

基于 MODIS 的三江平原农业扩张对农区气温的影响

周 晔, 郝芳华, 欧阳威*, 齐莎莎, 赵旭晨

(北京师范大学环境学院, 环境模拟与污染控制国家重点联合实验室, 北京 100875)

摘 要:土地利用变化所引起地表水热特征变化已成为地理学家与气象学家共同关注的焦点问题,其中包括土地利用变化对气温的影响。以中分辨率成像光谱仪(Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer, 简称 MODIS)的遥感影像为数据源,获取了挠力河中游 2001 年和 2008 年的土地利用数据;利用中尺度气象模式(Mesoscale Model 5, 简称 MM5)对这一时期全球分析资料(Final Operational Global Analysis, 简称 FNL 资料)来源的 2 m 气温数据进行了降尺度处理,据此分析了土地利用变化与农区气温之间的关系。结果表明:(1)过去 8 年间,研究区内最为明显的土地利用变化方向是农田的扩张和种植结构的调整;(2)2001 年和 2008 年各土地利用类型的月平均气温差异显著;(3)各种土地类型转变为谷类作物和阔叶作物,气温均有所上升,其中“落叶阔叶林转变为谷类作物”和“落叶阔叶林转变为阔叶作物”气温上升幅度最大。研究结果说明农田扩张影响了农区气温,林地开垦为农田以及“旱改水”导致气温上升。

关键词:气温;农田扩张;土地利用;MODIS;MM5;灌溉

中图分类号:S161.2 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2013)05-1036-08 doi:10.11654/jaes.2013.05.023

The Influence of Farmland Expansion Using MODIS Data on Temperature in an Agricultural Area of Sanjiang Plain

ZHOU Ye, HAO Fang-hua, OUYANG Wei*, QI Sha-sha, ZHAO Xu-chen

(School of Environment, State Key Laboratory of Water Environment Simulation, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: The response of land surface thermal characteristics to land use conversions has become an issue for geographers and meteorologists and the impact on temperature is the key concern. This paper analyzed the influence of farmland expansion on temperature in an agricultural area in Sanjiang plain. Using two images of moderate-resolution imaging spectroradiometer (MODIS), the spatial information of regional land use in 2001 and 2008 were acquired. The Mesoscale model 5 (MM5) was applied to downscale the data of temperature with the height of 2 meters derived from the final operational global analysis (FNL) data and to obtain monthly mean temperature of corresponding periods with a lower resolution. The results revealed that there was an obvious difference between monthly mean temperature in 2001 and 2008. The expansion of farmland and the conversion of cereal crop and broadleaf crop were the major patterns of land use variations in the past 8 years. Converting other types of land use to cereal crop and broadleaf crop resulted in temperature declining. The conversions of deciduous broadleaf trees to these two crops caused more intensive decline in temperature. Reclaiming forest land for farmland and shifting dry farm to paddy field both led to the temperature rising. The study demonstrated that spatial distribution of temperature in the agricultural area was influenced by farmland expansion.

Keywords: temperature; farmland expansion; land use; MODIS; MM5; irrigation

随着人口的急剧增长和社会经济的发展,人类活动对自然环境的干扰强度日益增大,如砍伐森林、农

田扩张和城市化等。人类活动改变了土地利用类型,导致地表特征发生变化,进而影响局地气候。研究表明,土地利用变化对区域尺度气候变化的影响是不容忽视的^[1-2]。土地利用变化改变了陆地表层物质和能量循环过程,导致生态系统结构和群落组成发生变化,直接表现为下垫面反照率、粗糙度及植被覆盖比例的变化,使近地层温度、湿度、风速等发生变化^[3]。

目前,很多学者研究土地利用变化对地表温度的影响^[4-7],而区域气温对土地利用变化响应的研究主要

收稿日期:2012-10-09

基金项目:国家自然科学基金重点基金(No. 40930740);“十二五”科技支撑项目(2012BAD15B05);青年基金项目(41001317);教育部博士点新教师项目(20100003120030);农业行业公益项目(20103014)

作者简介:周 晔(1988—),女,河北石家庄人,硕士,研究方向为遥感应用和区域气候。E-mail:zhouye1900@yahoo.com.cn

* 通信作者:欧阳威 E-mail:wei@bnu.edu.cn

集中于城市化及热岛效应^[8-11],关于农业扩张对气候的影响多是研究农田灌溉的作用。研究表明,农田灌溉主要通过潜热和感热的重新分配,起到降低农区气温的作用^[12-14]。

植被覆盖度的大小也会影响气温。孙智辉等的研究表明在全球变暖的大气候下,黄土高原的吴起县在退耕还林(草)后,与周边县相比,2001—2007年的气温升高趋势减缓,植被覆盖变化已对温度产生影响^[15]。Wang等利用MM5模式研究了1700—1990年土地利用变化对中国区域性气候的影响,结果表明在森林转变为低草或农田的地区,地面温度升高,比湿和潜热通量减小,大气层中温、湿特性也发生了明显变化^[16]。植被覆盖度高的土地类型,有助于截留雨水和蓄积土壤水分,湿度越大,潜热通量增大,气温降低;而地表植被覆盖度增加,地表反照率减小,可以吸收的太阳辐射增多,积累的热量增加,气温随之升高^[17]。两者所引起的气候变化是不同的。本文以农垦地区为研究区域,定量分析农业扩张下土地利用的变化以及农业扩张对农区气温影响的空间格局和变化规律,为农业活动和土地资源开发利用提供科学支持和决策依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

黑龙江省三江平原是国家重要的商品粮基地,过去的十几年,耕地面积快速扩展,湿地面积急剧减少,林地退缩,草地几乎被农田所代替,其中林地向耕地转换主要集中在七台河、鸡西和双鸭山所辖市、县^[18-21]。地处这一带的挠力河流域,是三江平原粮食生产基地的重要组成部分^[22]。研究区域选择挠力河中游的流域,地处东经131°52′~133°39′,北纬45°57′~47°4′,总面积9 856.84 km²,其中约8 511.33 km²分布在双鸭山市,约1 331.29 km²分布在佳木斯市。该区域主要河流为挠力河,另外大索伦河、蛤蟆通河、外七星河和七里沁河等支流汇入挠力河,其中蛤蟆通水库位于蛤蟆通河上游。气候属中温带大陆性季风气候,夏季高温多雨,冬季干冷而漫长,年均温1.6℃,1月平均气温-21.6℃,7月平均气温21.4℃,年均降水量约为565.0 mm,蒸发量542.4 mm^[23]。该区域主要种植水稻、玉米和大豆等农作物,其中水稻、玉米属于谷类作物,大豆是阔叶作物。根据TM影像(分辨率30 m)解译的土地利用数据表明,2000年和2006年研究区域主要土地利用类型为农田和林地,分别占研究区域面积的73.37%和80%。2000—2006年研究区域农田面积增

加,其中水稻面积增加3.74%,玉米和大豆面积共增加3.44%,增加的水田面积几乎全部来源于旱地的转化(占2006年水田面积的27.01%),说明这一时期“旱改水”的明显作用。

1.2 土地利用数据

MODIS是EOS-AM1系列卫星的主要探测仪器,也是EOS Terra和Aqua平台上唯一进行直接广播的光学遥感仪器,具有36个光谱通道,分布在0.4~14.5 μm电磁波谱范围内,地面分辨率分别为250、500、1000 m,扫描宽度为2330 km^[24]。研究采用LP DAAC(Land Process Distributed Active Archive Center)发布的2001年和2008年的MODIS土地利用数据,并对土地利用影像进行重投影、拼接以及切割,最后得到统一大小和分辨率(500 m)的图像。MODIS土地利用类型有11种(Class),分别为水体(0)、常绿针叶林(1)、常绿阔叶林(2)、落叶针叶林(3)、落叶阔叶林(4)、灌木丛(5)、草地(6)、谷类作物(7)、阔叶作物(8)、城市和建设用地(9)、裸地或低植被覆盖地(11)。

1.3 气温数据与处理

气温数据来自于美国国家环境预报中心(NCEP)和国家大气中心(NCAR)发布的FNL资料,空间分辨率为1°×1°,时间间隔为6 h。本文使用中尺度气象模式MM5对气温数据进行降尺度处理,分别选取2001年和2008年4月至9月的2 m气温,作为MM5的初始气象场,水平范围以132.84°E、46.65°N为中心,网格格距为3 km,格点数为80×80。利用美国马里兰大学开发的气象数据分析显示软件GrADS(Grid Analysis and Display System),计算各个土地利用类型的2 m气温,并输出各月平均气温分布图。

另外,收集了三江平原八五九农场气象站1964—2010年的逐日2 m气温数据,采用Mann-Kendall检验法来检验气温变化趋势。若UF值大于0,则表明序列呈上升趋势;小于0则表明呈下降趋势;当超过临界值(±1.96)时,表明上升或下降趋势显著(α=0.05)。

2 结果与讨论

2.1 2001—2008年间的土地利用类型变化

从图1看出,研究区域最主要的土地利用类型是谷类作物,其次是落叶阔叶林,2001年谷类作物占研究区域总面积的61.72%,落叶阔叶林为25.80%,2008年谷类作物为66.99%,落叶阔叶林为23.94%。阔叶作物的面积远远小于谷类作物,在2001年仅为6.20%,2008年为6.69%。2001—2008年间各类土地

的面积变化,总体上表现为谷类作物和阔叶作物的扩张,落叶阔叶林、草地、落叶针叶林和灌木丛的缩小,常绿针叶林面积有所增加。谷类作物面积由 2001 年的 61.72%增加至 2008 年的 66.99%,而落叶阔叶林的面积由 2001 年的 25.80%减至 2008 年的 23.94%。

表 1 为各类土地的转变方向,主要是落叶阔叶林、落叶针叶林、灌木丛、草地转变为谷类作物以及谷类作物与阔叶作物的相互转变,体现了农田的扩张和种植结构的调整。这一时期,谷类作物增加 519.80 km²,新增面积主要来源于落叶阔叶林、落叶针叶林、灌木丛和草地。2001 年阔叶作物面积为 611.56 km²,到 2008 年为止,其中 579.76 km² 转化为谷类作物,而 2001 年的谷类作物种植区有 622.89 km² 改为种植阔叶作物,阔叶作物种植区向西南方向移动。2001—2008 年间,谷类作物和阔叶作物新增面积 567.62 km²,占研究区域总面积的 5.77%,耕地面积进一步增加。

2.2 2001 和 2008 年气温时空分布对比分析

利用 Mann-Kendall 检验法分析三江平原 1964—2010 年的年平均气温变化趋势,计算出统计序列 UF 和 UB,图 2 中水平直虚线为 $\alpha=0.05$ 的显著性水平临界值。从图 2 可以看出,三江平原从 20 世纪 70 年代发生气候突变后,气温一直处于上升状态,1989—2000 年气温上升趋势超过 0.05 显著性水平,表明气温上升趋势显著,从 2001 年开始气温上升趋势减缓。2001—2008 年 UF 值一直维持在 1.96 左右,表明这一时期气温处于上升阶段。

从 2001 年和 2008 年的 12 幅气温分布图上可以看出(图 3、图 4),气温分布呈现一定的地带性,气温最高值一般出现在研究区域中部,然后向边界逐渐递减。递减层次最明显的地区分布在东部边界附近地区。由于研究区域的东北地区 and 西南地区有山地分布,平原向山地过渡,同时植被类型由农田向林地转

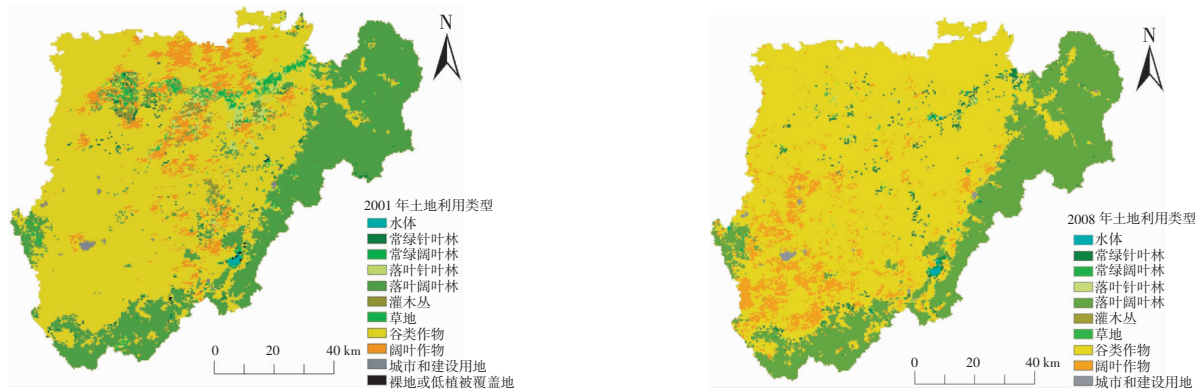


图 1 2001 和 2008 年挠力河中游土地利用类型图

Figure 1 Land use in the basin of the middle reaches of the Naoli river in 2001 and 2008

表 1 挠力河中游 2001 年至 2008 年各类土地的转变面积矩阵(km²)

Table 1 Change matrix of land use types from 2001 to 2008 in the basin of the middle reaches of the Naoli river(km²)

2001 年	2008 年									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	3.51	0	0	0.16	0	0.50	0.61	0	0
1	0.25	3.10	0	0.32	4.35	1.24	0.59	46.11	1.95	0.02
2	0	0.27	0	0	0.33	0	0	2.99	0	0
3	1.45	8.29	0.31	2.39	9.86	1.56	1.61	138.21	0.60	0
4	1.29	17.07	1.35	6.42	2 208.96	1.75	4.38	288.55	12.88	0.16
5	1.32	6.18	0	1.76	7.38	0.83	1.31	137.51	1.39	0
6	2.55	12.36	0.01	3.79	14.21	2.92	2.08	135.39	1.98	0.08
7	1.96	52.06	0.33	4.70	114.26	3.70	9.97	5 271.97	622.89	1.70
8	0.16	7.74	0.01	0.65	0.47	1.71	3.68	579.76	17.37	0.01
9	0	0	0	0	0.04	0	0	1.67	0.32	26.97
11	0.78	1.98	0	0	0	0	0	0.56	0	0

变,气温逐渐降低。最低气温区域通常出现在东北和西南的区域边界上,正是海拔较高的山地地区。

与2001年相比,2008年4月和6月气温有所升高,而5月的气温显著下降。4月气温分布呈现相似性,2001年和2008年的南部地区气温普遍高于其他地区,而最高气温区域以斑块的形式出现在这一地区。5月和6月,两年的气温分布均出现差异。2001年南部气温高于北部,这是因为北部有大片的林地和草地,而南部主要是农田;2008年由于农田的扩张,北部部分土地改为农田,气温差异减小。7月气温相差

不大,主要集中在294.5~299 K的范围。两年在中部地区均分布着4个298.5~299 K的斑块,说明土地利用的变化对该区域的气温影响不大。2001年7月北部有一带状地区气温略低于周围区域,这一区域是林地和草地分布带,7月植被覆盖度较高,对降低气温起到一定作用。2001年8月气温主要分布在293.5~297.5 K,而2008年8月气温主要集中在294~296.5 K,2008年同一区域的气温均低于2001年。两年的8月气温分布图呈现一些形状相似的斑块,这可能与地形分布有关。2001年9月大部分地区气温为285.5~

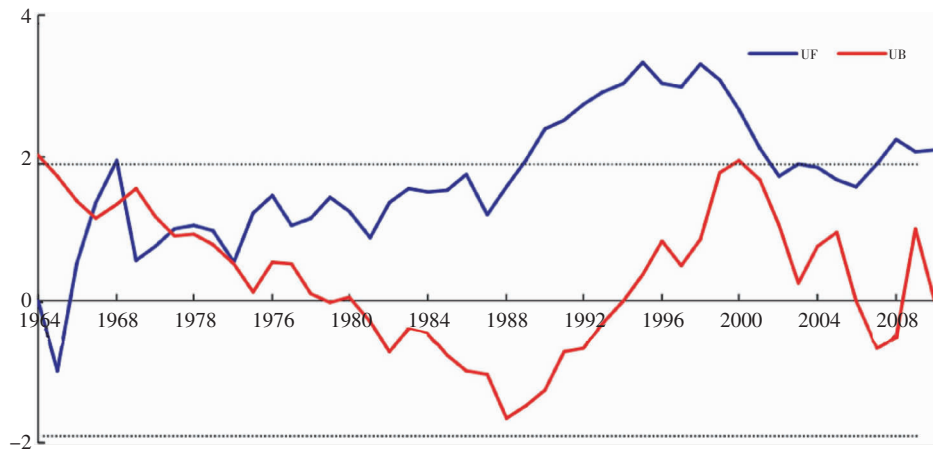


图2 三江平原年平均气温 Mann-Kendall 检验结果图

Figure 2 Mann-Kendall test result of annually mean temperature in Sanjiang Plain

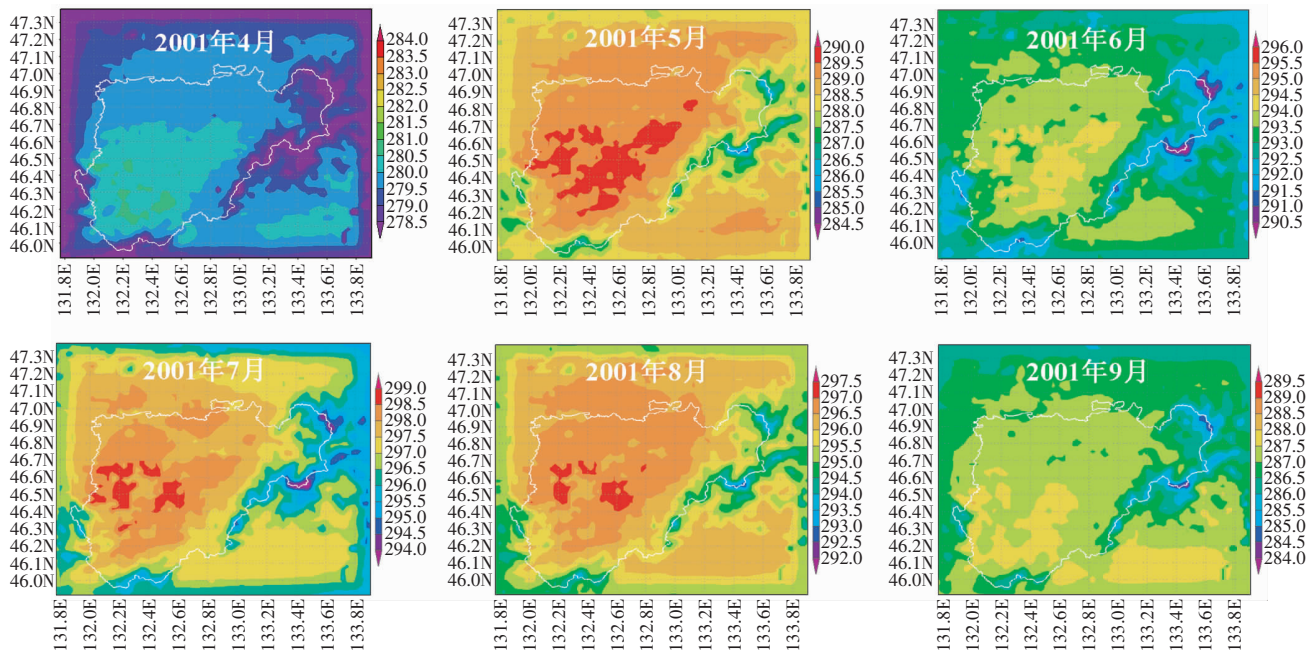


图3 2001年月平均气温空间分布(单位:K)

Figure 3 Spatial distribution of monthly mean temperature in 2001(unit:K)

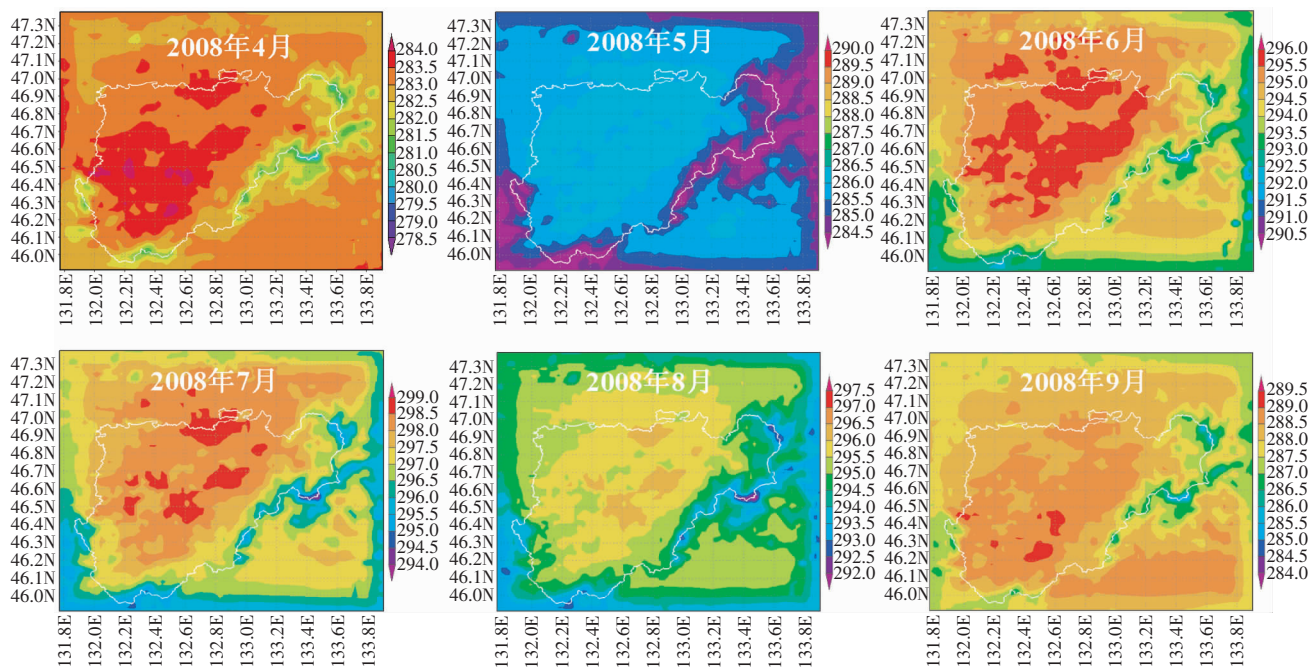


图4 2008年月平均气温空间分布(单位:K)

Figure 4 Spatial distribution of monthly mean temperature in 2008(unit:K)

288 K,2008年9月大部分地区气温为286.5~289 K,同一地区2008年9月气温略高。同时,2008年的气温分布更加均匀,这与农田的扩张和林地的消失有关。

2.3 气温与土地利用类型之间的关系

2008年与2001年相比,4月、6月和9月各土地利用类型平均气温均有所升高,5月和8月各土地利用类型的气温均有所下降,7月各土地利用类型气温变化不大。10种土地利用类型中,通常落叶阔叶林气温最低(图5)。针对各种土地利用类型,分别计算2001年和2008年6个月逐日气温的平均值。2001年各种土地利用类型的平均气温由低到高依次为落叶阔叶林<水体<草地<落叶针叶林<常绿针叶林<灌木丛<谷类作物<常绿阔叶林<阔叶作物<城市 and 建设用地。2008年各种土地利用类型的平均气温由低到高依次为落叶阔叶林<常绿阔叶林<落叶针叶林<草地<灌木丛<常绿针叶林<谷类作物<水体<阔叶作物<城市 and 建设用地。落叶阔叶林的平均气温最低,而城市 and 建设用地的气温最高,其次是阔叶作物较低。

阔叶作物种植地区的平均气温高于谷类作物种植地区,这是由于谷类作物中水稻各个生长期的需水量较大,从5月泡田开始,插秧到返青期、分蘖期、拔节孕穗期、抽穗灌浆期以及乳熟黄熟期均需要维持一定深度的水层。灌溉使地表净辐射在潜热通量和感热

通量之间的分配发生了较大的改变,潜热通量增加,感热通量减少,对地表起冷却作用;同时由于土壤湿度增加,蒸散作用增强,大气中水汽含量增加,潜热不稳定能量增加,导致对流性降水增加,均起到降低气温的作用^[14]。

为了证明2001年和2008年的气温差异是否显著,对4月至9月的各土地利用类型的月平均气温进行了6组配对样本的 t 检验。结果表明,各月的 t 检验全部表现为差异显著(取 $\alpha=0.05$),即2001年和2008年4月至9月的月平均气温差异显著。

2.4 气温与土地利用变化的关系

2001年和2008年研究区域气温空间格局的差异与地表植被分布有直接关系。2001—2008年土地利用变化影响了各地区的平均气温分布(表2)。各种土地利用类型转变为谷类作物和阔叶作物,气温均有所上升,其中落叶阔叶林转变为谷类作物和阔叶作物的区域,气温上升幅度最大。落叶阔叶林转化为其他土地利用类型,气温均有所上升。其他土地利用类型转化为落叶阔叶林,气温均降低。可见,农田扩张导致气温升高,而种植落叶阔叶林有助于降低局部气温。由于生长期林地蒸腾作用大于农田,同时茂密的树冠阻碍了太阳辐射加热空气,使林地的气温比农田低。

谷类作物和阔叶作物的新增种植区,气温变化也有所不同,不同土地利用类型来源的区域的气温变化

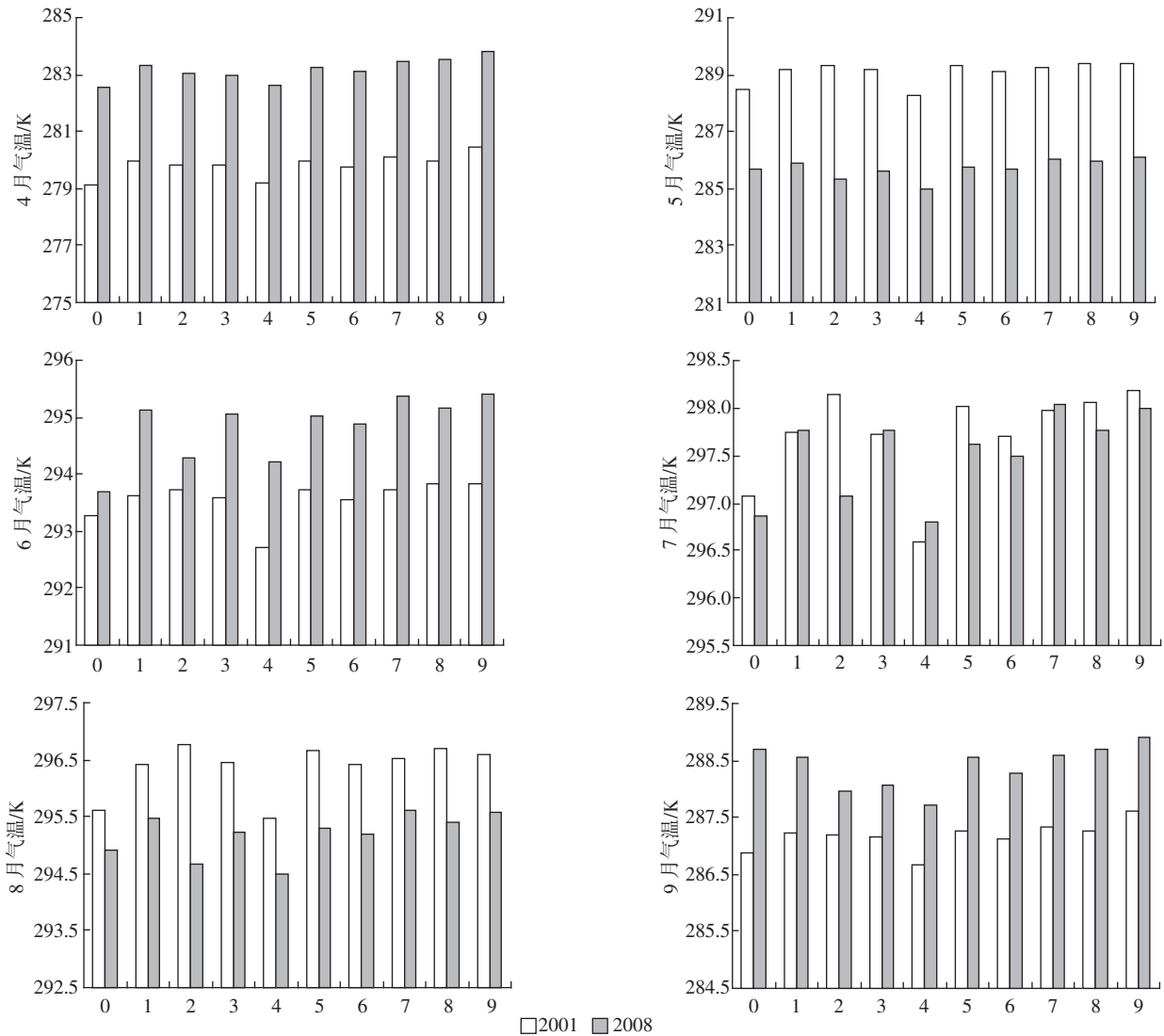


图 5 2001 年和 2008 年各土地利用类型的平均气温

Figure 5 Monthly mean temperature of each land type in 2001 and 2008

表 2 挠力河中游各类土地利用变化所对应的平均气温变化(单位:K)

Table 2 Relation between mean temperature difference and land use changes in the basin of the middle reaches of the Naoli river(unit:K)

Class	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		0.909			0.023		0.661	1.070		
1	-0.347	0.295		0.065	-0.592	0.193	0.046	0.455	0.360	0.566
2		0.157			-0.729			0.318		
3	-0.310	0.331	-0.307	0.102	-0.555	0.230	0.083	0.492	0.397	
4	0.526	1.167	0.529	0.938	0.281	1.066	0.919	1.328	1.232	1.439
5	-0.480	0.162		-0.067	-0.724	0.060	-0.087	0.323	0.227	
6	-0.278	0.363	-0.275	0.134	-0.523	0.262	0.115	0.524	0.428	0.635
7	-0.481	0.160	-0.477	-0.069	-0.726	0.059	-0.088	0.321	0.226	0.432
8	-0.529	0.112	-0.526	-0.117	-0.774	0.011	-0.136	0.273	0.178	0.384
9					-0.921			0.126	0.030	0.237

幅度存在差异(表 3 和表 4)。4 月和 6—9 月,落叶阔叶林改种谷类作物气温增幅最大;与 2001 年相比,

2008 年 5 月各土地利用类型气温均下降,其中落叶阔叶林改种谷类作物气温下降幅度最小。城市和建设

表3 2001—2008年挠力河中游各土地利用类型
改种谷类作物的气温变化(单位:K)

Table 3 Temperature changes in agricultural area shifting other
land use types to cereal crops from 2001 to 2008(unit:K)

Class	土地利用类型	4月	5月	6月	7月	8月	9月
1	常绿针叶林	3.557	-3.133	1.744	0.281	-0.804	1.347
2	常绿阔叶林	3.688	-3.259	1.653	-0.115	-1.167	1.381
3	落叶针叶林	3.674	-3.146	1.772	0.321	-0.852	1.447
4	落叶阔叶林	4.271	-2.231	2.673	1.443	0.131	1.927
5	灌木丛	3.554	-3.281	1.632	0.020	-1.064	1.343
6	草地	3.711	-3.097	1.822	0.327	-0.838	1.483
8	阔叶作物	3.521	-3.331	1.532	-0.023	-1.115	1.322
9	城市和建设用地	3.042	-3.378	1.524	-0.151	-1.003	0.976

表4 2001—2008年挠力河中游各土地利用类型
改种阔叶作物的气温变化(单位:K)

Table 4 Temperature changes in agricultural area shifting other
land use types to broadleaf crops from 2001 to 2008(unit:K)

Class	土地利用类型	4月	5月	6月	7月	8月	9月
1	常绿针叶林	3.609	-3.199	1.529	0.021	-0.990	1.454
3	落叶针叶林	3.726	-3.212	1.557	0.061	-1.038	1.554
4	落叶阔叶林	4.323	-2.297	2.458	1.183	-0.055	2.034
5	灌木丛	3.606	-3.347	1.417	-0.240	-1.250	1.450
6	草地	3.763	-3.163	1.607	0.067	-1.024	1.590
7	谷类作物	3.478	-3.313	1.414	-0.198	-1.126	1.366
9	城市和建设用地	3.094	-3.444	1.309	-0.411	-1.189	1.083

用地改种谷类作物,4月、6月和9月气温增加幅度最小,5月、7月和8月则气温下降幅度最大。各土地利用类型中,落叶阔叶林改种阔叶作物,4月、6月、7月和9月气温增幅最大,在气温普遍降低的5月和8月气温下降幅度最小;城市和建设用地的改种阔叶作物,4月、6月和9月气温增幅最小,5月、7月气温减小幅度最大,8月气温减小幅度仅小于灌木丛。说明在9种主要的土地利用类型中,落叶阔叶林调节小气候的能力最强,气温比其他土地利用类型低,因此转化为谷类作物后温度增幅最大,在气温普遍下降的月份,气温下降幅度最小。而城市与建设用地植被覆盖最低,对气候的调节能力最差。

3 结论

(1)2001—2008年间,耕地面积由2001年的68.08%上升至2008年的73.85%,表明农业是研究区域的主要社会经济活动,林地被砍伐,草地被开发,农田在持续扩张。

(2)气温的空间分布受地形影响,因此2001年

和2008年的气温分布呈现相似的地带性,遵循海拔越高,气温越低的规律。气温的空间分布与土地利用类型有关,研究区域的空间异质性越高,气温分布的斑块特征越明显,说明不同的土地利用类型气温有所差异。

(3)配对样本的 t 检验表明,2001年和2008年4月至9月的气温差异显著,即土地利用的变化显著地影响了区域气温。

(4)土地利用变化所对应的平均气温变化表明,开垦林地和草地,改为种植农作物会导致平均气温升高。尤其是落叶阔叶林地区改为农田,气温升高最大。一方面是落叶阔叶林对气温的调节作用优于其他土地利用类型,另一方面农田的扩张导致地表植被覆盖下降,土壤水分减少和空气湿度下降。

(5)农业新增种植区的气温变化与植被类型和植被覆盖度密切相关,落叶阔叶林对农区小气候的调节作用最强,而城市与建设用地的调节作用最差。植被覆盖度越高,蒸腾作用越强,可以更有效地阻挡太阳辐射,起到降低气温和增加湿度的作用。

(6)国家增产千亿斤商品粮计划战略部署,重点是发展东北地区的“旱改水”,目的是扩大高产作物水稻种植面积、增产增效。挠力河中游流域种植阔叶作物的地区气温高于谷类作物,验证了水稻田的湿地效应。水稻的蒸发量与水面一样,甚至超过水面,能有效降低地表温度,增加湿度,加快近地层水汽循环,调节气候。

(7)在三江平原的农业开发和土地整改过程中,尽量减少开垦林地,尤其是落叶阔叶林,应充分发挥其对气候的调节作用,减轻干热天气,有利于涵养土壤水分,防止水土流失;适当加强作物结构调整,旱地改为种植水稻,既能充分发挥水稻的湿地效应,调节气候,也有助于粮食产量增加,从而实现地区农业的可持续发展。

参考文献:

- [1] Bridget L. Thrasher, Lisa C. Sloan. Land cover influences on the regional climate of western North America during the early Eocene[J]. *Global and Planetary Change*, 2010, 72(1-2):25-31.
- [2] 李巧萍, 丁一汇, 董文杰. 中国近代土地利用变化对区域气候影响的数值模拟[J]. *气象学报*, 2006, 64(3):257-270.
LI Qiao-ping, DING Yi-hui, DONG Wen-jie. A numerical simulation on impact of historical land-use changes on regional climate in China since 1700[J]. *Acta Meteorologica Sinica*, 2006, 64(3):257-270.
- [3] Heiko Paeth, Kai Born, Robin Girmes, et al. Regional climate change in Tropical and Northern Africa due to greenhouse forcing and land use

- changes[J]. *Journal of Climate*, 2009, 22(1):114-132.
- [4] Jiang Jing, Tian Guangjin. Analysis of the impact of land use/land cover change on land surface temperature with remote sensing[J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2:571-575.
- [5] 戚鹏程, 赵传燕, 冯兆东, 等. 干旱荒漠区土地利用变化对地表温度的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(11):310-316.
- QI Peng-cheng, ZHAO Chuan-yan, FENG Zhao-dong, et al. Influence of land use change on land surface temperature in arid desert region[J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(11):310-316.
- [6] 高志强, 宁吉才, 高 炜. 基于遥感的沿海土地利用变化及地表温度响应[J]. 农业工程学报, 2009, 25(9):274-281.
- GAO Zhi-qiang, NING Ji-cai, GAO Wei. Response of land surface temperature to coastal land use/cover change by remote sensing[J]. *Transactions of the CSAE*, 2009, 25(9):274-281.
- [7] 刘雪华, 邱 志. 土地利用/覆被变化对小流域地表温度的影响[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(3):126-133.
- LIU Xue-hua, QIU Zhi. Impacts of land use/cover change to land surface temperature in small watershed[J]. *Environmental Science & Technology*, 2011, 34(3):126-133.
- [8] Kevin P Gallo, Timothy W Owen, David R Easterling. Temperature trends of the U.S. historical climatology network based on satellite - designated land use/land cover[J]. *Journal of Climate*, 1999, 12:1344-1348.
- [9] 谢志清, 杜 银, 曾 燕, 等. 长江三角洲城市带扩展对区域温度变化的影响[J]. 地理学报, 2007, 62(7):717-727.
- XIE Zhi-qing, DU Yin, ZENG Yan, et al. Impact of urbanization on regional temperature change in the Yangtze River Delta[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(7):717-727.
- [10] 王咏薇, 蒋维楣, 季崇萍, 等. 土地利用变化对城市气象环境影响的数值研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2006, 42(6):562-581.
- WANG Yong-wei, JIANG Wei-mei, JI Chong-ping, et al. Simulation of the land-use change effect on urban meteorological environment[J]. *Journal of Nanjing University(Natural Sciences)*, 2006, 42(6):562-581.
- [11] 杜东升, 林文实, 李江南, 等. 珠江三角洲地区土地利用变化对夏季6月气候的影响[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2010, 49(1):138-144.
- DU Dong-sheng, LIN Wen-shi, LI Jiang-nan, et al. Effect of land use change on summer monthly climate over the Pearl River Delta[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2010, 49(1):138-144.
- [12] Ingjerd Haddeland, Dennis P Lettenmaier, Thomas Skaugen. Effects of irrigation on the water and energy balances of the Colorado and Mekong river basins[J]. *Journal of Hydrology*, 2006, 324:210-223.
- [13] Noah S. Diffenbaugh. Influence of modern land cover on the climate of the United States[J]. *Climate Dyn*, 2009, 8(33):945-958.
- [14] 毛慧琴, 延晓冬, 熊 喆, 等. 农田灌溉对印度区域气候的影响模拟[J]. 生态学报, 2011, 31(4):1038-1045.
- MAO Hui-qin, YAN Xiao-dong, XIONG Zhe. Modeled impact of irrigation on regional climate in India[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(4):1038-1045.
- [15] 孙智辉, 雷延鹏, 任继帮, 等. 退耕前后吴起地区土地利用变化对温度的影响[J]. 气象, 2010, 36(12):109-115.
- SUN Zhi-hui, LEI Yan-peng, REN Ji-bang, et al. The impact of land-use change on temperature as revealed by satellite images of Wuqi, Shaanxi Province[J]. *Meteorological Monthly*, 2010, 36(12):109-115.
- [16] Wang H, Pitman A J, Zhao M, et al. The impact of land-cover modification on the June meteorology of China since 1700, simulated using a regional climate model[J]. *International Journal of Climatology*, 2003, 23(5):511-527.
- [17] 王开存, 王建凯, 王普才, 等. 用MODIS反演北京城市地区地表反照率精度以及算法改进[J]. 大气科学, 2008, 32(1):67-74.
- WANG Kai-cun, WANG Jian-kai, WANG Pu-cai, et al. The accuracy of MODIS albedo over Beijing urban area and its algorithm improvement[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2008, 32(1):67-74.
- [18] 陆忠军. 三江平原土地利用状况的时空特征分析[J]. 黑龙江农业科学, 2011(6):131-134.
- LU Zhong-jun. Space-time characteristic analysis of the land use status in the Sanjiang Plain [J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2011(6):131-134.
- [19] Ouyang Wei, Huang Haobo, Hao Fanghua, et al. Evaluating spatial interaction of soil property with non point source pollution at watershed scale: The phosphorus indicator in Northeast China[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, 432:412-421.
- [20] Ouyang Wei, Xu Yiming, Hao Fanghua, et al. Effect of long-term agricultural cultivation and land use conversion on soil nutrient contents in the Sanjiang Plain[J]. *CATENA*, doi:10.1016/j.catena.2012.12.002.
- [21] Ouyang Wei, Qi Shasha, Hao Fanghua, et al. Impact of crop patterns and cultivation on carbon sequestration and global warming potential in an agricultural freeze zone[J]. *Ecological modeling*, 2012, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2012.05.009.
- [22] 姚允龙, 王 蕾, 吕宪国, 等. 挠力河流域河流径流量对气候变化的敏感性分析[J]. 地理研究, 2012, 31(3):409-416.
- YAO Yun-long, WANG Lei, LÜ Xian-guo, et al. Assessing the sensitivity of runoff to climate change in Naoli River watershed, Northeast China[J]. *Geographical Research*, 2012, 31(3):409-416.
- [23] 王 蕾, 姚允龙, 吕宪国. 1956年—2005年挠力河径流演变特征及影响因素分析[J]. 资源科学, 2009, 31(4):648-655.
- WANG Lei, YAO Yun-long, LÜ Xian-guo. Tendency and periodicity of annual runoff of Naoli River from 1956 to 2005[J]. *Resources Science*, 2009, 31(4):648-655.
- [24] 李谢辉, 塔西甫拉提·特依拜, 黄 镇. 基于MODIS数据的土地覆盖变化与气候因子敏感性分析研究 [J]. 资源科学, 2006, 28(3):102-107.
- LI Xie-hui, Tashpolat·Tiyip, HUANG Zhen. Sensitivity analysis on land cover change and climatic factors based on MODIS data[J]. *Resources Science*, 2006, 28(3):102-107.