

# 塔里木南缘绿洲下垫面生物物理参数与 地表温度相关性研究

马勇刚, 李宏, 甘艳露

(新疆遥感中心, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:**以1999年和2009年Landsat TM/ETM+为数据源,塔里木南缘策勒于田地区的三个不同规模的孤立绿洲作为研究对象,基于“植被—不透水层—土壤”地表组成基础,通过归一化线性分解模型计算了植被丰度和不透水层比率分量。研究通过回归分析和区域分析计算了两分量与地表温度之间的相关性和响应关系,对比分析了绿洲尺度对植被丰度、不透水层比率与地表温度之间相关性的影响。结果表明:(1)植被丰度与地表温度在大规模的绿洲下有较显著的负相关关系,但随着绿洲规模的减小,植被丰度与地表温度之间相关性逐步减弱( $R^2$ 从0.5~0.6降至0.1~0.2);不透水层分量与地表温度在大规模的绿洲下有较弱的正相关关系,而随着绿洲规模的减小,其相关性几近于零( $R^2$ 从0.18~0.36降为0.002~0.04);(2)随着植被丰度的增加,绿洲区域温度最大值和最小值受影响较小,而温度均值有明显的减弱;随着不透水层分量的增加,区域地表最低温度有明显的上升。

**关键词:**绿洲尺度; 植被丰度; 不透水层

中图分类号:Q142

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0166-05

## Analysis of Bio-physical Parameters and Land Surface Temperature in Yutian-Cele Oases of the Southern Tarim Basin

MA Yong-gang, LI Hong, GAN Yan-lu

(Xinjiang Remote Sensing Center, Urumqi 830011, China)

**Abstract:** This study take landsat TM/ETM in 1999 and 2009 as an original data and three different scales oasis for isolated oasis in Yutian Cele area in southern of Tarim basin as study area. By the normalized linear unmixed model, we calculate vegetation abundance and percent of impervious surface based on vegetation-impervious surface-soil model, analyze the correlation between surface temperature with the vegetation and impervious, examined the relationship between the scales of the oasis and correlation the surface parameter sand land surface temperatures. The results show that the abundance of vegetation and surface temperature has more significant negative correlation with the weak positive correlation between amount of impervious surface and the land surface temperature in some oasis areas. With the increment of the oasis scales, the correlations coefficient between vegetation abundance and LST and the correlations coefficient between impervious surface and surface temperature raise with an obvious trend, the results indicates that with increase of oasis scales, the extend of local climate change, particularly as oasis ‘cool island effect’, was increased as the time from 1999 to 2009. Meanwhile, as growing of rural urbanization, the increasing of proportion of impervious surface present the more significant effect to land surface temperature of oasis.

**Key words:** Oasis scale; fraction of vegetation; impervious surface

随着全球气候变化下的气候异常研究成为当前研究的热点问题之一,区域下垫面的生物物理参数变化对局地气候变化的影响也更加引起了研究者的关

注。特别是干旱区绿洲作为我国西北干旱区的一种特殊生态景观和西北人民的生产、生活、工作的主要地理载体,针对其下垫面属性变化及其对绿洲气候变

化乃至稳定性的影响进行研究具有重要的意义。

作为典型绿洲局部气候,绿洲“冷岛”效应一直是研究者关注的热点。Oke 在 1987 年将绿洲效应定义为微气候条件下,由于蒸散发过程引起潜热比上升,植被区域相对于非植被区域的较低温度和较高相对湿度的现象<sup>[1]</sup>。Kai 等研究了中国戈壁沙漠中绿洲效应范围,并将其定义为荒漠和绿洲间的辐射平衡现象<sup>[2]</sup>。国内研究起步于苏从先等人<sup>[3-4]</sup>;1987—1992 年中日合作在我国甘肃黑河流域进行的“黑河地区地气相互作用野外观测实验研究”得到了很多有益的研究成果:(1)绿洲的逆温—“冷岛”效应;(2)邻近绿洲的沙漠戈壁大气是逆湿,水汽通量是向下输送的。白天,感热通量和潜热通量使绿洲凉而湿。观测表明,沙漠地表全天都比绿洲干,而在夏季白天绿洲的地表温度比沙漠的低<sup>[4]</sup>。与此同时,国内学者对绿洲尺度对局部气候的影响进行研究。张强模拟了干旱区中绿洲中尺度运动,提出绿洲系统维持的最小临界尺度在几公里的量级<sup>[5]</sup>。薛具奎等从动力学和非平衡态热力学角度分析了绿洲与沙漠的相互作用特征,指出绿洲的维持与发展存在一个最小临界尺度为 6 km<sup>[6]</sup>。

随着遥感反演技术的发展和提高,国内外学者对绿洲地表下垫面属性变化对地表温度和局部气候的影响进行了大量研究,但主要集中在土地利用类型与地表温度进行相关分析<sup>[7-9]</sup>。Voogt 指出单纯基于土地利用土地覆盖专题信息的简单的定性描述方法及简单的相关分析不利于热红外遥感研究的进展<sup>[10]</sup>。部分研究利用 NDVI 作为地表生物物理参数,研究了植被状况与地表温度之间的关系,而大多数结果表

明 NDVI 与地表温度之间为非线性关系,因此用 NDVI 作为地表生物物理参数研究地表覆盖对局地气候变化的关系有其局限性。发掘与地表温度更具相关性的生物物理参数是目前研究的重点之一。本文以西部干旱区不同尺度绿洲为研究对象,采用地表不透水层和植被丰度为地表生物物理参数,对两者与地表温度的相关性及其响应进行研究,同时探讨绿洲尺度对这种相关性的影响,为进一步的研究提供参考。

1 研究方法

1.1 研究区概况

策勒—于田地区位居塔里木盆地南缘克里雅河流域,受大陆性干旱气候的长期作用和山地盆地相间地貌格局的影响,发育典型的绿洲、荒漠生态系统,在西部干旱区环境演变研究中占据极其重要的地位。该地区深处封闭环境之中,是典型的极端干旱区,由于其南部为高大的山脉,北部为广阔的塔克拉玛干沙漠,生态环境相当脆弱,选择该地区作为研究区具有比较好的代表性,对于研究该地区的绿洲演变及其对于生态环境及绿洲的发展所造成的影响也具有重要意义。本文使用的数据为美国地质调查局(USGS)发布的全球免费 Landsat 影像,影像分别为 1999 年 9 月 13 日 TM 影像和 2009 年 9 月 16 日 ETM 图像,图像的轨道号为(Row 34/Path 145),图像经过 Modtran4 进行大气校正消除大气的影响,经几何校正保证各波段空间误差小于 1 个像元。本研究主题主要以策勒县,奥依托格拉克乡和也苏勒工村三个相对孤立的绿洲作为尺度研究的三个规模,具体见表 1。

表 1 研究主体详细情况

代码	名称	纬度	经度	绿洲内主要土地覆盖类型	面积/km <sup>2</sup>
A	策勒县	37°00′08″	80°47′58″	农业用地、草地、居民地	251.74
B	奥依托格拉克乡	36°50′18″	81°55′14″	农用地、居民地	54.34
C	也苏勒工村	36°53′16″	82°11′50″	农业用地	3.27

1.2 地表温度(LST)反演

研究使用 TM 和 ETM 的热红外波段反演地表温度采用的反演方法为 Sobrino’s 的单通道算法<sup>[11-13]</sup>,具体算法如下:

DN 值转化为光谱辐射率的公式如下:

$$L_{\lambda} = \left( \frac{L_{\max\lambda} - L_{\min\lambda}}{Q_{\text{calmax}} - Q_{\text{calmin}}} \right) (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{calmin}}) + L_{\min\lambda} \quad (1)$$

式中: $L_{\lambda}$ ——传感器光谱亮度值[W/(m<sup>2</sup>·sr·μ·m)]; $Q_{\text{cal}}$ ——量化定标像素值[DN]; $Q_{\text{calmin}}$ ——最小量化定标像素值[DN]; $Q_{\text{calmax}}$ ——最大量化定标像素值[DN]; $L_{\min\lambda}$ ——最小量化定标像素值时的辐射亮度值[W/(m<sup>2</sup>·sr·μm)]; $L_{\max\lambda}$ ——最大量化定标像素值时的辐射亮度值[W/(m<sup>2</sup>·sr·μm)]。

光谱亮度值转换为传感器亮温公式如下:

$$T_b = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\lambda}}\right) + 1} \quad (2)$$

式中: $T_b$ ——有效传感器亮温(K); $K_2$ ——定标参数 2(K)(对于 ETM, $K_2 = 1282.71$  K;对于 TM, $K_2 = 1260.56$  K); $K_1$ ——定标参数 1[W/(m<sup>2</sup>·sr·μm)];(对于 ETM, $K_1 = 666.09$  W/(m<sup>2</sup>·sr·μm);对于 TM, $K_1 = 607.76$  W/(m<sup>2</sup>·sr·μm))。

传感器亮温转换为地表温度公式为

$$L_{\text{ST}} = \gamma[\epsilon^{-1}(\phi_1 L_{\lambda} + \phi_2) + \phi_3] + \delta \quad (3)$$

$$\gamma = \left\{ \frac{c^2 L_{\lambda}}{T_b^2} \left[ \frac{\lambda^4}{c_1} L_{\lambda} + \lambda^{-1} \right] \right\}^{-1} \quad (4)$$

$$\delta = -\gamma L_{\lambda} + T_b \quad (5)$$

式中:  $L_{ST}$ ——地表温度;  $\epsilon$ ——地表比辐射率;  $\lambda$ ——有效波长( $\mu\text{m}$ )。

$$c_1 = 1.19104 \times 108 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

$$c_2 = 14387.7 \mu\text{mK}$$

大气参数  $\psi_1$ ,  $\psi_2$  和  $\psi_3$  可由下列等式计算得出( $w$  为大气水分含量):

$$\psi_1 = 0.14714w^2 - 0.15583w + 1.1234 \quad (6a)$$

$$\psi_2 = -1.1836w^2 - 0.37607w - 0.52894 \quad (6b)$$

$$\psi_3 = -0.04554w^2 + 1.8719w - 0.39071 \quad (6c)$$

### 1.3 植被丰度和不透水层比率计算

Adams 在 1995 年提出了植被—不透水层—土壤(V—I—S)模型并以此参数作为城市地表生物物理组分<sup>[14]</sup>。在该模型中,任意一个地表单元都被认为是 V—I—S 的不同比例的组合结果。已有较多的研究采用该模型进行地表生物物理参数的反演并取得了较好的效果。本研究采用 V—I—S 组分模型,提取植被丰度和不透水层分量作为绿洲内部下垫面地表生物物理参数主要基于:(1)绿洲中的城镇化发展与被乡村包围的城市化的发展在土地覆盖格局上具有相似性,都是不透水层区域在植被区域内的发展;(2)从物理属性上讲,绿洲中的城镇化发展与被乡村包围的城市化所产生的不透水层是一致的。因此在城市应用较为广泛和成功的 V—I—S 模型在理论上是适用与绿洲的城镇化过程研究的。

V—I—S 分量提取主要基于归一化光谱分解模

型。归一化光谱分解模型(NSMA)是一种基于物理理论的影像处理方法<sup>[15-16]</sup>,该模型认为卫星传感器接收到的信号是若干种纯净基质(端元)反射信号的线性组合,模型可以表达为

$$\bar{R}_b = \sum_{n=1}^N F_n \bar{R}_{n,b} + E_b \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^N F_n = 1 \quad (8)$$

$$0 \leq F_n \leq 1 \quad (9)$$

$$R_{MS} = \sqrt{(\sum_{b=1}^m E_b^2)/m} \quad (10)$$

$$\bar{R}_b = \frac{R_b}{\mu} \times 100 \quad (11)$$

$$\mu = \frac{1}{m} \sum_{b=1}^m R_b \quad (12)$$

式中: $\bar{R}_b$ ——像元在波段  $b$  的反射率; $N$ ——端元数量; $n$ ——端元  $n$  的比例; $\bar{R}_{n,b}$ —— $b$  波段端元  $n$  的反射率; $E_b$ —— $b$  波段对  $n$  个端元的拟合误差; $m$ ——波段数。

设定同时满足于条件(公式 7—9):通过最小二乘法使根方差之和( $R_{MS}$ )达到最小(公式 10),最后求得每一个像元各端元组成最优解。

本研究中首先对 TM/ETM 数据的 1—5,7 等波段的反射率进行归一化,对第 7 波段通过阈值提取法去除水体对模型的影响,通过 MNF 转化和  $n$  维空间可视化中对端元的选取,最后计算得出两期影像的植被丰度(fraction of vegetation,简称为 FV),不透水层比率(percent of impervious surface area,简称为 %ISA)两个分量。

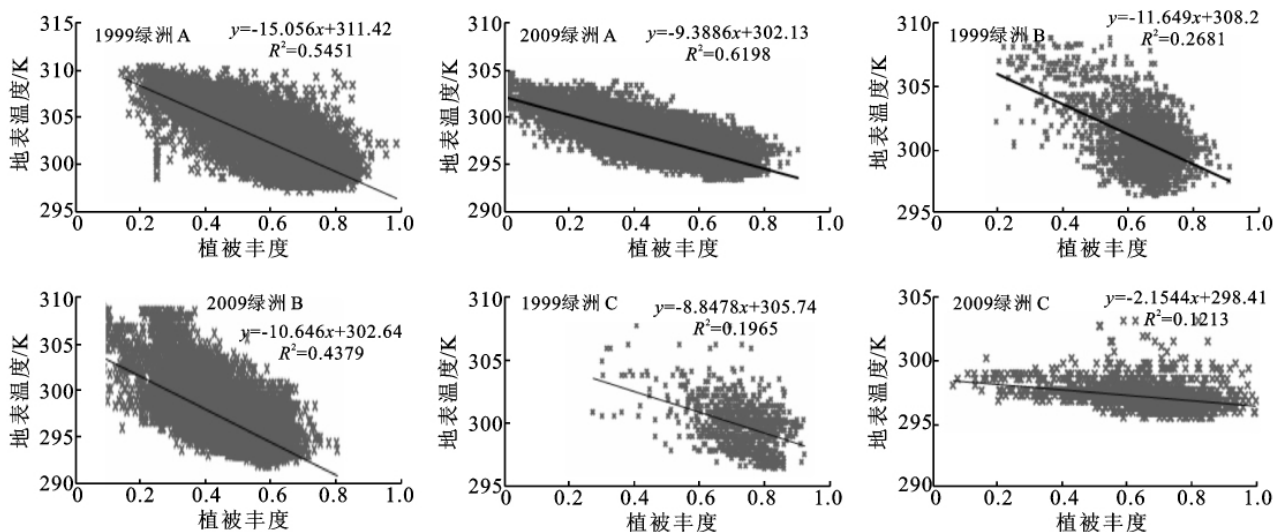


图 1 1999 年和 2009 年植被丰度—地表温度三绿洲散点回归图

## 2 结果分析

### 2.1 植被丰度、不透水层比率与地表温度相关分析

本研究对 A,B 和 C 三个绿洲主体在  $P=0.05$  显

著水平上进行了两个时期的点对点,植被丰度与地表温度,不透水层面与地表温度的散点图分析及其线性回归分析,回归的结果如图 2—3。

图 1 显示出植被丰度与地表温度在三个绿洲的

两个时间点上都有较强的负相关关系。作为面积最大的 A 绿洲,其相关性( $R^2$ )在 1999 年和 2009 年 3 个绿洲的分析结果中保持最大,分别为 0.545 1 和 0.619 8;面积居中的 B,其相关系数为 0.268 1 和 0.379;面积最小的 C 绿洲,植被丰度与地表温度的相关性( $R^2$ )在三个绿洲中最小,分别为 0.196 5 和 0.121 3。随着绿洲面积的减小,植被丰度和地表温度的相关性呈减小趋势。对比 1999 年和 2009 年的相关系数,1999 年的植被丰度与地表温度相关性总比 2009 年大,这是由于最近 10 a 间绿洲内部城镇化建设加强,使得绿洲内部原本面积较大的植被斑块破碎度增大,减弱了绿洲内部原本较为均匀的植被覆盖所形成的逆温层强度。

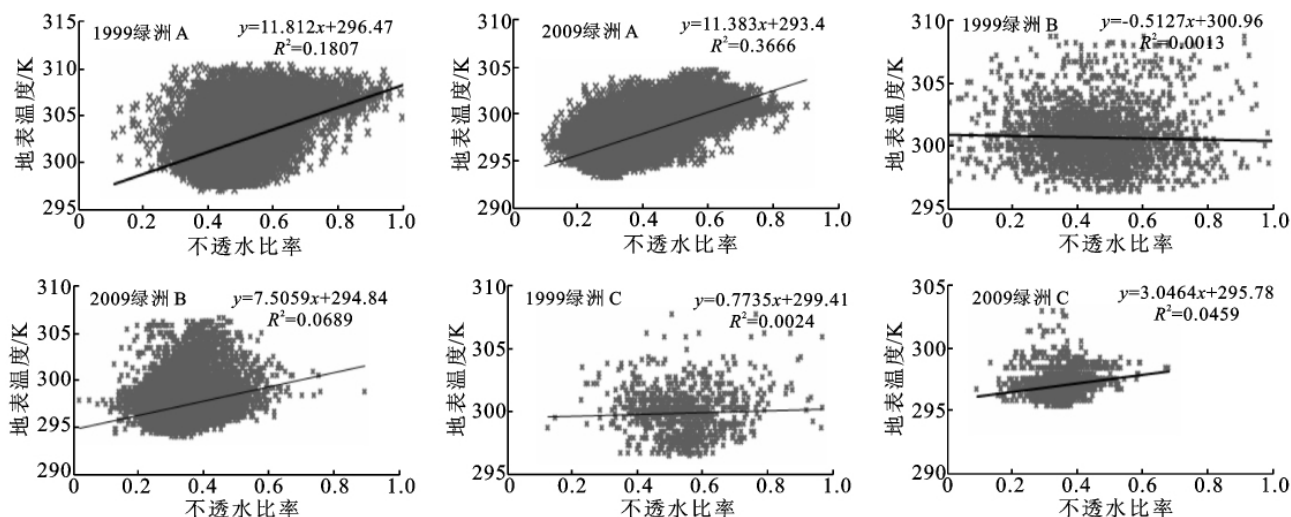


图 2 1999 年和 2009 年不透水层—地表温度三绿洲散点回归图

## 2.2 地表温度对植被丰度和不透水层比率变化的响应

回归分析能够提供较为全面和整体的相关参数之间的相关性和影响程度,为了进一步了解植被丰度和地表不透水层分量对地表温度的影响,采用区域分析(zone analysis)评估了随着两个参数以 10% 的数值上升,在不同的绿洲大小上,地表温度的最大值(max),最小值(min),均值(mean)的响应(如图 3—4)。

通过图 3 可以发现,随着植被丰度这一参数在区域范围内以 10% 的固定步长增加时, A, B 和 C 绿洲在 1999 年期间,最大值和最小值线基本处于斜率为 0 的平行线,而在 2009 年期间,最大值在植被丰度大于 0.5 的区域出现了波动现象。这说明在 1999 年期间,植被丰度的增加对地表最低温度和最高温度的影响不大,而在 2009 年则对最高温产生了较为明显的影响。其原因为 1999 年绿洲内部植被覆盖较为整合,植被斑块面积也较大,不同植被丰度区域基本处在相互混合的状态下,区域内产生了较大范围的绿洲

图 2 表明,不透水层分量与地表温度呈现出较弱的正相关关系。面积最大的 A 绿洲不透水层下不透水层分量和地表温度相关性稍强, B 和 C 绿洲的不透水层分量与地表温度相关性几乎为零。整体趋势表现出随绿洲面积的增加,不透水层分量与地表温度相关性有增加的趋势。研究区范围内,在 A 绿洲县级尺度上,不透水层分量对地表温度的影响才较为明显,其余乡级及村级尺度上不透水层的影响是不显著的,这与于田—策勒地区经济发展还比较缓慢,城镇化建设较弱,不透水层在乡村地区仍然分布较少有关。同时也需注意到,不透水层在 1999—2009 年间有一定规模的增加,导致不透水层与地表温度的相关性在三个绿洲上均有上升。

冷岛效应,而 2009 年植被破碎化程度加强,部分植被丰度较高的区域相对独立,产生了冷岛强度范围较小,因此体现出在高植被丰度值范围内最大值线发生波动的情况。均值线作为体现区域内的温度水平,在三个绿洲两个时期与植被丰度体现了较强的负相关关系,验证了随植被增加温度降低的趋势,与以往的研究具有一致性。

随不透水层比率增加,各绿洲在不同时期表现出较大的差异性。在不同不透水层比率阈值范围内,地表温度最大值和均值体现出一种较为规律的状态,,如图 4 所示, B 和 C 绿洲有较强的波动,这是由于不透水层比率本身在绿洲的土地覆盖类型中比例较小,不具有显著的主导优势,同时其分布主要以居民地和建筑用地为主,在较小的绿洲范围下,其影响范围也会较小。而最小值线所表现出来的与不透水层比率较强的正相关和规律性则反映了不透水层比率的发展对地表温度影响显著,对绿洲冷岛效应的削弱作用十分明显。

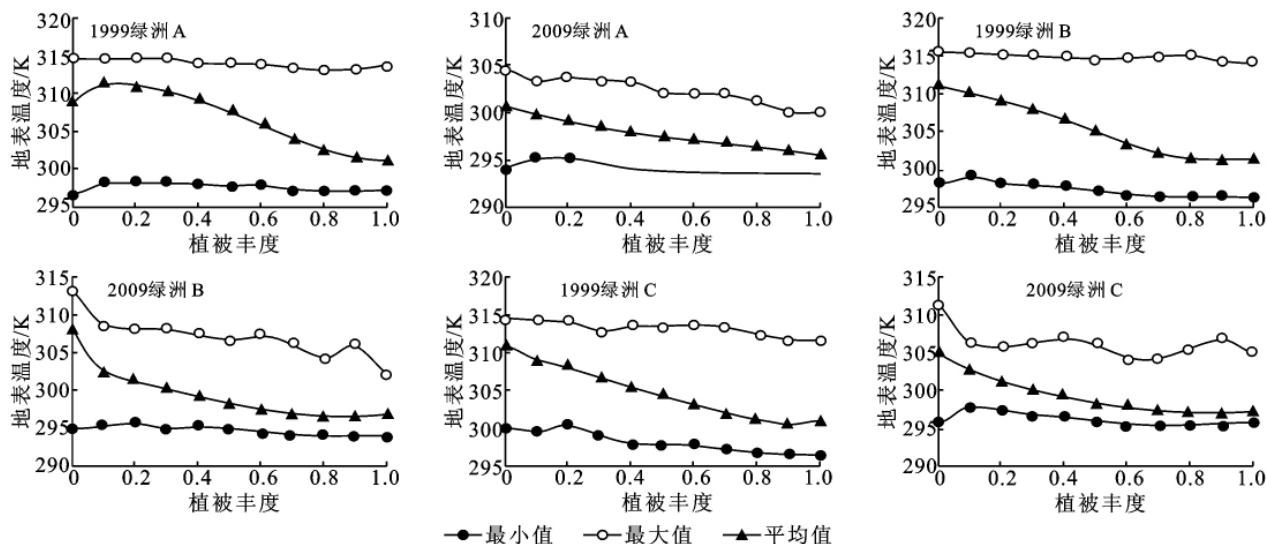


图 3 不同植被丰度阈值区间最低温,最高温和均温的趋势线图

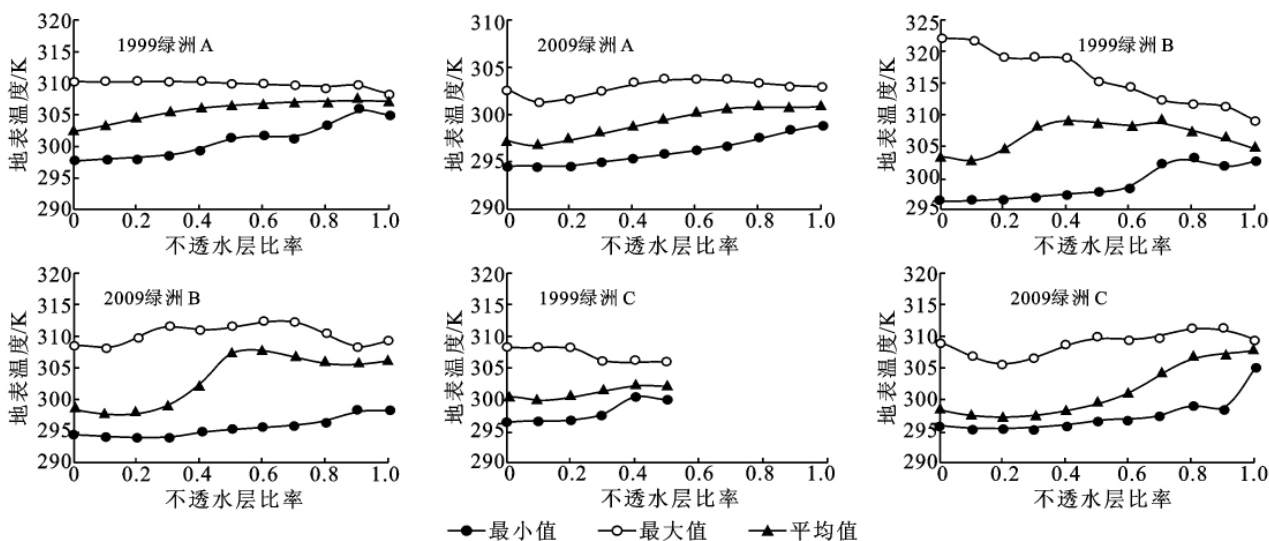


图 4 不同不透水层阈值区间最低温,最高温和均温的趋势线图

### 3 结论与建议

本文讨论了植被丰度,不透水层分量与地表温度之间的相关性和响应关系。结果表明:

植被丰度与地表温度有较强的负相关关系;随着绿洲面积的增加和绿洲尺度增大,植被丰度和地表温度的相关系数表现出随之增大的趋势。

不透水层分量与地表温度有较弱的正相关关系。随着绿洲面积的增加,不透水层分量与地表温度相关性有增加的趋势。较大的绿洲具有较高的行政级别,其城镇化程度相对较高,不透水层分布相对有更广泛分布,而较小的绿洲行政级别也较低,不透水层分布以房屋和道路为主,影响范围小,相关系数低。同时近年来伴随城镇建设,不透水层与地表温度的相关性在三个绿洲上均有上升。

本文研究了同一景数据下三个不同绿洲尺度下

地表植被和不透水层参数与地表温度的相关性和尺度研究。选取更多的和更具代表性的地表生物物理参数及选取更多不同规模级别的绿洲进行相关研究,讨论不同气候背景下绿洲的尺度对地表覆盖变化与绿洲局部区域气候相关性的影响等工作需要进行进一步的探讨。

参考文献:

- [1] Oke T R. Boundary layer climates[M]. 2nd edition. London: Methuen 1987.
- [2] Kai K, Matsuda M, Sato R. Oasis effect observed at the Zhangye oasis in Hexi Corridor China [J]. Journal of Meteorological Society of Japan, 1997, 75 (6): 1171-1178.
- [3] 苏从先,胡隐樵. 绿洲和湖泊的“冷岛效应”[J]. 科学通报, 1987, 31(10): 756-758.

(下转第 176 页)

在 2020 年便出现了缺水现象。

(3) 方案三在保证生态环境功能良好条件的同时考虑了节水措施,水资源承载力有所提高。通过采取节水措施,辽宁省辽河流域 2020 年节水 55 076.96 万  $\text{m}^3$ ,平均节水率为 9.63%;2030 年节水 74 346 万  $\text{m}^3$ ,平均节水率为 11.47%。将计算结果与表 1 的水资源可利用量相比较,上述两个方案中缺水地区的缺水问题将得到缓解,未来 2020 年整个辽河流域将剩余水量 188 559.73 万  $\text{m}^3$ ,2030 年将剩余 169 343.15 万  $\text{m}^3$ 。但是,流域内营口、盘锦地区仍然缺水严重。通过采取节水措施,辽河流域承载经济水平无论从横向上还是纵向上都有明显的提高。

## 4 结论

本文计算了最小生态需水量和适宜生态需水量对应的水资源可利用量的上限及下限,并在此基础上计算了“生态一般型”、“生态良好型”、“生态良好节水型”三种方案下水资源可承载的 GDP、人口及粮食产量。计算结果表明辽河流域在三种方案下总体不论是经济还是人口整体上都可以承载,但现有的水资源不能满足灌溉需水要求,不能承载流域内所有可灌溉农田按照定额计算的灌溉需水要求。三种方案下“生态一般型”方案承载的社会发展规模最大,但生态环境用水较少,只能保证生态环境不再继续恶化;“生态良好型”方案因生态需水量相对较大,可利用的水资

源量较少,所以可承载的社会发展规模相对较小;而“生态良好节水型”方案既保证足够的生态环境用水,又因采取了更强有力的节水措施,所以可承载的社会发展规模大于第二种方案。所以对三种方案进行比较,“生态良好节水型”方案所取得的结果是最好的,既满足生态环境的需水要求,又能保证水资源不成为社会经济充分发展的制约因素。本模型在计算过程中仅考虑了水资源可利用量的承载力,而没有考虑水质及水环境对承载力的影响,因此还需要以后进一步研究。

### 参考文献:

- [1] 王传武. 对水资源承载力几个基本问题的新认识[J]. 水文, 2009, 29(2): 24-27.
- [2] 王浩, 陈敏建, 秦大庸. 西北地区水资源合理配置和承载能力研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2003.
- [3] 陈卫宾, 董增川, 王声锋. 基于模糊识别理论的江西省水资源承载力分析[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(1): 61-64.
- [4] 陈南祥, 班培莉, 张卫兵. 基于极大熵原理的水资源承载力模糊评价[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(1): 57-60.
- [5] 辽宁省水利厅. 辽宁省水资源[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版, 2006.
- [6] 王建生, 钟华平, 耿雷华, 等. 水资源可利用量计算[J]. 水科学进展, 2006, 17(4): 549-553.
- [7] 水利部水利水电规划设计总院. 水资源可利用量估算方法(试行)[S]. 2004.
- [4] 胡隐樵. 一个强“冷岛”的数值试验结果[J]. 高原气象, 1987, 6(1): 1-8.
- [5] 张强, 胡隐樵. 绿洲地理特征及其气候效应[J]. 地球科学进展, 2002, 17(4): 477-486.
- [6] 薛具奎, 胡隐樵. 绿洲与沙漠相互作用的数值试验研究[J]. 自然科学进展, 2001, 11(5): 514-517.
- [7] 文莉娟, 吕世华, 孟宪红, 等. 环境风场对绿洲冷岛效应影响的数值模拟研究[J]. 中国沙漠, 2006, 26(5): 754-758.
- [8] 吕世华, 尚伦宇. 金塔绿洲风场与温湿场特征的数值模拟[J]. 中国沙漠, 2005, 25(5): 623-628.
- [9] 张凤华, 赖先齐, 潘旭东. 沙漠增温效应特征及绿洲农业热量资源分异规律的研究[J]. 中国沙漠, 2004, 24(6): 751-754.
- [10] Voogt J A, Oke T R. Thermal remote sensing of urban climates [J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 86(3): 370-384.
- [11] Chander G, Markham B L, Helder D L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(5): 893-903.
- [12] Jiménez-Muñoz J C, Sobrino J A. A generalized single channel method for retrieving land surface temperature from remote sensing data[J]. Journal of Geophysical Research, 2003, 108(D22): 4688-4697.
- [13] Sobrino J A, Jiménez-Muñoz J C, Paolini L. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5[J]. Remote Sensing of Environment, 2004, 90(4): 434-440.
- [14] Adams J B, Sabol D E, Kapos V, et al. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers; Application to land-cover change in the Brazilian Amazon[J]. Remote Sensing of Environment, 1995, 52(2): 137-154.
- [15] Wu C, Murray A T. Estimating impervious surface distribution by spectral mixture analysis[J]. Remote Sensing of Environment, 2003, 84(4): 493-505.
- [16] Zha Y, Gao J, Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery[J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24(3): 583-594.

(上接第 170 页)