

三江源地区草地退化对中国区域气候影响的数值模拟研究^{*}

廉丽姝^{1,2} 束炯² 李朝颐²
LIAN Lishu^{1,2} SHU Jiong² LI Chaoyi²

1. 曲阜师范大学资源与规划学院, 山东曲阜, 273165

2. 华东师范大学地理信息科学教育部重点实验室, 气候与大气环境研究所, 上海, 200062

1. *College of Resources and Planning, Qufu Normal University, Qufu 273165, China*

2. *Key Laboratory of Geographical Information Science, Ministry of Education, Institute of Climate and Atmospheric Environment, East China Normal University, Shanghai 200062, China*

2007-12-12 收稿, 2008-06-06 改回.

Lian Lishu, Shu Jiong, Li Chaoyi. 2009. The impacts of grassland degradation on regional climate over the origin area of three rivers in Qinghai-Tibet Plateau, China. *Acta Meteorologica Sinica*, 67(4):580—590

Abstract Regional climate model (RegCM3) was applied to explore the possible effects of land use changes (e. g., grassland degradation in this study) on local and regional climate over the origin area of three rivers (Changjiang, Huanghe, Lancangjiang) in the Qinghai-Tibet Plateau. Two multiyear(1991—1999) numerical simulation experiments were conducted; one was a control experiment with current land use and the other was a desertification experiment with potential grassland degradation. Preliminary analysis indicated that RegCM3 is appropriate for simulating land-climate interactions, as the patterns of these simulated surface air temperature, the summer precipitation, and the geopotential height fields are consistent with the observed values. The desertification over the origin area of three rivers will cause different climate effects in different regions depending on the surrounding environment and climate characteristics. The area with obvious change in surface air temperature induced by grassland degradation over the origin area of three rivers is located in the Qinghai-Tibet Plateau. A winter surface air temperature drop and the other seasons' surface air temperature increase will be observed over the Qinghai-Tibet Plateau based on two numerical simulation experiments. Surface air temperature changes in spring are the largest (0.46 °C), and in winter are the smallest (smaller than 0.03 °C), indicating an increasing mean annual surface air temperature over the Qinghai-Tibet Plateau. Surface air temperature changes will be smaller and more complex over the origin area of three rivers, with minor winter changes for the regions just outside the plateau and notable summer changes over the north of the Changjiang. The reinforced summer heat source in the plateau will lead to an intensification of heat low, causing the West Pacific subtropical high to retreat eastward. This will be followed by a decrease of precipitation in summer. The plateau's climate tends to become warm and dry due to the grassland degradation over the origin area of three rivers.

Key words Origin area of three rivers, Grassland degradation, Climate change, Numerical simulation

摘 要 人类活动导致的土地利用变化是区域气候变化的一个重要驱动因素。位于青藏高原腹地的三江源地区, 生态系统十分脆弱, 其独特的地理位置决定了源区的生态环境对中国乃至全球的气候变化、生态环境均有十分重要的影响。该研究应用区域气候模式 RegCM3, 通过两组数值模拟试验结果的对比分析, 探讨三江源地区的草地退化对中国区域气候的影响。模

^{*} 资助课题: 国家自然科学基金项目(40671176)。

作者简介: 廉丽姝, 主要从事区域气候变化及其影响研究。E-mail: llsh8210@163.com

拟试验的区域模式水平分辨率为 60 km,模拟区域中心位于 35°N,105°E,水平格点数为 92×82,相当于 5520 km×4920 km 的范围。研究表明:RegCM3 对中国区域气候具有较好的模拟能力,能够用于定量研究土地利用变化对区域气候的影响。三江源地区的草地退化引起的气候变化在不同的地区是不一致的,变化最明显的地区是青藏高原地区。草地退化将会引起青藏高原地区的冬季降温和其他季节升温,气温变化最显著的季节是春季(0.46℃),冬季变化最小(0.03℃);三江源地区的草地退化对中国中、东部地区的气候影响较复杂,主要表现为夏季长江以北地区有不同程度的升、降温现象。由于青藏高原夏季热源作用的加强,导致夏季青藏高原低层大气的热低压有所加强,太平洋副热带高压向东退缩。降水量的变化主要表现在夏季降水的普遍减少。草地退化后,青藏高原地区的气候有向暖干方向发展的趋势。

关键词 三江源地区,草地退化,气候变化,数值模拟

中图法分类号 P461⁺.7

1 引言

土地利用变化所引起的地表景观格局的变化是引起地表各种地理过程变化的主要原因,亦是区域环境演变的重要组成部分(史培军等,2001)。其中,由于砍伐森林、城市化以及农业生产等人类活动引起的土地利用变化对气候的影响已引起人们的广泛重视。陆面特征的变化通过水分循环和能量收支改变大气的动力和热力特征,进而影响局地、区域乃至全球天气和气候(Cui, et al, 2006)。虽然人类活动导致的土地利用变化及其产生的陆面特征的改变是全球气候长期变化的一个主要驱动因素,但目前人们对它的认识还有待深入(Pielke, 2005)。

三江源地区地处青藏高原腹地,位于青海省南部,是长江、黄河、澜沧江三大河流的发源地(31°39′—36°16′N, 89°24′—102°23′E)。该区包括青海省的玉树(曲麻莱、治多、称多、杂多、玉树、囊谦)、果洛(玛多、玛沁、甘德、达日、久治、班玛)两个藏族自治州全境以及海南藏族自治州的兴海、同德两县;黄南藏族自治州的泽库、河南县;格尔木市的唐古拉乡,共 16 县 1 乡,总面积达 $31.8 \times 10^4 \text{ km}^2$,海拔高度在 1700—6621 m。其中的三江源自然保护区不仅是中国面积最大的自然保护区,也是中国海拔最高的天然湿地。由于青藏高原隆起时间不长,多数土壤、植被尚处于年轻的发育阶段,在寒旱环境中,系统的结构和功能简单,受到外界干扰时,其自身的调节机制不够健全,恢复能力较弱,一旦破坏,即发生退化和逆向演替现象,生态环境十分脆弱。三江源地区独特的地理位置决定了源区的生态环境状况对中国乃至全球的气候变化及生态环境均

有十分重要的影响。近些年来,自然资源的不合理利用和人口的快速增长加剧了三江源地区本已十分脆弱的自然生态系统的恶化。由于自然和人为双重原因,草场退化、土地荒漠化现象十分严重。据初步统计,三江源区中度以上退化草场面积达 $1032.3 \times 10^4 \text{ hm}^2$,占该区域草地总面积的 35%(郑杰等, 2005),荒漠化土地面积达 $252.8 \times 10^4 \text{ hm}^2$ (董锁成等—2002)。随着青藏铁路的开通以及南水北调西线工程的即将上马,人类活动对源区的影响程度必将加大。源区人类活动,特别是由此带来的土地利用变化对生态环境的影响成为研究的热点问题之一。

部分气象和陆面观测资料的缺乏以及陆-气相互作用的复杂性使定量评价土地利用对气候的影响是比较困难的。利用数值模拟来研究土地利用变化,特别是植被变化对气候的影响是一种有效的手段,一些试验结果也被为数不多的观测数据所证实(郑益群等,2002)。丁一汇(2005)、李巧萍等(2006)利用国家气候中心改进的高分辨率区域气候模式模拟研究了中国植被变化及土地利用变化对区域气候的影响。施伟来等(2003)利用 RIEMS-TEA 模式,通过敏感性试验,发现西部地区绿化明显影响东亚的季风系统和中国东部季风区气候。王兰宁等(2002, 2003)发展了一个 CCM3-RegCM2 嵌套模式,研究了青藏高原中西部地区下垫面特征对中国夏季环流、降水以及东亚地区大气环流季节转换的影响。吕世华等(1999)使用美国 NCAR 区域气候模式 RegCM2 研究了西北植被覆盖面积的变化对中国区域气候变化的影响。范广洲等(1998)利用 GMS-SSiB,通过敏感性试验研究了西北地区绿化

对东亚以及南亚区域气候的影响。但以往的模拟研究积分时间普遍较短,陆-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,同时较短的时间积分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。

20 世纪 90 年代以来区域气候模式得到迅速发展。其中,由 Dickinson 以及 Giorgi 等在 PSU/NCAR 的 MM4 模式和 NCAR 的全球谱模式 (CCM1) 的基础上,发展的 RegCM(1989) 得到了广泛的应用。区域气候模式具有较高的时、空分辨率,能够对多种不同尺度之间的相互作用进行更好的模拟,模式对地形的描述比较细致,且包含较全面的物理过程,因而能够更好地刻画出具有特殊地形和陆面特征的区域气候特征。近 10 多年来,第 1 代、第 2 代区域气候模式 RegCM1、RegCM2 已先后在美国、欧洲、非洲、东亚—西太平洋地区的区域气候研究中得到广泛应用 (Giorgi, et al, 1998, 2004; Mearns, et al, 2003)。同时,由于其较高的水平分辨率和较好的模拟效果,RegCM 系列在区域气候变化影响的研究中,被广泛地运用于生成未来区域气候的变化情景 (Mearns, et al, 1997, 2001; Brown, et al, 2000; Easterling, et al, 2003)。经过多年的工作,RegCM 的物理参数化过程不断改进和完善,2004 年,ICTP (The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics) 发布了 RegCM3。将 RegCM3 用于中国区域的数值模拟试验研究表明,RegCM3 对中国气候有较好的模拟能力 (刘晓东等, 2003; 廉丽妹等, 2007)。

2 模式简介及试验设计

为了研究三江源地区草地退化对中国区域气候的影响,本文设计了两组数值模拟试验,其模拟范围、水平分辨率以及参数化方案的选择都是相同的,但一组是以现有下垫面土地利用状况作为基础陆面数据的数值模拟,称为控制试验 (试验 A); 另一组是将三江源地区实际土地利用类型中的矮草覆被改为半沙漠类型的数值模拟,称为沙漠化试验 (试验 B)。模拟试验的区域模式水平分辨率为 60 km, 中心位于 35°N, 105°E, 水平格点数为 92×82, 相当于 5520 km×4920 km 的范围, 模式垂直分层 18 层。图 1 为数

值模拟试验的范围及地形,可见模式能够较细致地描述模拟区域的地形特征和海岸线轮廓。

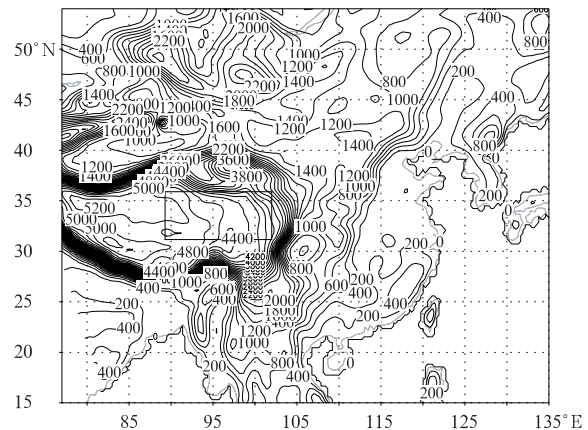


图 1 模拟区域的地形状况及试验区设置 (单位: m)
(实线为地形等高线; 矩形框表示三江源地区的位置及范围)

Fig. 1 The topography of simulated area and the location of Sanjiangyuan region (unit: m). Black real line is terrain contour, and the black rectangle represents the location of the origin area of three rivers

主要物理过程的参数化方案选择是: 行星边界层方案采用 Holtslag 方案; 积云对流方案采用 Grell 方案; 模式侧边界条件采用指数松弛条件, 每 6 h 输入 1 次; 陆面物理过程的计算采用 Dickinson 设计的 BATS1e 方案, 该方案较为详细地考虑了土壤、植被与大气之间的水、热交换, 可描述 20 种陆面状况 (农作物、矮草、常绿针叶林、落叶针叶林、落叶阔叶林、常绿阔叶林、高草、沙漠、苔原、水田、半沙漠、冰盖/冰川、沼泽湿地、内陆水、海洋、常绿灌木、落叶灌木、混交林、林田混合、水陆混合等), 同时, 将土壤按颗粒分为 12 类, 按颜色分为 8 个级别。各种植被类型有相应的土壤质地及土壤颜色级别与之对应。地表反照率除随土壤颜色而变化外, 还与表层土壤含水量有关。

运行模式所用地形和陆面植被分布资料来源于美国地质勘测局 (USGS), 分辨率为 10'; 海洋表面温度资料利用美国国家海洋大气管理局 (NOAA) 提供的 1° 分辨率的最优内插海洋表面温度的周分析资料; 初、边值采用美国国家环境保护中心 (NCEP) 2.5°×2.5° 分辨率的再分析数据。

模拟运行的积分时间为 1991 年 2 月 17 日—1999 年 2 月 28 日。大气模式的时间积分步长为 180 s。考虑到模式的自身调整及消除初始场对试

验结果的影响,我们只统计分析了 1991 年 3 月 1 日—1999 年 2 月 28 日共 8 年的数值模拟结果。

对于沙漠化试验,除了将三江源地区实际土地

利用类型中的矮草覆被改为半沙漠外(图 2),其余设计均与控制试验相同。

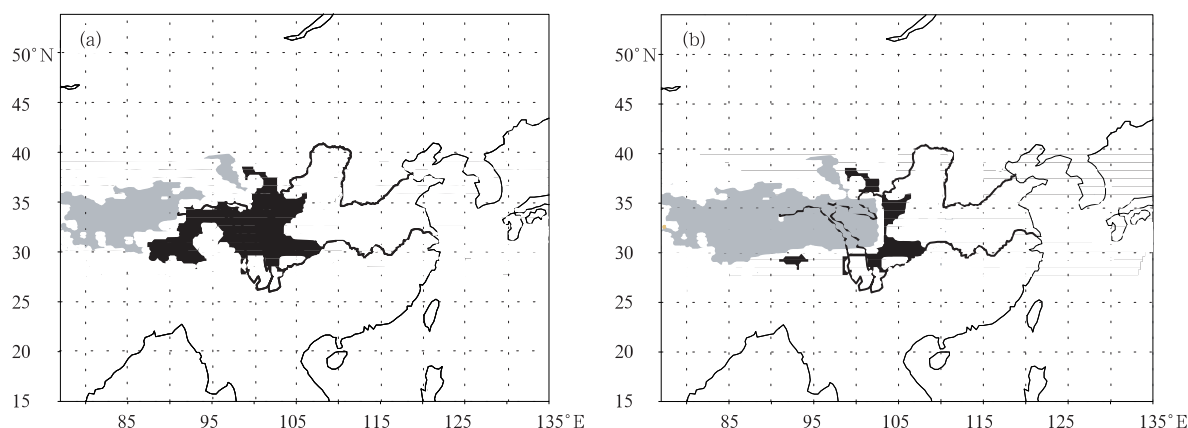


图 2 控制试验(a)和沙漠化试验(b)三江源及其附近地区半沙漠和矮草的分布

(黑色阴影区代表矮草的分布,灰色阴影区代表半沙漠的分布)

Fig. 2 Distribution of short grass and semi-desert over the origin area of three rivers in Experiment A (a) and Experiment B (b) Green shadow areas is short grass; yellow shadow area is semi-desert

3 控制试验模拟结果分析

东英吉利大学气候研究组 CRU (Climate Research Unit, University of East Anglia) 创建的 $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ 空间分辨率的全球陆地表面月平均气候(气温和降水)资料具有较高的时空分辨率,作为观测资料,被广泛地应用于区域气候的研究中(龚道溢等, 2002; 陈绿文等, 2002; 张存杰等, 2004; 符淙斌等, 2004; 王淑瑜, 2004)。本文利用 CRU 资料代表观测实况,就 RegCM3 对中国区域气候的模拟结果与观测场进行了对比分析。

根据 1991 年 3 月—1999 年 2 月的观测值和控制试验的模拟结果进行多年平均分析(图 3)可见, RegCM3 对中国冬、夏季的温度场具有较好的模拟能力,能够较真实地描述出温度场的主要高、低温中心及季节变化。中国西部地区由于深受地形影响,等温线基本与地形等高线走向一致。东部地区在纬度和海陆因子的影响下,温度分布有明显的季节差异:冬季气温随纬度增加而递减的规律明显,气温南北差异大;夏季普遍高温,气温的南北差异小,等温线基本上与海岸线平行。温度水平分布的这些基本特征在模拟的温度场中都有很好的体现,但同时,也

应注意到模拟的温度场与观测结果之间仍存在着一定的偏差,主要表现在天山南北有较明显的暖偏差和东部地区存在一定程度的冷偏差。从夏季(6、7、8 月)降水的对比结果看,尽管模拟的降水场在中国的东北部地区偏强,在一些地形起伏较大的地区,如天山地区、青藏高原东侧等出现了虚假的降水中心,但模式较真实地模拟出中国夏季主要雨带的位置及分布状况。

为了定量的评价 RegCM3 对中国区域气候的模拟能力,我们将 CRU 的观测值插值到模式格点上,并计算了模拟的气象要素场和观测气象要素场之间的相关系数。同时,由于空间相关系数只能反映模式对要素场空间分布特征的模拟能力,为了定量考察模拟结果与观测场之间的偏离程度,进一步计算了模拟温度场与降水场的均方根误差和标准均方根误差。计算结果表明模式对温度场的模拟能力较强,观测场和模拟场月平均温度的相关系数均在 0.92 以上,多年月平均温度的相关系数除 7、8 月(分别为 0.82 和 0.79)以外均在 0.9 以上,标准均方根误差变化在 0.06(1 月)—2.5(3 月)。尽管观测场和模拟场的月平均日降水量的相关系数较小,但是多年夏季平均日降水量的相关系数也超过 0.8

(均通过显著性水平 $\alpha=0.01$ 的检验), 多年月降水量的标准均方根误差为 0.6(6 月)—8.8(9 月), 夏季降水量的标准均方根误差为 1.3。这说明模式对降水的模拟能力总体上不如气温, 但是对夏季降水仍有较好的模拟能力。多年平均夏季降水场的误差

主要表现为在天山及青藏高原的东、南侧等地形陡峭地区出现了“数值风暴点”现象。

以上分析说明, RegCM3 对中国气候的多年平均状况及季节特征具有较好的模拟能力, 具备模拟下垫面植被状况的改变对区域气候影响的能力。

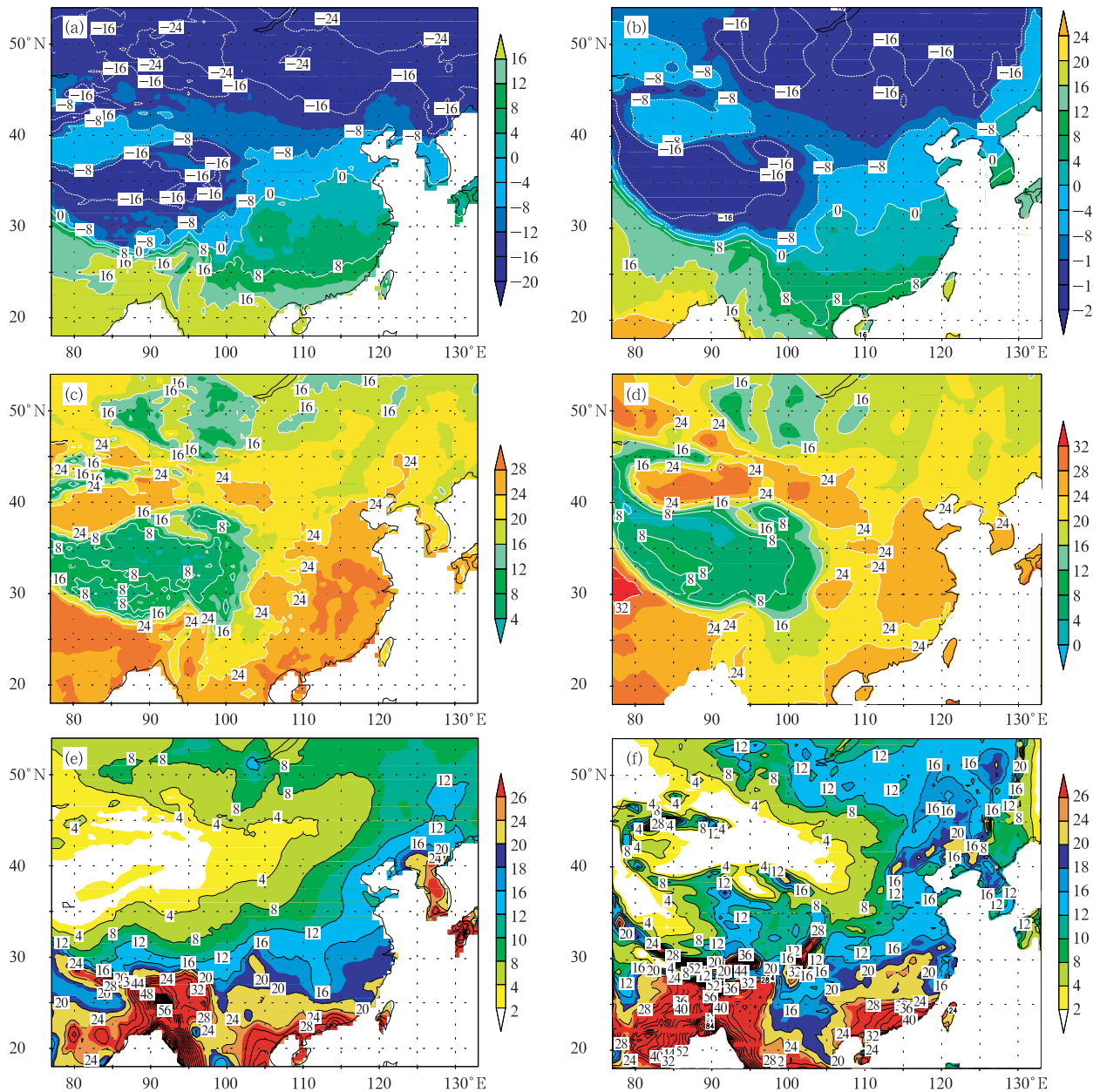


图 3 多年平均观测场与控制试验模拟结果对比

(a,b 分别为 1 月多年平均温度场的观测值和控制试验的模拟值, 单位: $^{\circ}\text{C}$; c,d 分别为 7 月多年平均温度场观测值和控制试验的模拟值, 单位: $^{\circ}\text{C}$; e,f 分别为夏季多年平均日降水量观测值和控制试验的模拟值, 单位: mm/d)

Fig. 3 Observations compared to results from the control experiments. (a) and (b) are observation of monthly mean temperature and simulated value of Exp. A in January, respectively; (c) and (d) are observation of monthly mean temperature and simulated value of Exp. A in July, respectively; (e) and (f) are observation of daily mean precipitation and simulated value of Exp. A in summer (JJA), respectively

4 对比试验结果分析

4.1 草地退化对温度的影响

下垫面植被的变化会改变陆-气的能量平衡关系,导致地面温度的变化,并进一步影响到大气的热状况。根据1991年3月—1999年2月控制试验和沙漠化试验的数值模拟结果,计算了两组模拟试验多年月平均地面气温(模式输出的近地面2 m处气温)和地表温度的差值(沙漠化试验—控制试验),并进一步分析了三江源地区的草地退化对温度场的影响。

由图4可见,三江源地区的草地退化对近地面多年平均气温的影响在不同地区、不同季节是不一致的。从1月两组试验的对比结果看,三江源地区的草地退化对冬季气温的影响表现在青藏高原地区的降温,降温幅度在 $0.2\sim 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,而模拟试验范围内的其他地区多年平均气温没有明显的变化。夏季,三江源地区的草地退化对气温的影响较冬季范

围更加广大,变化也更为复杂。在长江以北地区,夏季地面气温变化的总体特点呈东西向“正—负—正”的分布形式,即青藏高原地区温度升高,中部地区温度下降和东部地区升高。其中,青藏地区的夏季增温可达 $0.2\sim 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$;中部地区的降温在 $0.2\sim 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$;东部的升温区主要位于内蒙古中东部地区,升温幅度为 $0.2\sim 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。而其他地区响应较弱,大部分地区没有明显变化,仅在长江中游的湖北等地有弱的增温。另外,在青藏高原西南缘的印度河与恒河下游一线,夏季多年平均地表气温存在 $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右的降温。从春、秋季模拟结果的对比分析看,两季气温的变化主要出现在青藏高原南部地区,其中春季高原的气温变化在一年当中最明显,4月多年平均气温的升温幅度可达 $0.6\sim 1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$,其余地区没有显著的气温变化;而秋季气温的变化主要也是出现在青藏川地区的升温,但升温幅度和范围均小于春季,其他地区变化很小。

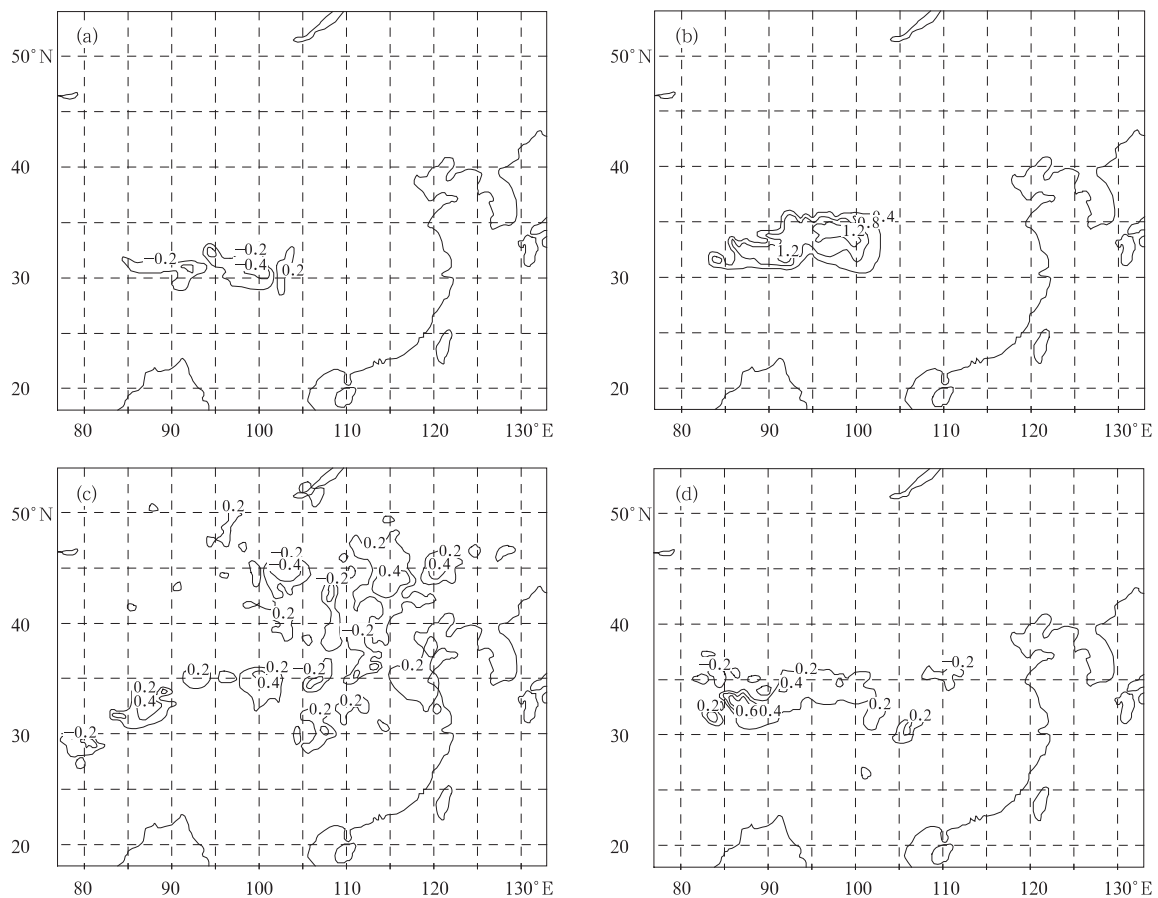


图4 沙漠化试验与控制试验近地面多年月平均气温差值分布(单位: $^{\circ}\text{C}$)

(a. 1月, b. 4月, c. 7月, d. 10月)

Fig. 4 Distribution of monthly mean surface air temperature difference between Exp. B and Exp. A for 8 yr (1991—1999; unit: $^{\circ}\text{C}$). (a) January, (b) April, (c) July, and (d) October

上述分析表明,三江源地区草地退化对气温的影响主要表现在青藏高原地区,因此,本文进一步计算了沙漠化试验和控制试验多年月平均气温差值在青藏高原地区(30° — 36° N, 80° — 102° E)内的平均值(图5)。由图可见,三江源地区的草地退化将造成青藏高原地区冬季(12月、1月、2月)近地面气温的降低和其他各季节(春、夏、秋季)气温的升高。其中,由草地退化造成的温度变化在春季(4月)最显著,达 0.46°C ;冬季最小(12月),仅 0.03°C 。

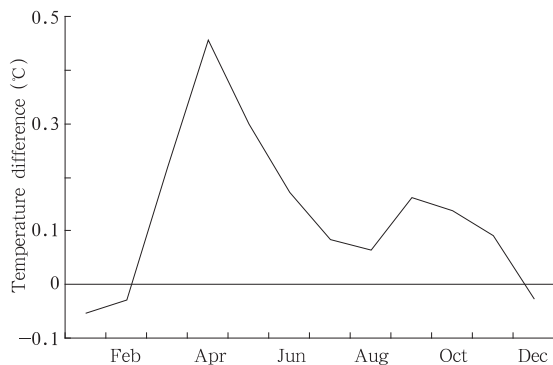


图5 青藏高原地区沙漠化试验和控制试验多年月平均气温的差值(单位: $^{\circ}\text{C}$)
Fig. 5 The annual cycle of area average of multi-year mean temperature difference between Exp. B and Exp. A (unit: $^{\circ}\text{C}$)

从沙漠化试验和控制试验多年地表月平均温度的差值分布(图略)可见,三江源地区草地退化对中国区域多年平均地表温度的影响与对气温的影响是一致的,即冬季降温,夏季以大部分地区变暖为主,但地温的变化幅度较气温大。冬季(1月),三江源地区的草地退化造成的青藏高原的降温幅度可达 0.6°C ,夏季(7月)地温的变化仍主要出现在长江以北,并呈东西向的“正—负—正”分布。其中,青藏地区多年7月平均温度升高 0.2 — 1.6°C ,中部地区温度下降 0.2 — 0.4°C ,内蒙古中东部升高 0.2 — 0.8°C 。以上分析表明,气温的改变主要是由于地温的变化引起的。

综上,三江源地区草地退化对中国区域多年平均温度场的影响主要表现在青藏地区冬季温度的降低和夏季温度的升高,这意味着温度的年较差会因此变大。由于春、夏、秋各季的增温较冬季的降温更为显著,因此可以得到三江源地区的草地退化会导致研究区域的年平均温度升高的结论。同时,三江

源地区土地覆被变化对温度的影响还会影响到其他地区,这种影响主要表现在夏季中国长江以北的地区及高原西南缘的印度河与恒河下游一线会发生不同程度的升、降温变化。模拟试验的结果进一步证实了由于不同的地理环境,同样的土地覆被变化引起的气候要素变化存在着不一致性(Gao, et al, 2003)。

4.2 草地退化对夏季日平均降水量的影响

下垫面植被状况改变会导致地气系统能量、水分平衡关系的调整,造成大气上升运动及水汽含量的变化,从而可能导致降水的变化。草地的退化会增加地面反照率,降低粗糙度,减弱植被对水文循环的调节作用,从而增加显热交换和地面温度,减少蒸发和降水。但陆-气间的相互作用是十分复杂的,存在着多种正、负反馈作用。如,地面反照率增加与土壤水分的减少都可能使降水量向减少的方向变化。但也有实验表明(李克让等,2000),如果地面反照率增加,会产生下沉运动,如果土壤水分减少,地面温度就要上升,并产生上升气流,它们互为反作用,哪一个作用更大,应视具体地区而定。基于大气动力学和气候系统中各种物理过程描述的区域气候模式,可以同时考虑多种作用,通过模拟试验结果的对比分析可以较好地解决这类问题。

考虑到中国大部分地区的降水集中在夏季,本文对草场退化对降水影响的分析主要以夏季降水为主。从1991—1998年夏季(6、7、8月)沙漠化试验和控制试验日平均降水量的差值(图6)可见,三江源地区草地的退化会使中国大部地区夏季降水减少,降水减少的地区主要在青藏高原及其以东的西风带下游区和高原以南地区,其中减少最明显的是中国东北部地区,可达 2.5 mm/d 。值得注意的是,在高原南缘的印度恒河流域中游地区,夏季降水也出现显著减少。

从上述沙漠化试验和控制试验对中国温度和降水的多年数值模拟结果的分析可见,三江源地区草地退化会导致中国区域气候向暖干的方向发展。上述结论与下垫面改变导致区域气候变化的理论分析结果(赵鸣等,2002)是一致的,即由于植被退化致使地表反射率加大、地面热通量的变化造成降水量的减少和温度的增加,粗糙度的减少也能造成降水量的减少和温度增加。

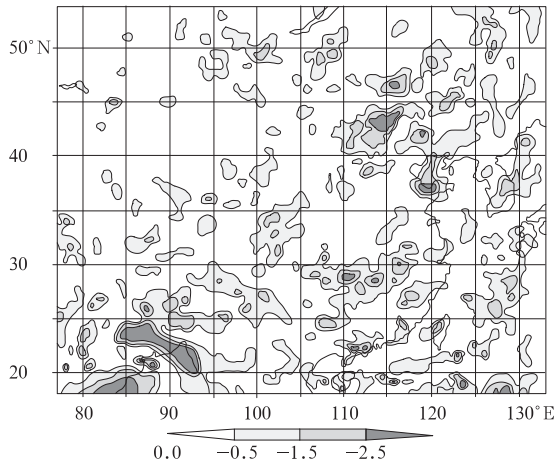


图6 沙漠化试验和控制试验1991—1998年夏季(6、7、8月)多年平均日降水量的差值(单位:mm/d)

Fig. 6 Differences of daily mean precipitation between Exp. B and Exp. A in summer (JJA) from 1991 to 1998 (unit: mm/d)

4.3 草地退化对环流的影响

三江源地区的草地退化不仅会影响该地区的气

温和降水,而且还会通过大气环流影响到周边地区(特别是青藏地区的西风带下游地区)。那么,草地退化对中国冬、夏季的环流形势有何影响呢?本文通过分析对比试验500和850 hPa高度场的变化来探讨三江源地区草地退化对环流的影响。

从两组模拟试验对500和850 hPa月平均高度场8年模拟结果的对比分析可见,三江源地区的草地退化对高度场的影响存在着明显的季节差异:冬季高度场的变化较小(图略),表现为西风带的南移,说明草地退化引起的青藏地区冬季温度的下降对冬季大陆冷源有一定程度的加强作用;夏季(由于中国夏季风最鼎盛的时间是在8月,所以本文在讨论环流场变化时用8月作为夏季的代表月份)高度场的变化比其他各季节显著。产生这种现象的原因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植被变化的影响有关(郑益群,2002)。

由850 hPa沙漠化试验和控制试验多年月平均高度场差值的分布(图7a—7c)可见,三江源地区的

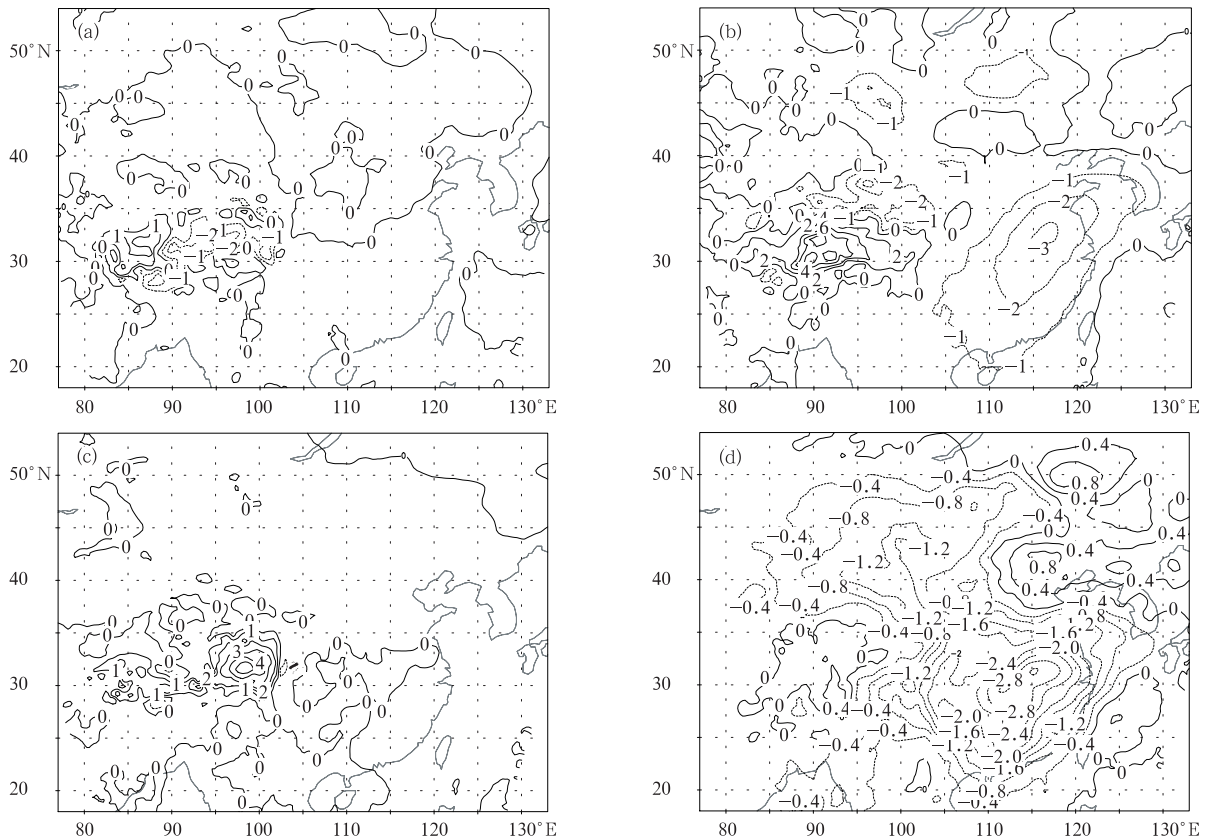


图7 沙漠化试验和控制试验多年(1991—1998年)月平均高度场的差值(单位:gpm)

(a. 4月850 hPa, b. 8月850 hPa, c. 10月850 hPa, d. 8月500 hPa)

Fig. 7 Changes of 850 and 500-hPa geopotential height fields (unit: gpm). Difference between Exp. B and Exp. A in April (a), August (b), and October (c) for 850-hPa and in August (d) for 500-hPa monthly mean geopotential height from 1991 to 1998, respectively

草地退化对春、秋季 850 hPa 多年月平均高度场影响范围较小(图 7a、7c),变化的地区主要位于青、藏、川地区,表现为春季减弱,秋季加强的特点,而其他地区则无明显变化。高度场变化范围最大和变化幅度最显著的季节是夏季(图 7b),主要表现是在三江源地区及其下游地区出现了大片的负值,而试验区南侧的高度场有所加强。比较控制试验和沙漠化试验得到的 850 hPa 的高度场(图略)可见,三江源地区草地退化后,青藏高原地区大气低层的热低压范围向东北方向有所扩展,同时其东侧大洋上的副热带高压脊表现为相应的东退。与这种高度场变化对应的流场变化主要为 850 hPa 等压面上,中国东部地区东南夏季风的东风分量有一定程度的减弱,但减弱的幅度不大。

同期 8 月沙漠化试验和控制试验 500 hPa 多年月平均高度场的差值分布(图 7d)显示的变化特征与 850 hPa 高度场的变化特征十分一致,即三江源区的草地退化将会导致大陆上南亚高压(850 hPa 高度上为热低压)和西太平洋副热带高压之间地区的位势高度降低,这反映了南亚高压东部边缘的减弱和西太平洋副热带高压西伸脊的东退现象。另外值得注意的是在试验区西南侧的青藏地区存在有一小片较弱的正值区,该现象出现的规律和机理还有待于进一步研究。

以上的对比分析说明,三江源地区的草地退化对青藏高原地区乃至更大范围的区域气候有十分重要的影响,特别是在夏季,这种影响的范围更广泛、表现更复杂。综合三江源区草地退化对温度、夏季降水以及环流场等要素的影响,可以进一步推论这些要素场变化之间可能存在的内在关系:三江源地区的草地退化会导致青藏高原地区冬季降温和夏季气温升高;高原地区夏季温度的升高会进一步加强高原夏季的热源作用,进而使高原地区大气低层的青藏高原热低压更加强盛、西太平洋副热带高压脊东退;环流场的这种变化可能是造成中国夏季降水减少,特别是中国东北部地区降水减少的主要原因之一。

5 结论和讨论

通过利用区域气候模式 RegCM3,对研究区域

进行控制试验和沙漠化试验的 8 年数值模拟积分,研究了三江源地区的草地退化对中国区域气候的影响,结果表明:

(1) RegCM3 对中国气候的季节特征具有较好的模拟能力,具备模拟下垫面植被状况改变对区域气候影响的能力。

(2) 三江源地区的草地退化对区域气候有较显著的影响,但这种影响在不同地区和不同季节是不一样的。青藏高原地区的气候变化表现为冬季降温和其他季节的升温,其中春季的升温幅度最大,气候总体上有向暖干方向发展的趋势。而中国其他地区的气候响应主要表现为夏季降水量的普遍减少和长江以北地区出现不同程度的升、降温,其他季节没有显著变化。

(3) 三江源地区的草地退化对环流场的影响在夏季最为显著,表现为青藏高原低层大气热低压的加强和西太平洋副热带高压脊的东退。

本研究利用国际理论物理中心在 RegCM2 基础上改进的第 3 代区域气候模式(ICTP/RegCM3),对模拟试验进行了 8 年的积分,得到了三江源地区草地退化对中国区域气候影响的一些初步结论。但是,由于区域气候模式的计算量较大,进行的模拟试验尽管在目前的同类研究中积分时间较长,也只能是一种敏感性试验。对草地退化过程中,气候要素的阶段变化和长期变化没有进行更进一步的分析。今后还需对此进行大量的更长时间的积分模拟试验,以加强草地退化对气候影响的过程研究,减小研究问题的不确定性。

References

- Brown R A, Rosenberg N J, Hays C J, et al. 2000. Potential production and environmental effects of switchgrass and traditional crops under current and greenhouse-altered climate in the central United States: A simulation study. *Agriculture Ecosystems Environ*, 78:31-47
- Bueh Cholaw. 2003. Simulation of the future change of East Asian monsoon climate using the IPCC SRES A2 and B2 scenarios. *Chinese Sci Bull*, 48(10):1024-1030
- Chen Luwen, Shi Neng. 2002. Primary analysis of global land surface precipitation. *J Nanjing Inst Meteor (in Chinese)*, 25(1): 84-91
- Cui Xuefeng, Hans-F. Graf, Baerbel Langmann, et al. 2006. Cli-

- mate impacts of anthropogenic land use changes on the Tibetan Plateau. *Global Planetary Change*, 54(1/2):33-56
- Ding Yihui, Li Qiaoping, Dong Wenjie. 2005. A numerical simulation study of the impacts of vegetation changes on regional climate in China. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 63(5):613-621
- Dong Suocheng, Zhou Changjin, Wang Haiyan. 2002. Ecological crisis and countermeasures of the Three Rivers' Headstream Region. *J Natural Resources* (in Chinese), 6:713-720
- Easterling W, Chhetri N, Niu Xiangzeng. 2003. Improving the realism of modeling agronomic adaptation to climate change: simulating technological substitution. *Clim Change*, 60:149-173
- Fan Guangzhou, Lv Shihua, Luo Siwei. 1998. The influence of the NW China afforestation on regional climate in East and South Asia. *Plateau Meteor* (in Chinese), 17(3):300-309
- Fu Congbin, Wang Shuyu, Xiong Zhe, et al. 2004. Progress report on regional climate model intercomparison project for Asia. *Clim Environ Res* (in Chinese), 9(2):225-239
- Gao Xuejie, Luo Yong, Lin Wentao, et al. 2003. Simulation of effects of land use change by a regional climate model. *Adv Atmos Sci*, 20(4):583-592
- Giorigi F, Bi X, Pal J S. Mean. 2004. Interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe I: present-day climate (1961-1990). *Clim Dyn*, 22:733-756
- Giorigi F, Mearns L O, Shields C, et al. 1998. Regional nested model simulations of present day and $2 \times \text{CO}_2$ climate over the central plains of the U. S. *Clim Change*, 40:457-493
- Gong Daoyi, Wang Shaowu. 2002. Variability of the winter zonal index and its association with the northern hemispheric temperature changed. *J Tropical Meteor* (in Chinese), 18(2):104-110
- Li Kerang, Chen Yufeng, Huang Mei, et al. 2000. Model studies of the impacts of climate change on land cover and its feedback. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 55(Suppl):57-63
- Li Qiaoping, Ding Yihui, Dong Wenjie. 2006. A numerical simulation on impact of historical land-use changes on regional climate in China since 1700. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 64(3):257-270
- Lian Lishu, Shu Jiong. 2007. Numerical simulation of summer climate over Center and East China using a regional climate model. *J Tropical Meteor* (in Chinese), 23(2):162-170
- Liu Xiaodong, Jiang Zhihong, Luo Shuru, et al. 2005. A simulation of summer precipitation over eastern China with RegCM3. *J Nanjing Inst Meteor* (in Chinese), 28(3):351-359
- Lu Shihua, Chen Yuchun. 1999. The influence of northwest China afforestation on regional climate in China. *Plateau Meteor* (in Chinese), 18(3):416-424
- Mearns L O, Giorigi F, McDaniel L, et al. 2003. Climate scenarios for the southeastern U. S. based on GCM and regional model simulation. *Clim Change*, 60:7-35
- Mearns L O, Rosenzweig C, Goldberg R. 1997. Mean and variance change in climate scenarios: methods, agricultural applications, and measures of uncertainty. *Clim Change*, 35:367-396
- Mearns L O, Easterling W, Hays C, et al. 2001. Comparison of agricultural impacts of climate change calculated from high and low resolution climate change scenarios: part I. the uncertainty due to spatial scale. *Clim Change*, 51:131-172
- Roger A, Pielke Sr. 2005. Land use and climate change. *Science*, 310(9):1625-1626
- Shi Peijun, Yuan Yi, Chen Jin. 2001. The effect of land use on runoff in Shenzhen city of China. *Acta Ecologica Sinica* (in Chinese), 21(7):1041-1049
- Shi Weilai, Wang Hanjie. 2003. Influence of west China afforestation on monsoon climate in East Asia. *J PLA Univ of Sci Tech* (in Chinese), 4(3):76-81
- Shi Weilai, Wang Hanjie. 2003. The regional climate effects of replacing farmland and re-greening the desertification land with forest or grass in West China. *Adv Atmos Sci*, 20(1):45-54
- Wang Lanning, Zhen Qinglin, Song Qingli. 2002. Influences of surface conditions over the Tibetan Plateau on China summer circulation. *J Nanjing Inst Meteor* (in Chinese), 25(2):186-191
- Wang Lanning, Zhen Qinglin, Song Qingli. 2003. Numerical simulation of the influences of West-Central Qinghai-Xizang Plateau on East Asia seasonal transition. *Plateau Meteor* (in Chinese), 22(2):179-184
- Wang Shuyu, Xiong Zhe. 2004. The preliminary analysis of 5 coupled ocean-atmosphere global climate models simulation of regional climate in Asia. *Clim Environ Res* (in Chinese), 9(2):240-250
- Zhang Cunjie, Li Dongliang, Wang Xiaoping. 2004. Study on precipitation variability in last 100 years and trend prediction in northeast Asia in future 10-15 years. *Plateau Meteor* (in Chinese), 23(6):919-929
- Zhao Ming, Zeng Xinming. 2002. A theoretical analysis on the local climate change induced by the change of landuse. *Adv Atmos Sci*, 19(1):45-63
- Zheng Jie, Cai Ping. 2005. Ecological protection and construction of the Sanjianguiam region in Qinghai province. *Qinghai Sci Tech* (in Chinese), 1:9-12
- Zheng Yiqun, Qian Yongfu, Miao Manqian, et al. 2002. The effects of vegetation change on regional climate I: Simulation results. *Acta Meteor Sinica* (in Chinese), 60(1):1-16

附中文参考文献

陈绿文,施能.2002. 全球陆地降水初步分析. 南京气象学院学报,25

(1):84-91

- 丁一汇,李巧萍,董文杰. 2005. 植被变化对中国区域气候影响的数值模拟研究. 气象学报, 63(5):613-621
- 董锁成,周长进,王海英. 2002. “三江源”地区主要生态环境问题与对策. 自然资源学报, 17(6):713-720
- 范广洲,吕世华,罗四维. 1998. 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研究. 高原气象, 17(3):300-309
- 符淙斌,王淑瑜,熊口等. 2004. 亚洲区域气候模式比较计划的进展. 气候与环境研究, 9(2):225-239
- 龚道溢,王绍武. 2002. 冬季西风环流指数的变率及其与北半球温度变化的关系研究. 热带气象学报, 18(2):104-110
- 李克让,陈育峰,黄玫等. 2000. 气候变化对土地覆被变化的影响及其反馈模型. 地理学报, 55(增刊):57-63
- 李巧萍,丁一汇,董文杰. 2006. 中国近代土地利用变化对区域气候影响的数值模拟. 气象学报, 64(3):257-270
- 廉丽姝,束炯. 2007. 区域气候模式对我国中、东部夏季气候的数值模拟. 热带气象学报, 23(2):162-170
- 刘晓东,江志红,罗树如等. 2005. RegCM3 模式对中国东部夏季降水模拟试验. 南京气象学院学报, 28(3):351-359
- 吕世华,陈玉春. 1999. 西北植被覆盖对我国区域气候变化影响的数值模拟研究. 高原气象, 18(3):416-424
- 史培军,袁艺,陈晋. 2001. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响. 生态学报, 21(7):1041-1049
- 施伟来,王汉杰. 2003. 中国西部绿化对东亚季风气候影响的数值模拟. 解放军理工大学学报(自然科学版), 4(3):76-81
- 王兰宁,郑庆林,宋青丽. 2002. 青藏高原下垫面对中国夏季环流影响的研究. 南京气象学院学报, 25(2):186-191
- 王兰宁,郑庆林,宋青丽. 2003. 青藏高原中西部下垫面对东亚大气环流季节转换影响的数值模拟. 高原气象, 22(2):179-184
- 王淑瑜,熊口. 2004. 5个海气耦合模式模拟东亚区域气候能力的初步分析. 气候与环境研究, 9(2):240-250
- 张存杰,李栋梁,王小平. 2004. 东北亚近100年降水变化及未来10—15年预测研究. 高原气象, 23(6):919-929
- 郑杰,蔡平. 2005. 青海省三江源生态保护与建设. 青海科技, 1:9-12
- 郑益群,钱永甫,苗曼倩等. 2002. 植被变化对中国区域气候的影响 I:初步模拟结果. 气象学报, 60(1):1-16