

DOI: 10.5846/stxb201407071393

董思言, 延晓冬, 熊喆, 石英, 王娟怀. 土地利用/覆盖变化对中国不同季节气温的影响. 生态学报, 2015, 35(14): 4871-4879.

Dong S Y, Yan X D, Xiong Z, Shi Y, Wang J H. Impacts of land use/cover change in China on mean temperature. Acta Ecologica Sinica, 2015, 35(14): 4871-4879.

## 土地利用/覆盖变化对中国不同季节气温的影响

董思言<sup>1,\*</sup>, 延晓冬<sup>2</sup>, 熊 喆<sup>3</sup>, 石 英<sup>1</sup>, 王娟怀<sup>4</sup>

1 国家气候中心, 北京 100081

2 北京师范大学, 北京 100875

3 中国科学院大气物理研究所全球变化东亚区域研究中心, 北京 100029

4 兰州大学大气科学学院, 兰州 730000

**摘要:** 近几十年中国地区土地利用/覆盖变化(LUCC)较大, 在区域气候模拟中尤其需要使用更加准确的土地利用/覆盖数据。基于模式原有的 USGS 和新开发的 LUC90 两种土地利用/覆盖资料, 利用区域环境集成模拟系统(RIEMS2.0)分别进行连续 10a 模拟, 分析 LUCC 对中国不同季节气温的影响。结果表明: 1) 采用 LUC90 资料后, 中国及东北、华北、华南夏季平均气温增加, 但只有东北模拟与观测值的偏差减小, 且通过显著性检验( $P < 0.01$ )。中国及东北、华南冬季平均气温增加, 并且模拟与观测值的偏差减少。中国及华北和华南对冬季气温年际变率的模拟改善好于夏季。2) 土地利用/覆盖变化通过影响潜热通量的变化和净吸收辐射通量的变化来影响不同季节气温的变化。冬季净辐射通量变化对气温变化的贡献较夏季大, 而夏季潜热通量变化对气温变化的贡献较冬季大。雨养农田转变森林、草地、灌溉农田过程造成通量变化, 其对气温变化的影响也存在不同分区季节的差异。

**关键词:** 区域气候模式; 土地利用/覆盖变化; 数值模拟; 气温; 地面通量

## Impacts of land use/cover change in China on mean temperature

DONG Siyan<sup>1,\*</sup>, YAN Xiaodong<sup>2</sup>, XIONG Zhe<sup>3</sup>, SHI Ying<sup>1</sup>, WANG Juanhuai<sup>4</sup>

1 National Climate Center, Beijing 100081, China

2 Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 Key Laboratory of Regional Climate-Environment Research for Temperate East Asia, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

4 College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China

**Abstract:** In recent years, Regional land use/cover in China change a lot, and climate simulation need to do more research, especially related to impacts on climate simulation by using new accuracy land cover data sets in region climate model. In this paper, With the original land use / land cover data based on (USGS) and high accuracy land use/cover data (LUC90), Regional Integrated Environmental Model System (RIEMS2.0) were used for 10 consecutive years numerical simulation about impacts on climate, and the analysis was focused on the surface temperature and surface fluxes, testing statistical significance. The results showed that: 1) After using LUC90 data simulation, winter cold bias value compared to observation value in most regions in China was reduced, and different seasons temperature bias of northeast area were reduced, passing the test of significance in the summer ( $P < 0.01$ ). The annual mean temperature in China, North China and South China in the winter of interannual variability simulation was better than in the summer. 2) Effects of land use

**基金项目:** 国家重点基础研究发展计划项目(2012CB417205); 公益性行业专项(GYHY201406020)

**收稿日期:** 2014-07-07; **修订日期:** 2015-03-04

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: dongsy@cma.gov.cn

change on the distribution of the surface fluxes in different regions and different seasons have different performance, mainly through changes in net radiation and latent heat fluxes to the impact of temperature. We found in the winter contribution of net radiation flux change to mean temperature change was large in summer, and in the summer the latent heat flux change contribution to temperature change was more than in winter. Different land use/cover change process in different regions in different seasons resulted to different effect on the temperature.

**Key Words:** regional climate model; land use / cover change; numerical simulation; temperature; surface fluxes

土地利用/覆盖变化(LUCC)主要通过改变地表属性,进而改变陆-气能量平衡,水分和物质交换以及生物地球化学过程等,在局地、区域和全球不同空间尺度上对气候产生影响<sup>[1-3]</sup>。目前在区域气候模式中,土地利用/覆盖类型不能直接驱动气候变化,而是利用每种类型所代表的地表物理参数的改变来影响气候,区域气候模式中农田(包括灌溉农田)与自然植被的生物地球物理作用差异大,所用到当前的土地利用/覆盖的精确与否,直接关系到对气候模拟的准确性,使用精确的土地利用/覆盖资料对区域气候模拟有重要意义,但是目前土地利用/覆盖数据来源不同,有不同的分类方法<sup>[4]</sup>。多数区域气候模式(包括 RIEMS2.0)模拟用到的土地利用/覆盖数据为较早的美国地质调查所 the United States Geological Survey(USGS)发布的土地利用/覆盖数据,中国现代大多数地区经历高强度土地利用变化,具有复杂多样的特点,该模式中 USGS 资料不能准确反映中国土地利用/覆盖特征。中国科学院地理科学与资源研究所最新开发了土地利用/覆盖数据库,该数据库选取遥感影像资料,利用调查统计资料进行订正,在高分辨率数据库基础上进行升尺度方法,同时采取更加合理的分类方法,是较为准确的资料。因此,急需基于新土地利用/覆盖资料进行 RIEMS2.0 模拟性能检验,来应用于中国区域气候的模拟。

另外,土地利用/覆盖变化与陆-气耦合联系<sup>[5]</sup>,将影响地面能量平衡<sup>[6-7]</sup>,进而影响气温变化,这些影响不仅会表现在年均值上,也会表现在不同季节上。过去很多学者对中国区域进行了这方面 LUCC 模拟研究<sup>[8-10]</sup>,但是对造成中国不同季节气温变化和地面通量之间关系进行深入分析的研究很少<sup>[11-12]</sup>。本文利用 USGS 和中科院地理所新开发的 LUC90 两种土地/利用覆盖资料,来进行土地利用/覆盖变化对中国区域气候模拟影响的长期模拟试验,其结果不仅可以检验基于新资料的模拟效果,而且也有助于对 LUCC 的不同季节气温的效应更加全面地认识。

## 1 模式、资料与分析方法

### 1.1 模式与资料

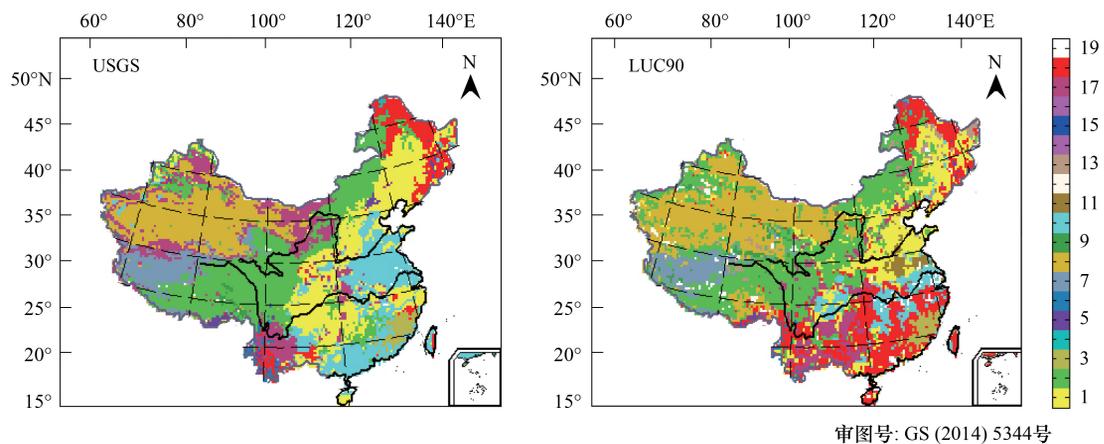
本研究采用中国科学院大气物理研究所全球变化东亚区域研究中心,研究开发的区域环境集成系统模式(RIEMS2.0),它是在 RIEMS1.0 基础上开发的区域气候模式,该模式对于季风亚洲区多年平均环流特征、气温和降水具有较好的模拟性能<sup>[13-15]</sup>,并参加区域气候模式比较计划 RMIP(Regional climate Model Inter-comparison Project),在区域气候模拟方面有良好的表现<sup>[16]</sup>。

在本研究中,RIEMS2.0 采用辐射方案为 National Center for Atmospheric Research Community Climate Model 3(NCAR CCM3)方案<sup>[17]</sup>,CCM3 辐射方案是在 CCM2 基础上,短波部分加进了气溶胶影响,长波部分加进了痕量气体如甲烷、氮氧化物影响。陆面过程使用 Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme 1e(BATS1e)<sup>[18]</sup>,行星边界层方案使用 Medium Research Forecast(MRF)方案,积云对流参数化方案选择 Grell 方案<sup>[19]</sup>。

初始场和侧边界场由美国国家环境预测中心再分析资料 NCEP II 得到,其中侧边界方案采用指数松弛边界方案。模式的水平分辨率为 30 km,中心位于(123°E,46°N),采用 lambert 投影方式,模式模拟的范围包括整个中国区域。

本研究所用到的土地利用/覆盖数据是来自中国科学院地理科学与资源研究所最新开放的土地利用/覆盖数据库,它能更好反映中国土地利用/覆盖的现实特征。采用该数据库中的 1990 年土地利用/覆盖数据资料(即 LUC90 资料)。设计两组数值模拟试验,第一个为 USGS 试验,中国土地利用/覆盖采用模式原有美国地质调查所的植被分类数据 USGS 1990 年资料。第二个为 LUC90 试验,中国土地利用/覆盖采用 LUC90 资料。采用 BATS 分类方法,将这两种土地覆盖资料转化为模式读取 18 种植被/土地覆盖类型:1 农田/混合农田(雨养农田),2 短草,3 常绿针叶林,4 落叶针叶林,5 落叶阔叶林,6 常绿阔叶林,7 高草,8 沙漠,9 苔原,10 灌溉农田,11 半沙漠,12 冰盖,13 沼泽-湿地,14 内陆水,15 海洋,16 常绿灌木,17 落叶灌木,18 混交林。图 1 为 USGS 资料和 LUC90 资料的空间分布,从这两种土地利用/覆盖资料在中国的差异可以看出,USGS 资料(图 1),农田植被面积过大,与实际的土地利用/覆盖不符合,并且没有合理的灌溉类型,而 LUC90 资料(图 1),包含更为精确的雨养农田、灌溉农田等数据。

在两次模拟试验中,除了中国土地利用/覆盖资料有差异外,其余模式参数方案设置均相同,进行两个积分模拟,积分时间从 1990 年 1 月 1 日到 2001 年 2 月 28 日,其中 1990 年为积分稳定时间(Spin-up)时段,分析 1991 年 3 月 1 日到 2001 年 2 月 28 日总共 10a 的数据。



审图号: GS (2014) 5344号

图 1 USGS 和 LUC90 中国土地利用/覆盖类型分布图

Fig. 1 Land use/cover type maps in China in USGS and LUC90

## 1.2 分析方法

用于模拟检验的观测气温资料是 CN05 资料<sup>[20]</sup>。CN05 在高分辨模式的模拟检验中,得到了广泛的应用。由于该资料是  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  格点资料,为了便于进行与观测资料进行定量比较,将观测资料采用双线性插值的方法,插值成  $30\text{km} \times 30\text{km}$  的观测结果。

将 LUC90 试验和 USGS 试验 10 年平均结果进行差异分析,来表征土地利用/覆盖资料变化对中国区域气候模拟的影响。同时,对两个试验变化的模拟结果进行统计显著性检验。所采用的检验方法是 student-*t* 检验,将变化结果中通过置信度 95% 的 *t* 检验的格点,认为是通过显著性检验 ( $P < 0.05$ ),将变化结果中通过置信度 99% 的 *t* 检验的格点,认为是通过显著性检验 ( $P < 0.01$ )。对两试验的距平变化进行研究,来分析土地利用/覆盖变化对年际变化模拟的影响,对比年际变化分析采用的观测气温也为 CN05 资料,并进行统计显著性检验。

同时,为了揭示中国小尺度现象和特征,进行不同季节分区的研究。夏季包括 6 月、7 月和 8 月,冬季包括 12 月、1 月和 2 月。根据土地利用/覆盖变化格点分布、气候特性和地理特点,将中国地区分成 3 个重点研究区域,分别为东北区 (NE) ( $39^{\circ}\text{N} - 54^{\circ}\text{N}$ ,  $119^{\circ}\text{E} - 134^{\circ}\text{E}$ )、华北区 (CN) ( $32^{\circ}\text{N} - 39^{\circ}\text{N}$ ,  $111^{\circ}\text{E} - 122^{\circ}\text{E}$ ) 和华南区 (CS) ( $27^{\circ}\text{N} - 32^{\circ}\text{N}$ ,  $106^{\circ}\text{E} - 122^{\circ}\text{E}$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 对气温的影响

#### 2.1.1 气温变化

图 2 为中国不同季节平均气温变化的空间分布 (LUC90-USGS)。从图中可以看出,中国地区土地利用/覆盖变化对平均气温的影响具有明显的季节变化特点,以往研究也发现这一特征<sup>[11]</sup>。对夏季来说,中国地区气温升高 0.28℃,其中东北西部、陕西北部,华北气温升高超过 1℃,河北、湖南以及黄河流域中游等地区,通过显著检验 ( $P < 0.05$ )。对冬季来说,中国地区气温升高 0.09℃,要比夏季气温升高的范围和幅度都小很多,东北中部、贵州和广西一带区域气温升高,其中在吉林西部、长三角等地区显著升高 ( $P < 0.01$ ),河北部分、西藏南部气温降低幅度较大,降低 1℃ 以上,但只有小部分区域显著降低 ( $P < 0.01$ )。采用 LUC90 资料后,中国区域最明显的变化特征是,东部夏季气温大面积升高。

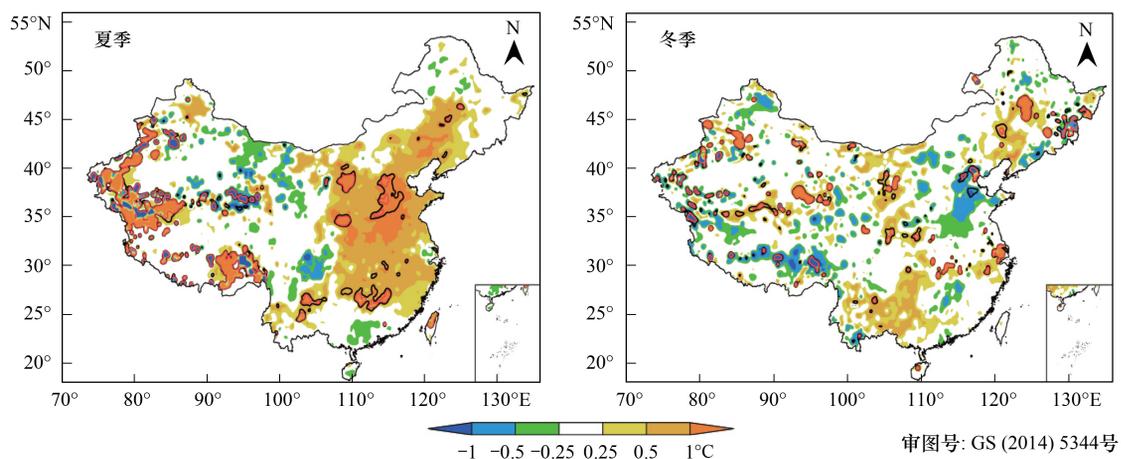


图 2 采用 LUC90 资料后多年平均气温变化

Fig.2 Mean surface air temperature change pattern in summer and in winter

红色线区域内为  $t$  检验置信度超过 99% 显著性水平的地区,黑色线区域内为  $t$  检验置信度超过 95% 显著性水平的地区)

LUC90 对不同季节气温有不同的影响,也相应改变 RIEMS2.0 对不同季节气温的模拟能力,可以通过试验模拟与观测值的偏差变化进行比较分析。图 3 为中国多年不同季节平均气温模拟与观测偏差的空间分布。表 1 为中国及 3 个分区多年平均气温模拟与观测的偏差。采用 LUC90 资料后。对夏季来说,中国地区平均气温的暖偏差增加,各分区中只有东北 (NE) 平均气温的偏差减少,且通过极显著性检验 ( $P < 0.01$ ) (表 1, 图 3)。对冬季来说,气温模拟与观测偏差的模拟改进效果好于夏季,中国地区气温的偏差减少 0.09℃,各分区中除了华北 (CN) 外其他各区气温的偏差减小,对华南 (CS) 的模拟效果有明显的改善,偏差减少 0.22℃,并通过显著性检验 ( $P < 0.05$ )。

表 1 多年平均气温模拟与观测值的偏差/℃

Table 1 Mean surface temperature bias in China and its regions

分区 Region	夏季 Summer			冬季 Winter		
	USGS <sup>1</sup> -CN05 <sup>2</sup>	LUC90 <sub>3</sub> -CN05	LUC90-USGS	USGS-CN05	LUC90-CN05	LUC90-USGS
中国 China	1.15	1.43	0.28 **	-1.52	-1.43	0.09
东北 NE <sup>4</sup>	-0.32	-0.02	0.30 **	-5.43	-5.27	0.16
华北 CN <sup>5</sup>	0.47	1.43	0.94 **	-2.70	-2.88	-0.18 *
华南 CS <sup>6</sup>	0.50	0.88	0.38 **	-0.53	-0.31	0.22 *

1: 美国地质调查所资料试验 United States Geological Survey data; 2: 0.5°×0.5°中国日资料格点数据 0.5°×0.5° daily temperature dataset over China; 3: 1990 年土地利用/覆盖资料试验 Land use/cover 1990 data; 4: 东北 Northeast; 5: 华北 China North; 6: 华南 China South; \* 为通过置信度 95% 的显著性检验; \*\* 为通过置信度 99% 的显著性检验

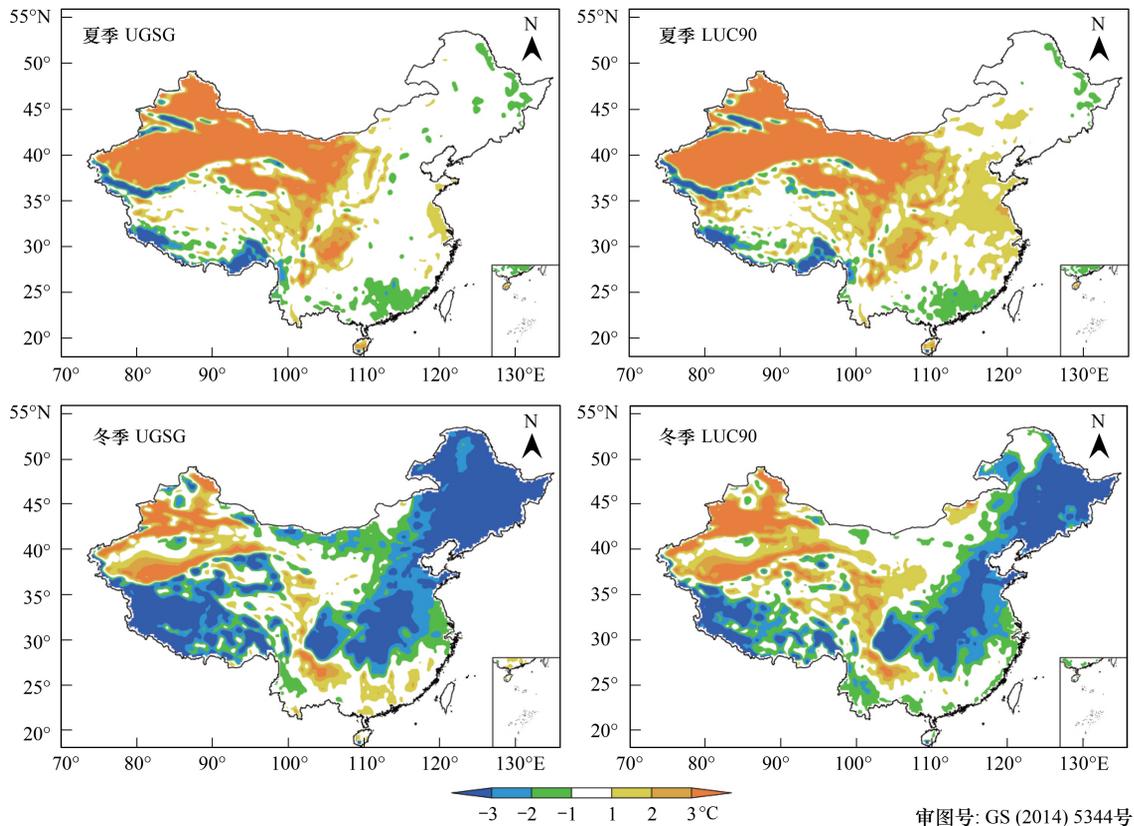


图3 多年平均气温模拟与观测偏差的空间分布

Fig.3 Mean surface temperature bias (simulation minus observation) pattern in summer USGS and LUC90;in winter USGS and LUC90

2.1.2 对气温年际变率的影响

在气候平均态和季节气候变化的分析基础上,对气候的距平年际变化进行分析,采用观测气温资料 CN05 进行比较验证。通过计算两个试验不同季节气温的距平,可以消除模拟结果中的系统偏差,更清楚地发现,土地利用/覆盖变化对中国气温年际变化的影响。表 2 为中国及分区两试验模拟距平变化曲线与观测相关系数,可以发现,RIEMS2.0 对冬季距平模拟与观测的相关系数较好。采用 LUC90 资料后,对冬季来说,在中国及华北、华南距平模拟与观测的相关系数都有增加,对其冬季气温年际变率模拟能力有很大提高。对夏季来说,只有华北距平模拟与观测的相关系数增加,对其夏季气温年际变率模拟能力略有改进。

表 2 1991—2000 年气温距平模拟与观测的相关系数

**Table 2 Temperature anomaly correlation between simulations and observations in China and its regions (1991—2000)**

季节 Season	中国 China		东北 NE		华北 CN		华南 CS	
	USGS	LU90	USGS	LU90	USGS	LU90	USGS	LU90
夏季 Summer	0.80 **	0.78 **	0.97 **	0.96 **	0.40	0.42	0.31	0.27
冬季 Winter	0.84 **	0.85 **	0.93 **	0.92 **	0.73 *	0.76 *	0.69 *	0.72 *

\* 为通过置信度 95% 的显著性检验、\*\* 为通过置信度 99% 的显著性检验

2.2 对气温影响的作用机理

土地利用/覆盖变化通过粗糙度、地表发射率、叶面积指数等地表参数的改变,影响能量平衡,从而引起气温变化,并且它们之间存在着复杂的关系<sup>[21]</sup>。地表气温变化可能是净吸收辐射量变化引起的<sup>[22]</sup>,也可能是净吸收辐射量中感热通量和潜热通量间分配造成的<sup>[2]</sup>。LUCC 使得中国及不同分区不同季节气温变化,理解气温的变化机理,需要对地面通量变化分析(表 3)。

对夏季来说,中国地区潜热通量显著降低  $2.62 \text{ W/m}^2$  ( $P < 0.01$ ),感热通量显著增加  $1.48 \text{ W/m}^2$  ( $P < 0.01$ ),净吸收辐射通量增加  $0.05 \text{ W/m}^2$ ,潜热通量、感热通量和净吸收辐射通量变化与气温变化的空间相关系数分别为  $-0.49$ 、 $0.70$ 、 $0.01$ ,夏季潜热通量变化的空间分布和气温变化的空间分布有很好的负相关,LUCC 主要通过潜热通量变化来影响中国夏季气温的变化。从不同分区来看,3 个分区夏季潜热通量都降低,感热通量增加,并且对应气温升高,从各分区通量变化与气温变化的空间相关系数来看,潜热通量的变化是东北和华北气温变化的主导因素,潜热通量减少是东北和华北气温增加的原因,其中华北夏季潜热通量降低最多 ( $-7.88 \text{ W/m}^2$ ),其变化与气温变化负相关系数的绝对值最大 ( $-0.67$ ),因此,温度降低也是分区中最大的 ( $0.94^\circ\text{C}$ )。

对冬季来说,中国地区潜热通量显著降低  $0.37 \text{ W/m}^2$  ( $P < 0.01$ ),感热通量增加  $0.03 \text{ W/m}^2$ ,净吸收辐射显著降低  $0.19 \text{ W/m}^2$  ( $P < 0.01$ ),潜热通量和感热通量变化与气温变化的空间相关系数分别为  $0.10$ 、 $0.30$ ,净吸收辐射通量变化和气温变化的空间相关系数增加到  $0.29$ ,可见冬季净吸收辐射通量变化对气温变化的影响作用增强,但是潜热通量降低引起的增温作用仍对中国冬季气温变化有很大影响,导致中国气温略有升高 ( $0.09^\circ\text{C}$ )。从不同分区来看,3 个分区净辐射通量变化与气温变化有很好的正相关,由于冬季潜热通量变化较夏季小,并且潜热通量变化与气温变化空间相关系数减少,通过潜热通量对气温影响作用也变小,而净吸收辐射通量变化与气温变化的空间相关系数增加,对气温变化的影响作用大于潜热通量(蒸散发)对气温变化的作用,净吸收辐射通量增加是东北和华南气温增加主要原因,其中东北的冬季净吸收辐射通量增加 ( $0.18 \text{ W/m}^2$ ),其变化与气温变化的相关系数也比其他两个分区大 ( $0.69$ ),净吸收辐射通量对气温增加起主导作用。华北区净辐射通量减少,气温降低,华北区净辐射通量对气温作用超过潜热通量对气温变化的影响,使得气温显著降低 ( $-0.18^\circ\text{C}$ )。

所以,土地利用/覆盖变化通过影响潜热通量的变化和净吸收辐射通量的变化来影响不同季节气温的变化,夏季潜热通量变化对气温变化的贡献较冬季大,而冬季净辐射通量变化对气温变化的贡献较夏季大。

表 3 土地利用/覆盖变化后地面通量变化及其与气温变化的空间相关系数(斜线后)

Table 3 Mean surface air temperature change in China and its regions, and their spatial correlation with flux change (values to right of slashes)

分区 Region	净吸收辐射通量/( $\text{W/m}^2$ ) the Net absorbed radiation flux		潜热通量/( $\text{W/m}^2$ ) the Latent flux		感热通量/( $\text{W/m}^2$ ) the sensible flux	
	夏季 Summer	冬季 Winter	夏季 Summer	冬季 Winter	夏季 Summer	冬季 Winter
中国 China	0.05/0.01	-0.19**/0.29	-2.62**/-0.49	-0.37**/0.10	1.48**/0.70	0.03/0.30
东北 NE	0.74*/-0.06	0.18/0.69	-0.78*/-0.59	0.04/0.79	1.16**/0.67	-0.31**/0.77
华北 CN	-1.20/-0.46	-0.74**/0.32	-7.88**/-0.67	-0.64*/0.78	5.22**/0.74	1.45**/-0.26
华南 CS	2.17**/0.09	0.63**/0.38	-3.56**/-0.09	-0.55**/-0.09	2.18**/0.54	0.02/0.45

\* 为通过置信度 95% 的显著性检验; \*\* 为通过置信度 99% 的显著性检验

### 2.3 不同分区中雨养农田类型变化对不同季节气温的影响

从图 1 中对比可以发现,中国地区 LUC90 资料相对于 USGS 资料来说,变化最多的格点类型是雨养农田 3311 个格点,这格点主要集中在中国东部地区,其中 1506 个格点变为灌溉农田,772 个格点变为森林,435 个格点变为短草,中国土地利用/覆盖变化的主要特征是雨养农田面积减少,主要转变为森林、短草和灌溉农田。中国不同分区这 3 种土地利用/覆盖类型变化与气温变化有密切的联系,在不同分区对不同季节气温的影响也有不同特征。图 4 为 3 种土地覆盖变化格点上不同分区季节气温和地面通量变化,从图 4 中可以清楚发现,华北和华南夏季地面通量变化幅度比冬季大,气温变化幅度也比冬季大。虽然同样为增温过程不同土地覆盖变化过程中地面通量变化对气温影响明显不同。

从雨养农田格点变为森林分析,对夏季来说,东北、华北夏季潜热通量增加,很多学者在高纬度地区也得到类似的结论,而在中纬度的农田管理效率高的地区,农田变为森林可能导致蒸发的降低,潜热降低<sup>[23]</sup>,这在夏季更为突出,这是因为在水分供应充分的情况下,农作物有更高的蒸发率<sup>[23-24]</sup>,因此,华南夏季潜热通量下降,并且幅度很大。对冬季来说,Snyder 等<sup>[25]</sup>认为由于冬季和春季积雪的作用,冬季净辐射通量在高纬度

地区变化更大,东北和华北在冬季也有同样的表现(图4)。雨养农田格点变森林对不同季节的影响,与 Dong 等<sup>[11]</sup>中得到的结论一致,即在冬季高纬度净辐射通量变化对气温的贡献较大,而在夏季低纬度的蒸发散(潜热)变化对气温的影响较大。

从雨养农田格点转变为短草分析,对夏季来说,3个分区净吸收辐射通量减少,潜热通量减少,雨养农田和短草在夏季有相似的地表反照率,变为短草净吸收辐射通量减小,但是生长季雨养农田比短草的叶面积指数、地表粗糙度更大,雨养农田变为短草后,蒸散发减少,潜热通量减少,气温升高,这是由于潜热通量变化成为主导作用的结果<sup>[23]</sup>。对冬季来说,华北和华南净吸收辐射减小、潜热减少,东北农田变为短草后净吸收辐射增加,潜热增加。这是冬季短草小于东北收割后农田的地表反照率,农田变为短草,使得冬季净吸收辐射增加(使得气温升高),潜热通量增加(使得气温降低),两者作用净吸收辐射作用更大,所以气温升高。

从雨养农田格点转变为灌溉农田分析,对夏季来说,3个分区净吸收辐射通量增加,潜热通量增加。对冬季来说,东北和华北灌溉在冬季停止,吸收辐射通量降低,潜热通量增加。华南净吸收辐射减少,潜热通量却减少,并且中国多数分区冬季感热通量变化与气温变化没有很好对应,这是可能由于本研究采用的区域气候模式 RIEMS2.0 中的陆面过程参数表述不合理,并且灌溉农田的土壤湿度设置与实际的灌溉农田存在一定的差别,所以未来仍需进一步改进灌溉农田的参数化方案。

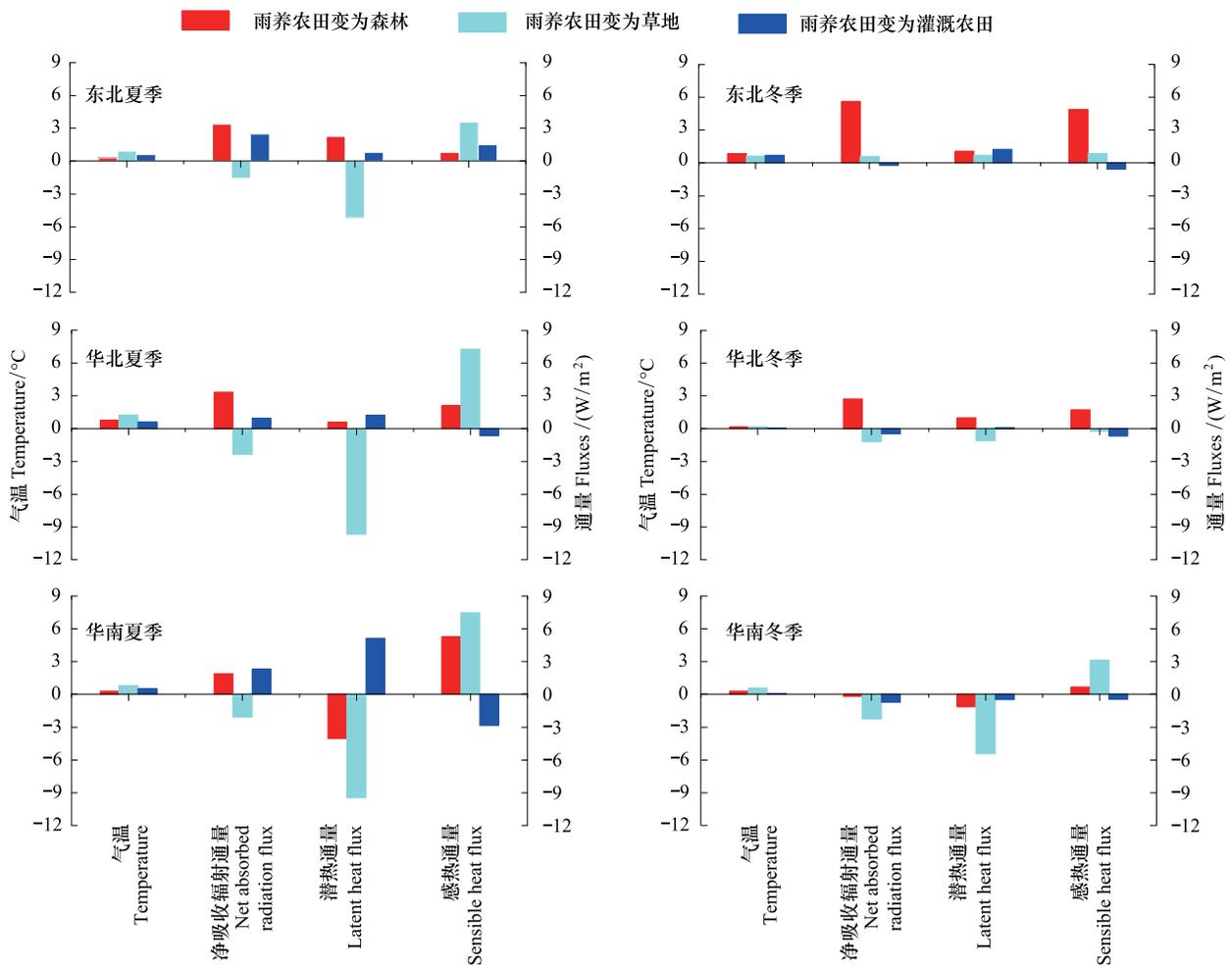


图4 中国夏季不同分区农田变化格点上多年平均气温和地面通量变化

Fig.4 Surface fluxes and surface temperature change at the different types of grid points between simulations and observations

### 3 讨论

本文基于最新的 LUC90 资料,利用 RIEMS2.0 对中国进行长时间高分辨率的模拟,比较与模式原有 USGS

资料下模拟的差异,分析土地利用/覆盖资料变化对气温及地面通量的影响。结果表明:

(1) 土地利用/覆盖资料对区域气候模拟有重要影响。中国区域土地利用/覆盖具有复杂多样的特点,准确反映中国土地利用/覆盖特征一直是过去相关研究中棘手的问题。本文所用的中国土地利用/覆盖资料,是选取遥感影像资料,利用调查统计资料进行订正,进行升尺度合成,并采取更加合理的分类方法,得到较为准确的资料,应用新的土地利用/覆盖资料对于中国气候模拟具有重要意义。

(2) 采用新的土地利用/覆盖资料后,中国及多数分区夏季和冬季气温都升高,对东北夏季气温模拟能力提高,对中国及多数分区冬季的模拟能力有提高。RIEMS2.0 对中国气温年际变率有很好的模拟能力,采用 LUC90 资料后,中国及华北和华南冬季气温年际变率模拟有很大提高能力,改进效果好于夏季,华北的改进好于东北和华南。LUCC 造成这种增温是与地面通量的变化密切相关的,并且相关程度会随分区和季节表现不同的差异,夏季潜热通量变化对气温变化的贡献较冬季大,而冬季净辐射通量变化对气温变化的贡献较夏季大,不同分区是因为纬度造成的地面通量分配的变化影响气温的变化。

(3) 雨养农田转变为森林、短草和灌溉对气温和地面通量的影响不同,相同土地利用/覆盖变化的在不同分区对其影响也不一样。在夏季,农田变为短草的潜热通量减少,随着纬度降低,减少幅度变大;在冬季,农田变为森林的净吸收辐射增加,随着纬度降低,增加幅度变小。另外,不同类型土地利用/覆盖变化对气候的影响不仅限于近地面通量,它通过能量交换,影响到大气环流,进而会影响东亚季风的模拟,在以后的研究中需要探讨其引起季风的变化。

(4) LUCC 使得华北夏季和冬季气温的模拟与观测值差值增大,这可能是由于本研究中对城市化土地利用类型考虑不足,仅将城市类型简化处理,这显然与真实地城市类型有差异。雨养农田变为灌溉农田后,华南冬季灌溉农田增加没有使得潜热通量增加,多数分区对感热通量模拟效果有待提高,这是可能由于 BATS1e 中灌溉农田的土壤湿度设为定值,尚未考虑其随时间的变化,参数表达与实际的灌溉农田存在一定的差别。所以,不仅要通过提高土地利用/覆盖资料提高资料准确性来提升 RIEMS2.0 的模拟能力,未来也要改进城市和灌溉等地表物理过程的参数化,考虑更多的耦合过程,让区域模式更好地反映这土地利用类型和这些物理参数之间的关系。

另外,在未来研究中,区域气候模式中不仅要考虑土地利用/覆盖变化的生物地球物理效应,而且也要考虑土地利用/覆盖变化的生物地球化学效应。综合分析土地利用/覆盖变化、温室效应和气溶胶对气候变化的相对贡献,将为气候变化的归因和检测分析提供依据。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] Pielke R A, Pitman A, Niyogi D, Mahmood R, McAlpine C, Hossain F, Goldewijk K K, Nair U, Betts R, Fall S, Reichstein M, Kabat P, de Noblet N. Land use/land cover changes and climate: Modeling analysis and observational evidence. *WIREs Climatic Change*, 2011, 2(6): 828-850.
- [ 2 ] Pitman A J, de Noblet-Ducoudré N, Cruzl F T, Davin E L, Bonan G B, Brovkin V, Claussen M, Delire C, Ganzeveld L, Gayler V, van den Hurk B J J M, Lawrence P J, van der Molen M K, Müller C, Reick C H, Seneviratne S I, Strengers B J, Voldoire A. Uncertainties in climate responses to past land cover change: First results from the LUCID intercomparison study. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36(14): L14814, doi: 10.1029/2009GL039076.
- [ 3 ] Mahmood R, Quintanar A I, Conner G, Leeper R, Dobler S, Pielke R A, Beltran-Przekurat A, Hubbard K G, Niyogi D, Bonan G, Lawrence P, Chase T, McNider R, Wu Y L, McAlpine C, Deo R, Etter A, Gameda S, Qian B D, Carleton A, Adegoke J O, Vezhapparambu S, Asefi S, Nair U S, Sertel E, Legates D R, Hale R, Frauenfeld O W, Watts A, Shepherd M, Mitra C, Anantharaj V G, Fall S, Chang H I, Lund R, Treviño A, Blanken P, Du J Y, Syktus J. Impacts of land use/land cover change on climate and future research priorities. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2010, 91(1): 37-46.
- [ 4 ] Ge J J, Qi J G, Lofgren B W, Moore N, Torbick N, Olson J M. Impacts of land use/cover classification accuracy on regional climate simulations. *Journal of Geophysical Research*, 2007, 112(D5): D05107, doi: 10.1029/2006JD007404.
- [ 5 ] Diffenbaugh N S. Influence of modern land cover on the climate of the United States. *Climate Dynamics*, 2009, 33(7/8): 945-958.
- [ 6 ] Levis S. Modeling vegetation and land use in models of the Earth system. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 2010, 1(6): 840-856.

- [ 7 ] Seneviratne S I, Corti T, Davin E L, Hirschi M, Jaeger M H, Lehner I, Orlowsky B, Teuling A J. Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 2010, 99(3/4): 125-161.
- [ 8 ] Suh M S, Lee D K. Impacts of land use/cover changes on surface climate over east Asia for extreme climate cases using RegCM2. *Journal of Geophysical Research*, 2004, 109(D2): D02108, doi: 10.1029/2003JD003681.
- [ 9 ] Takata K, Saito K, Yasunari T. Changes in the Asian monsoon climate during 1700-1850 induced by preindustrial cultivation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2009, 106(24): 9586-9589.
- [ 10 ] 高学杰, 张冬峰, 陈仲新, Pal J S, Giorgi F. 中国当代土地利用对区域气候影响的数值模拟. *中国科学(D辑): 地球科学*, 2007, 37(3): 397-404.
- [ 11 ] Dong S Y, Yan X D, Xiong Z. Varying responses in mean surface air temperature from land use/cover change in different seasons over northern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3): 167-171.
- [ 12 ] 董思言, 延晓冬, 熊喆. 东北农田扩张对气候影响的数值模拟. *气候与环境研究*, 2014, 19(3): 351-361.
- [ 13 ] 赵得明, 符淙斌, 延晓冬. 区域环境集成模拟系统 RIEMS2. 0 对中国多年降水和气温模拟能力分析. *科学通报*, 2009, 54(16): 2379-2387.
- [ 14 ] 熊喆, 符淙斌, 延晓冬. 区域环境集成系统模式以及对我国夏季季风的模拟研究. *科学通报*, 2009, 54(18): 2826-2834.
- [ 15 ] Zhao D M. Performance of Regional Integrated Environment Modeling System (RIEMS) in precipitation simulations over East Asia. *Climate Dynamics*, 2013, 40(7/8): 1767-1787.
- [ 16 ] Fu C B, Wang S Y, Xiong Z, Gutowski W J, Lee D K, McGregor J L, Sato Y, Kato H, Kim J W, Suh M S. Regional climate model intercomparison project for Asia. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2005, 86(2): 257-266.
- [ 17 ] Kiehl J T, Hack J J, Bonan G B, Boville B A, Briegleb B P, Williamson D L, Rasch P J. Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). NCAR Technical Note NCAR/TN-420+STR, Colorado: NCAR, 1996, 160pp.
- [ 18 ] Dickinson R E, Henderson-Sellers A, Kennedy P J. Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model. NCAR Technical Note NCAR/TN-387+STR, 1993.
- [ 19 ] Grell G A. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly Weather Review*, 1993, 121(3): 764-787.
- [ 20 ] Xu Y, Gao X J, Shen Y, Xu C H, Shi Y, Giorgi F. A daily temperature dataset over China and its application in validating a RCM simulation. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2009, 26(4): 763-772.
- [ 21 ] de Noblet-Ducoudré N, Boisier J P, Pitman A, Bonan G B, Brovkin V, Cruz F, Delire C, Gayler V, Van den Hurk B J J M, Lawrence P J, Van der Molen M K, Müller C, Reick C H, Strengers B J, Voldoire A. Determining robust impacts of land-use-induced land cover changes on surface climate over North America and Eurasia: results from the first set of LUCID experiments. *Journal of Climate*, 2012, 25(9): 3261-3281.
- [ 22 ] IPCC. *Climate Change 2007: the physical science basis* // Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt K B, Tignor M, Miller H L, eds. *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007: 129-234.
- [ 23 ] Bonan G B. *Ecological Climatology: Concepts and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002, 678pp.
- [ 24 ] Puma M J, Cook B I. Effects of irrigation on global climate during the 20th century. *Journal of Geophysical Research*, 2010, 115(D16): D16120, doi: 10.1029/2010JD014122.
- [ 25 ] Snyder P K, Delire C L, Foley J A. Evaluating the influence of different vegetation biomes on the global climate. *Climate Dynamics*, 2004, 23(3/4): 279-302.