

文章编号: 1007-6301 (2002) 05-0420-10

人类经济活动影响碳排放的国际研究动态

刘 慧, 成升魁, 张 雷

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 人类经济活动对碳排放的影响是国际全球变化研究的热点之一。根据国际上 20 世纪 90 年代以来大量研究计划与成果的分析, 总结了当前国际上有关人类经济活动与碳排放研究的主要内容和研究方法。研究的主要内容集中在: (1) 能源消费与碳排放, 包括与碳减排有关的能源消费结构的转换和低碳排放能源系统的建立; (2) 经济发展与碳排放, 主要探讨不同经济发展模式与碳排放的关系; (3) 农业生产与碳排放, 包括土地利用变化、农业土地整治、农业生产水平与结构的变化等; (4) 碳减排的经济风险分析与减排对策研究。在研究方法上, 除了简单的相关分析、区域对比分析之外, 基于大量数据的综合模型分析越来越受到重视。在基本反映国际上人类经济活动与碳排放研究的最新态势的同时, 提出了我国碳循环研究中值得重视的几个问题。

关 键 词: 碳排放; 人类活动; 国际动态

中图分类号: P467; X144 **文献标识码:** A

人类活动通过化石燃料的燃烧以及将森林、草原转换成农业或其它低生物量的生态系统, 将岩石、有机体以及土壤中的有机碳以 CO_2 的形式释放到大气中, 从而增加大气中 CO_2 的含量^[1]。从 18 世纪后期开始, 大气中 CO_2 含量开始增加, 这正好与瓦特 1874 年发明发动机的时间吻合^[2]。自工业革命以来, 由于人类活动使大气中的 CO_2 含量大约增加了 25% ~ 30%^[1~3], 甲烷含量增加了 100%^[2]。未来由于人类经济活动造成的大气中温室气体的增加所引起的气候变暖将继续长期的显露出来^[4]。因此, 从上世纪 70 年代后期开始, 全球碳循环研究受到人类的普遍关注, 特别是几十年到几百年尺度上的人类活动, 如化石燃料(煤、石油和天然气等)的燃烧和非持续土地利用(砍伐森林、开垦草地、改造沼泽等)对碳排放的影响^[5]。进入 20 世纪 90 年代以来, 全球变化研究领域日益加强了对全球碳循环的研究^[6]。1997 年 12 月, 联合国气候变化框架公约缔约国第三次会议通过了《京都议定书》。议定书规定到 2010 年, 全球温室气体排放应比 1990 年的排放量响应减少 5.2%^[7,8], 并规定了 15 个工业化程度较高的发达国家温室气体减排任务及时间表^[8]。然而, 1998 年 11 月的布宜诺斯艾利斯会议就如何实施京都协议的目标未达成一致意见; 2000 年底结束的海牙气候会议也未达成任何协议; 2001 年 7 月波恩全球气候变化会议再次对如何执行《京都议

收稿日期: 2002-07; **修订日期:** 2002-08

基金项目: 中国科学院地理科学与资源研究所知识创新工程主干科学计划专题“中国经济发展/能源消费结构与陆地碳循环相互作用过程及变化趋势”资助(CXJQ-E01-05-04)

作者简介: 刘慧 (1964-), 女, 陕西兴平人, 副研究员。目前主要从事区域发展、土地利用等方面的研究, 已在国内外刊物上发表论文 30 余篇。

定书》进行讨论,虽取得了一些进展,但远未完成会议的预定计划,各国在温室气体排放等关键问题上分歧很大,其关键原因是温室气体排放的减少和控制直接影响到一个国家的能源消费数量、经济结构调整、技术变动和生产与生活方式的转变,并通过负担温室气体削减成本而影响到一个国家在国际经济体系中的竞争力^[9]。对于发展中国家来说,削减CO₂的排放意味着工厂的关闭、经济增长速度减慢、失业率增加^[10],从而产生一系列的社会经济问题。

我国作为发展中国家,对环境与发展问题的处理在今后相当长一段时间内会与发达国家的利益冲突。1997年京都气候变化会议谈判桌上,发达国家联合起来要求我国承诺消减CO₂排放量就是一个例证^[11]。1992和1996年我国因化石燃料燃烧产生的CO₂排放量分别为 $6.55 \times 10^8 \text{ t}$ 和 $8.05 \times 10^8 \text{ t}$,仅次于美国,位于世界第二^[12,13]。但是,从碳排放的增长速度来看,1950~1996年,我国碳排放总量增加了37倍,而同期美国增加了一倍多,西欧大部分国家略有增加^[13]。虽然《京都议定书》规定发展中国家暂不承担具体的限排或减排任务,但从长远看,随着我国经济的增长,其CO₂总排放量还会大幅度增加,必然会受到越来越大的外交压力^[13]。从未来发展来看,根据美国普林斯顿大学Ann P. Kinzig等人的研究^[13],世界各国被分成四类,第一类是联合国气候变化框架公约认定的工业化国家,第二类是前苏联的有关国家。根据协议这两类国家的年人均碳排放标准控制在0.2t·C。第三类是发展中国家,其目前的碳排放量超过了未来允许的年人均碳排放标准(0.2t·C),第四类是目前排放量小于未来允许排放标准。我国属于第三类,即目前的排放量已超过未来允许的排放标准。加之我国正处于经济快速发展时期,不可能通过牺牲经济发展来减少碳排放。因此,如何在经济不断发展的同时,适时采取措施控制碳排放,无论对全球环境质量的改善还是对国家安全都将起到重要作用。

1 国际上主要研究内容

目前全球碳循环研究已经确定的与人类活动有关的3个主要源是:化石燃料燃烧、水泥生产和土地利用变化^[16]。关于人类经济活动与碳排放的研究主要集中在以下四个方面:

1.1 能源消费与碳排放

化石燃料燃烧是目前大气中碳增加的首要原因,每年大约向大气中排放 $6.0 \sim 6.5 \text{ Pg C}$ ^[1,17,18],约占大气中碳排放总量的70%左右,而世界能源需求的80%~85%来源于化石燃料^[19]。因此,如何通过能源消费结构的改变、能源利用率的提高、能源利用技术的改进减少碳排放是当前各国科学家研究的重点之一。

(1) 能源消费量与碳排放

能源消费量与碳排放密切相关。20世纪人类的能源消耗量增加了16倍,同期CO₂的排放量超过了10倍^[20]。在大部分高碳排放的亚洲国家里,CO₂排放量的增加与能源消费的增加几乎一致^[21](图1)。因此,降低能源消费的增加速度肯定能减少CO₂的排放量。然而,在经济继续增长的情况下,世界能源消耗量还将继续增加,不可能只通过减少能源消费量实现大气中CO₂平衡。这就需要提高能源利用率,并寻求新型的、低碳能源代替高碳能源^[22],即能源结构问题。

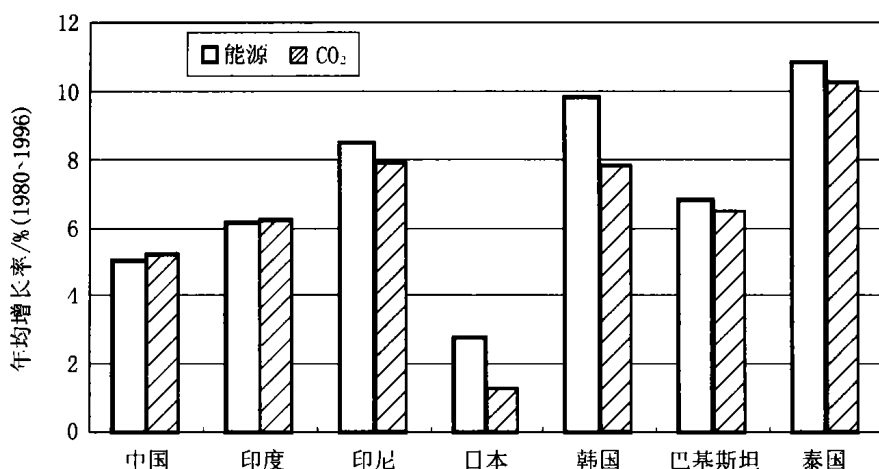
图1 能源与CO₂排放增长对比^[21]

Fig. 1 Energy and carbon dioxide emission growth rates

(2) 能源消费结构与碳排放

减少化石燃料能源消费, 增加核能以及生物能源、风能、水能、太阳能等可更新能源的使用是减少大气中CO₂排放的重要措施。然而, 必须对减少化石燃料能源消费的可行性进行研究, 包括土地资源供应、基础设施转换、新型能源技术等^[19]。根据美国纽约大学Martin I. Hoffert等人的研究, 如果大气中CO₂的排放量保持在工业革命前2倍的水平, 2050年全球需要 1×10^{13} W的无碳释放能源^[22]。这意味着在未来几十年里要转换大量的以化石燃料为基础的基础设施, 但目前尚无现成的能源系统技术以满足如此大量的无碳释放能源体系建设。

此外, 除核能之外, 几乎所有的非化石燃料能源都需要大量的土地^[19]。目前, 世界上建立了各种各样的低碳排放能源供应系统(LESS), 主要是生物能源、核能和天然气^[24]。根据LESS的估算, 到2100年如果在全球范围内用生物能源以及其他可更新能源替代化石燃料, 可使大气中的CO₂年排放量减少到1.78 GtC/年(1Gt = 1×10^{12} kg), 即比目前的排放水平(6.5 GtC/年)减少70%^[23]。在LESS系统对CO₂减少的主要贡献来自生物能源, 它将提供2100年全世界能源生产的近46%, 而生产这些生物能源需要 572×10^4 km²的土地, 约占目前世界耕地的41%^[19]。这将受到世界人口不断增加引起的食物安全的挑战^[19]。然而另一项研究表明, 大面积种植现代生物能源是可行的, 但其对减少温室气体排放的作用需要与其它土地利用和社会经济因素综合考虑加以分析^[25]。

1.2 经济发展与碳排放

主要研究不同经济发展阶段、经济结构、经济发展速度等对碳循环的影响。因为不同的经济发展阶段、经济结构、以及经济发展速度对能源需求量及能源转换效率不同。

首先, 全球CO₂排放量的增加大部分源于经济发达地区。1990年38个经济发达的工业化国家占全球CO₂排放量的份额为67%, 其余161个发展中国家和地区仅占33%^[26]。

其次, 不同经济发展阶段, 由于经济结构不同, 碳排放与经济增长的关系有所差异。对于工业化后期向信息化社会转换的国家, 经济增长主要靠高新技术和第三产业的拉动, 因

此能源消费的增长明显低于 GDP 增长; 而对于正处在工业化发展阶段的国家来讲, 第二产业的增长是经济增长的主要组成部分, GDP 增长的速度几乎与能源消费的增长一致, 甚至低于能源消费的增长^[21]。图 2 显示出 1980 年到 1996 年亚洲一些国家 GDP 增长与能源消费增长的关系。由图 2 可以看出, 日本的 GDP 增长快于能源消费的增长, 其他亚洲大部分国家的 GDP 增长小于能源消费的增长^[21]。

中国例外, 主要是近年来, 我国能源利用率不断提高, 服务业对 GDP 的贡献迅速增加, 加之改革开放初期 (1980 年) 对 GDP 计算的不确定性。

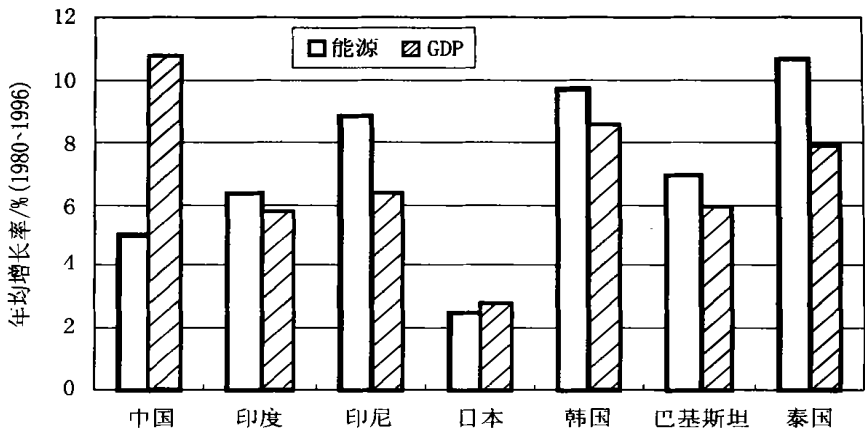


图 2 能源消费与 GDP 增长^[21]

Fig. 2 Energy and GDP growth rates

再之, 经济发展速度也与碳排放有密切的关系。一般情况下, 经济发展速度加快, 相应地会增加碳排放, 反之亦然。美国 21 世纪环境与能源研究中心的 Siddiqi 教授通过对亚洲金融危机时期 GDP 明显下降对能源消费的影响研究, 预测在亚洲金融危机造成 GDP 下降 10% - 20% 的情况下, CO₂ 排放明显下降^[21]。20 世纪 90 年代以来, 中欧地区的碳排放一直在下降, 主要源于经济衰退^[27]。

1.3 农业生产与碳循环

农业生产在全球温室气体 (包括 CO₂, CH₄, N₂O) 循环中占有重要地位^[28]。在过去 200 年里, 由于农业土地利用的变化, 即由自然生态系统向人类管理生态系统的转换, 已经导致了大约相当于同期化石燃料燃烧向大气中排放的 CO₂ 量^[29]。20 世纪 20 年代以前, 农业一直是大气中碳排放的主要来源^[30]。在 19 世纪, 农业的快速扩张导致植被和土壤中的有机碳流失^[31]。18 世纪中叶以来, 大气中 CH₄ 浓度增加了一倍多, 其中约有 70% 是人类活动的结果, 如水稻种植、生物燃烧、牲畜数量的快速增长等^[32]。

农业生产对碳循环的影响具有“双刃剑”的作用。它既是碳“源”, 又是碳“汇”。在历史时期农业生产通过将自然生态系统, 特别是热带森林, 转换成农业土地利用, 增加了大气中 CO₂ 排放。尽管如此, 农业也可以通过土地利用的变化、土地整治等增加碳“汇”, 减少 CO₂ 的排放^[30], 从而使农业生产由碳“源”变为碳“汇”。目前, 国际上研究农业生产与碳循环的关系主要包括三个方面:

(1) 土地利用变化与碳循环

土地利用模式和土地利用变化对陆地碳库和通量的影响及其反馈是当前研究的难点和热点^[33]。土地利用变化是目前大气中碳含量增加的第二大来源,其作用仅次于化石燃料的燃烧^[34]。目前由于土地利用变化每年向大气中排放 1.6 PgC/a , 约占人类活动总排放量的 20%^[30]。历史时期由于大量的自然生态系统向人工生态系统的转换,增加了大气中 CO_2 的含量。因此,今后通过减少自然生态系统向人工生态系统的转换,退耕还林还草,恢复自然生态系统,可增加土壤中的碳储量,减少碳排放。根据 Houghton 等人的研究,美国在 1945 年以前,因土地利用变化向大气中释放了 $27 \pm 6 \text{ PgC}$, 而 20 世纪 80 年代以来由于土地利用变化对碳的吸收能力为 $0.15 \sim 0.35 \text{ PgC/a}$, 占美国年化石燃料燃烧排放量的 10% ~ 30%^[35]。同时,历史时期的土地利用变化也是控制美国东部森林碳聚集速率的一个最主要的因素^[36]。中国自 20 世纪 70 年代末以来,由于植树造林、恢复植被,平均每年吸收 0.021 PgC ^[37], 期间森林吸收 CO_2 的量占我国工业排放量的 5%^[10]。而巴西亚马孙河地区, 1988~1998 年,由于砍伐森林与耕地撂荒,每年向大气中排放 0.2 PgC ^[38]。

通过土地利用变化减少碳排放的潜力有明显的区域差异。热带湿润、半湿润地区土地利用的转换对碳循环影响的潜力最大^[30], Houghton 等人研究表明, 1980 年因热带森林砍伐造成 $16.59 \times 10^8 \text{ t}$ 碳的净释放, 而热带森林以外由于土地利用只有约 $1 \times 10^8 \text{ t}$ 碳释放到大气中^[39]。同时热带人工林和林地的恢复也可成为最大的潜在碳汇, 如农田的弃耕还林可使土壤 OC 年积累率高达 $200 \times 10^4 \text{ g/hm}^2$ ^[40]; 而在半干旱地区, 通过土地利用的变化减少碳排放的空间很小^[30]。但是, 减少热带湿润、半湿润地区的人工农业生态系统的规模面临着种种困难, 包括人口增长的压力、土地使用权的转换、以及社会政治影响等。因此, 另一个重要的相关问题就是如何促进现有农用地生产力的提高, 并达到可持续利用。

(2) 农业土地整治与碳排放

土壤有机碳在碳循环中占有重要地位^[41], 因此通过对水土流失、盐碱化等退化土地的治理与恢复^[30]、休耕^[28, 30, 41~43]、秸秆还田^[30, 43]、改良土壤^[30]等土地整治措施, 提高土壤有机碳含量, 从而减少碳的排放。通过土地整治措施, 每年可减少大气中 CO_2 的排放 $0.4 \sim 0.9 \text{ PgC/a}$ ^[30]。然而, 由于土壤储存多余碳的能力是有限的, 任何通过土地整治增加的碳储存只能持续 50~100 年^[30]。

(3) 农业生产水平、结构的变化与碳排放

研究农业生产水平、结构的变化与碳循环, 主要探讨不同水平与结构的农业生产方式对化石燃料的消费。与化石燃料消费有关的农业生产活动包括: 农业机械化程度、化肥、农药的使用、农产品加工、储存与运输、食物结构、集约化畜牧业发展等。这些要素皆与碳排放密切相关。尽管如此, 通过减少直接的农业碳排放的潜力很小, 每年约 $0.01 \sim 0.05 \text{ PgC/a}$ ^[30]。然而通过农业生产的生物燃料代替化石燃料消费却有一定的潜力。所有农业生物燃料, 包括生物燃料作物、农林混合系统、作物秸秆等, 每年可代替全球化石燃料消费的 8% ~ 27%^[30]。

通过农业生产减少碳排放的许多措施具有“双赢”的效果。除实现减少碳排放之外, 还具有提高土壤肥力、保护土地持续利用、节省开支、增加农产品种类的额外效益。然而由于全球性粮食需求的增加以及农民与社会的可接受性, 对农业生产与碳排放的技术研究还应包括: 在世界人口与粮食生产脆弱地区, 提高农业生产水平, 大部分农民与社会从中得到的额外收益, 如劳动力投入的减少、物质投入的降低以及投入效益的提高等^[30]。

1.4 限制碳排放的经济代价

关于减少碳排放引起的社会经济代价,主要集中在对CO₂减排的研究,目前尚未对多种温室气体排放进行综合经济分析^[44]。西方发达国家对限制CO₂排放的经济代价已进行了十多年的研究。1992年,OECD经济部工作报告的主题即为“减少CO₂排放的宏观经济代价”^[45],同年,英国科学家M anne等人出版了“限制碳排放的经济代价”^[46]一书。1997年,法国科学家Ha-Duong等发表了“CO₂排放减少的社会经济影响”^[47]一文。以上研究都表明,一味减少CO₂排放会影响经济发展,而且CO₂排放减少速度与经济风险呈非线性相关^[46]。然而另一些研究表明,碳排放的减少并不一定带来经济衰退^[27],1998年全球碳排放减少了0.5%,而全球经济却增长了2.5%,同年,中国经济增长了7.2%,而碳排放却减少了3.7%^[27]。如果综合考虑直接的产业经济代价和间接的社会环境代价,如与温室气体排放有关的人类健康的损害、农业环境的灾害等,也许减排在进一步增加社会效益的同时,并不阻碍经济发展^[48]。那么CO₂排放减少对一个国家经济发展影响程度到底有多大?如何在保持经济持续增长的情况下,寻求最佳CO₂排放标准就成为当前关于碳排放研究的重点之一。

此外,近年来有关碳减排政策也有不少研究,如“早期减排政策”^[47]、“未来减排政策”^[49]、碳税政策^[50]等。

2 主要研究方法

为了科学地定量研究人类经济活动与碳循环的关系,除了简单的相关分析、区域对比分析之外,国际上已越来越重视基于大量数据基础的模型分析研究。如碳循环/能源模型、动态综合评估模型、能源消费-碳减排经济关联模型等。

2.1 碳循环/能源模型^[23]

$$M_c = N (\text{GDP}/N) (E/\text{GDP}) (C/E) \quad (1)$$

式中 M_c 为CO₂年排放量, N 为人口, GDP/N : 人均GDP, E/GDP : 初级能源消耗强度, C/E : 初级能源碳释放强度。

该模型用于估算由于化石燃料消费产生的CO₂排放量。对于一个国家来讲,在经济发展初期,初级能源消耗强度迅速增加,当基础设施投资达到顶峰时,初级能源消耗达到最大。随着生产力水平的提高,经济结构转向低能耗后,初级能源消耗强度开始下降。虽然目前我国初级能源消耗强度开始下降,但仍是世界平均水平的2~5倍。根据此模型分析,在经济不断增长的情况下,要达到大气中CO₂的平衡,在未来几十年里,需要巨大的基础设施转换,以及新型能源与能源技术的研究^[23]。

2.2 动态综合评估模型^[47]

$$C(s, t) = C_a(D) (1 + r)^{t_0 - t} \frac{E^{\text{ref}}(t)}{E^{\text{ref}}(t_0)} [x(s, t)^2 + D^2 A(s, t)^2] \quad (2)$$

式中 $C(s, t)$ 为经济代价; D 为能源系统时间特征(20年或50年); $C_a(D)$ 为经济代价规模($C_a(50) = 1.36$, $C_a(20) = 3.18$); r 为技术进步率(1%); $E^{\text{ref}}(t)$ 为未来碳年排放量; $E^{\text{ref}}(t_0)$ 为当前碳年排放量; $X(s, t)$ 为碳减少规模; $A(s, t)$ 为碳减少加速度 [$A(s, t) = X(s, t) - X(s, t-1)$]。

该模型由法国科学家M. Ha-Duong 和英国科学家M. J. Grubb 等人提出,用于确定CO₂限量排放的经济代价。也可以确定在经济代价最小时的最佳CO₂排放方案。研究表明较早控制碳排放可减少经济风险。

2.3 能源消费-碳减排经济关联模型^[51]

$$K(t) = \sum_{j=0}^2 \left[\sum_{i=-9}^0 k_j n_{ji}(t) + \sum_{i=1}^{30} \sigma_j n_{ji}(t) \right] \quad (3)$$

式中 $K(t)$ 为不同排放情景下,每年的经济损失; j 为不同能源设备,其中 $j=0$ 代表高碳排放能源设备, $j=1$ 代表低代价(节约能源)低碳排放能源设备, $j=2$ 代表高代价(燃料转换)低碳排放能源设备; i 为时间 ($-9 \leq i \leq 0$ 为设备建设指数, $1 \leq i \leq 30$ 为设备使用年限); $10k_j$ 为建设周期总的资金投入; $n_{0i}(t)$, $n_{1i}(t)$, $n_{2i}(t)$ 分别代表 t 年度使用 i 年的高碳排放能源设备、低代价低碳排放能源设备和高代价(燃料转换)低碳排放能源设备的能源消耗; σ 为年运行投入。

该模型将为实现碳减排目标而进行的能源设备的更新转换与经济投入联系起来,并将燃料转换分为低代价和高代价两部分,以反映不断增加的边界减排代价。该项研究表明,与不同的减排政策相比,减排代价与未来气候目标和气候灵敏度关系更大,应根据气候变化强度,在近期和长期分别采取不同的减排策略,才能使经济损失达到最小。

3 几点启示

(1) 重视人类经济活动在碳排放研究中的作用。目前国内在碳循环研究中,对碳循环的自然过程研究的比较多,如土壤和植被碳动态^[52~55]、岩溶作用与碳循环^[56]、碳汇研究^[57]等,尽管对人类的农业生产活动,包括土地利用变化,与陆地碳循环的相互作用与影响研究在我国也得到一定的重视,并有不少研究成果^[34, 58~60],然而这远远不够,特别是不同碳排放约束条件下对我国社会经济发展的影响,以及经济结构调整、不同经济增长目标与方式对碳排放的影响等需要尽快加强研究。

(2) 尽快系统地收集与整理有关数据、资料。如上所述,碳排放与能源消费、经济发展、农业等诸多人类经济活动有关。只有系统收集整理有关数据、资料,才能为进一步的科学研究打下基础。进行国家碳排放研究所需有关数据包括:

- 1) 能源: 燃料消费, 石油天然气的生产、加工与运输, 煤炭生产;
- 2) 工业: 水泥生产;
- 3) 农业: 牲畜数量, 灌溉稻田耕作, 化肥、农药的使用, 农作物秸秆处理等;
- 4) 土地利用变化: 森林砍伐/恢复, 草原开垦, 土地撂荒等;
- 5) 废物排放: 固体废弃物, 废水。

(3) 研究建立区域性或全国性综合分析模型,加强定量化研究。由于碳排放与农业生产、土地利用、土地整治、经济发展、能源消费等存在着复杂的相互作用关系,要分析这些因素对碳排放的影响,需要建立一个综合性分析模型,才能提高研究的定量化水平和研究成果的科学性。增强我国在国际上有关谈判中的说服力。

(4) 开展符合我国国情、经济有效的碳排放对策研究。从长远看,我国以某种方式参与

全球减排行动并承担一定的义务在所难免。这将对我国社会经济产生哪些影响, 对此国家应采取哪些对策。特别是如何灵活运用《京都议定书》中的“京都机制”(包括联合实施、清洁开发机制、排放量贸易)^[14], 研究综合性的国家减排政策和策略, 包括产业政策、土地利用、税收、国际贸易等, 最大限度的争取国家利益。

参考文献:

- [1] Vitousek P M, Mooney H A, Jane Lubchenco, Melillo J M. Human Domination of Earth's Ecosystems[J]. *SCIENCE*, 1997, **277**(25): 494-499
- [2] Crutzen P J. Geology of Mankind[J]. *NATURE*, 2002, **415**(3): 23
- [3] Berry More IIB H, Braswell J R. 地球的新陈代谢: 了解碳循环[J]. *AMBIO*, 1994, **23**(2): 4-12
- [4] Mahman J D. Uncertainties in Projections of Human-Caused Climate Warming[J]. *Science*, 1997, **278**(21): 1416-1417
- [5] 耿元波, 董云社, 孟维奇. 陆地碳循环研究进展[J]. *地理科学进展*, 2000, **19**(4): 297-305
- [6] 王绍强, 周成虎, 夏杰. USGCRP 碳循环研究的最新动向[J]. *地球科学进展*, 2000, **15**(5): 592-596
- [7] Martin Parry, Nigel Arnell, Mike Hulme et al. Buenos Aires and Kyoto Targets do Little to Reduce Climate Change Impacts[J]. *Global Environmental Change*, 1998, **8**(4): 285-289
- [8] UNFCCC. 1997. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. FCCC /1997/ L. 7 Add 1, Kyoto, Japan
- [9] 邹骥. 环球时报, 2001-7-27.
- [10] 田利平. 煤正在变成树[D]. 北京青年报, 2001-7-2
- [11] 陈宜瑜. 中国全球变化的研究方向[J]. *地球科学进展*, 1999, **14**(4): 319-323
- [12] Siddiqi T A. 亚洲化石燃料利用所产生的二氧化碳排放: 总的看法[J]. *AMBIO* (中文版), 1996, **25**(4): 228-231.
- [13] Siddiqi T A. The Asia Financial Crisis——is it good for the global environment? [J]. *Global Environmental Change*, 2000, **10**: 1-7.
- [14] 于贵瑞, 牛栋, 王秋风. 气候变化框架公约谈判进程及我国的对策[J]. *资源科学*, 2001, **23**(6): 10-16
- [15] Kinzig A P et al. National Trajectories of Carbon Emission: analysis of proposals to foster the transition to low economic[J]. *Global Environmental Change*, 1998, **8**: 183-208
- [16] 刘强, 刘嘉麒, 贺怀宇. 温室气体浓度变化及其源与汇研究进展[J]. *地球科学进展*, 2000, **15**(4): 454-460
- [17] Ehsan Masood. Asian Economic Lead Increase in Carbon Dioxide Emissions[J]. *NATURE*, 1997, **388**(17): 213
- [18] Scholes R J, Noble I R. Storing Carbon on Land[J]. *SCIENCE*, 2001, **29**(2): 1012-1013
- [19] Christopher Green. Potential Scale-Related Problems in Estimating the Cost of CO₂ Mitigation Policies[J]. *Climate Change*, 2000, **44**: 331-349
- [20] McNeill J R. Dousing the Human Volcano[J]. *NATURE*, 2000, **407**(12): 674-675
- [21] Sissiqi T A. The Asian Financial Crisis——is it good for the global environment?[J]. *Global Environmental Change*, 2000, **10**: 1-7.
- [22] Hoesung Lee, 周大地, Yonghun Jung 等. 亚太国家温室气体排放清单及其缓解策略: 会议报告和工作组讨论纪要[J]. *AMBIO*, 1996, **25**(4): 220-225
- [23] Hoffert M F, Caldeira K, Jain A K et al. Energy Implications of Future Stabilization of Atmospheric CO₂ Content[J]. *NATURE*, 1998, **395**: 881-884
- [24] Ishitani H, Johansson T B. Energy Supply Mitigation System[A]. In: Watson R T et al. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change[C]. Cambridge University Press, Ch. 19, 587-648
- [25] Rik Leemans, Andre Van Amstel, Coos Battjes et al. The Land Cover and Carbon Cycle Consequences of Large Scale Utilizations of Biomass as an Energy Source[J]. *Global Environmental Change*, **6**(4): 355-357.
- [26] Wilfrid Bach. 气候保护战略的重新审视[J]. *AMBIO*, 1998, **27**(7): 498-505

- [27] Tony Reichardt. Emission Fall Despite Economic Growth[J]. *NATURE*, 1999, **400**(5): 494
- [28] Philip Robertson G, Paul E A, Harwood R R. Greenhouse Gases in Intensive Agriculture: Contributions of Individual Gases to the Radiative Forcing of the Atmosphere[J]. *SCIENCE*, 2000, **289**(15): 1922-1925
- [29] Dumanski J, Desjardins R L, Tarnocai C et al. Possibilities for Future Carbon Sequestration in Canadian Agriculture in Relation to Land use Changes[J]. *Climatic Change*, 1998, **40**: 81-103
- [30] Keith Paustian, Vernon Cole C. CO₂ Mitigation by Agriculture: An Overview [J]. *Climatic Change*, 1998, **40**: 135-162
- [31] Wilson A T. Pioneer Agriculture explosion and CO₂ levels in the Atmosphere[J]. *NATURE*, 1978, **273**: 40-41
- [32] Mosier A R, Duxbury J M, Frerney J R et al. Mitigation Agricultural Emission of Methane[J]. *Climatic Change*, 1998, **40**: 39-80
- [33] 王绍强, 陈育峰. 陆地表层碳循环模型研究及其趋势[J]. 地理科学进展, 1998, **17**(4): 64-72
- [34] 李晓兵. 国际土地利用-土地覆盖变化的环境影响研究[J]. 地球科学进展, 1999(4): 395-400
- [35] Houghton R A, Hacker J L, Lawrence K T. The U. S. Carbon Budget: Contributions From Land Use Change [J]. *SCIENCE*, 1999, **23**(285): 574-578
- [36] Caspersen J P, Pacala S W, Jenkin J C et al. Birdsey, Contribution of Land-Use History to Carbon Accumulation in U. S. Forests[J]. *SCIENCE*, 2000, **290**(10): 1148-1151
- [37] Jingyun Fang, Anping Chen, Changhui Peng et al. Changes in Forest Biomass Carbon Storage in China Between 1949 and 1998[J]. *SCIENCE*, 2001, **292**(22): 2320-2322
- [38] Houghton R A, Skole D L, Nobre C A et al. Annual Fluxes of Carbon From Deforestation and Regrowth in the Brazilian Amazon[J]. *NATURE*, 2000, **403**(20): 301-304
- [39] Houghton R A et al. The flux of Carbon from terrestrial ecosystems to the atmosphere in 1980 due to Changes in Land Use: Geographic Distribution of Global Flux[J]. *Tellus*, 1987, **39B**: 122-139
- [40] Brown S, Lugo A E. Effects of Forest Clearing and Succession on the Carbon and Nitrogen Content of Soil in Puerto Rico and U S Virgin Islands[J]. *Plant and Soil*, 1990, **124**: 53-64
- [41] Uri N D. Herby Bloodworth, Global Climate Change and the Effect of Conservation Practices in U. S. Agriculture [J]. *Global Environmental Change*, 2000, **10**: 197-209
- [42] Susan Subak. Agricultural Soil Carbon Accumulation in North America: Considerations for Climate Policy[J]. *Global Environmental Change*, 2000, **10**: 185-195
- [43] Vernon Cole C, Klaus Flach, Jrrfery Lee et al. Agricultural Sources and Sinks of Carbon[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1993, **70**: 111-122
- [44] Manne A S, Richels R G. An Alternative Approach to Establishing Trade-offs Among Greenhouse Gases[J]. *NATURE*, 2001, **410**(5): 675-677
- [45] Holler P, Dean A, Hayafui M. New Issues, New Results: The OECD's Second Survey of Macroeconomic Costs of Reducing CO₂ Emissions[M]. OECD Economic Working Paper no. 123, Paris, 1992
- [46] Manne A S, Richels R G. Buying Greenhouse Insurance: The Economic Cost of CO₂ Emissions Limits[M]. MIT Press, Cambridge, MA, 1992
- [47] Ha-Duong M, Grubb M J, Hourcade J C. Influence of Socioeconomic Inertia and Uncertainty on Optimal CO₂ Emission Abatement[J]. *NATURE*, 1997, **390**(20): 270-273
- [48] De Leo G A, Luca Rizzi, Andrea Caizzi, Marino Gatto. The Economic Benefits of The Kyoto Protocol[J]. *NATURE*, 2001, **413**(4): 478-479
- [49] Wigley T M L, Richels R, Edmonds J A. Economic and Environmental Choices in the Stabilization of Atmospheric CO₂ Concentrations[J]. *NATURE*, 1996, **379**(18): 240-243
- [50] Schneider S H, Goulder L H. Achieving Low-cost Emissions Targets[J]. *NATURE*, 1997, **389**(4): 13-14
- [51] Hammitt J K, Lempert R J, Schlesinger M E. A Sequential-Decision Strategy For Abating Climate Change[J]. *NATURE*, 1992, **357**(28): 315-318
- [52] 汪业勤, 赵士洞, 牛栋. 陆地土壤碳循环的研究动态[J]. 生态学杂志, 1999, **18**(5): 29-35

- [53] 陈庆强, 沈承德, 易唯熙 等. 土壤碳循环研究进展[J]. 地球科学进展, 1998, 13(6): 555-563
- [54] 王绍强, 周成虎, 罗成文. 中国陆地自然植被碳量空间分布特征探讨[J]. 地理科学进展, 1999, 18(3): 238-244
- [55] 张洪波, 管东生, 郑淑颖. 热带雨林的碳循环及其意义[J]. 热带地理, 2001, 21(2): 178-182
- [56] 袁道先. 岩溶作用与碳循环研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14(5): 425-432
- [57] 郭李萍, 林而达. 减缓全球变暖与温室气体吸收汇研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14(4): 384-390
- [58] 李凌浩. 土地利用变化对草原生态系统土壤碳贮量的影响[J]. 植物生态学报, 1998, 22(4): 300-302
- [59] 李中佩, 王效举. 红壤丘陵区土地利用方式变更后土壤有机质碳动态变化模拟[J]. 应用生态学报, 1998, 9(4): 365-370
- [60] 王岩, 沈其荣, 史瑞和 等. 有机、无机肥料施用后土壤生物量C、N、P的变化及N素转化[J]. 土壤学报, 1998, 35(2): 227-234

The International Latest Research of the Impacts of Human Activities on Carbon Emissions

L I U Hui, CHEN G Sheng-kui, ZHANG Lei

(Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CA S, Beijing 100101 China)

Abstract: Global warming has been becoming a world-wide issue in which anthropogenic emission of greenhouse gases (CO_2 , CH_4 , N_2O) plays a main role. According to the analysis of international study on it since 1990's, this paper summarized the main contents and the methods of international research on the impacts of human activities on carbon emission. The main contents are: energy consumption and carbon emission, including the transform of the structure of energy consumption and the construction of low emission supply system (LESS); economic development and carbon emission, which focus on the relationship between the different economic development style and carbon emission, including economic development stage, economic structure, and economic development speed; agriculture and carbon cycle, including the relationship between land use/land cover change and carbon cycle, impacts of management of agricultural land and restoration of degraded land on carbon cycle, and the influence of agricultural development level and structure's change on carbon emission; the economic cost of CO_2 emission limits and the strategies for optimal CO_2 emission abatement. Because carbon emission process caused by human activities is very complicated, more and more synthetical models, based on a vast amount of data, such as carbon emission/energy model, economic model of energy consumption and carbon emission limitation, D IAM model, etc., are used for analysis besides the traditional regression analysis and regional contrast analysis. Meanwhile, several issues on carbon cycle research that must be emphasized in China were analyzed.

Key words: Carbon emission; human activities; international latest development