

基于 MODIS 数据的黑龙江省黑土带地温空间格局分析

于晓静, 刘焕军, 曲长祥, 张新乐, 胡言亮, 汤 娜

(东北农业大学 资源与环境学院, 哈尔滨 150030)

摘 要:地温与春旱是黑龙江省农业生产的重要限制因子。2009 年与 2010 年 5 月的气候异常对农业生产与管理产生显著影响。研究地表温度格局与动态变化规律及其对农业生产的影响, 将为农业相关部门指导农耕提供科学依据。利用 MODIS 数据, 对 2009 年和 2010 年 5 月中旬的两期地表温度(LST)数据进行分析, 建立温度矢量空间格局; 分析导致地表温度格局变化的成因。结果表明: (1) 2009 年和 2010 年 5 月的 LST 存在明显的空间格局差异。2009 年 5 月的比 2010 年 5 月 LST 均值高约 6.8 K。 (2) 地表温度变化受下垫面状况影响显著。不同的土地利用类型对 LST 的贡献不同。 (3) 不同的土壤类型在旱涝年份对地表温度影响不同, 黑土和黑钙土, 团粒结构性好, 田间持水量能力强, 保水能力好, 耐旱抗涝的能力比其他的土壤强得多, 对 LST 的保持贡献最大; 土壤的含水量与 LST 成正比相关。 (4) 地势较低时, 地表温度受多种因素的共同作用, DEM 变化对 LST 作用不大; 随着地势的增加, DEM 成为影响地表温度的主要因素。

关键词:黑土带; 地表温度; 反演; 空间分析

中图分类号: S161.2; TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2012)02-0066-05

Study on the Spatial Pattern of Land Surface Temperature in Black-soil Zone, Heilongjiang Province

YU Xiao-jing, LIU Huan-jun, QU Chang-xiang, ZHANG Xin-le, HU Yan-liang, TANG Na

(College of Resources and Environment, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Land Surface temperature and drought are the important limiting factors on agricultural production in Heilongjiang Province. Abnormal climate of May 2009 and 2010 had a significant impact on agricultural production and management. Patterns and dynamics of temperature variation and the impact on agricultural production, agriculture-related sectors will provide the scientific basis for farming. By using MODIS data, the land surface temperature data of May 2009 and 2010 were analyzed. The two images were divided 5 levels by density segmentation and mask processing technology, and then the temperature pattern vector space was established. This paper discussed the character of patches of land surface temperature with different level after the temperature zoning by using the analysis method of landscape pattern. On the base of analysis, it discussed the reason for change of land surface temperature(LST) pattern. The results show that: (1) there was a clear spatial LST pattern differences between 2009 and 2010, in May. The average LST of 2009 is about 6.8 K higher than 2010; (2) LST is significantly affected by the underlying surface conditions, different land use types contribute to different LST; (3) different soil types in the drought years have the different impact on surface temperature, black soil and chernozem had a good structural aggregate, strong field capacity, water retention ability, the ability of drought waterlogging of these soils is much better than the other, and to make the greatest contribution to keeping the LST, soil moisture was positively correlated with LST; (4) in the low-lying, the LST was affected by many factors, the change in DEM has the little influence on the LST. With the increase in terrain, DEM is the main factors affecting land surface temperatures.

Key words: black-soil zone; land surface temperature; retrieve; spatial analysis

收稿日期: 2011-08-05

修回日期: 2011-09-06

资助项目: 哈尔滨市科技局科技创新人才基金项目(RC2010QN002051); 东北农业大学博士启动基金项目(190151)

作者简介: 于晓静(1986—), 女, 山东潍坊人, 硕士研究生, 研究方向: 农业遥感与利用。E-mail: xiaojingyu2005@163.com

地表温度(Land Surface Temperature, LST)是地球资源监测和地表生态环境系统研究的重要指标,也是区域和全球尺度地表物理过程的一个关键因子^[1-3]。地表温度是研究地表与大气之间物质交换和能量平衡的重要参数,在气候变化、水文循环、生态环境等研究具有重要意义。

随着遥感技术的快速发展,许多学者利用热红外遥感影像反演大面积、甚至是全球的地温资料,并取得了一些成果。Price 利用大气辐射传输理论,对大气的影响作简化处理后提出了分裂窗算法^[4-5]。Jimenez—Munoz 等在辐射传输方程的基础上通过对普朗克方程在地表温度附近的线性展开等手段,得出的普适性单窗地表温度反演公式^[6-8]。我国学者覃志豪通过对比分析这些分裂窗算法,提出了一种相对比较简单,且反演精度较高的分裂窗算法^[9-10]。程好好研究了城市绿地类型与地表热环境分异之间的关系,从景观尺度上阐述城市绿地结构和格局差异与地表温度空间分异之间的关系^[11]。张新乐反演长春市的地表温度,探讨不同土地利用类型的空间组合格局对城市热环境的影响^[12]。这些研究大都针对城市地表温度,研究的内容多倾向于城市热岛效应与土地利用类型的关系分析,由于城市受人为活动的影响较为显著,是城市地表温度和景观格变化的关键因素;本研究的区域是黑土带,土地利用类型以耕地为主,是我国重要的商品粮基地;而地温与春旱是东北地区春播与农业生产的重要限制因子,并且近几年的气候变化波动较大,因此,分析黑土带的地表温度变化以及成因有着重要的研究意义。

本研究利用 MODIS 数据反演出的温度数据分析 2009 年和 2010 年 5 月温度格局差异及其成因。一方面,利用 GIS 空间分析方法对两年 5 月份的 LST 进行分析,观察不同年份黑土带的地表温度变化,对黑龙江省黑土带的空间格局进行定量研究;另一方面,对温度进行分等定级,统计各等级的温度,分析气候因素、土壤含水量、土壤类型、土地利用类型及地形对温度格局的影响。

1 资料与方法

1.1 研究区概况

我国东北黑土带是世界黑土三大片区之一,黑龙江省黑土总面积为 114.25 万 hm^2 ,占全省土壤总面积的 24.6%,主要分布在哈尔滨至北安铁路沿线的两侧,嫩江中游地区、小兴安岭和长白山两侧^[13]。黑土带土地资源丰富,黑土层较厚,肥力高,腐殖质含量高,结构疏松,持水能力强,通透性良好,雨热同季,生

长季 5—9 月,日照时数由西南向东北逐渐减少,为 1 217~1 374 h。平原地区年降水 470 mm,沿山地边缘雨量较多,为 470~550 mm,基本上由东向西递减。无霜期 120~150 d,适宜农业生产,是中国重要的商品粮基地^[14-15]。保证黑土地得以永续和合理使用无疑是加强农业基础建设的重大问题。

1.2 地表温度反演方法

本文在反演黑土带地区的地表温度时,采用的是 MODIS L1B 数据,为 2009 年和 2010 年 5 月 10 日到 5 月 17 日连续 8 d 影像数据,空间分辨率为 1 000 m。所选依据是 5 月中旬为黑龙江省农田耕作的时间,从气象资料看,2010 年降雨从四月底一直持续到五月,晴朗天气较少;2009 年 5 月气温偏高,全区无云覆盖较少。采用 MODIS L1B 数据,通过了云检验,可以消除云对 LST 的影响,基本上代表黑土带 5 月的整体温度空间分布状况。

本文采用的算法是覃志豪^[16-17]提出的适用于 MODIS 数据的地表温度反演算法,对黑龙江省黑土带的两景地表温度进行了反演。其计算公式如下:

$$\text{LST} = A_0 + A_1 T_{31} - A_2 T_{32} \quad (1)$$

式中: LST——地表温度(K); T_{31} , T_{32} ——MODIS 第 31 和 32 波段的亮度温度, A_0 , A_1 , A_2 ——分裂窗算法的参数,其中 A_0 , A_1 , A_2 的计算需要以下几个参数:

(1)亮度温度的计算。亮度温度可以通过对普朗克方程求逆直接计算出。对 MODIS 数据第 31 和 32 波段分别应用普朗克函数,简化得到亮温计算公式:

$$T_i = K_{i2} / \ln(1 + K_{i1} / I_i) \quad (2)$$

式中: K_{i1} , K_{i2} ——常量; I_i ——MODIS 第 i ($i = 31, 32$) 波段的热辐射强度 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$]。

(2)大气透过率的计算。地表温度遥感反演所需要的大气透过率通常是通过大气传输模型来模拟大气透过率与大气水分含量之间的关系,然后再根据大气水分含量来估计大气透过率。大气水分含量的计算公式为

$$T_{(949/846)} = \exp(\alpha - \beta \sqrt{\omega}) \quad (3)$$

式中: ω ——水汽含量; $T_{(940/846)}$ ——大气水汽吸收波段地面反射率与大气窗口波段地面反射率的比值; α , β ——参数,分别取 $\alpha = 0.02$, $\beta = 0.651$ 。

1.3 地表比辐射率的计算

MODIS 图像的地表比辐射率计算公式为

$$\epsilon_i = P_v R_v \epsilon_{iv} + (1 - P_v) R_s \epsilon_{is} + d\epsilon \quad (4)$$

式中: ϵ_{iv} , ϵ_{is} ——植被和裸土在第 i ($i = 31, 32$) 波段的地表比辐射率; R_v , R_s ——植被和裸土的温度比率; P_v ——像元的植被覆盖率。将各种参数计算的结果代入公式(1)计算陆地表面温度。经过前人验证,该

方法需要参数少、计算简单且反演精度高,被认为是较好的算法之一。

2 数据处理

本研究首先基于黑龙江省 1:100 万土壤图提取黑土带范围(Black—soil),在 ArcGIS 中利用

Black—soil 对反演 LST 数据进行裁剪,提取黑土带 LST 数据。根据像元所占的比例,将两年 5 月的温度划分为 5 个等级,形成高温区、较高温区、中温区、较低温区和低温区 5 级温度格局,所占的比例分别为 10%,20%,40%,20%,10%。温度等级划分如表 1 所示。

表 1 2009 年与 2010 年温度等级

K

年份	低温区	较低温区	中温区	较高温区	高温区
2009	290.55~302.68	302.68~308.35	308.35~312.45	312.45~314.68	314.68~317.98
2010	290.42~298.23	298.23~300.77	300.77~305.00	305.00~307.52	307.52~316.48

3 结果与分析

3.1 地表温度空间分布特征

通过对 2009 年和 2010 年 5 月反演的 MODIS 地表温度数据在 ArcGIS 中进行空间分析,将温度进行等级划分。附图 9 为两年 5 月份的黑土带地表温度分布图,从图中可以看出,2009 年 5 月各温度等级分布比较集中,而 2010 年的各等级分布较为零散,特别是高温区,贯穿南北。但两年 5 月的温度总体格局从西南到东北方向上呈递减趋势,高温区主要集中在黑钙土、黑土和风沙土区域,土地利用类型以耕地为主,因为本研究用的是 5 月份中旬的数据,而黑龙江省的水田灌水时期在 5 月下旬,所以这个时期水田温度高是正常的;低温区分布在泥炭土、水稻土和暗棕壤,林地和水面分布较多。

3.2 地表温度空间分布差异与分析

为了将两年 5 月的温度差异显著表现出来,首先在 ArcGIS 中对温度进行空间分析,分析结果 2009 年 5 月比 2010 年 5 月 LST 平均高约 6.8 K。2009 年 5 月 LST 最高值为 317.98 K,比 2010 年 5 月高 1.5 K;最低值 2009 年 5 月比 2010 年 5 月高 2.6 K。然后对 2009 年 5 月与 2010 年 5 月地表温度数据进行空间减运算,并对其进行分级,得到结果如附图 10 所示,统计得出地表温度升高的面积(值大于 0,面积为 71 986 km²)远远多于温度降低的面积(值小于 0,面积为 2 984 km²),这表明 2009 年 5 月份地表温度显著高于 2010 年。差值大于 0 的地区分布广泛;差值小于 0 的地域分布比较零散,对应的土地利用类型大多为水田、林地,还有少量的水面分布,土壤类型集中分布着黑土、暗棕壤和草甸土。

4 黑土带地表温度格局成因分析

这两年 5 月地表温度差异是多种因素共同作用的结果,本研究主要从以下几个方面分析差异产生的原因。

4.1 气候因素主导年际间地表温度的巨大差异

2009 年和 2010 年 5 月黑龙江省不同天气条件,决定了不同年份地表温度格局的巨大差异。2009 年 5 月黑龙江大部平均降水量 9.6 mm,降水量偏少 5~8 成,局部地区偏少超过 8 成;区域平均气温 15.9℃,气温偏高 2~4℃。气温偏高、降水偏少导致气候干旱迅速发展。2010 年 5 月黑龙江大部降水量为 20~163 mm,与去年同期相比,三江平原西部、齐齐哈尔南部等地偏多 10 倍以上,其他地区偏多 1~9 倍;月平均温度为 11~16℃,与去年同期相比,除大兴安岭和黑河市外,其他地区偏低 1~3℃。2010 年较 2009 年气温偏低、降水偏多,必然导致地表温度偏低,两年的气温和降水的异常,对地表温度的差异起到了决定性的作用。

4.2 土地利用类型对地表温度的影响分析

地表温度变化受下垫面状况影响显著。下垫面即土地利用现状的不同必然会对地表温度的分布产生影响。不同的土地利用类型对 LST 的贡献不同,通过土地利用类型矢量数据与两年 5 月的 LST 数据进行叠加处理,在 ArcGIS 中进行分区统计得到各土地利用类型的平均 LST(图 1),从图 1 中可见,5 月的 LST 变化趋势一样,对各土地利用类型的平均地表温度排序,旱地>建设用地>草地>未利用地>水田>林地>水体,总体上 2009 年比 2010 年显著高。本研究区中,旱地的 LST 比建设用地的,主要原因是研究区的建设用地多为农村居民点,热岛效应不明显;对于植被覆盖较高的林地地区,植被的覆盖程度越高,其蒸腾速率越高,加速了陆地表面与大气之间潜热和显热的交换,因此具有较低的地表温度;水体的温度最低,这是因为水体的热容量大,在吸收相同热量的情况下,表现出比其他下垫面的温度低,水面蒸发吸热,也可降低水体的温度。

4.3 土壤类型对地表温度的影响分析

土壤类型对地表温度的分布有着重要的作用。研究区内,西北部两年 5 月的温度差异非常明显,从

附图 9 中可以看出,2009 年 5 月西北部地表温度变化不大,主要是中温区,零星散布着较低温区,而 2010 年 5 月西北地区温度分布较复杂,高低温区交错分布,产生这种现象的主要原因是西北部土壤有机质含量高,土壤的团粒结构性好,田间持水量能力强,保水能力好。具有团粒结构的土壤,不但进入的水分多,而且使进入土壤中的水分蒸发大大减弱,保持水分状况稳定,起到了一个“小水库”的作用,耐旱抗涝的能力比其他的土壤强得多。所以,在 2009 年 5 月干旱的情况下,别的地区地温偏高,而本区域地温较低;反之,2010 年 5 月降雨量大,水分通过通气孔隙很快进入土壤,当水分经过团粒附近时,能很快渗入团粒内部的毛管孔隙并得以保蓄,在吸收同样水分的情况下,土壤有机质含量不同,土壤的松紧和孔隙状况的不同,导热率不同,所以西北角地区地表温度差异明显,从高温区到低温区呈交错分布。

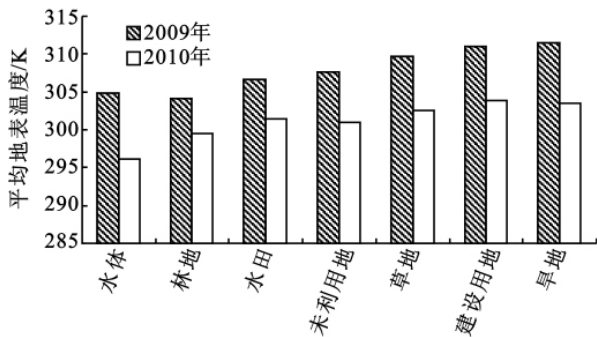


图 1 各土地利用类型地表温度均值分布

为消除土地利用类型对土壤的干预,本研究在 ArcGIS 中先将研究区的耕地区域提取出来,然后利用耕地范围裁剪土壤类型图,分析耕地范围内的土壤类型对 LST 的影响。表 2 是 2009 年和 2010 年 5 月的耕地范围内的各土壤类型的 LST 平均值,从表中可以明显看出,不同的土壤类型在旱涝年份对地表温度影响不同,其中黑钙土、黑土的 LST 最大,泥炭土和水稻土的 LST 相对较低,泥炭土的温度变化差异最小,白浆土最大,这是由于泥炭土大都位于低洼地区,具有季节性或常年的停滞性积水,土壤水分较多, LST 变化不显著,而白浆土的水分物理性质很差,水分多集中在淀积层以上,淀积层以下几乎不透水,因此白浆土怕旱又怕涝,是农业生产上一个重要的障碍。黑土和黑钙土,团粒结构性好,田间持水量能力强,保水能力好,耐旱抗涝的能力比其他的土壤强得多,对 LST 的保持贡献最大。

4.4 DEM 对地表温度的影响分析

在 ArcGIS 平台下,裁剪研究区的 DEM 数据,并将 DEM 分为 6 个等级(图 2)。分析发现,两年 5 月

的平均地表温度随 DEM 的变化趋势基本一致。在 100~260 m, LST 随着 DEM 的增加而增加,这是因为当地势较低时,地表温度受土地利用类型、土壤类型等多因素的共同作用,DEM 变化对 LST 作用不大,所以随着高程的增加,温度呈现出递增规律;而 260 m 以后, LST 随着 DEM 的增加逐渐减少,这是由于随着地势的增加,DEM 成为影响地表温度的主要因素,260 m 以上土壤含水量差异较小,随着高程的升高,土壤有机质含量降低,土壤吸收热量较少,加上气温随高程的变化,导致地表温度随高程的升高而降低。

表 2 耕地各土壤类型平均温度统计 K

土壤类型	2009 年	2010 年	差值
泥炭土	303.80	300.50	3.30
水稻土	305.44	301.55	3.89
火山灰土	307.26	302.67	4.59
暗棕壤	308.92	301.96	6.96
沼泽土	309.11	302.31	6.80
草甸土	310.10	302.24	7.86
白浆土	310.37	298.84	11.53
风沙土	310.59	304.35	6.24
黑土	311.97	304.06	7.91
黑钙土	312.53	305.20	7.34

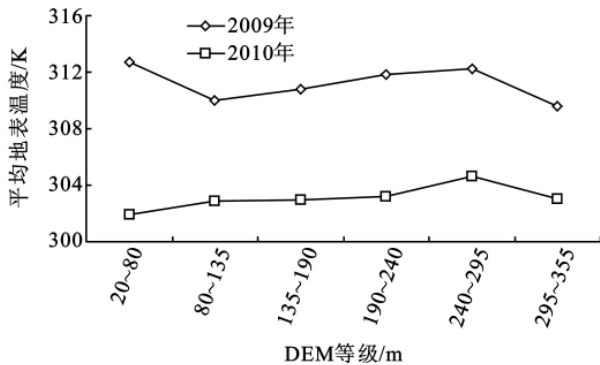


图 2 不同等级的 DEM 地表温度均值分布

5 结论

在前人研究的基础上,本文利用目前精度较高的温度反演模型对 MODIS 数据进行黑龙江省黑土地表温度反演,并利用 GIS 空间分析方法,从气候条件、土壤含水量、土壤类型、土地利用类型和 DEM 等几个方面讨论了黑龙江省黑土带 LST 的时空格局特征,得到以下结论。

(1)2009 年和 2010 年 5 月份的 LST 存在明显的空间格局差异。2009 年 5 月比 2010 年 5 月 LST 均值高约 6.8 K。2009 年 5 月 LST 最高值为 317.98 K,比 2010 年 5 月高 1.5 K;最低值 2009 年比 2010 年高 2.6 K。

(2)地表温度变化受下垫面状况影响显著。不同的土地利用类型对 LST 的贡献不同,按照平均地表温度,各土地利用类型的排序为旱地>建设用地>草地>未利用地>水田>林地>水体。

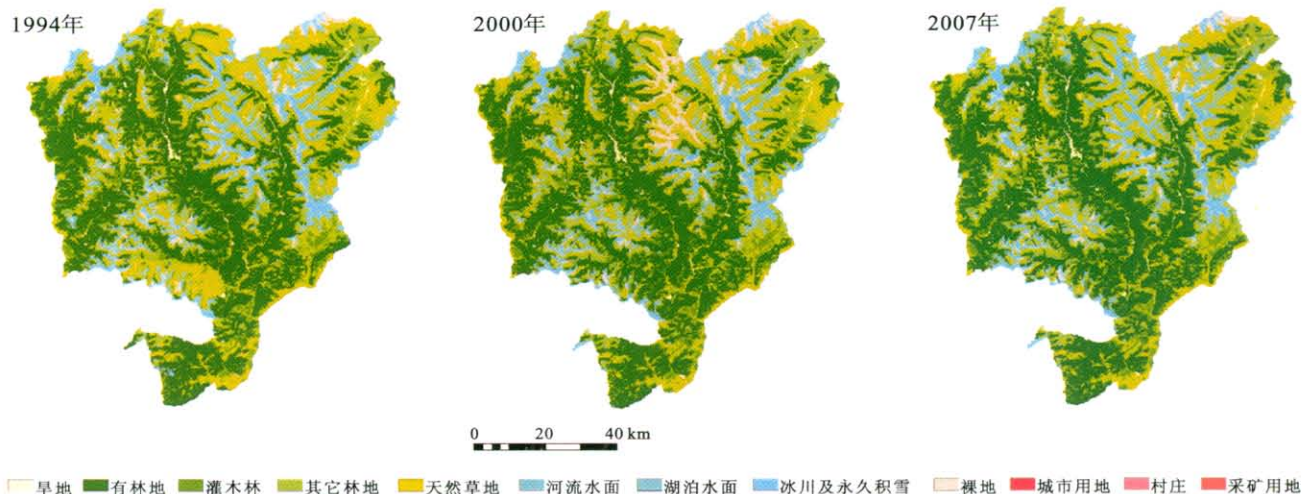
(3)土壤类型对地表温度有重要影响,不同的土壤类型在旱涝年份对地表温度影响也不同,其中黑钙土、黑土的 LST 最大,泥炭土和水稻土的 LST 相对较低,泥炭土的温度变化差异最小,白浆土最大;黑土和黑钙土对 LST 的保持贡献最大;土壤含水量与 LST 成正相关。

(4)通过对 DEM 数据的分析发现,在地势较低时,地表温度受土地利用类型、土壤类型等多因素的共同作用,DEM 变化对 LST 作用不大,而随着地势的增加,DEM 成为影响地表温度的主要因素。

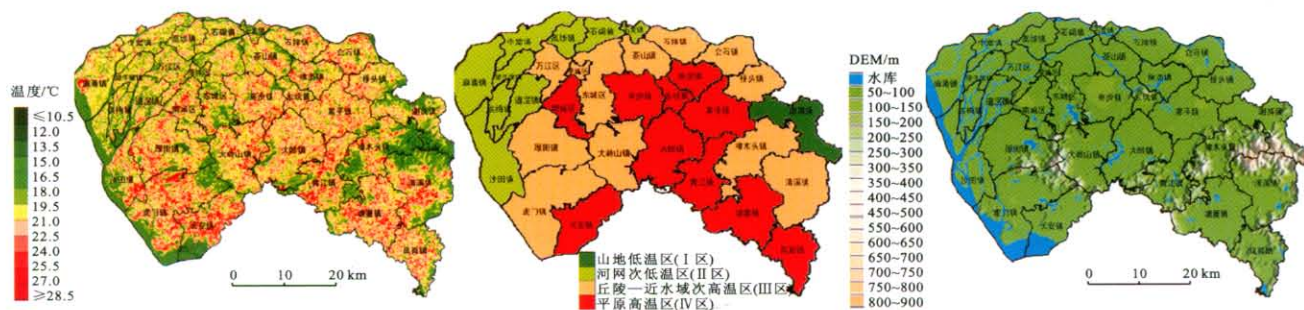
用 MODIS 数据反演地表温度,并分析其分布特征与影响因素,为农业相关部门指导农耕提供科学依据,对资源开发、环境保护等具有较好的借鉴意义。但是由于各种影响因素的综合作用,单一因素不可能准确地描述 LST 的变化,这也是本研究的一个局限性,因此在以后的研究工作中,应当将两种或者几种因素建立关系,以此来分析对 LST 的影响。

参考文献:

- [1] Dash P, Gobtsche F M, Olesen F S. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends [J]. *INTJ Remote Sensing*, 2002, 23(13): 2563-2549.
- [2] 杜灵通,李国旗. 基于 MODIS 数据的宁夏地表温度空间分布研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2008, 26(6): 191-195.
- [3] 侯光雷,张洪岩,王野乔,等. 基于 MODIS 数据的吉林省中部地表温度反演及空间分布研究[J]. *地理科学*, 2010, 30(3): 421-427.
- [4] Price J C. Land Surface Temperature Measurements from the Split Window Channels of the NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1984, 89(5): 7231-7237.
- [5] 刘云,宇振荣,孙丹峰,等. 冬小麦冠层地表温度裂窗算法的筛选与土壤含水率监测[J]. *农业工程学报*, 2006, 22(11): 16-21.
- [6] 高志强,宁吉才,高伟. 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.
- [7] Jimenez-Munoz J C, Sobrino J A. A generalized single-channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data [J]. *Geophys Res.*, 2003, 108(22): 4688-4697.
- [8] Sobrino J A, Jimenez-Munoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from landsat TM5 [J]. *Remote Sensing of the Environment*, 2004, 90(4): 434-440.
- [9] 梁广文,赵英时,周霞. 基于 MODIS 数据的地表组分温度反演研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(6): 948-954.
- [10] 马延辉,林辉,孙华. 基于 MODIS 的湖南省地表温度动态变化研究[J]. *水土保持研究*, 2008, 15(6): 21-27.
- [11] 程好好,曾辉,汪自书,等. 城市绿地类型及格局特征与地表温度的关系:以深圳特区为例[J]. *北京大学学报:自然科学版*, 2009, 45(3): 495-501.
- [12] 张新乐,张树文,李颖,等. 城市热环境与土地利用类型格局的相关性分析:以长春市为例[J]. *资源科学*, 2008, 30(10): 1564-1570.
- [13] 刘焕军,宇万太,张新乐,等. 我国东北黑土带土壤线空间变异规律[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(10): 166-170.
- [14] 段晓凤,张磊,张慧,等. 黑龙江省黑土带主要作物对农业资源利用率评价[J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28(5): 185-189.
- [15] 王佳,熊妮娜,董斌,等. 基于 RS 的近 20 年北京市土地利用景观格局变化分析[J]. *北京林业大学学报*, 2008, 30(1): 83-88.
- [16] 覃志豪,高懋芳,秦晓敏,等. 农业旱灾监测中的地表温度遥感反演方法:以 MODIS 数据为例[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(3): 64-71.
- [17] 覃志豪,李文娟,徐斌,等. 陆地卫星 TM6 波段范围内地表比辐射率估计[J]. *国土资源遥感*, 2004(3): 28-32.



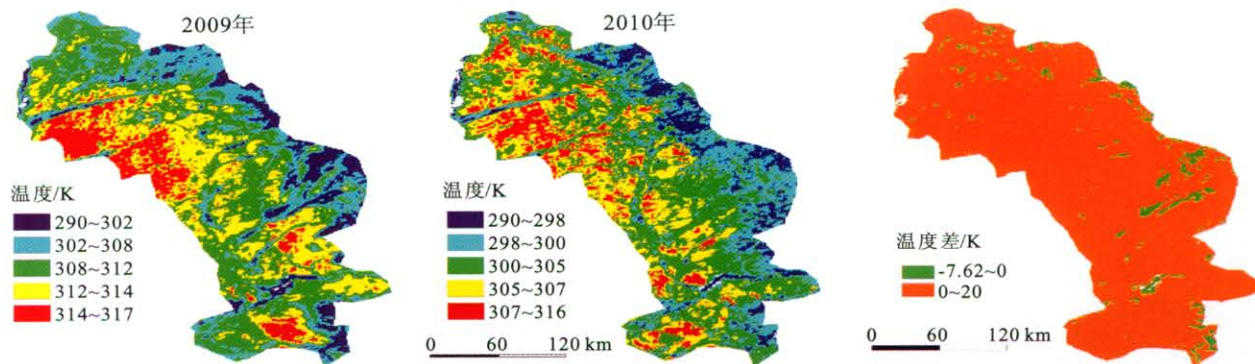
附图5 四川省九龙县不同年份土地利用分布



附图6 2007年1月29日东莞市地表温度分布

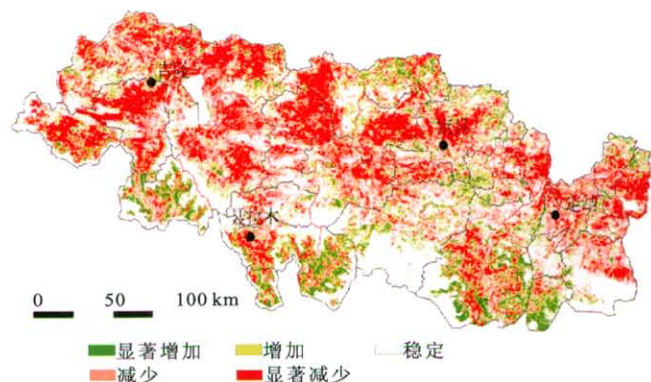
附图7 东莞市地表温度地理分区

附图8 东莞市数字高程模型

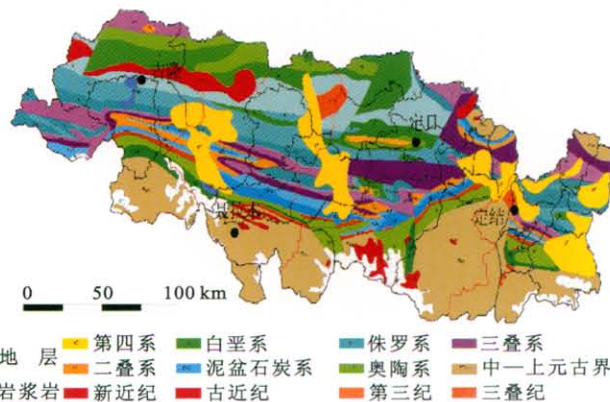


附图9 黑龙江省黑土带不同年份地表温度分布

附图10 2009年与2010年黑土带地表温度差异分布



附图11 2000—2009年珠穆朗玛峰自然保护区植物覆被变化分级



附图12 珠穆朗玛峰自然保护区地层分布