

文章编号: 1000-2022(2004) 01-0131-10

## 植被覆盖变化对区域气候影响的研究进展

李巧萍<sup>1,2</sup>, 丁汇<sup>3</sup>

(1. 南京气象学院 大气科学系, 江苏 南京 210044;

2. 中国气象科学研究院, 北京 100081; 3. 国家气候中心, 北京 100081)

**摘要:** 陆面植被覆盖变化作为全球及区域气候变化的重要影响因素之一, 在近几十年来逐渐受到科学家们的关注, 特别是通过大量的数值模拟研究了不同陆面覆盖状况对大气和气候变化的影响, 取得了重要进展。研究结果普遍认为, 植被覆盖变化通过改变地表反照率、粗糙度和土壤湿度等地表属性, 从而影响辐射平衡、水分平衡等过程, 最终可以导致区域降水、环流形势及大气温度、湿度等气候变化。总结了近十年国内外的相关研究及初步成果, 尤其是植被变化对中国区域气候的影响, 大部分研究认为, 大范围植被退化使我国地表温度升高, 东亚夏季风环流减弱, 降水减少, 使华北干旱加剧。同时指出了研究中存在问题及今后的工作重点。

**关键词:** 植被变化; 区域气候; 数值模拟; 研究进展

**中图分类号:** P461.7 **文献标识码:** A

陆地约占地球表面 1/3 的面积, 是气候系统中不可分割的成员之一。一方面, 发生于陆面的各种过程受全球气候变化及区域气候分布特征的制约, 另一方面, 作为大气运动的下边界条件, 陆面通过交换水汽和能量等特定的方式与大气发生复杂的相互作用, 从而对区域乃至全球气候产生重大影响。植被覆盖及其变化通过改变反照率、粗糙度及土壤湿度等地表属性对气候产生极其重要的影响, 是陆面过程的核心问题。

近年来, 由于大面积的森林砍伐、垦荒种植, 破坏了地球表面的生态平衡, 造成了自然环境的恶化, 尤其是气候的恶化。热带雨林的大面积砍伐、非洲土地沙漠化、全球变暖以及水资源缺乏等一系列问题引起了世界各国政府及科学界空前的重视, 并成为人类面临的巨大社会问题和前沿科学问题。在全球及区域气候变化对植被影响的研究背景下, 陆面植被覆盖及其变化对区域气候的影响也成为人们关注的焦点, 从 Manabe<sup>[1]</sup> 的简单“桶式”模式, 到 Charney<sup>[2]</sup> 首次研究沙漠化对气候的影响, 到近年来 Dickinson 等<sup>[3]</sup> 提出更复杂的陆面过程方案, 仅仅 20 多年的时间, 陆面过程的研究逐渐深入。科学家们对陆面植被状况的异常变化对气候的影响进行了理论和数值模拟研究, 得到了许多有意义的结论, 为正确估计人类活动对气候及生存环境的影响, 预防气候异常的频繁出现, 制定环境保护对策提供了一定的科学依据。我国处于典型的季

收稿日期: 2003-03-20; 改回日期: 2003-05-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40231004)

作者简介: 李巧萍(1970-), 女, 山西原平人, 博士生。

风性气候区,气候异常经常发生。近年来,随着全球气候变化,我国的区域气候灾害有增多的趋势,尤其是我国广大的西北和华北地区,由于不合理的土地利用,引起森林、牧场等的严重破坏,直接受到干旱和沙漠化的威胁,植被退化对我国区域气候的影响日益受到国内外科学家的关注。本文对国内外学者在这一领域的研究成果进行介绍和评述,指出研究中存在的问题及难点,并提出今后的工作重点。

## 1 国际上在植被变化对气候影响方面的研究

土地荒漠化和热带雨林砍伐是全球植被退化中最重要的两大问题,长期以来一直受到科学家们的密切关注,并进行了大量的深入研究。

### 1.1 土地荒漠化对区域气候的影响

Charney<sup>[2]</sup>首次研究了在沙漠边缘植被变化对气候的潜在影响,发现北非附近地表反照率增加直接影响着地表能量平衡,在半干旱地区,引起大气辐射冷却和补偿性下沉的增加,因此抑制了降水的发展。其后,大量的研究指出,土地荒漠化导致较高的地表反照率、较小的土壤水分含量及较低的地表粗糙度使降水减少,植被和土壤进一步恶化,加速了荒漠化进程,形成一系列的正反馈<sup>[4-5]</sup>,这些工作 Nicholson 等<sup>[6]</sup>进行了综述。研究发现,植被退化不仅对荒漠化地区的气候造成了很大的影响,改变了地表温度,减少了降水、蒸发和土壤湿度,其影响还可扩展到其外围地区<sup>[7-8]</sup>。Dirmeyer 等<sup>[9]</sup>认为,荒漠化区域临近地区的海陆分布决定着气候对沙漠化的敏感性,而且局地气候主要通过水汽通量辐合的改变而发生响应。在大多数地区由于地表吸收的短波辐射减少,地表温度有所下降,但部分地区(尤其是非洲萨赫勒地区)却由于土壤水分含量及潜热通量的减少使地表温度有所上升。降水也并不是在所有荒漠化地区都有显著的减少,就年平均而言,降水在不同的季风区也有不同的响应。植被退化对气候的影响随着退化区域的不同有较大的时空差异,就非洲来说,北非的降水对荒漠化的敏感性远大于南非,而亚洲、澳大利亚等地由于荒漠化引起的降水减少只在夏季较为明显,比较研究指出,非洲萨赫勒地区对植被退化最敏感,而且数值模拟的降水减少与近几十年来观测结果一致,说明这种变化确实是由于植被退化所致<sup>[10]</sup>。

### 1.2 热带森林砍伐对区域气候的影响

热带森林砍伐是除非洲土地荒漠化外另一个值得关注的全球性问题,近年来科学家们用一系列全球模式对砍伐导致的气候变化进行了模拟研究,虽然所用模式的动力学结构、地表参数、海洋的描述及模拟的时间长度等有显著的区别,但它们对局地和区域气候的强迫具有一致性的结论<sup>[11]</sup>。Henderson-Sellers 等<sup>[12]</sup>最早使用 GCM 模式进行了热带雨林砍伐的试验,描述了当亚马逊流域森林被草地取代后,地表反照率增加、粗糙度及土壤湿度减少等一系列地表植被属性发生变化后,地表温度变化不大,降水、蒸发、土壤湿度及云量均有不同程度的减少。在另外的试验中却发现,地表温度显著增加,且降水的减少大于蒸散量的减少,说明砍伐的结果是随后而来的一个较长的干季,这使得大量森林砍伐后重建极其困难<sup>[13]</sup>。植被退化的气候响应极为复杂,研究发现只改变植被的光学特性后,气候变化(特别是降水)明显受砍伐引起的地表反照率变化的影响。当反照率增加 0.03 时,由于地表吸收的辐射能量减少引起感热和潜热通量减少,导致对流和降水减少。如果植被变化没有引起明显的反照率增加,由于地表温度增加驱动的水汽通量辐合能够补偿其他的影响,降水则没有明显变化<sup>[14]</sup>。

进一步研究发现,热带地区植被退化还可能导致异常 Rossby 波发展,通过遥相关对高纬地区产生影响,进而影响全球的气温和降水<sup>[15-16]</sup>。植被变化导致 Hadley 环流和 Walker 环流的

位置和强度发生变化, 使得植被退化造成的异常扰动向热带外地区传播<sup>[15-20]</sup>。

下表是部分研究结果的比较, 表中只列出了 1990 年以后的工作, 1990 年以前的结果参见文献[21]。

表 1 20 世纪 90 年代以后国外部分作者在植被变化的气候效应方面的研究

Table 1 Foreign studies on the effect of vegetation change on climate since the 1990s

作者	模式	分辨率/( $^{\circ}$ )	陆面方案	积分时间	粗糙度/m	反照率	$\Delta T/$	$\Delta P/mm$	$\Delta E/mm$	水汽辐合
Shukla 等 <sup>[13]</sup>	NMC	谱模式(R40) 1.8 $\times$ 2.8	SiB	1 a			+ 2.0	- 640.0	- 500.0	减少
Nobre 等 <sup>[24]</sup>	NMC	谱模式(R40) 1.8 $\times$ 2.8	SiB	1 a	2.65 /0.08	0.13 /0.20	+ 2.0	- 640.0	- 500.0	减少
Dickinson 等 <sup>[22]</sup>	CCM1	谱模式(R15) 4.5 $\times$ 7.5	BATS	3 a	2.0 /0.05	0.12 /0.19	+ 0.6	- 511.0	- 25.5	减少
H-S 等 <sup>[21]</sup>	CCM1-OZ	谱模式(R15) 4.5 $\times$ 7.5	BATS	6 a	2.0 /0.2	0.12 /0.19	+ 0.6	- 588.0	- 232.0	减少
Lean 等 <sup>[23]</sup>	UKMO	格点模式 2.5 $\times$ 3.75	Warrilow (1986)	3 a	0.8 /0.04	0.14 /0.19	+ 2.1	- 295.7	- 198.0	减少
Manzi <sup>[25]</sup>	EMER -AUDE	谱模式(R42) 2.8 $\times$ 2.8	ISBA	4.2 a	2.0 /0.06	0.13 /0.20	+ 1.3	- 15.0	- 113.0	增加
Xue 等 <sup>[7]</sup>	COLA -GCM	谱模式(R18) 1.8 $\times$ 2.8	SSiB	3 月		0.21 /0.30	升高	减少	减少	减少
Polcher 等 <sup>[26]</sup>	LM D	格点模式 2.0 $\times$ 5.6	SECHIBA	1.1 a	未改变	0.098 /0.177	+ 3.8	+ 394.0	- 985.0	增加
Polcher 等 <sup>[27]</sup>	LM D	格点模式 2.0 $\times$ 5.6	SECHIBA	11 a	2.3 /0.06	0.14 /0.22	+ 0.1	- 186.2	- 127.8	减少
Zhang 等 <sup>[18]</sup>	NCAR CCM1	谱模式(R15) 4.5 $\times$ 7.5	BATS	11 a			- 0.2	- 250.9	- 137.6	增加
Lean 等 <sup>[43]</sup>	UKMO	格点模式 2.5 $\times$ 3.75	Warrilow (1986)	10 a	2.1 /0.026	0.13 /0.18	+ 2.3	- 157.0	- 295.7	增加
Douglas 等 <sup>[10]</sup>	COLA GCM	谱模式(R18) 2.8 $\times$ 1.8	SSiB	4 月	2.65 /0.06	0.13 /0.30	+ 0.2	减少	减少	减少

注: 表中 H-S 指 Henderson-Sellers; 粗糙度和反照率中的两个值分别为控制试验和敏感性试验中所取的值;  $\Delta T$ 、 $\Delta P$  和  $\Delta E$  分别为试验中温度、降水和蒸发量的变化值。

从表 1 可以看出, 近十年的研究中所用模式既有谱模式又有格点模式, 且多为全球模式, 分辨率普遍较低, 不能准确分辨区域尺度变化。积分时间大部分较短, 只有 1~3 a, 对研究植被变化的气候响应还不够长。耦合的陆面模式主要是 BATS 和 SiB(或 SSiB) 两种, 这是近年来才发展起来的较复杂的陆面过程方案。模拟中植被退化后粗糙度取值在 0.03~0.08 m 之间, 反照率取值在 0.12~0.30 之间。从模拟结果来看, 大部分工作认为植被退化后温度增加, 降水和蒸发减少, 水汽辐合减少, 因而对区域甚至全球气候有重要影响。

## 2 植被变化对我国区域气候影响的研究

受模式发展所限,我国在此方面的研究起步较晚,另外我国地形和陆面条件的复杂性,也增加了数值模拟的难度。对于全球大范围区域植被变化对东亚及我国区域气候影响方面的研究较为匮乏,Zhao 等<sup>[19]</sup>用耦合 BATS 模式的 NCAR/CCM3 模式模拟了欧洲、北美、亚洲东北部、印度四大区域的陆面覆盖变化造成的温度异常变化及其对大气水平和垂直环流的改变,结果显示受大范围区域植被变化影响,我国区域气温变化较其他区域明显,而且在中国南、北方存在较大的地理差异。Zhao 等<sup>[20]</sup>还对植被变化及不同 CO<sub>2</sub> 排放情景对气候强迫的相互关系作了初步模拟研究,认为在全球尺度上,植被变化对气温的影响与 CO<sub>2</sub> 相比可忽略,但在区域尺度上,植被变化对气温的影响也很显著,在中国,这两种强迫是相互加强的,而且植被分布可以影响气候对 CO<sub>2</sub> 增加的敏感性。

近年来我国在植被变化对区域气候影响的研究主要集中在几个气候敏感区:内蒙古草地荒漠化、青藏高原植被退化、西北干旱区植被退化及南方森林退化。研究表明区域气候对地表特征的响应程度与植被变化的时空尺度密切相关,植被变化对不同气候区、不同季节的气候影响有不同的表现。

### 2.1 内蒙古草地荒漠化对气候的影响

内蒙古草原位于我国北部,是欧亚大草原的一部分,也是湿润季风区与内陆干旱区的过渡气候带。在过去 40 a,这一过渡带明显向东南移动的事实,反映了在这一时期温度和降水的变化。Xue<sup>[28]</sup>和符淙斌等<sup>[29]</sup>研究发现这一地区草原荒漠化后导致地表温度增加,降水和蒸发减少,东亚夏季风环流减弱,使我国降水分布有显著变化。郑益群等<sup>[30-31]</sup>研究认为内蒙古草地荒漠化导致的降水变化在植被退化区变化并不明显,降水减少主要出现在退化区的外围(南、北侧),南方森林退化后降水有相似的变化趋势,两者共同影响可能导致江淮流域洪涝灾害增多及华北干旱的加剧,严重的植被退化导致降水和退化间的正反馈,易使退化区不断向外扩展而使退化难以恢复<sup>[30-31]</sup>,并指出,植被退化的气候效应在夏季最显著,这可能与夏季控制中国大部分地区的暖湿空气更易受下垫面变化的影响有关。

### 2.2 青藏高原植被退化对气候的影响

青藏高原的动力和热力作用对我国气候有着重要的影响,其热力作用不仅与地形高度有关,而且与下垫面植被状况有着密切的关系。青藏高原地区反照率、拖曳系数、蒸发系数以及土壤湿度等的变化对大气环流及降水影响较大<sup>[32-33]</sup>。研究高原的影响时,若不考虑植被,大气湿度和地面潜热输送均减小,削弱了扰动发展和高原上东西方向波的传播,很可能影响高原低涡或西南涡的东移,进而影响夏季江淮地区的降水<sup>[34-35]</sup>。高原植被大面积破坏后,西风急流偏西偏北,使得北方冷空气难以到达我国长江流域,不利于降水的产生,另外,高原东部北风增强,孟加拉湾地区经向风减弱,向我国内陆输送的水汽减少,其综合作用使我国大部分地区降水明显减少<sup>[36]</sup>。

### 2.3 西北地区植被退化对气候的影响

我国西北地区地处中纬度干旱、半干旱气候区,是我国全球变化一、二级敏感带所在地,自然环境相当脆弱。研究表明,西北地区大范围扩大和缩小植被面积都能影响地表温度、高度场和流场、夏季风的强度以及我国季风降水的分布,进而影响土壤湿度和径流量。西北地区退耕还林(草)与沙漠绿化对当地气候要素影响较为明显,并有利于夏季风偏强偏北,从而影响其以东地区的降水、地表径流及土壤含水量<sup>[37-39]</sup>。也有研究认为西部沙漠地区下垫面的改变可能不

会引起环流形势大规模的改变而只是系统强弱有所不同,下垫面为草原植被时,增强了试验区的上升气流,从而削弱了高原与沙漠间的热力环流,同时,土壤及地表温度上升,上层空气湿度增大,地形性热力环流减弱,使得高原上降水减少,华北地区降水略有增多<sup>[40]</sup>。

## 2.4 植被变化对季风环流的影响

我国降水的强度及分布与夏季风脉动密切相关,研究表明植被类型及覆盖面积影响着我国夏季风的强弱。植被退化导致蒸发减少,改变了当地表面能量收支,可以减弱亚洲季风环流,从而导致降水减少,这也许是中国,尤其是华北地区近年来连续发生异常干旱的原因<sup>[28]</sup>。而大范围的扩大植被面积后东亚夏季风增强,有利于大量暖湿空气从海洋向内陆干旱半干旱区输送,使这些地区降水增多,土壤湿度增大,明显地改善区域生态环境<sup>[37-39,41]</sup>,这对于我国这样一个典型季风气候的国家来说尤需重点关注。

表 2 给出了有关植被变化对我国区域气候影响方面的部分研究情况。

表 2 植被变化对我国区域气候影响的研究

Table 2 Studies on the effect of vegetation change on regional climate in China

作者	模式	分辨率	陆面模式	积分时间	关键区	粗糙度/m	反照率	温度	降水	夏季风强度
Xue <sup>[28]</sup>	COLA GCM	1.2° × 2.8° 18层	SSiB	3月	内蒙古草地 荒漠化	0.07 /0.01	0.23 /0.32	升高 0.7~ 1.3	减少 16.7 mm/月	减弱
周锁铨等 <sup>[34]</sup>	$p-\sigma$ 原 始方程	5° × 5° 5层	Deardorff	30d	青藏高原有、 无植被试验			升高 2	变化 不均匀	减弱
范广洲等 <sup>[38]</sup>	COLA GCM	7.5° × 4.5° 9层	SSiB	14月	西北地区 绿化试验			升高 2	我国东部 降水增加	增强
吕世华等 <sup>[37]</sup>	NCAR RegCM2	50 km 14层	BATS	3月	西北植被 缩小试验			高原升、 黄河中下 游降	高原及 华北减少	减弱
符淙斌等 <sup>[41]</sup>	RIEMS			4月	东亚地区 恢复自然植被	加大	减少	华北、西 北降,其 余地区升	增加 1~2 mm/d	增强
Zhao 等 <sup>[19]</sup>	NCAR CCM3	2.8° × 2.8° T42	BATS	17a	中国	减少 1.14	增加 0.04	升高 0.19	减少 0.20 mm/d	
施伟来等 <sup>[39]</sup>	RIEMS	60 km 16层	BATS	3月	西北地区 绿化试验			降低 0.5~ 1.5	增加	增强
王兰宁等 <sup>[36]</sup>	CCM3- RegCM2	160 km 15层	BATS	5.5月	青藏高原 植被退化		增加	升高	长江中 下游减少	
郑益群等 <sup>[30]</sup>	RegCM2	120 km 11层	BATS	10.5月	内蒙古草 原及南方 森林退化	0.05 /1.2	0.1 /0.03	日较差大	退化区外 围减少	

从表 2 可见,与国外相比,我国在此方面的模拟研究中积分时间普遍较短,大部分不满一年。另外,我国植被覆盖变化存在较大的地理差异,关键区集中在几个较大的气候敏感区,模拟结果相比性较差,但有一个一致性的结论,即植被退化不仅可以改变退化区的温度,还可减弱东亚夏季风环流,进而影响我国降水分布。

### 3 植被变化对区域气候影响的机理研究

由于陆地较小的热容量和植被覆盖的复杂地理分布及季节变化,使地气相互作用不同于海气相互作用,植被变化对气候影响的机制至今还没有统一的认识。Charney<sup>[2]</sup>从理论上提出了沙漠化问题的地球生物—物理反馈机制:即陆面状况的变化 反照率的异常 地面辐射平衡 气候变化,之后,大量研究从反照率、粗糙度及土壤湿度等地表属性探讨植被变化的气候影响机制。植被退化后,反照率增加使更多的太阳辐射从地表反射,气柱失去辐射热量,为了保持热平衡,空气补偿下沉,上升运动减少,水汽辐合减弱,导致大范围的降水减少<sup>[42]</sup>。反照率变化引起的云辐射强迫在地面温度初始的冷却中也有一个负的反馈,与降水变化后引起的蒸发减少共同导致地表温度变化<sup>[43]</sup>。粗糙度是影响地气湍流输送的关键参数,它通过改变地表热通量及风速而影响水汽通量辐合。植被变化导致的土壤湿度变化通过改变地表热容量和向大气输送的感热、潜热等,从而影响气候的变化。在干燥或土壤湿度较小的条件下,植被能减小地面反照率,增加地面净辐射,有利于局地对流增强,使降水增加<sup>[42]</sup>。

但是,植被变化导致的气候变化决不是单一因子作用的结果,植被变化将导致所有的地表参数发生变化,这些因子通过改变复杂的能量和水汽收支,最终影响气候变化。Zhang 等<sup>[18]</sup>通过模拟研究认为,热带雨林砍伐后,降水减少最初是由于蒸散量的减少造成的,而降水的减少又进一步减少了蒸散量,同时由于弱的地表蒸发使潜热通量减少,导致净辐射能量收支的减少,因此,区域大气环流减弱,输送到砍伐区的水汽更少,由于净辐射能的减少及地表蒸散量的减少互相补偿,地表温度没有较大变化(图 1)。

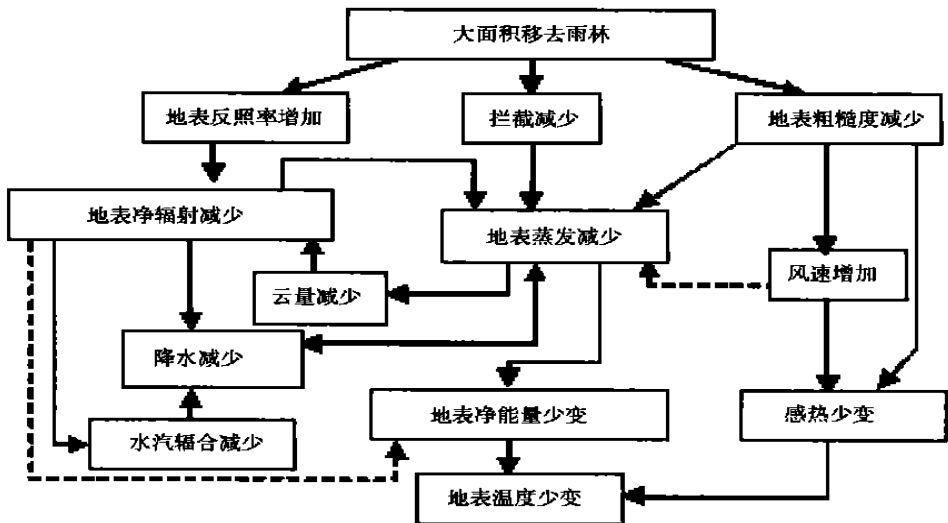


图 1 植被退化后发生于气柱与地表的物理过程示意(Zhang 等<sup>[17-18]</sup>)

Fig. 1 Illustration of the physics processes between air column and ground surface caused by vegetation degradation(Zhang et al<sup>[17-18]</sup>)

## 4 研究中存在的问题和难点

国内外相关的研究对植被变化的气候响应过程有了初步的认识, 但研究结果之间还存在较大的差异。大部分工作认为植被退化将导致退化区降水减少, 地表温度升高<sup>[13, 21]</sup>, 但也有些研究显示降水变化不大<sup>[44]</sup>, 地表温度在不同季节、不同区域有升有降或基本不变<sup>[14, 21]</sup>。另外, 植被退化的气候响应在其邻近地区也存在很大差别, 在非洲萨赫勒地区和蒙古、中国内蒙古的土地荒漠化试验中<sup>[7, 28]</sup>发现在退化区南侧出现正的降水异常, 但在对美国的试验中却没有发现<sup>[8]</sup>。造成这种不确定性可能有多种因素, 主要原因之一是研究中所用的陆面过程模式还不够完善, 所用的大气模式、陆面方案、模式分辨率和积分时间也各不相同, 而且植被退化区内局地的大气环流、地理特征及退化的程度和范围等都有一定的差别, 这些都需要进一步的研究来证实。同时从表 1、2 中可以看到, 许多工作采用全球模式来研究植被变化对区域气候的影响, 分辨率低, 对中小尺度强迫引起的区域气候变化的细节描述太粗糙, 因而模拟结果可信度较低。另外, 研究中缺乏用于验证区域气候模式模拟性能的各种资料, 植被覆盖资料的时空分辨率也不够高, 这些都限制了区域模式的模拟能力及相关研究的准确性。

关于植被变化对气候的强迫过程还没有一个完整的认识, 在解释这种强迫作用时, 一些作者强调地表反照率的重要性, 一些作者强调粗糙度和土壤湿度的重要性, 对各因子影响气候的相对重要性及其物理机制的了解还不够。

就我国在此方面的研究而言, 以往的模拟研究中积分时间普遍较短, 地—气系统在植被变化引起的外部扰动强迫下无法达到新的平衡状态, 同时较短的积分时间也无法反映由植被变化导致的气候年际变化情况及长期气候效应; 所研究的个例较少, 所得结论缺乏代表性, 还需要进一步研究论证。

在季节乃至更长的气候尺度上积分区域气候模式时, 下垫面植被本身也在发生变化, 如影响作物蒸腾量的叶面积指数, 影响下垫面粗糙度的植被平均高度等, 而这种植被的季节性变化又受各种气候因素的影响。另外, 植被本身不仅包含生物物理过程, 还包含生物化学过程(如光合作用等), 这只能通过区域气候模式和更完善的陆面过程模式的双向耦合才能进一步理解这种相互作用过程。

## 5 结 语

近 20 a 来, 国内外科学家对陆面植被覆盖变化导致的区域气候效应进行了初步研究, 大量的数值模拟结果表明, 植被退化对区域的降水和温度都有不同程度的影响, 甚至通过环流对其周围区域的气候产生间接的影响。植被变化对我国区域气候有着显著影响, 植被退化导致温度升高、降水(尤其是华北地区)减少, 而且大范围植被退化还可减弱东亚夏季风环流, 从而影响季风降水的分布, 使我国南涝北旱现象更加严重。相反, 针对我国几个区域绿化的数值分析则认为森林覆盖率增加, 地表植被状况的改善, 在一定程度上有利于气候状况的好转。这从科学的角度上, 证明了我国目前开展的大规模退耕还林(还草)的工程的正确性。

同时也可以看到, 以往的模拟结果存在一定的不确定性, 而且对其影响的机制了解得还不够。所以, 今后模拟研究的重点大体来说应集中于如下几个方面:

(1) 完善和发展包含较合理陆面过程的区域气候模式。目前研究中使用较广泛的美国国家大气研究中心第二代区域气候模式(NCAR/RegCM2), 分辨率较细, 而且比较稳定可靠。“九五”期间, 科研人员对 RegCM2 中的陆面过程、积云对流、辐射传输等物理过程的方案进行了

改进,发展了一个适合我国特殊地形的区域模式(NCC/RegCM2),经检验对我国区域气候有较好的模拟能力,可以用来进行区域地表植被覆盖的气候模拟研究。在今后的研究中,要进一步改进模式中的陆面过程,特别是在模式中考虑陆面生态系统对气候变化的反馈作用,达到陆-气真正的动态耦合。

(2) 加强植被覆盖变化对气候强迫的机理分析。在模拟分析中,从地表热平衡量、辐射平衡及降水响应的差异等方面入手,在试验中改变单个下垫面因子(如土壤湿度、粗糙度等),探讨气候响应的基本过程及物理机制。

(3) 重点研究植被变化对区域降水异常的影响,寻找与植被变化有关的前期信号。在植被变化的敏感性试验中,选取长江流域的异常旱涝作为重点,分析各个区域植被退化对这一关键区影响的相对重要性,找出对长江流域影响最为显著的敏感区,同时关注黄河流域地区。分析前期下垫面特征的变化对后期气候(主要考虑季节尺度的降水)的影响,如前期土壤湿度和土壤温度等。

(4) 由于陆面生态环境的变化还受到社会因素(即人类活动)的影响,一方面人类活动破坏地表生态环境,另一方面人类活动可以改善地表生态环境。因此通过模拟未来植被覆盖可能发生的退化现象(包括草地退化、森林面积缩小、荒漠化面积扩大等)以及未来植被覆盖发生改善的情景(如退耕还林、草)导致的气候效应,认识在全球气候变化背景下由于人类活动导致的陆面覆盖和土地利用变化对我国区域气候的影响,为 IPCC 第四次评估报告提供一定的科学依据。

另外,模拟研究植被对气候的影响时,要有足够长的积分时间,使下垫面植被改变后,地-气系统足以达到新的水分和能量平衡状态。

## 参考文献:

- [1] Manabe S. Climate and the ocean circulation: I The atmospheric circulation and the earth's surface[J]. *Mon Wea Rev*, 1969, 97(10): 739-774.
- [2] Charney J G. Dynamics of deserts and drought in the Sahel[J]. *Q J R Meteorol Soc*, 1975, 101(428): 193-202.
- [3] Dickinson R E, Henderson-Sellers A, Kennedy P J. Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) Version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model[R]. NCAR Techn. Note- 378+ STR, 1993.
- [4] Sud Y C, Fennessey M J. A study of the influence of surface albedo on July circulation in semi-arid regions using the GLAS GCM [J]. *J Climate*, 1982, 2(2): 105-125.
- [5] Sud Y C, Smith W E. Influence of local land-surface processes on the Indian monsoon: A numerical study[J]. *J Climate Appl Meteor*, 1985, 24(10): 1 015-1 036.
- [6] Nicholson S E, Tucker C J, Ba M B. Desertification, drought, and surface vegetation: An example from the West African Sahel[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 1988, 79(5): 815-829.
- [7] Xue Y, Shukla J. The influence of land-surface properties on Sahel Climate, Part 1: Desertification[J]. *J Climate*, 1993, 6(12): 2 232-2 245.
- [8] Xue Y, Shukla J. The influence of land-surface properties on Sahel Climate, Part 2: Deforestation[J]. *J Climate*, 1996, 9(12): 3 260-3 275.
- [9] Dirmeyer P A, Shukla J. The effect on regional and global climate of expansion of the world's deserts[J]. *Q J R Meteorol Soc*, 1996, 122(530): 451-482.
- [10] Douglas B C, Xue Y K, Richard J H, et al. Modeling the impact of land surface degradation on the climate of tropical North Africa[J]. *J Climate*, 2001, 14(8): 1 809-1 822.
- [11] McGuffie K, Henderson-Sellers A, Zhang H, et al. Global climate sensitivity to tropical deforestation[J]. *Global and Planetary Change*, 1995, 10(2): 97-128.



- [12] Henderson-Sellers A, Gornitz V. Possible climate impacts of land cover transformations, with particular emphasis on tropical deforestation[J]. *Climatic Change*, 1984, 6(3-4): 231-258.
- [13] Shukla J, Nobre C, Sellers P J. Amazon deforestation and climate change[J]. *Science*, 1990, 247(4 948): 1 322-1 325.
- [14] Dirmeyer P A, Shukla J. Albedo as a modulator of climate response to tropical deforestation[J]. *J Geophys Res*, 1994, 99(D10): 20 863-20 877.
- [15] Chase T N, Pielke R A, Kittel T G F, et al. Sensitivity of a general circulation model to global changes in leaf area index[J]. *J Geophys Res*, 1996, 101(D3): 7 393-7 408.
- [16] Chase T N, Pielke R A, Kittel T G F, et al. Simulated impacts of historical land cover changes on global climate in northern winter[J]. *Climate Dynamics*, 2000, 16(2/3): 93-105.
- [17] Zhang H, Henderson-Sellers A, McGuffie K. Impacts of tropical deforestation, Part 1: Process analysis of local climatic change[J]. *J Climate*, 1996, 9(7): 1 497-1 517.
- [18] Zhang H, Henderson-Sellers A, McGuffie K. Impacts of tropical deforestation, Part 2: The role of large-scale dynamics[J]. *J Climate*, 1996, 9(10): 2 498-2 521.
- [19] Zhao M, Pitman A J, Chase T N. The impact of land cover change on the atmospheric circulation[J]. *Climate Dynamics*, 2001, 17(5/6): 467-477.
- [20] Zhao M, Pitman A J, Chase T N. Climatic effects of land cover change at different carbon dioxide levels[J]. *Climate Res*, 2001, 17(1): 1-18.
- [21] Henderson-Sellers A, Dickinson R E, Durbidge T B, et al. Tropical deforestation: modeling local-to regional scale climate change[J]. *J Geophys Res*, 1993, 98(D4): 7 289-7 315.
- [22] Dickinson R E, Kennedy P. Impacts on regional climate of Amazon deforestation[J]. *Geophys Res Lett*, 1992, 19(19): 1 947-1 950.
- [23] Lean J, Rowntree P R. A GCM simulation of the impact of Amazonian deforestation on climate using an improved canopy representation[J]. *Q J R Meteorol Soc*, 1993, 119(512): 509-530.
- [24] Nobre C A, Sellers P J, Shukla J. Amazonian deforestation and regional climate change[J]. *J Climate*, 1991, 4(10): 957-988.
- [25] Manzi A O. Introduction d'un schema des transferts sol-vegetation-atmosphere dans un modele de circulation generale et application a la simulation de la deforestation Amazonienne. Ph. D. dissertation. University Paul Sabatier, 1993: 230. [Available from M eteo-France/CNRM/GMGE/UDC, 42 Ave. G. Coriolis, 31057 Toulouse, Cedex, France.]
- [26] Polcher J, Laval K. The impact of African and Amazonian deforestation on tropical climate[J]. *J Hydrology*, 1994a, 155(4-5): 389-405.
- [27] Polcher J, Laval K. A statistical study of regional impact of deforestation on climate in the LMD GCM[J]. *Climate Dynamics*, 1994b, 10(4/5): 205-219.
- [28] Xue Y. The impact of desertification in the Mongolian and the Inner Mongolian Grassland on the regional climate[J]. *J Climate*, 1996, 9(9): 2 173-2 189.
- [29] 符淙斌, 魏和林, 郑维忠, 等. 中尺度模式对中国大陆地表覆盖类型的敏感性试验[C]. 全球变化与我国未来的生存环境. 北京: 气象出版社, 1996: 286.
- [30] 郑益群, 钱永甫, 苗曼倩. 植被变化对中国区域气候的影响: 初步模拟结果[J]. *气象学报*, 2002, 60(1): 1-16.
- [31] 郑益群, 钱永甫, 苗曼倩. 植被变化对中国区域气候的影响: 机理分析[J]. *气象学报*, 2002, 60(1): 17-29.
- [32] 罗四维, 李维京, 汤筑强. 青藏高原及其邻近地区反射率变化对 5 月东亚环流影响的数值对比分析[J]. *高原气象*, 1986, 5(3): 236-244.
- [33] 刘晓东, 罗四维, 钱永甫. 青藏高原地表热状况对夏季东亚大气环流影响的数值试验[J]. *高原气象*, 1989, 8(3): 189-194.
- [34] 周锁铨, 陈万隆. 青藏高原植被下垫面对东亚大气环流影响的数值试验[J]. *南京气象学院学报*, 1995, 18(4): 536-542.
- [35] 周锁铨, 陈万隆, 徐海明, 等. 青藏高原及其周围植被对夏季气候影响的套网格数值试验比较[J]. *南京气象学院学报*, 1998, 21(1): 85-93.
- [36] 王兰宁, 郑庆林, 宋青丽. 青藏高原下垫面对中国夏季环流影响的研究[J]. *南京气象学院学报*, 2002, 25(2): 186-191.

- [ 37 ] 吕世华, 陈玉春. 西北植被覆盖对我国区域气候变化影响的数值模拟[ J ]. 高原气象, 1999, 8(3) : 416-424.
- [ 38 ] 范广洲, 吕世华, 罗四维. 西北地区绿化对该区及东亚、南亚区域气候影响的数值模拟[ J ]. 高原气象, 1998, 17(3) : 300-309.
- [ 39 ] 施伟来, 王汉杰. 中国西部退耕还林(草)与沙漠绿化的区域性气候效应[ C ]. 西部开发与生态建设. 北京: 中国林业出版社, 2001: 592.
- [ 40 ] 周锁铨. 我国西北下垫面影响大气的初步数值试验[ J ]. 气象科学, 1990, 10(3) : 248-257.
- [ 41 ] 符淙斌, 袁慧玲. 恢复自然植被对东亚夏季气候和环境影响的一个虚拟试验[ J ]. 科学通报, 2001, 46(8) : 691-695.
- [ 42 ] Sellers P J. Biophysical models of land surface processes[ C ]// Trenberth K E. Climate System Modeling. Cambridge: Cambridge University Press, 1992: 451-490.
- [ 43 ] Lean J, Rowntree P R. Understanding the sensitivity of a GCM simulation of Amazonian deforestation to the specification of vegetation and soil characteristics[ J ]. J Climate, 1997, 10(6) : 1 216-1 235.
- [ 44 ] Zeng N, Neelin J David. A land-atmosphere interaction theory for the tropical deforestation problem[ J ]. J Climate, 1999, 12(3) : 857-872.

## Research Progress in the Effect of Vegetation Change on Regional Climate

LI Qiao-ping<sup>1,2</sup>, DING Yi-hui<sup>3</sup>

(1. Department of Atmospheric Sciences, NIM, Nanjing 210044, China;

2. Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081, China;

3. National Climate Center, Beijing 100081, China)

**Abstract:** As one of the important influencing factors of global and regional climate change, vegetation variation has gradually attracted scientists in the recent decades. Many studies have been undertaken in terms of climate model to investigate the effects of various vegetation covers on climate change, and many remarkable advances in the field have been achieved. Results show that vegetation variation can influence the regional precipitation, circulation and temperature by changing the surface property, such as albedo, roughness length and soil moisture, and through radiation and moisture balance etc. This paper gives a summary of the recent researches in China and abroad, especially of the effects of vegetation change on regional climate of China. The evidence reveals that the large scale degradation of vegetation leads to the increase in surface temperature, the weakening of the east Asia monsoon, the drop of rainfall and the exacerbation of North China drought. Finally, problems in the past research and keystones in future research are also pointed out.

**Key words:** vegetation variation; regional climate; numerical simulation; research progress