ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

景观生态学专辑

第 34 卷 第 12 期 Vol.34 No.12 2014

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 12 期　　2014 年 6 月　(半月刊)

目　　次

中国景观生态学发展历程与未来研究重点…… 陈利顶,李秀珍,傅伯杰,等 (3129)
城市景观格局演变的水环境效应研究综述…… 黄　硕,郭青海 (3142)
多功能景观研究进展…… 汤　茜,丁圣彦 (3151)
空间形态受限型城市紧凑发展研究——以厦门岛为例 …… 黄　硕,郭青海,等 (3158)
紫金山森林公园降温效应影响因素…… 闫伟姣,孔繁花,尹海伟,等 (3169)
城市公园景观空间结构对其热环境效应的影响 …… 冯悦怡,胡潭高,张力小 (3179)
基于 OWA 的低丘缓坡建设开发适宜性评价——以云南大理白族自治州为例 ……
…… 刘焱序,彭　建,韩忆楠,等 (3188)
生态安全条件下土地利用格局优化——以皇甫川流域为例 …… 喻　锋,李晓兵,王　宏 (3198)
新疆玛纳斯河流域 2000—2010 年土地利用/覆盖变化及影响因素…… 刘金巍,靳甜甜,刘国华,等 (3211)
基于 GIS 和 RS 的赣江上游流域土地利用动态趋势分析 …… 鲁燕飞,彭　芳,万　韵,等 (3224)
1954—2010 年三江平原土地利用景观格局动态变化及驱动力 …… 刘吉平,赵丹丹,田学智,等 (3234)
基于斑块评价的三峡库区腹地坡耕地优化调控方法与案例研究…… 王永艳,李阳兵,邵景安,等 (3245)
贵州省山地-坝地系统土地利用与景观格局时空演变 …… 李阳兵,姚原温,谢　静,等 (3257)
中国西南地区土地覆盖情景的时空模拟 …… 李　婧,范泽孟,岳天祥 (3266)
基于移动窗口法的岷江干旱河谷景观格局梯度分析…… 张玲玲,赵永华,殷　莎,等 (3276)
基于植被覆盖度的藏羚羊栖息地时空变化研究…… 赵海迪,刘世梁,董世魁,等 (3285)
西南峡谷型喀斯特坡地土壤微生物量 C、N、P 空间变异特征 …… 范夫静,黄国勤,宋同清,等 (3293)
峡谷型喀斯特不同生态系统的土壤微生物数量及生物量特征…… 谭秋锦,宋同清,彭晚霞,等 (3302)
长三角地区土地利用时空变化对生态系统服务价值的影响 …… 刘桂林,张落成,张　倩 (3311)
基于视觉廊道的青藏铁路沿线旅游动态景观评价…… 张瑞英,席建超,姚予龙,等 (3320)
基于 RS 与 GIS 的农村居民点空间变化特征与景观格局影响研究 …… 任　平,洪步庭,刘　寅,等 (3331)
生态系统保护现状及保护等级评估——以江西省为例…… 樊乃卿,张育新,吕一河,等 (3341)
崇明东滩盐沼植被变化对滩涂湿地促淤消浪功能的影响…… 任璘婧,李秀珍,杨世伦,等 (3350)
基于气候、地貌、生态系统的景观分类体系——以新疆地区为例…… 师庆东,王　智,贺龙梅,等 (3359)
黄土丘陵沟壑区景观格局演变特征——以陕西省延安市为例…… 钟莉娜,赵文武,吕一河,等 (3368)
不同干扰背景下农业景观异质性——以巩义市为例 …… 张晓阳,梁国付,丁圣彦 (3378)
山西高原草地景观的数量分类与排序…… 张先平,李志琴,王孟本,等 (3386)

山区夏季地表温度的影响因素——以泰山为例…… 孙常峰,孔繁花,尹海伟,等 (3396)
典型岩溶洼地土壤水分的空间分布及影响因素…… 张继光,苏以荣,陈洪松,等 (3405)
基于移动窗口法的豫西山地丘陵地区景观异质性分析…… 李栋科,丁圣彦,梁国付,等 (3414)
桂西北喀斯特区域植被变化趋势及其对气候和地形的响应…… 童晓伟,王克林,岳跃民,等 (3425)
喀斯特与非喀斯特区域植被覆盖变化景观分析——以广西壮族自治区河池市为例……
…… 汪明冲,王兮之,梁钊雄,等 (3435)
不同干扰背景下景观指数与物种多样性的多尺度效应——以巩义市为例……
…… 董翠芳,梁国付,丁圣彦,等 (3444)
石栎-青冈常绿阔叶林土壤有机碳和全氮空间变异特征 …… 杨 丹,项文化,方 晰,等 (3452)
湘中丘陵区南酸枣阔叶林群落特征及群落更新…… 易 好,邓湘雯,项文化,等 (3463)
基于 RBFN 的桂西北喀斯特区植被碳密度空间分布影响因素分析…… 张明阳,王克林,邓振华,等 (3472)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 352 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 36 * 2014-06

封面图说:空间发展受限城市的厦门——在我国城市化进程中,中小城市在城镇体系建设中处于中间环节,起到了联系大城市和小城镇的作用。但是,每个城市由于发展历史、社会经济结构、自然地理形态等因素的不同,都有其发展的特性,这些问题都必须要因地制宜地去把握。例如,厦门岛相对隔离,没有多余的发展空间,该城市以居住功能为主,城市功能较为单一,公共服务功能和商业服务功能比例较小。研究这样紧凑型的城市发展必须要考虑该城市结构转换的承受力,周边社会经济环境以及居民的生活习惯等。

彩图及图说提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail:cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201310312626
孙常峰,孔繁花,尹海伟,闫伟姣,许峰,任怡静.山区夏季地表温度的影响因素——以泰山为例.生态学报,2014,34(12):3396-3404.
Sun C F, Kong F H, Yin H W, Yan W J, Xu F, Ren Y J.Analysis of factors affecting mountainous land surface temperature in the summer: a case study over Mount Tai.Acta Ecologica Sinica,2014,34(12):3396-3404.

山区夏季地表温度的影响因素
——以泰山为例

孙常峰[1],孔繁花[1,*],尹海伟[2],闫伟姣[1],许 峰[1],任怡静[2]
(1. 南京大学国际地球系统科学研究所, 南京 210023; 2. 南京大学建筑与城市规划学院, 南京 210093)

摘要:以泰山为例,应用夏季的 Landsat 5 的 TM6 为基本数据源,基于单窗算法定量反演了泰山地表面温度(LST),在此基础上首先探讨了 LST 与地形因子的关系,然后比较了归一化水汽指数(NDMI)和归一化植被指数(NDVI)在表达山区 LST 上的效力,最后利用逐步回归分析法,构建出 LST 与地形因子、NDMI 的回归方程,应用偏相关系数,得出各个因子对 LST 的影响程度。结果表明:1)在地形因子中,影响 LST 的主要因素是海拔,随海拔升高呈自然对数形式降低,相比而言,坡度、坡向以及太阳入射能量的影响则很小;2)在没有水体时,NDVI 与 NDMI 都能有效地表达山区的 LST,LST 与 NDVI 间是二次项负相关关系,与 NDMI 间是线性负相关关系,在表达 LST 上 NDMI 比 NDVI 更有效;3)综合分析表明,地表水汽特征是其表面温度最主要的影响因素,其次是海拔。研究结果将为山区地表温度空间分异性特征及形成机制的研究提供科学的参考。

关键词:地表温度;地形因子;归一化水汽指数;归一化植被指数;泰山

Analysis of factors affecting mountainous land surface temperature in the summer: a case study over Mount Tai

SUN Changfeng[1], KONG Fanhua[1,*], YIN Haiwei[2], YAN Weijiao[1], XU Feng[1], REN Yijing[2]
1 *International Institute for Earth System Sciences*, *Nanjing University*, *Nanjing* 210023, *China*
2 *School of Architecture and Urban Planning*, *Nanjing University*, *Nanjing* 210093, *China*

Abstract: Most of the previous studies related to land surface temperature (LST) are mainly focused on the investigation of urban heat island; however, little has been done on the mountainous area that are usually far away from cities. In this study, using the Landsat 5 Thematic Mapper (TM) at Mount Tai, firstly, the LST was retrieved based on the Mono-window Algorithm; and then the impacts on the LST from several factors including the topography, normalized difference moisture index (NDMI) and normalized difference vegetation index (NDVI) were analyzed though correlation analysis; accordingly, the regression equation between LST and topographic factors as well as NDMI was developed by stepwise regression analysis, the variable coefficients in the regression equation were interpreted using nonstandard regression coefficient, and then the impact of each factor on LST was quantized by partial correlation coefficient. The results show that: 1) In summer, elevation significantly affects the LST and has a significantly negative natural logarithm correlation rather than a negative linear correlation with it. However, the influence of slope, aspect and incident solar energy is not very significant, LST has a weak correlation with each of them; 2) NDVI and NDMI effectively express LST in mountainous areas if water is absent on surface. LST and NDVI have a negative quadratic correlation. In addition, with the increase of NDVI, the LSTs over areas covered by dense vegetation (NDVI>0.5) will appear a "saturation" phenomenon. Meanwhile, LST and NDMI have a simple but stable negative linear correlation. When compared with NDVI, NDMI is more effective and more applicable at a

基金项目:国家自然科学基金资助项目(31170444);中央高校基本科研业务费专项资助
收稿日期:2013-10-31; **修订日期**:2014-04-01

* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: fanhuakong@163.com

large scale for the expression of LST;3) The comprehensive analysis shows that land surface moisture characteristic is the main factor affecting the LST, and then followed by the elevation. In comparison with the impacts of these two primary factors, those from the other factors are relatively insignificant. These results will provide important information on the examination of the spatial pattern and mechanism of LST across mountainous areas.

Key Words: land surface temperature; topographic factors; NDMI; NDVI; Mount Tai

从气候学意义上看,影响温度空间分布的因素主要包括宏观地理条件(经、纬度以及宏观的气候背景条件等)、局地地形条件(海拔、坡度、坡向、遮蔽度等)以及下垫面性质(土壤、植被状况)等[1]。目前在下垫面性质影响地表温度特征的研究较多。地表热特征主要由土壤湿度和植被覆盖确定[2-3]。因此,许多学者应用植被指数(NDVI)来定量分析地表温度(LST)[4-5],并大都发现两者之间存在着明显负相关关系[6-9]。但不少研究同时发现 NDVI 在表征地表温度上有其局限性,地表温度与 NDVI 特征空间有时呈三角形,难以用简单的函数关系加以描述[10-12]。为了能够更好的量化与表征地表植被特征,有些学者开始探寻新的替代性指标。Wilson[13]在森林管理与采伐的研究中发现应用归一化水汽指数(NDMI)比 NDVI 指数更容易鉴别出不同的采伐或森林干扰类型。钱乐祥[3]在城市热岛的研究中也发现 NDMI 比 NDVI 更适合表达地表热特征。然而,以山区作为研究区比较 NDVI 和 NDMI 对地表温度影响的研究目前并不多见。

除了下垫面性质之外,地形也是地表温度的重要影响因素[14-15]。Bailey[16]研究发现海拔每升高 1000 m,温度平均下降 6.4 ℃,但这一规律具有地域特征。Wilson[17]指出,除了海拔,地表温度可以表示成纬度、坡度、坡向、地形阴影和时间的函数。因为太阳入射能量对维持地表能量平衡具有重要影响,特别是在地形复杂的地区,影响更加显著[18]。Martin[15]将山区植被冠层温度表示成海拔与太阳入射角的函数,并获得了较理想的结果,为研究地形对地表温度的影响提供了依据。然而,目前国内对于山区地表温度反演及影响因素特征分析的研究还不多见。

本文将以泰山作为研究对象,利用泰山的 TM 卫星遥感影像数据、ASTGTM2 高程数据、MODIS 影像,在综合考虑了泰山地区的下垫面特征、局地地形条件、太阳入射能量的基础上,首先分别探讨了每类因子与地表温度的统计学特征,然后利用逐步回归法综合分析了地表温度和归一化指数、地形因子之间的关系,以期为了解山区地表温度空间分异特征及形成机制提供科学的理解与借鉴。

1　研究区概况

泰山是中国五岳之首,主峰玉皇顶海拔 1545 m,位于泰安市城北,地理位置 117°06′15″E,36°15′17″N。泰山地势差异显著,地形起伏大,总体地势呈现北高南低、西高东低的特征,在不到 10 km 的水平距离内,玉皇顶与其山前平原相对高差达 1300 m 以上。泰山的山麓区域气候属于暖温带半湿润大陆季风气候类型,四季分明,夏季炎热多雨,冬季寒冷干燥。气温日、年较差比较平缓,具有高山气候的特点。气温垂直变化明显,山下 1 月均温-3 ℃,山顶-9 ℃,山下 7 月均温 26 ℃,山顶 18 ℃。泰山森林类型主要包括针叶林、落叶阔叶林、针阔混交林等,植被覆盖率 90% 以上。主要植被种类有麻栎(*Quercus acutissima*)、栓皮栎(*Quercus variabilis*)、刺槐(*Robinia pseudoacacia* L)、枫杨(*Pterocarya stenoptera*)、侧柏(*Platycladus orientalis*)、油松(*pinus tabuliformis*)、落叶松(*Larix gmelinii*)、苔草(*Carex* spp)等。本文选取的研究区位于济南市的历城区、长清区与泰安市泰山区、岱岳区 4 个市辖区交界处,研究区边界南面基本上与 200 m 等高线重合,北面沿山谷划定,总面积 147.85 km^2。

2　数据和研究方法

2.1　数据来源与预处理

2.1.1　数据来源

本文的主要基础数据包括:1)2006 年 6 月 19 日的 Landsat 5 TM 影像,条带号 122—35,其中 TM6 热红外波段分辨率 120 m,从 USGS 网站获取时,已被重采样至 60 m,其余波段 30 m,云量 0%;2)MODIS 影像,MOD07 L2 为 MODIS 每天的大气剖面数据,空

间分辨率为 5 km,影像拍摄时间比 TM 影像晚 15 min,大气状况短时间内的影响可以忽略,因此利用 MOD07 估计单窗算法的大气含水量;3) ASTGTM2 DEM 数据,于 2011 年 10 月发布的,全球水平空间分辨率为 30 m,海拔精度 17 m。

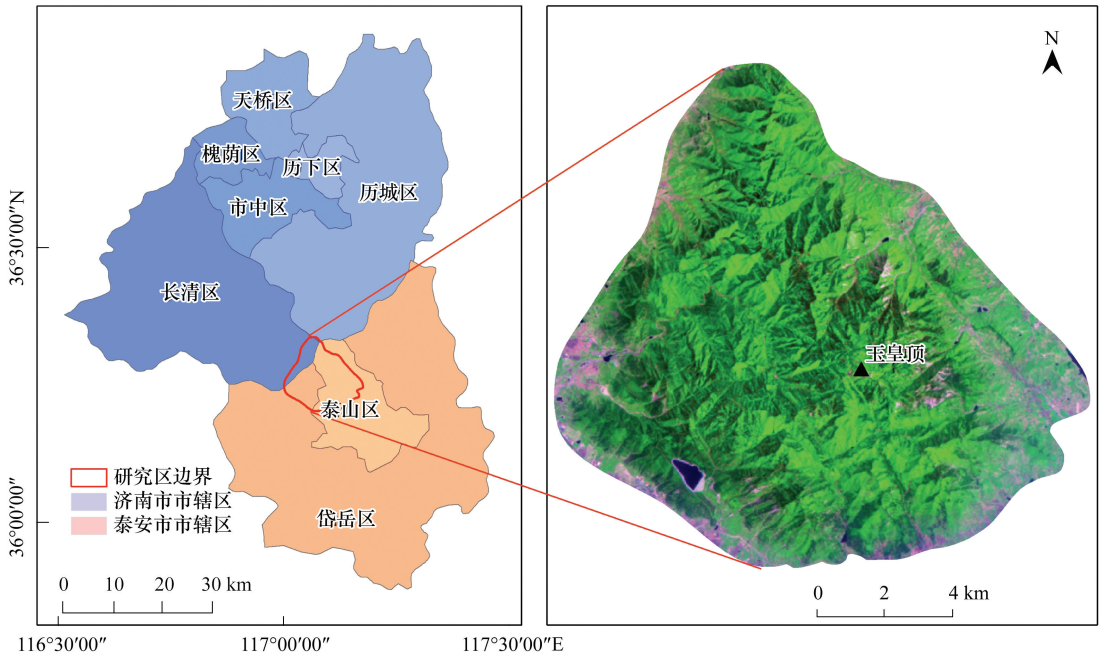

图 1 研究区区位图

Fig.1 Location of the study area

2.1.2 数据预处理

NDVI 与 NDMI 的物理依据是地物反射率的差异,而 TM 影像存储的为 DN 值,所以需要对 TM 影像进行辐射校正,将 DN 值转换成真实的地表反射率。MODIS 产品原始的投影为正弦投影,本文利用 ENVI 地理校正工具将投影转换为经纬度投影。海拔数据直接从 DEM 中提取,坡度和坡向数据由 ArcGIS 软件生成。由于直射像元接受的辐射量正比于太阳入射角 i 的余弦值[19],所以用它的余弦值表示其大小,其计算公式如下[20]:

$$\cos i = \cos\theta_p\cos\theta_z + \sin\theta_p\sin\theta_z\cos(\Phi_a - \Phi_0) \quad (1)$$

式中,θ_p、Φ_0 为坡度、坡向,θ_z、Φ_a 分别为 TM 影像拍摄时的太阳天顶角与方位角。θ_z、Φ_a 可通过查找 TM 影像的头文件得到,分别为 23.58°,116.03°。

所用 TM 为 L1T 数据,已经经过了地形校正,并且 TM 影像与 ASTGTM2 投影相同,因此,无需再对两者进行匹配,可以直接使用。

2.2 研究方法

2.2.1 地表温度反演

地表温度反映的是传感器在卫星高度观测到的热辐射强度相对应的地面温度[21]。本研究应用 TM6 的热红外波段并主要根据覃志豪等[22]推导出的单窗算法来反演泰山的地表温度。单窗算法依据地表热辐射传导方程,利用地表辐射率、大气透射率和大气平均温度 3 个参数推导出的一个简单易行的演算方法,来进行地表温度的演算。大气透过率采用 MOD07 的大气廓线数据进行估计,其他的演算公式以及参数取值详见文献 22,此处不再累述。当基本参数估计没有误差时,演算绝对精度 < 0.4 ℃,当参数有适度误差时,演算精度仍达 < 1.1 ℃[22]。当利用 MODIS 反演的大气参数应用于 TM 地表温度反演时,单窗算法的反演精度为 0.76 ℃[23]。与 1 km 的 MODIS 地温产品相比,通过单窗算法反演的地表温度具有高空间分辨率的优势。将 *NDVI*、遥感影像分类图、TM6 波段以及各个参数代入演算公式中,借助 ArcGIS 空间建模工具,获得研究区的地表温度(图 2)。

2.2.2 地形因子选取

由于所选研究区属于区域性山脉,因此,只考虑局地地形条件。Martin[15]在研究地形对植被冠层温

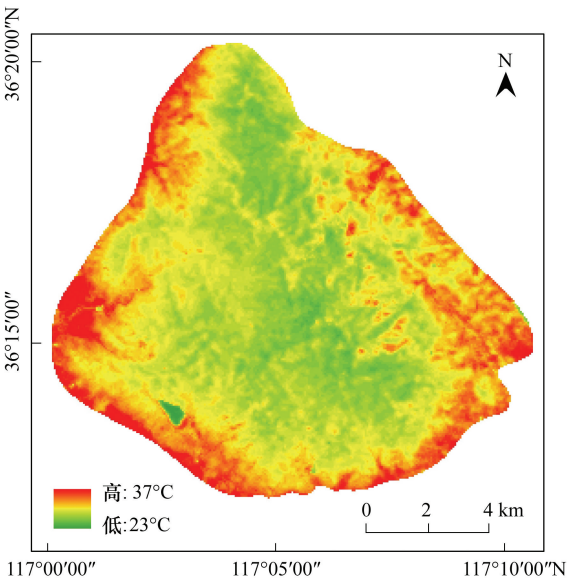

图 2　泰山 LST 空间分布图

Fig.2　LST map of Mount Tai

度影响时,选取了海拔与太阳入射角两个地形因素。Martin 研究认为太阳入射角是由坡度、坡向以及太阳高度角、方位角计算得出,因而太阳入射角就包含了这些因素所携带的信息。但是这种做法的科学性值得商榷,因为坡向、坡度是决定植被空间分布的主要原因[24],而植被可以引起地表温度空间分异,即坡度、坡向可以通过影响地表性质,间接影响到地表温度。而太阳入射角只是反映了栅格单元间所接收太阳入射能量的差异,不能反映地表性质的变化。综合考虑,本文中选定了 4 个地形因子:海拔、太阳入射角、坡度、坡向。

2.2.3　NDVI 与 NDMI 获取

地表热特征与植被紧密相关,而 NDVI 是表征地表植被覆盖特征的一种常用的植被指数。因此,NDVI 在一定程度上可以反映地表温度的特征。其值域范围[-1,1],正值对应着植被冠层的密度和绿色,值越大代表植被的覆盖度越高;0 代表该区域基本没有植被生长;负值代表非植被覆盖的区域。其计算公式为[25]:

$$NDVI=(NIR-Rdsat5)/(NIR+dsat5Rdsat5) \quad (2)$$

式中,NIR、dsat5Rdsat5 表示 TM4 近红外波段、TM3 红光波段。

NDMI 是利用近红外与短波红外之间的差异来表达的,与 NDVI 相比,NDMI 与植被冠层水汽含量高度相关[26],表征地表水汽特征。值域范围[0,1],高值对应着水汽含量高的植被冠层、水体,低值对应着岩石、建筑物、构筑物等表面水汽含量低的地表物质[3]。其计算公式[27]:

$$NDMI=(NIR-MIR)/(NIR+MIR) \quad (3)$$

式中,MIR 表示 TM5 短波红外波段。

2.2.4　GIS 与统计分析

本文选取了两类影响地表温度的因子:地形因子与地表特征指数 NDVI、NDMI。首先分别分析这两类因子与地表温度之间的关系,每个因子与地表温度之间的相关程度采用 Pearson 相关系数来描述。由于很多研究表明水体具有明显的降温效应,往往在地表形成绝对“冷岛”[28-29],因此在研究地表温度与地形的关系时,对研究区水体进行了掩模处理,由于研究区像元数太多,为较清晰地反映地形因子与地表温度间的关系,所以采用 300 m×300 m 渔网采样。NDVI 与 NDMI 都是反应地表特征的指数,由于研究区地表类型分布不均匀,水体较少,使用渔网采样不能较好地反映整体的特征。因此,计算逐像元条件下的 LST-NDVI 与 LST-NDMI 的 Pearson 相关系数,进行对比分析。然后,依据地表温度与每个因子相关系数的大小选取重要因子,与地表温度间进行单独分析。最后综合所有可选因子采用逐步回归分析法构建最优的地表温度回归方程,回归方程中由于变量较多,使用简单相关关系(Pearson 相关系数)已不能真实地反映单个因子与地表温度的关系,采用偏相关系数来判断变量的相对重要性[30]。分析统计过程在 SPSS 软件中实现。

3　结果与分析

为直观地展现泰山地表温度的分布特征,将地表温度反演图与 ASTGTM2 高程图叠加生成 LST 随地形变化的三维图(图 3)。

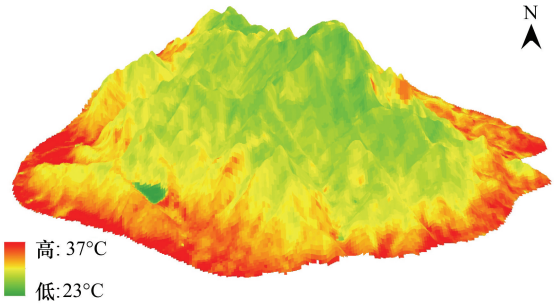

图 3　基于 DEM 的 LST 三维图

Fig.3　The three dimensional map of LST based on DEM

从图 3 可以看出,由边缘向中心,颜色逐渐由红色向绿色过渡,即地表温度随着海拔呈逐渐降低的趋势。为清晰准确地表示地表温度与地形之间的关系,将基于回归分析,进一步揭示它们之间的统计学规律。

3.1 地形、太阳入射能量对地表温度的影响分析

将选定的 4 个地形因子与地表温度间进行相关分析,分析结果见表 1。

从表 1 可以看出地表温度与坡度之间的相关性强于与太阳入射角(cos$i$)之间的相关性,这也说明提前剔除掉坡度、坡向因子是不合理的。地表温度与坡向之间的皮尔森相关系数最差,与海拔之间相关性最好。对除水体之外整个研究区用渔网采样后,构建了地表温度与海拔之间的散点图(图 4)。

表 1 泰山地区地表温度的地形因子间的相关系数

Table 1 Correlation coefficients between terrain factors and land surface temperature in Mount Tai

	海拔 Elevation	太阳入射角 cos$i$	坡度 Slope	坡向 Aspect	地表温度 LST Land surface temperature
海拔 Elevation	1.000	−0.265	0.510	0.047	−0.751 **
太阳入射角 cos$i$		1.000	−0.476	−0.577	0.293 **
坡度 Slope			1.000	0.035	−0.512 **
坡向 Aspect				1.000	−0.044 **

** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关

从图 4 散点图可以看出,随着海拔的升高,地表温度呈明显的降低趋势。为定量分析地表温度与海拔之间的关系,又对两者进行了线性与自然对数拟合。如图 4 所示,在海拔低于 900 m 左右,线性关系能很好地反映两者之间的关系,然而随着海拔继续升高,地表温度随海拔的变化率在逐渐的减小,自然对数的拟合分析整体效果较好。由此,可以得出,地表温度随着海拔的升高,并非是简单地线性降低,而是呈自然对数形式递减。

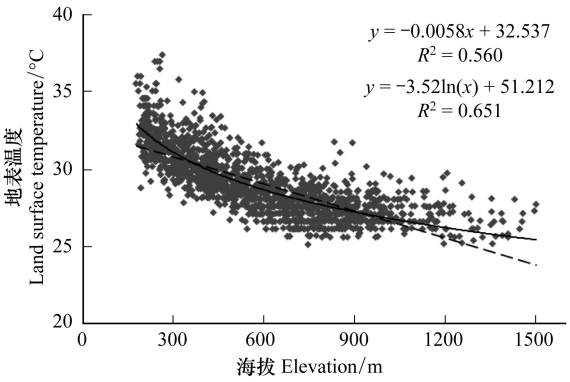

图 4 地表温度-海拔的散点图、与线性、自然对数拟合分析

Fig.4 The scatter diagrams and regression curves between land surface temperature and elevation

为进一步分析地表温度与地形因子之间的关系,应用逐步回归分析法建立地表温度与地形因子的回归方程,其中海拔取自然对数值,结果如表 2 所示。

由表 2 中可以看出,常数及其各变量都通过了 T 检验,方差膨胀因子 VIF 都较小,因子间没有多重共线性。由偏相关系数一列,可以得出:地表温度与海拔、坡度间呈负相关关系,与太阳入射角(cos$i$)、坡度呈正相关关系;影响地表温度的主要地形因素是海拔,坡度、坡向以及太阳入射能量对地表温度影响均非常小。

将表 2 中的“非标准回归系数”列数据代入多元回归模型得到地形因素影响下的最优的逐步回归模型:

$$LST = 49.399 - 3.364\ln(Elevation) - 0.01Slope + 0.001Aspect + 1.12\cos i \qquad R^2 = 0.663 \qquad (4)$$

3.2 NDVI 与 NDMI 对地表温度的影响

对研究区内的所有像元进行地表温度与 NDVI、NDMI 的相关分析,Pearson 相关系数分别为−0.742、−0.830,说明地表温度与两者之间均存在着高度负相关关系。为直观描述地表温度随 NDVI、NDMI 的变化规律,进一步统计了 LST-NDVI 与 LST-NDMI 的散点图(图 5)。

从图 5 可以看出这两个指数与地表温度的散点图中都存在“离群值点”,不同的是 NDVI 位于图 5 的低值处,而 NDMI 位于图 5 的高值处。将地表温度图与遥感影像图叠加进行对比,可以发现 LST-NDMI 之间的“离群点”都是水体纯净像元(图 5 黑色椭圆实线内);而 LST-NDVI 的“离群点”不但包括水体纯净像元(图 5 黑色椭圆实线内),还有水体与

自然地表混合像元(图 5 黑色椭圆虚线内)。水体与自然地表的混合像元如图 6 红色框所示,1 个热红外像元包含 4 个可见光像元。图 6 中红色框内,NDVI 为-0.067,LST 为 27.81 ℃,处于图 5 黑色虚线内。另外,由图 5 还可以看出水体以及水体与地表混合像元的 LST 与 NDVI 之间存在着正相关关系,这与梁保平[21]结论一致。

表 2　逐步回归分析最终模型的统计量

Table 2　The final model statistic results of stepwise regression

变量 Variable	非标准回归系数 Regression coefficients	*T*	显著水平 Sig.	方差膨胀子 VIF Variance inflation factor	偏相关系数 Partial correlation coefficients
常量 Constant	49.399	419.627	0.000		
海拔 lnElevation	-3.364	-219.166	0.000	1.469	-0.735
坡度 Slope	-0.010	-12.623	0.000	1.914	-0.062
坡向 Aspect	0.001	8.654	0.000	2.178	0.043
太阳入射角 cos*i*	1.120	16.073	0.000	1.686	0.079

$P < 0.01$, $R^2 = 0.663$

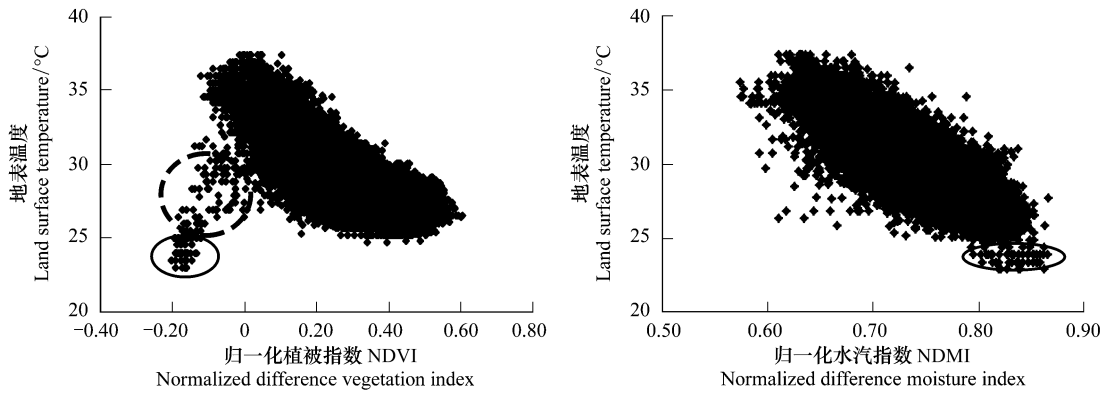

图 5　地表温度与归一化植被指数、归一化水汽指数的散点图

Fig.5　The scatter diagrams between LST and NDVI, NDMI

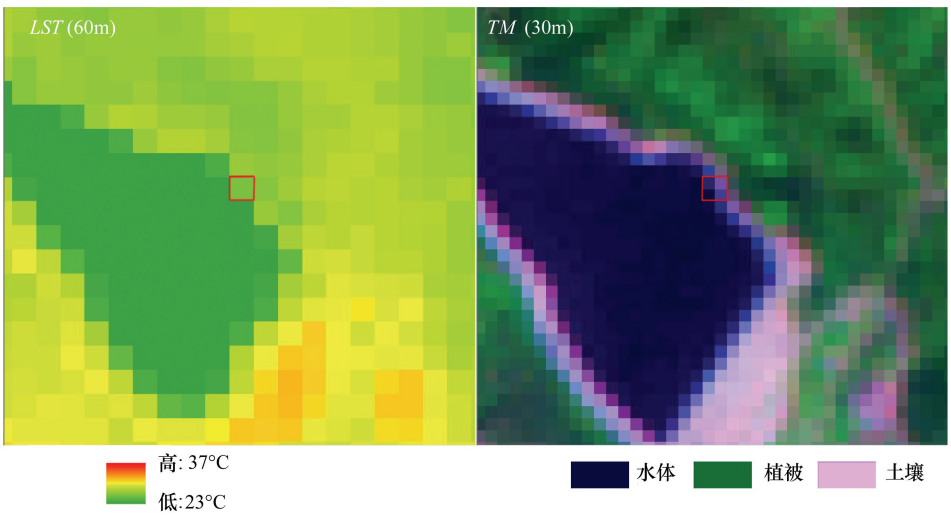

图 6　LST（60m）与 TM（30m）中近水体混合像元

Fig.6　Mixed pixels near the water body of LST（60m）and TM（30m）

对水体进行掩模及排除掉水体与自然地表混合像元后,分别建立 LST-NDMI 和 LST-NDVI 的回归方

程,结果如图 7 所示。

由图 7 可以看出,地表温度与 NDVI、NDMI 之间都具有良好的负相关函数关系。地表温度与 NDVI 之间关系是非线性的,随着 NDVI 的增大,地表温度降低的变化率在逐渐减小,两者之间的最佳拟合为二项式拟合(图 7),这也表明了地表温度在高植被覆盖区(NDVI > 0.5 左右)的“饱和”现象[31-32]。图 7 显示的地表温度与 NDMI 的散点图及回归方程可以看出地表温度与 NDMI 之间呈稳定而简单的线性关系,且复相关系数(R^2 = 0.691)较地表温度与 NDVI (R^2 = 0.650)之间的高。

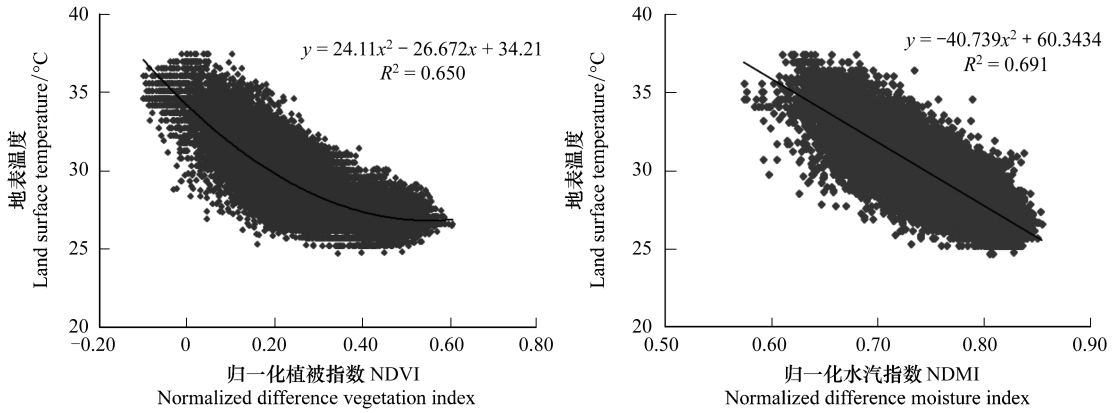

图 7 地表温度与 NDVI、NDMI 的散点图及回归分析

Fig.7 The scatter diagrams and regression curves between LST and NDVI, NDMI

综上所述,在山区,当没有水体时,NDVI、NDMI 与地表温度均存在着很强的负相关函数关系;当有水体时,NDMI 在使用时,需要对水体进行掩模,而 NDVI 还需要对水体做一定距离的缓冲区,将混合像元也排除掉。NDMI 适用范围比 NDVI 广,且与地表温度的拟合效果优于 NDVI。结合钱乐祥[3]平原城市中的研究结果,可以得出在夏季,表征地表水汽特征的 NDMI 比表征地表植被覆盖状况的 NDVI 更适合于表达地表热特征。NDVI 与 NDMI 虽然表征的内容上有所不同,但两者之间相关系数为 0.783,具有高度的相关性,为避免变量间的共线性问题,因此,选取 NDMI 作为描述地表性质的参量,参与下面的回归分析。

3.3 山地地形地表温度的多因子回归分析

基于以上分析,对研究内水体进行掩模处理后,选取了海拔、坡度、坡向以及太阳入射角和 NDMI 5 个因子,其中海拔取自然对数,对山区地表温度进行综合分析。统计量如表 3 所示。

表 3 逐步回归分析最终模型的统计量

Table 3 The final model statistic results of stepwise regression

变量 Variable	非标准回归系数 Regression coefficients	*T*	显著水平 Sig.	方差膨胀因子 VIF Variance inflation factor	偏相关系数 Partial correlation coefficients
常量 Constant	61.096	552.789	0.000		
归一化水汽指数 NDMI	−25.643	−176.882	0.000	1.870	−0.659
海拔 lnElevation	−2.003	−144.412	0.000	2.120	−0.581
坡向 Aspect	0.001	11.401	0.000	1.686	0.056
太阳入射角 cos*i*	0.219	4.159	0.000	2.198	0.020
坡度 Slope	−0.001	−2.331	0.006	1.927	−0.014

$P < 0.01$, R^2 = 0.809

由偏相关系数一列可以看出,影响泰山山区地表温度的最大因素是地表自身的水汽特征,其次是海拔,且都与地表温度呈显著负相关关系。地表温度与其他 3 个地形因子间均是弱相关关系。

将表 3 中的“非标准回归系数”列数据代入多元回归模型得到泰山山区的最优的逐步回归模型:

$$LST = 61.096 - 25.643NDMI - 2.003\ln(Elevation) + 0.001Aspect + 0.219\cos i - 0.001Slope \quad R^2 = 0.809 \quad (5)$$

4　结论与讨论

本文采用 TM6 单窗算法,获得泰山山区的地表温度。并应用统计学原理分析地表温度与地形因子和归一化指数(NDVI、NDMI)之间的关系,得到出以下结论:

(1)地表温度随着海拔的升高以显著自然对数形式递减。在地形因子对地表温度影响分析中发现,海拔是地表温度的最大影响因素,而坡度、坡向以及太阳入射能量等局地地形条件的影响均很小。

(2)反映下垫面特性的 NDVI 与 NDMI 对地表温度的影响分析发现地表温度与这两个指数都具有良好的负相关关系。但研究也发现 NDVI 在表征地表温度时,不但要对水体进行掩膜,还要对水体进行一定范围的缓冲区处理,另外地表温度在高植被覆盖区(NDVI > 0.5 左右)会出现"饱和"现象。相比于 NDVI 与地表温度的二次项负相关,NDMI 与地表温度的线性负相关更能有效表达地表温度。

基于以上研究可以发现影响夏季泰山山区地表温度的主要因素是下垫面特征,其次是海拔,而坡向、太阳入射角和坡度对地表温度也会产生不同程度的影响。本研究尝试综合考虑地形因素及下垫面特征分析地表温度空间分布差异性的影响因素,研究结果为科学的理解山区地表温度空间格局特征及机制提供一定的参考。整个研究区内的植被覆盖度较高,所得结论在裸地较多的山区是否适用还需单独分析。本文研究区内海拔差异较大,因此采用 NDVI 估算地表辐射率,会对地表温度的反演结果产生一定影响;除此之外,地表温度还会受人类活动、局地微气象等因素的影响,本研究都没有考虑,这有待于将来进一步研究与探讨。

致谢:占文凤副教授对本文写作给予帮助,特此致谢。

References:

[1] Weng D M, Luo Z X. Mountainous Terrain Climate. Beijing: Meteorological Press, 1990: 144-144.

[2] Weng Q H, Lu D S, Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote sensing of Environment, 2004, 89(4): 467-483.

[3] Qian L X, Cui H S. Relationship between normalized difference moisture index and land surface temperature. Geographical Research, 2008, 27(6): 1358-1366.

[4] Peng Z, Liao H P, Guo Y T, Li Q. Influence of land cover change on land surface temperature in the mountainous city. Geographical Research, 2009, 28(3): 673-684.

[5] Zhou Y, Shi T M, Hu Y M, Gao C, Liu M. Relationships between land surface temperature and normalized difference vegetation index based on urban land use type. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(7): 1504-1512.

[6] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. Remote Sensing Reviews, 1994, 9(1/2): 161-173.

[7] Goetz S J. Muti-sensor analysis of NDVI, surface temperature and biophysical variables at a mixed grassland site. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(1): 71-94.

[8] Li G D, Wang N A, Zhang J H, Zhao L Q. Urban thermal field and heat island effect of Lanzhou city in summer. Scientia Geographica Sinica, 2008, 28(5): 709-714.

[9] Deng Y J, Kuang Y Q, Huang N S, Huang J. Remote sensing analysis of urban thermal environment changes under background of enhanced greenhouse effect—An example of Dongguan, Guangdong. Scientia Geographica Sinica, 2008, 28(6): 814-819.

[10] Price J C. Using spatial context in satellite data to infer regional scale evapotranspiration. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1990, 28(5): 940-948.

[11] Gillies R R, Kustas W P, Humes K S. A verification of the 'triangle' method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the normalized difference vegetation index, NDVI and surface temperature. International Journal of Remote Sensing, 1997, 18(15): 3145-3166.

[12] Li H, Liu Q H, Zou J. Relationships of LST to NDBI and NDVI in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan Area Based on MODIS Data. Scientia Geographica Sinica, 2009, 29(2): 262-267.

[13] Wilson E H, Sader S A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. Remote Sensing of Environment, 2002, 80(3): 385-396.

[14] Geiger R, Aron R H, Todhunter P. The Climate Near the Ground. 6th ed. Lanham, MD: Rowman and Littlefield Publishers, 2003.

[15] Hais M, Kučera T. The influence of topography on the forest surface temperature retrieved from Landsat TM, ETM + and ASTER thermal channels. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2009, 64(6): 585-591.

[16] Bailey R G. Ecosystem Geography. New York: Springer Verlag, 1996.

[17] Wilson J P, Gallant J. Secondary topographic attributes // Terrain Analysis: Principles and Applications. New York: John Wiley & Sons, 2000: 87-131.

[18] Bellasio R, Maffeis G, Scire J S, Longoni M G, Bianconi R, Quaranta N. Algorithms to account for topographic shading effects

and surface temperature dependence on terrain elevation in diagnostic meteorological models. Boundary-Layer Meteorology, 2005, 114(3): 595-614.

[19] Meyer P, Itten K I, Kellenberger T, Sandmeier S, Sandmeier R. Radiometric corrections of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 1993, 48(4): 17-28.

[20] Pierce K B, Lookingbill T, Urban D. A simple method for estimating potential relative radiation (PRR) for landscape-scale vegetation analysis. Landscape Ecology, 2005, 20(2): 137-147.

[21] Liang B P, Li Y, Chen K Z. A research on land features and correlation between NDVI and land surface temperature in Guilin City. Remote Sensing Technology and Application, 2012, 27(3): 429-435.

[22] Qing Z H, Zhang M H, Karnieli A, Berliner P. Mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM6 Data. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 456-466.

[23] Zheng W W, Zeng Y N. Comparative analysis of two land surface temperature retrieval algorithms based on multi-source remote sensing data. Journal of Geo-information Science, 2011, 13(6): 840-847.

[24] Jiao C W, Zhao M D, Tang G A, Liu X J, Li X Y. Relationship between vegetation spatial pattern and terrain using GIS techniques—A case study in Yaoxian County of Shaanxi province. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2005, 25(6): 19-23.

[25] Rouse J W Jr, Haas R H, Schell J A, Deering D W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium-Volume I: Technical Presentations. Washington, D C: NASA, 1974: 309-317.

[26] Hardisky M S, Klemas V, Smart R M. The influence of soil salinity, growth form, and leaf moisture on the spectral radiance of Spartina alterniflora canopies. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1983, 48: 77-84.

[27] Li S Q. The Response of Land Use Change to Moisture and Temperature of Land Surface in Xiangjiang River Basin [D]. Xiangtan: Hunan University of Science and Technology, 2012.

[28] Duan J L, Zhang X L. Correlative analysis of the diversity patterns of regional surface water, NDVI and thermal environment. Chinese Journal of Applied Ecology, 2012, 23(10): 2812-2820.

[29] Sun Z R. Study on the Cooling effect of Urban green spaces in Nanjing City [D]. Nanjing: Nanjing University, 2012.

[30] Yang S, Sun G J, He W Y, Zhao H, Li F M, Xiong Y C. Correlation of topographic factors with precipitation and surface temperature in arid and cold region of Northwest China: a case study in Gansu Province. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(9): 2414-2420.

[31] Huete A, Didan K, Miura T, Rodriguez E P, Gao X, Ferreira L G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 2002, 83(1): 195-213.

[32] Yang X, Wu J J, Yan F, Zhang J. Assessment of regional soil moisture status based on characteristics of surface temperature/vegetation index space. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1205-1216.

参考文献:

[1] 翁笃鸣, 罗哲贤. 山区地形气候. 北京: 气象出版社, 1990: 144-144.

[3] 钱乐祥, 崔海山. 归一化水汽指数与地表温度的关系. 地理研究, 2008, 27(6): 1358-1366.

[4] 彭征, 廖和平, 郭月婷, 李清. 山地城市土地覆盖变化对地表温度的影响. 地理研究, 2009, 28(3): 673-684.

[5] 周媛, 石铁矛, 胡远满, 高畅, 刘森. 基于城市土地利用类型的地表温度与植被指数的关系. 生态学杂志, 2011, 30(7): 1504-1512.

[8] 李国栋, 王乃昂, 张俊华, 赵力强. 兰州市城区夏季热场分布与热岛效应研究. 地理科学, 2008, 28(5): 709-714.

[9] 邓玉娇, 匡耀求, 黄宁生, 黄江. 温室效应增强背景下城市热环境变化的遥感分析——以广东省东莞市为例. 地理科学, 2008, 28(6): 814-819.

[12] 历华, 柳钦火, 邹杰. 基于MODIS数据的长株潭地区NDBI和NDVI与地表温度的关系研究. 地理科学, 2009, 29(2): 262-267.

[21] 梁保平, 李艺, 陈可宙. 桂林市NDVI、地表温度的地物特征及相关性研究. 遥感技术与应用, 2012, 27(3): 429-435.

[22] 覃志豪, Zhang M H, Karnieli A, Berliner P. 用陆地卫星TM6数据演算地表温度的单窗算法. 地理学报, 2001, 56(4): 456-466.

[23] 郑文武, 曾永年. 地表温度的多源遥感数据反演算法对比分析. 地理信息科学学报, 2011, 13(6): 840-847.

[24] 焦超卫, 赵牡丹, 汤国安, 刘学军, 李晓印. 基于GIS的植被空间格局特征与地形因子的相关关系——以陕西省耀县为例. 水土保持通报, 2005, 25(6): 19-23.

[27] 李少青. 湘江流域土地利用变化的地表水热环境响应研究[D]. 湘潭: 湖南科技大学, 2012.

[28] 段金龙, 张学雷. 区域地表水体、归一化植被指数与热环境多样性格局的关联分析. 应用生态学报, 2012, 23(10): 2812-2820.

[29] 孙振如. 南京市城市绿地降温效应研究[D]. 南京: 南京大学, 2012.

[30] 杨森, 孙国钧, 何文莹, 赵鸿, 李凤民, 熊友才. 西北旱寒区地理、地形因素与降雨量及平均温度的相关性——以甘肃省为例. 生态学报, 2011, 31(9): 2414-2420.

[32] 杨曦, 武建军, 闫峰, 张洁. 基于地表温度-植被指数特征空间的区域土壤干湿状况. 生态学报, 2009, 29(3): 1205-1216.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.12 June, 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Development history and future research priorities of landscape ecology in China ..... CHEN Liding, LI Xiuzhen, FU Bojie, et al (3129)

Research review on effects of urban landscape pattern changes on water environment ..... HUANG Shuo, GUO Qinghai (3142)

A review of multifunctional landscape ..... TANG Qian, DING Shengyan (3151)

Compact development of space-limited city: a case study of Xiamen Island ..... HUANG Shuo, GUO Qinghai, TANG Lina (3158)

Analysis of factors contributing to the cooling effects of Purple Mountain Forest Park ..... YAN Weijiao, KONG Fanhua, YIN Haiwei, et al (3169)

Impacts of structure characteristics on the thermal environment effect of city parks ..... FENG Yueyi, HU Tangao, ZHANG Lixiao (3179)

Suitability assessment for building land consolidation on gentle hillside based on OWA operator: a case in Dali Bai Nationality Borough in Yunnan, China ..... LIU Yanxu, PENG Jian, HAN Yinan, et al (3188)

Optimization of land use pattern based on eco-security: a case study in the huangfuchuan watershed ..... YU Feng, LI Xiaobing, WANG Hong (3198)

Analysis of land use/cover change from 2000 to 2010 and its driving forces in Manas River Basin, Xinjiang ..... LIU Jinwei, JIN Tiantian, LIU Guohua, et al (3211)

Dynamic trend analysis of land use change in the ganjiang upstream watershed by using RS and GIS techniques ..... LU Yanfei, PENG Fang, WAN Yun, et al (3224)

Landscape pattern dynamics and driving forces analysis in the Sanjiang Plain from 1954 to 2010 ..... LIU Jiping, ZHAO Dandan, TIAN Xuezhi, et al (3234)

Optimizing theory and case studies of cultivated slope land in the center of three gorges reservoir area based on patch-scale land evaluation ..... WANG Yongyan, LI Yangbing, SHAO Jingan, et al (3245)

Spatial-temporal evolution of land use and landscape pattern of the mountain-basin system in Guizhou Province ..... LI Yangbing, YAO Yuanwen, XIE Jing, et al (3257)

Spatio-temporal simulation of land cover scenarios in southwestern of China ..... LI Jing, FAN Zemeng, YUE Tianxiang (3266)

Gradient analysis of dry valley of Minjiang River landscape pattern, based on moving window method ..... ZHANG Lingling, ZHAO Yonghua, YIN Sha, et al (3276)

Study on spatio-temperal change of Tibetan Antelope's habitat based on vegetation coverage ..... ZHAO Haidi, LIU Shiliang, DONG Shikui, et al (3285)

Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping field in a groge Karst region, Southwest China ..... FAN Fujing, HUANG Guoqin, SONG Tongqing, et al (3293)

Characteristics of soil microbial populations and biomass under different ecosystems in a canyon karst region ..... TAN Qiujin, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (3302)

Spatial and temporal dynamics of land use and its influence on ecosystem service value in Yangtze River Delta ..... LIU Guilin, ZHANG Luocheng, ZHANG Qian (3311)

Evaluation of tourism dynamic landscape along Qinghai-Tibet railway based on the visual corridor ..... ZHANG Ruiying, XI Jianchao, YAO Yulong, et al (3320)

A study of spatial evolution characteristics of rural settlements and influences of landscape patterns on their distribution using GIS and RS ..... REN Ping, HONG Buting, LIU Yin, et al (3331)

Assessing the ecosystem conservation status and priority: a case study from Jiangxi Province, China ····· FAN Naiqing, ZHANG Yuxin, LÜ Yihe, et al (3341)

The impact of salt marsh change on sediment accumulation and wave attenuation at the East Chongming Island ····· REN Linjing, LI Xiuzhen, YANG Shilun, et al (3350)

Landscape classification system based on climate, landform, ecosystem: a case study of Xinjiang area ····· SHI Qingdong, WANG Zhi, HE Longmei, et al (3359)

Analysis of landscape pattern evolution characteristic in the hilly and gully area of loess plateau: a case study in Yan'an City, Shaanxi Province ····· ZHONG Lina, ZHAO Wenwu, LV Yihe, et al (3368)

Analysis of the characteristics of agro-landscape heterogeneity under the different disturbances: a case study of Gongyi City ····· ZHANG Xiaoyang, LIANG Guofu, DING Shengyan (3378)

Classification and ordination of grassland landscape in the Shanxi Plateau ····· ZHANG Xianping, LI Zhiqin, WANG Mengben, et al (3386)

Analysis of factors affecting mountainous land surface temperature in the summer: a case study over Mount Tai ····· SUN Changfeng, KONG Fanhua, YIN Haiwei, et al (3396)

Research on spatial distribution and influencing factor of soil moisture in typical depression area of karst region ····· ZHANG Jiguang, SU Yirong, CHEN Hongsong, et al (3405)

Landscape heterogeneity of mountainous and hilly area in the western Henan Province based on moving window method ····· LI Dongke, DING Shengyan, LIANG Guofu, et al (3414)

Trends in vegetation and their responses to climate and topography in northwest Guangxi ····· TONG Xiaowei, WANG Kelin, YUE Yuemin, et al (3425)

Landscape pattern analysis on change of fractional vegetation cover between karst and no-karst areas: a case study in Hechi District, Guangxi Zhuang Autonomous Region ····· WANG Mingchong, WANG Xizhi, LIANG Zhaoxiong, et al (3435)

Multi-scale effects for landscape metrics and species diversity under the different disturbance: a case study of Gongyi City ····· DONG Cuifang, LIANG Guofu, DING Shengyan, et al (3444)

Spatial heterogeneity of soil organic carbon and total nitrogen concentrations in a *Lithocarpus glaber-Cyclobalanopsis glauca* evergreen broadleaved forest ····· YANG Dan, XIANG Wenhua, FANG Xi, et al (3452)

The characteristics and regeneration of the *Choerospondias axillaries* broad-leaved community in the hilly region of central Hunan Province, China ····· YI Hao, DENG Xiangwen, XIANG Wenhua, et al (3463)

Factors influencing the spatial distribution of vegetation carbon density in karst landscapes of Northwest Guangxi: a case study based on radial basis function network model ····· ZHANG Mingyang, WANG Kelin, DENG Zhenhua, et al (3472)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933　　CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址: 100085 北京海淀区双清路 18 号　**电　　话**:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@ rcees.ac.cn　**网　　址**: www.ecologica.cn

编辑部主任　孔红梅　　**执行编辑**　刘天星　段　靖

生　态　学　报
(SHENGTAI　XUEBAO)
(半月刊　1981 年 3 月创刊)
第 34 卷　第 12 期　(2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34　No. 12 (June, 2014)

编　　辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@ rcees.ac.cn
主　　编	王如松
主　　管	中国科学技术协会
主　　办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
印　　刷	北京北林印刷厂
发　　行	科学出版社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
订　　购	全国各地邮局
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@ rcees.ac.cn
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
Domestic **Foreign**	All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation Add:P.O.Box 399 Beijing 100044, China

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q　　国内外公开发行　　国内邮发代号 82-7　　国外发行代号 M670　　定价 90.00 元