可能影响紧密结合在一起。黄秉维以IPCC 报告为依据，推测了未来我国温度带的变化以及由此导致的作物生产的变化^[49]。

赵名茶以自然区划为蓝本，对此进行了计算机模拟，得出了相似的结论：气候变暖后我国温度带的界限北移，干湿地区较气候变暖前的分布差异减少，从而缓和了自东向西水分急剧减少的趋势^[50]。自然地带的位移由于地形等差异，在我国东部和西部表现不同。沙万英等研究 50 年代以来 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温及其日数的变化幅度，发现东部亚热带、温带普遍北移^[19]。

崔读昌等通过统计分析还发现，气候变暖后热带北界和亚热带北界在西部丘陵区北移不明显，主要是向高海拔地区上移；而在东部平原区北移明显；农牧过渡带变暖变干，其边界从西北向东南移^[51]。

我国在农作物生长、产量、水分有效性、农业病虫害、耕作制度与种植制度、农业生产潜力及布局气候响应方面进行了大量的研究^[52]。在农业生产潜力方面，赵名茶^[50]用生态学、生理学的观点配合气候变化的研究成果，建立作物生长动态模型，研究了作物产量的变化，数学模拟的结果认为：在我国北方，气候变暖延长了无霜期，生长季节拉长，单产增加；在东南部，温度的变化促成了早熟而减少产量，但总体上看，各自然地带中作物的产量会得到较大提高。目前的多数研究仅考虑干湿组合，而作物处于生理生态逆境下的反应等微观研究较少；多数研究引入了不同的气候模式和作物模式，可比性差，而且存在着很大的不确定性。

在种植制度方面，竺可桢^[53]最早作了我国植物种及种植制度响应气候变化的研究；龚高法研究了历史时期气候变化对种植制度的影响，第一次详细预测了我国种植制度对气候变暖的响应^[54]；张厚璜等^[55,56]对活动积温和种植制度的影响作了研究，由于各地的温度提高，各类种植区的北界将向北推移，有利于多熟种植和复种指数的提高。以往的研究是基于假设的气候情景，忽视了CO₂ 连续增长的事实，也就无法回答短期、中长期气候变化对种植制度的影响；而且较多考虑了温度条件变化、没有考虑水分条件及人为因素的影响；

多数停留在定性阶段, 缺乏定量研究。

4 问题与展望

近年来全球变化区域响应研究取得了明显的进展, 不仅适应了我国全球变化研究的发展, 而且体现了针对区域特点开展集成研究和与人类活动相结合的思想。但仍存在一些问题, 尤其在紧密结合区域的综合性研究、区域响应的不确定性和影响评价方法上尚需加强研究和改进。

(1) 全球变化区域响应研究内容是相当广泛的, 而目前的大多数研究仅局限在全球气候变化 (尤其是气候变暖) 对区域可持续发展某些要素的影响, 而其他环境变化影响研究较少, 且基本上没有综合性的工作。研究手段上大都是从上而下 (top-down) 的进行, 这种方法有一定的局限性, 不知道下垫面的情况, 也就难以说明影响, 因此, 还应结合自下而上 (bottom-up) 做工作。无论是衡量环境变化的影响, 还是评估生态系统、环境及经济社会的响应, 基于区域差异的综合分析显得非常重要。

(2) 全球变化研究是一个极其复杂的地球系统科学问题, 问题的复杂性决定了科学任务的艰巨性和科学成果的不确定性。人们对 CO_2 的源汇关系还不十分清楚; 气候模式本身的不完善, 粗略的空间分辨率以及其他物理、化学和生态系统知识的未知, 导致对未来全球变化的预测有很大的不确定性。由于上述不确定性的积累, 落实到具体区域上, CO_2 及其造成的增温对区域生态系统和人类社会的影响, 就带有更多的任意性。模型的模拟是以微观的实验研究为基础的, 因此通过多种实验研究来了解整个生态系统的行为, 改进实验方法, 加强实验研究和模型的相互作用, 不仅能提高认识复杂生态系统的能力, 而且为模型建立和检验提供详细、可靠的数据, 从而提高动态模式模拟的可信度。

(3) 研究手段的更新与综合化发展趋势。全球变化的区域响应研究已经形成了比较成熟的研究步骤和方法, 遥感与地理信息系统、复杂性系统科学、人工神经网络计算等的引入为此项研究注入了新的活力。传统研究方法与新的技术手段和横断科学的不断融合, 形成综合的研究方法体系, 为全球变化区域层次的集成研究提供方法上的保障。

致谢: 本文在写作过程中得到导师郑度先生的指导, 特此致谢!

参考文献

- [1] Tehart W J, Shenlelon GW, Giffiths DC. The IPCC impacts assessment. Canberra: Australian Government Publishing Service, 1990.
- [2] WMO et al. The Climate Agenda. International Meeting On The World Climate Program, Geneva, 1993: 14~16.
- [3] Perry J S. Understanding our own planet: An overview of major international scientific activities. ICSU Secretariat, 1993.
- [4] 张志强, 孙成权. 国际全球变化研究十年新进展. 科学通报, 1999, 44(5): 464~477.
- [5] 中国地理学会自然地理专业委员会编. 全球变化区域响应研究. 北京: 人民教育出版社, 2000. 1~36.
- [6] Working Group E of IPCC. Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adapting. WMO,

- UNEP, 1994.
- [7] 李克让. 全球气候变化及其影响研究进展和未来展望, 地理学报, 1996, 51(增刊): 1~14.
- [8] IPCC. The Regional Impacts of Climate Change: An Assessment of Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.
- [9] IPCC. Climate Change 2001: Climate Change 2001: Impacts, Adaptation & Vulnerability. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [10] http://unfccc.int/sessions/workshop/010611/austr__rj__b.ppt.
- [11] Manabe S, Terpstra T. B. The effects of mountains on the general circulation of atmosphere as identified by number experiments. J. Atmos. Sci., 1974, 31: 2~3.
- [12] IPCC. Climate change: the IPCC scientific assessment. Cambridge University Press, 1990.
- [13] Hulme M, Leemans R, Zhao Zongci et al. Climate change due to the greenhouse effect and its implications for China. UEA Norwich Climatic Research Unit, WWF, SWA China. Banson Production, 1992: 54.
- [14] 国家科学技术委员会. 中国科学技术蓝皮书, 第五号, 气候. 科学技术文献出版社, 1990: 128~158.
- [15] 叶笃正. 中国的全球变化预研究. 北京, 气象出版社, 1992: 95~97.
- [16] 赵宗慈. 模拟温室效应对我国气候变化的影响. 气象, 1989, 15(3): 10~14.
- [17] 王绍武, 赵宗慈. 未来 50 年中国气候变化趋势的初步研究. 应用气象学报, 1995, 6(3): 333~342.
- [18] 秦大河. 中国西部环境演变评估, 中国西部环境演变评估综合报告. 北京: 科学出版社, 2002. 30~66.
- [19] 沙万英, 邵雪梅, 黄玫. 20 世纪 80 年代以来中国的气候变暖及其对自然区域界线的影响. 中国科学(D 辑), 2002, 32(4): 317~326.
- [20] IPCC. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- [21] 张新时. 中国全球变化与陆地生态系统关系研究. 地学前缘, 1997, 4(1~2): 137~144.
- [22] Holdridge L R. Determination of world plant formation from simple climate data. Science, 1947, 105: 367~368.
- [23] 张新时. 植被的 PET(可能蒸散)指标与植被——气候分类(一), 几种主要方法与 PEP 程序介绍. 植物生态学与地植物学报, 1989, 13(1): 1~9.
- [24] 张新时. 植被的 PET(可能蒸散)指标与植被——气候分类(二), 几种主要方法与 PEP 程序介绍. 植物生态学与地植物学报, 1989, 13(4): 1~9.
- [25] 张新时, 倪文革, 杨莫安. 植被的 PE 潜在蒸散指标与植被——气候分类(三), 几种主要方法与 PEP 程序介绍. 植物生态学报, 1993, 17(2): 97~109.
- [26] Hulme M, Wigley T, Jiang T et al, A climate change due to the greenhouse effect and its implication for China. WWF report, 1992, Gland.
- [27] Pan Yude, J. M. Melillo, D. W. Kicklighter et al. Modeling structural and functional responses of terrestrial ecosystems in china to changes in climate and atmospheric CO₂. Acta Phytocologica Sinica, 2001, 25(2): 175~189.
- [28] Xiao X, Ojima DS, Parton W J et al. Sensitivity of Inner Mongolia grasslands to climate change. Biogeography, 1995, 22: 2783~2788.
- [29] 陈育峰, 李克让. 应用林窗模型研究全球气候变化对森林群落的可能影响——以四川西部紫果云杉群落为例. 地理学报, 1996, 51(增刊): 73~80.
- [30] 赵茂盛, Ronald P. Neilson, 延晓东. 气候变化对中国植被的模拟. 地理学报, 2002, 57(1): 28~38.
- [31] 陈育峰, 李克让. 地理信息系统支持下全球气候变化对中国植被分布的可能影响研究. 地理学报, 1996, 51(增刊): 26~39.
- [32] 李晓兵, 陈云浩. 气候变化对中国北方荒漠草原植被的影响. 地球科学进展, 2002, 17(2): 254~261.
- [33] 周广胜, 张新时. 全球变化的中国自然植被的净第一性生产力研究. 植物生态学报, 1995, 20(1): 9~17.
- [34] 方精云. 中国森林生产力及其对全球气候变化的响应. 植物生态学报, 2000, 24(5): 513~517.
- [35] Kenneth DF. Adaptation to climate impacts on the supply and demand for water. Climate change, 1997, 37: 141~156.
- [36] 施雅风. 气候变化对西北、华北水资源的影响. 山东科学技术出版社, 1995: 345~347.
- [37] 施雅风. 气候变化对西北干旱区地表水资源的影响和未来趋势. 中国科学, B 辑, 1995, 25(9): 968~977.

- [38] 傅国斌, 刘昌明. 全球变暖对区域水资源影响的计算分析. 地理学报, 1991, 46(3): 22~26.
- [39] 刘昌明. 气候变化的水资源效应及其农业影响. 见: 气候变化对中国农业的影响. 北京科学技术出版社, 1993. 167~183.
- [40] 沈大军. 水文水资源系统对气候变化的响应. 地理研究, 1998, 17(4): 435~443.
- [41] 刘春蓁. 气候变化对我国水文水资源的可能影响. 水科学进展, 1997, 8(3): 220~225.
- [42] Lester Brown, Brian Halweil. China's Water Shortage Could Shake World Food Security. World Watch, 1998, 11(4).
- [43] 董光荣. 气候变化与沙漠化关系的研究. 干旱区资源与环境, 1988, 2(1): 31~45.
- [44] 慈龙骏. 全球变化对我国荒漠化的影响. 自然资源学报, 1994, 9(4): 290~302.
- [45] 慈龙骏. 我国荒漠化发生机理与防治对策. 第四纪研究, 1998, 2, 97~106.
- [46] 董光荣, 陈惠忠. 150Ka 以来中国北方沙漠/沙地演化和气候变化. 中国科学(B), 1995, 25(12): 1303~1312.
- [47] 朱俊凤, 朱震达. 中国沙漠化防治. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [48] 陈志清, 朱震达. 从沙尘暴看西部大开发中生态环境保护的重要性. 地理科学进展, 2000, 19(3): 259~265.
- [49] 黄秉维. 自然地理综合工作六十年. 北京: 科学出版社, 1993: 470~484.
- [50] 赵名茶. 全球气候变化对中国自然环境条件及农业生产潜力的影响. 见: 气候变化对中国农业的影响. 北京科学技术出版社, 1993: 195~204.
- [51] 崔读昌, 王继新. 气候变化对农业气候带和农牧过渡带的影响. 见: 气候变化对中国农业的影响. 北京科学技术出版社, 1993: 210~222.
- [52] 邓根云. 气候变化对中国农业的影响. 北京科学技术出版社, 1993: 3~18.
- [53] 竺可桢. 中国五千年来气候变迁的初步研究. 竺可桢文集, 科学出版社, 1979, 475~489.
- [54] 龚高法. 中国农业对气候变化响应的敏感带和敏感区. 见: 气候变化及其影响. 气象出版社, 1993. 78~90.
- [55] 张厚瑛. 中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题- I, 气候变化对我国种植制度的影响. 中国农业气象, 2000, 21(1): 9~13.
- [56] 张厚瑛. 中国种植制度对全球气候变化响应的有关问题- II, 我国种植制度对气候变化响应的主要问题. 中国农业气象, 2000, 21(2): 10~13.

An Assessment of Global Environmental Change and its Impacts on the Regional Development in China

L Xinmiao, WU Shaohong, YANG Qinye

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: Worldwide concern about possible climate change resulting from increasing concentrations of greenhouse gases has led governments and researchers to consider international action to address the issue, and the regional response to the climate change has become the priority field of global environmental change in China. Researchers have gradually gained a common understanding about the combining of global and regional issues: the global environmental change issues could not be solved unless it is supported

by regional studies, and on the other hand, the regional studies should necessarily incarnate the global issues. This paper introduced the essential methods of assessing regional response to climate change, especially the regional vulnerability and adaptation assessment method that has been widely employed in IPCC's assessment reports. The major climate scenarios in the next fifty years in China were summarized on the basis of the related literature. Then the author assessed the recent research — how the global environmental change impacts the regional development, including natural ecosystem, water resource shortage, desertification problems and agriculture industry development. Further research was pointed out, however, to strengthen future assessment and to reduce uncertainties in order to assure that sufficient information is available for policymaking about responses to possible consequences of climate change.

Key words: global environmental change; regional development; potential impacts; assessment