

文章编号: 2095-2163(2019)01-0092-07

中图分类号: TP751

文献标志码: A

# 龙泉市植被覆盖度与地表温度时空演变及相关性分析

乐柯君

(浙江农林大学 信息工程学院, 浙江 临安 311300)

**摘要:** 植被是城市生态系统的重要组成部分,在提升热舒适度方面起至关重要的作用。以国家森林城市龙泉市为研究对象,利用2003年、2010年、2017年三期遥感数据提取植被覆盖度、反演地表温度,运用差异分区和叠图分析方法研究植被覆盖度及地表温度时空演变,运用空间统计与线性回归方法研究植被覆盖度与地表温度耦合关系。结果表明:龙泉市植被覆盖度与地表温度均呈上升趋势;植被覆盖度与地表温度呈现明显空间集聚性;植被覆盖度处于不同水平时,与地表温度的线性相关性存在差异。

**关键词:** 植被覆盖; 地表温度; 相关性分析

## Spatial-temporal evolution and correlation analysis of vegetation coverage and land surface temperature in Longquan City

LE Kejun

(College of Information Engineering, Zhejiang A&amp;F University, Lin'an Zhejiang 311300, China)

**[Abstract]** Vegetation is an important part of the urban ecosystem and plays a vital role in improving thermal comfort. Taking the national forest city Longquan City as the research object, using the remote sensing data of 2003, 2010 and 2017 to extract vegetation coverage and invert the land surface temperature. The spatial and temporal evolution of vegetation coverage and land surface temperature is studied by using differential zoning and overlay analysis methods. Spatial statistic and linear regression method are used to study the coupling relationship between vegetation coverage and surface temperature. The results demonstrate that the vegetation coverage and land surface temperature of Longquan City shows an upward trend; the vegetation coverage and land surface temperature shows obvious spatial agglomeration; when the vegetation coverage is at different levels, the linear correlation with land surface temperature is different.

**[Key words]** vegetation coverage; land surface temperature; correlation analysis

## 0 引言

伴随经济的高速发展和人口的持续增长,中国城市化进程日益加快,国家统计局最新数据显示,2017年末,国内城镇常住人口81347万人,城市化率为58.52%<sup>[1]</sup>。城镇化发展有利于促进要素资源优化配置,但也使城市景观发生剧烈变化,水泥、沥青等不透水面层组成的建成区持续扩张,天然植被、水体等构建的生态空间不断萎缩<sup>[2]</sup>。城市热环境空间分布格局因下垫面景观改变而变化<sup>[3-5]</sup>,其作为人居环境的一方面,对公共空间的舒适性、安全性产生直接影响,也与公众健康息息相关<sup>[6]</sup>,受可持续景观、生态地理等领域的专家广泛关注。

城市植被作为生态环境的保障,对于生态系统稳定运行和热环境调节均具有重要作用<sup>[7]</sup>。植被覆盖度是衡量区域植被状况的关键指标,较好反映地区景观组分,常作为重要参数输入到水土流失监

测、土地沙漠化评价和分布式水文模型<sup>[8]</sup>。诸多学者已根据植被覆盖度与地表温度间的耦合关系,分析植被对于热环境的调控作用<sup>[9-11]</sup>。目前相关研究多着眼于中低植被覆盖度区域,本文以国家森林城市为研究区,利用2003年、2010年、2017年三期遥感数据研究域植被覆盖度与地表温度的时空演变,探索二者空间集聚性、线性相关性,与现有研究形成互补。

## 1 研究区概况

龙泉市(27°42'~28°20'N,118°42'~119°25'E)东西宽70.25公里,南北长70.80公里,总面积达到了3059平方公里,位于浙江省西南部的浙闽赣边境,东邻云和、景宁县,南接庆元县,西连福建省浦城县,北依遂昌、松阳县,素有“瓯婺八闽通衢”、“驿马要道,商旅咽喉”之称,是浙江省入福建、江西的主要通道。其区位示意图如图1所示。

**作者简介:** 乐柯君(1994-),男,硕士研究生,主要研究方向:林业信息技术及应用。

**收稿日期:** 2018-11-26

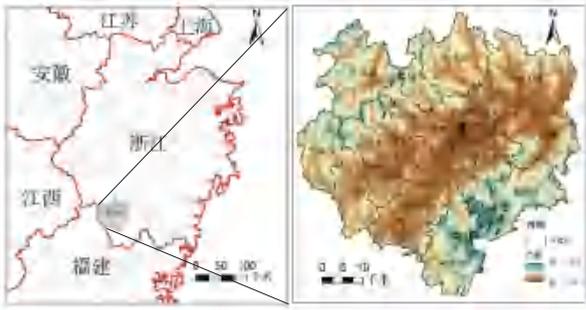


图 1 龙泉市区位示意图

Fig. 1 Location map of Longquan City

龙泉市是生态高地,获“国家级生态示范区”、“国家森林城市”、“国家园林城市”、“国家重点生态功能区”等称号,是浙江省重要的集体林区,森林覆盖率达 84.2%,其主要森林类型为常绿落叶阔叶混交林、针叶阔叶混交林、常绿阔叶林、黄山松林、马尾松林、杉木林、毛竹林以及山地矮林、灌丛等<sup>[12]</sup>。龙泉地貌以山地为主,低、中山带占总面积 69.17%,丘陵占 27.92%,河谷平原仅占 2.91%,有“九山半水半分田”之谓。龙泉位于中亚热带气候区,四季分明,温暖湿润。因地形复杂,海拔高低悬殊,气候基本呈垂直分布,光、温、水地域差异明显。海拔 800 m 以下区域属凉亚热带湿润季风气候;海拔 800 m 以上区域近于暖温带湿润季风气候。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源及预处理

本研究涉及的数据主要包括:

(1) 5 景清晰无云的 Landsat 遥感影像,分别为 2003 年 11 月 13 日 Landsat5 TM 影像(行列号 119040、119041)、2010 年 10 月 31 日 Landsat5 TM 影像(行列号 119040、119041)、2017 年 11 月 3 日 Landsat8 OLI/TIRS 影像(行列号 119041),来自 EarthExplorer(<https://earthexplorer.usgs.gov/>),用于反演植被覆盖度和地表温度。

(2) MOD05-L2 水汽产品,卫星过境时间与 Landsat 影像获取时间相近,来自 NASA(<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/order/1/MODIS>),用于估算温度反演所需的大气透过率。

(3) 龙泉地区 GDEM V2 30M 分辨率数字高程数据产品,来自地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/search>),主要用于地形校正。

(4) 气象数据,包括三期 Landsat 影像获取日的最高气温、最低气温、平均气温及平均地温,来自龙泉市气象局,用于选择温度反演的回归系数、估算大

气平均作用温度及验证地表温度反演结果。

对 Landsat 影像进行辐射定标、大气校正、地形校正、几何精校正、研究区镶嵌裁剪等预处理,所用影像及其它数据统一至 WGS\_1984\_UTM\_Zone\_50N 坐标系。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 地表温度反演及植被覆盖度提取

选用覃志豪单窗算法对龙泉市地表温度进行反演,该法在保证精度的同时,不需完整的大气剖面数据,仅需地表比辐射率、大气平均作用温度、大气透过率 3 个参数就能完成地表温度反演计算。其算法如下:

$$LST = [a * (1 - C - D) + (b * (1 - C - D) + C + D) * T_{sensor} - D * T_a] / C$$

$$C = \varepsilon * \tau$$

$$D = (1 - \tau) * (1 + (1 - \varepsilon) * \tau) \quad (1)$$

其中,  $LST$  为地表温度,单位为 K;  $a$ 、 $b$  为回归系数,可根据研究区温度范围,查 TIRS 回归系数表得到<sup>[13-14]</sup>;  $C$ 、 $D$  为中间变量;  $\varepsilon$  为地表比辐射率,利用归一化差值植被指数  $NDVI$  结合植被覆盖度  $P_v$  来求取,见公式(2)~(5);  $\tau$  为大气透过率,可根据大气透过率与水汽含量关系表估算<sup>[14-15]</sup>;  $T_{sensor}$  为卫星高度上传感器所探测到的星上亮温,单位为 K,可通过 ENVI 辐射定标得到;  $T_a$  为大气平均作用温度,在缺少实测数据情况下,可根据大气平均作用温度估算方程估算<sup>[16]</sup>。

地表比辐射率  $\varepsilon$  是地温反演算法中的必要参数,水体像元利用典型水体比辐射率 0.995 进行赋值,遥感影像监督分类所得建筑属于城镇像元,裸地、植被属于自然像元,计算公式如下:

$$\varepsilon = P_v R_v \varepsilon_v + (1 - P_v) R_m \varepsilon_m + d\varepsilon (\text{城镇地表}) \quad (2)$$

$$\varepsilon = P_v R_v \varepsilon_v + (1 - P_v) R_s \varepsilon_s + d\varepsilon (\text{自然地表})$$

其中,  $P_v$  为植被覆盖度,可通过  $NDVI$  进行计算,公式如下:

$$P_v = [(NDVI - NDVI_s) / (NDVI_v - NDVI_s)]^2 \quad (3)$$

其中,  $NDVI_s$  与  $NDVI_v$  分别为裸土与植被的  $NDVI$  值。根据研究区实际情况,取  $NDVI_s = 0.15$  和  $NDVI_v = 0.75$ ,且当某个像元的  $NDVI$  大于 0.75 时,  $P_v$  取值为 1,当  $NDVI$  小于 0.15 时,  $P_v$  取值为 0。

$R_v$ 、 $R_m$ 、 $R_s$  分别为植被、建筑、裸土表面的温度比率,估算公式为:

$$R_v = 0.933 2 + 0.058 5 P_v$$

$$R_m = 0.990 2 + 0.106 8 P_v \quad (4)$$

$$R_s = 0.988 6 + 0.128 7 P_v$$

$\varepsilon_v$ 、 $\varepsilon_m$ 、 $\varepsilon_s$  分别为植被、建筑、裸土纯净像元的地表比辐射率,参照他人研究成果,设为 0.987、0.965、0.968<sup>[16]</sup>。在地表相对平整时,可取  $d\varepsilon = 0$ ;地表高低相差较大时,可根据植被构成比例进行估算<sup>[17]</sup>,公式如下:

$$\begin{aligned} \text{当 } P_v \leq 0.5 \text{ 时, } d_\varepsilon &= 0.0038 P_v \\ \text{当 } P_v > 0.5 \text{ 时, } d_\varepsilon &= 0.0038(1 - P_v) \end{aligned} \quad (5)$$

### 2.2.2 双变量空间自相关分析

为了刻画多个变量的空间相关性,相关学者在 Moran' I 指数的基础上进一步拓展了双变量全局自相关和局部自相关,为揭示不同要素空间分布的相关性提供了可行方法<sup>[18]</sup>,将其定义为:

$$I_{in}^p = z_l^p \times \sum_{q=1}^m W_{pq} \times z_n^q \quad (6)$$

其中,  $z_l^p = \frac{X_l^p - \bar{X}_l}{\sigma_l}$ ;  $z_n^q = \frac{X_n^q - \bar{X}_n}{\sigma_n}$ ;  $X_l^p$  是空间单元  $p$  的属性  $l$  的值;  $X_n^q$  是空间属性  $q$  的属性  $n$  的值;  $\bar{X}_l$  和  $\bar{X}_n$  分别是属性  $l$  和  $n$  的平均值;  $\sigma_l$  和  $\sigma_n$  分别是属性  $l$  和  $n$  的方差。

## 3 研究结果

### 3.1 龙泉市植被覆盖度时空演变

为清晰反映市域范围植被覆盖分布情况,利用 ArcGIS 10.2 软件生成 2003 年、2010 年、2017 年三期植被覆盖分布图,如图 2 所示。根据植被覆盖度的阈值,使用等间隔分类法将其分为 5 个等级:低覆盖( $P_v$ : 0 ~0.2)、中低覆盖( $P_v$ : 0.2 ~0.4)、中覆盖( $P_v$ : 0.4 ~0.6)、中高覆盖( $P_v$ : 0.6 ~0.8)、高覆盖( $P_v$ : 0.8 ~1)。

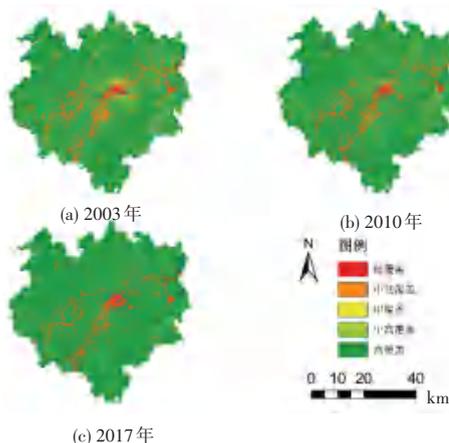


图 2 2003 年、2010 年、2017 年龙泉市植被覆盖时空分布

Fig. 2 Temporal and spatial distribution of vegetation coverage in Longquan City in 2003, 2010, 2017

结合图 2 与 Google Earth 历史影像,可以发现低覆盖、中低覆盖主要分布于东北至西南一带,为八都溪、道太溪、龙泉溪等大小水域及中心城区与各乡镇形成的不透水面;中覆盖主要分布于低覆盖、中低覆盖周围,为人类生产生活区与自然生态区之间的过渡地带;中高覆盖、高覆盖在全市范围内广泛分布,为凤阳山、山坑林场、天师山、昂山等生态空间,大量为公益林斑块,林木茂密且较少分布建筑物。三期遥感影像的平均植被覆盖度分别为 0.87、0.89、0.91,呈稳步上升趋势。

2003 年、2010 年、2017 年不同植被覆盖度等级面积比例变化详见表 1。通过表 1 反映了三期影像各植被覆盖度等级面积比例的变化,发现 2003 年、2010 年、2017 年低覆盖面积比例略微提升,中低覆盖、中覆盖、中高覆盖面积比例持续下降,高覆盖面积比例持续上升。将植被覆盖度变化值分为 4 级:中高度退化( $\Delta P_v$ : < -0.2)、轻度退化( $\Delta P_v$ : -0.2 ~0)、轻度改善( $\Delta P_v$ : 0 ~0.2)、中高度改善( $\Delta P_v$ : > 0.2)。2003 年、2010 年、2017 年龙泉市植被覆盖度演变则如图 3 所示。

表 1 2003 年、2010 年、2017 年不同植被覆盖度等级面积比例变化  
Tab. 1 Changes in the proportion of different levels of vegetation coverage in 2003, 2010, 2017 %

影像年度	低覆盖	中低覆盖	中覆盖	中高覆盖	高覆盖
2003	4.09	4.49	5.51	8.14	77.71
2010	4.20	2.97	3.85	7.19	81.74
2017	4.31	2.45	2.59	3.62	86.97

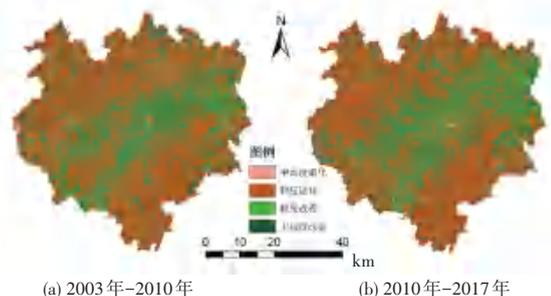


图 3 2003 年、2010 年、2017 年龙泉市植被覆盖度演变

Fig. 3 Evolution of vegetation coverage of Longquan City in 2003, 2010, 2017

观察图 3,发现 2010 年与 2003 年对比、2017 年与 2010 年对比,植被覆盖改善区域均主要分布于东北至西南一带,植被覆盖退化区域均主要分布于西北、东南区域。结合图 2、表 1 与图 3,综合分析后可知,这主要因为近十余年来龙泉市始终深耕生态文明建设,城乡绿化设施日渐完善,封山育林、植树造林等工作稳步推进,中低覆盖、中覆盖及中高覆盖区域向高覆盖区域演变。同时,原高覆盖区域在十余

年演变后,虽因生态旅游业的快速发展,景区设施大量建设,原生植被遭受影响,植被覆盖度略有下降,但总体仍保持高覆盖等级。

### 3.2 龙泉市地表温度时空演变

为清晰反映市域范围地表温度分布情况,利用 ArcGIS 10.2 软件生成 2003 年、2010 年、2017 年三期地表温度分布图,如图 4 所示。使用均值标准差法将龙泉市地表温度分为 5 级,可以看到 2003 年的高温区、次高温区呈弥散状态,分布于中心城区与乡镇建成区、水域及山地向阳面,低温区主要分布于西北、东南方向的披云山、凤阳山等地;2010 年的高温区、次高温区大致集聚于东北至西南一带,主要为中心城区、乡镇建成区与水域,少量为山地向阳面,低温区与 2003 年大致相同,在西北方向略有增加,相较 2003 年,2010 年中心城区与乡镇建成区对周围地块辐射能力大大增强,使周边区域大片转为高温区;2017 年中心城区与乡镇建成区对周围地块的辐射能力较 2010 年更强,高温区、次高温区分布于东北至西南一带,与西北、东南方向的低温区分隔明显,值得注意的是,2017 年的水域不再是高温区,转为中温区。三期遥感影像市域范围平均地表温度分别为 13.67 °C、15.14 °C、21.30 °C,呈稳步上升趋势。

类的活动范围随时间推移而逐渐扩大,对周围环境的影响日益增强,除核心地带与生态高地外,城乡缓冲区及乡镇建成区等逐渐趋于相近的热环境,这是建设用地与生态用地保持平衡的结果。

表 2 2003 年、2010 年、2017 年不同温区面积比例变化

Tab. 2 Changes in the proportion of different temperature zones from 2003 to 2017

影像年度	低温区	次低温区	中温区	次高温区	高温区
2003	16.11	16.56	34.07	17.36	15.90
2010	16.53	12.22	41.90	14.86	14.49
2017	15.80	11.93	40.98	18.85	12.44

根据实际区域温差,将 2003 年至 2010 年变化值分为  $\Delta LST < -2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $-2\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Delta LST < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Delta LST < 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $2\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Delta LST < 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\Delta LST > 4\text{ }^{\circ}\text{C}$  五级,将 2010 年至 2017 年变化值分为  $\Delta LST < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Delta LST < 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $3\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Delta LST < 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $6\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \Delta LST < 9\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\Delta LST > 9\text{ }^{\circ}\text{C}$  五级。2003 年、2010 年、2017 年龙泉市地表温度演变则如图 5 所示。从图 5 可以发现 2017 年较 2010 年地表温度增长数值、增长范围整体大于 2010 年较 2003 年地表温度增长数值、增长范围。2003 年至 2010 年的增温区域集中于市域中部及西南部,为经济发展较快的中心城区及主要乡镇,降温区域主要位于市域上部及东南部,为植被覆盖较高、经济发展相对迟缓的乡镇;对比 2010 年与 2017 年数据,除东南、西北极少区域为降温区域外,均为增温区域,中心城区部分区域增温幅度超过 9 °C,城区外围及周边乡镇增温幅度大致为 3 °C 至 6 °C,其它区域呈现大面积的 6 °C 至 9 °C 增温。

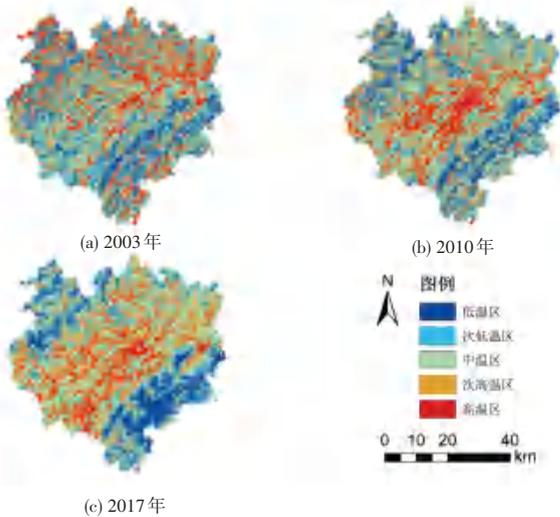
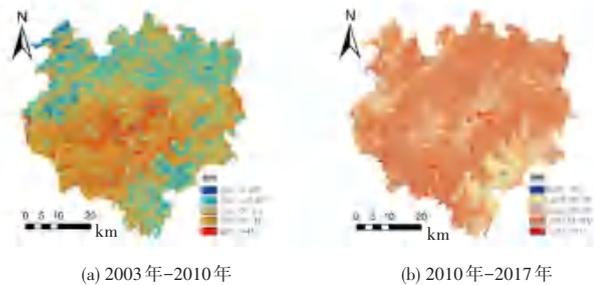


图 4 2003 年、2010 年、2017 年龙泉市地表温度时空分布

Fig. 4 Temporal and spatial distribution of land surface temperature in Longquan City in 2003, 2010, 2017

2003 年、2010 年、2017 年不同温区面积比例变化详见表 2。通过表 2 反映不同温区面积比例的变化,发现 2003 年至 2017 年,低温区面积比例基本不变,次低温区持续减少,中温区先增加后减少,次低温区先减少后增加,高温区持续减少。综合来看,主要由次低温区和高温区向中温区转移。这是因为人



(a) 2003 年-2010 年 (b) 2010 年-2017 年

图 5 2003 年、2010 年、2017 年龙泉市地表温度演变

Fig. 5 Evolution of land surface temperature in Longquan City in 2003, 2010, 2017

### 3.3 植被覆盖度与地表温度相关性

综合前文来看,龙泉市植被覆盖度与地表温度整体呈上升趋势,这与普遍认同的植被覆盖度与地表温度负相关相悖,推测其内在原因为社会经济发展带来的地表温度增温效应强于植被覆盖度提升带来的地

表温度降温效应。为进一步探索二者关系,针对2003年、2010年、2017年三期植被覆盖度与地表温度数据进行双变量空间自相关分析及线性回归分析。

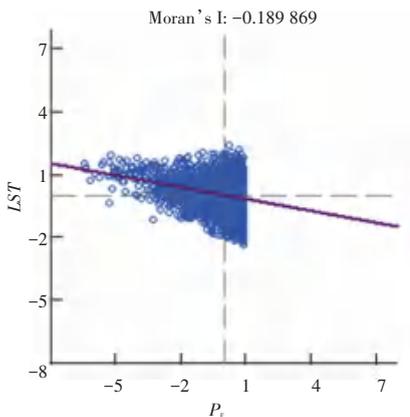
参照前人关于植被及水域对地表温度影响距离的研究<sup>[19-21]</sup>,运用 ArcGIS 的焦点统计 (Focal Statistics) 工具,以圆形为邻域形状,15 个像元(450 m)为邻域半径,平均值为统计类型进行邻域分析。由于水域具有降温作用,为避免水域干扰,将水域及周围 500 m 缓冲区从研究区剔除。在此基础上,生成包含 5 000 个随机点的要素文件,通过多值提取到点 (Extract Multi Values To Points) 工具提取邻域分析后随机点对应像元的  $P_v$  和  $LST$  值。

利用 Geo Da 建立空间权重矩阵并计算双变量局部 Moran's I 值,以此反映变量在局部范围内的空间聚集程度。2003 年、2010 年、2017 年双变量局部空间自相关结果详见表 3,2003 年、2010 年、2017 年双变量局部空间自相关散点图则如图 6 所示。结合表 3 与图 6,可以发现用于双变量局部自相关分析的三期数据  $z$  值均小于  $-2.58$ ,  $p$  值均为 0.001,说明得到的 Moran's I 值为 99% 置信度,通过显著性检验。三期数据 Moran' I 指数均小于 0,说明植被覆盖度与地表温度存在显著的空间负相关关系。其中,2003 年植被覆盖度与地表温度空间负相关性相对较弱,这是因为 2003 年龙泉市经济水平有限,大量乡镇二、三产业发展不足,在植被覆盖度普遍较高的前提下,地表温度空间差异较小。

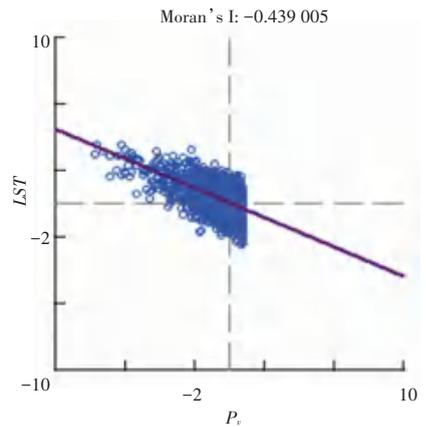
表 3 2003 年、2010 年、2017 年双变量局部空间自相关结果

Tab. 3 Results of bivariate local spatial autocorrelation in 2003, 2010, 2017

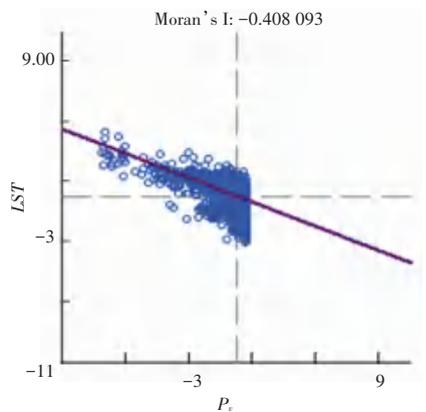
年度	Moran's I 值	$z$ -value	$p$ -value
2003	-0.189 87	-30.58	0.001
2010	-0.439 01	-65.64	0.001
2017	-0.408 09	-61.88	0.001



(a) 2003 年



(b) 2010 年

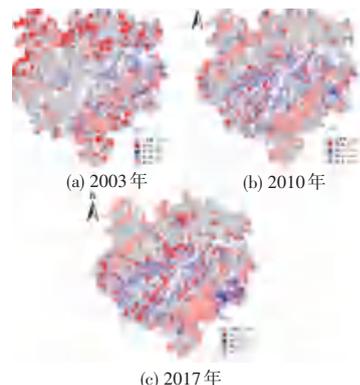


(c) 2017 年

图 6 2003 年、2010 年、2017 年双变量局部空间自相关散点图

Fig. 6 Scatterplots of bivariate local spatial autocorrelation in 2003, 2010, 2017

利用 Geo Da 制作 LISA 聚集图,不显著代表样本点植被覆盖度与地表温度不存在显著相关,高-高代表样本点植被覆盖度与地表温度均呈现高值,低-低代表样本点植被覆盖度与地表温度均呈现低值,低-高代表样本点植被覆盖度较低但地表温度较高,高-低代表样本点植被覆盖度较高但地表温度较低。2003 年、2010 年、2017 年植被覆盖度与地表温度 LISA 聚集图则如图 7 所示。



(c) 2017 年

图 7 2003 年、2010 年、2017 年植被覆盖度与地表温度 LISA 聚集图

Fig. 7 LISA aggregation diagram of vegetation coverage and land surface temperature in 2003, 2010, 2017

从图 7 可以发现龙泉市低-高区域主要集中于东北至西南一带,集聚效果随时间推移而增强;高-低区域主要集中于西北、东南区域,为披云山、凤阳山等生态空间,随时间推移变化较小;低-低区域主要位于高-低区域周围,为分布其中的溪流、旅游设施等;高-高区域于 2003 年主要位于市域中上部,于 2010 年、2017 年,主要集中在低-高区域周围,为城乡建成区与生态用地缓冲地带。

通过 SPSS 的线性回归工具得到各期散点图及回归方程,如图 8 所示。

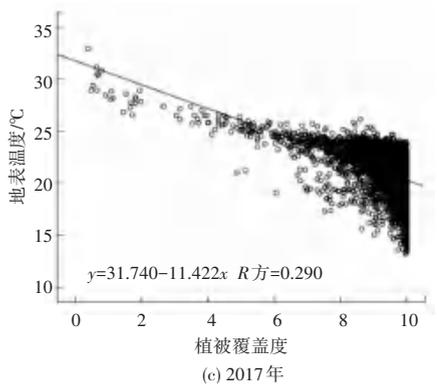
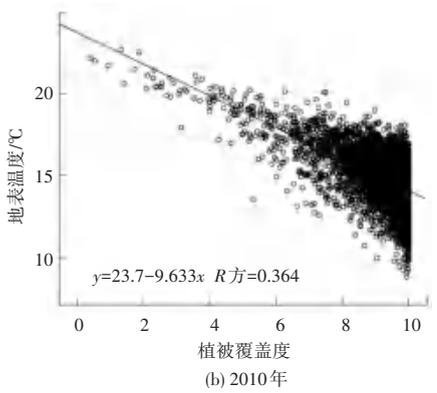
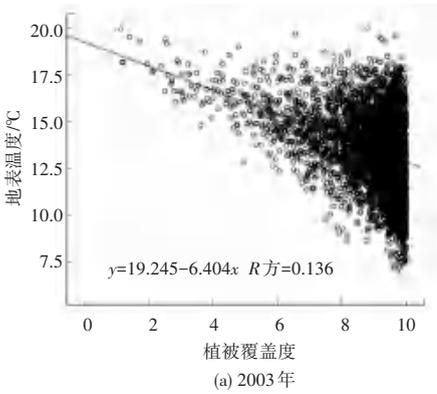


图 8 2003 年、2010 年、2017 年植被覆盖度与地表温度散点图

Fig. 8 Scatterplots of vegetation coverage and land surface temperature in 2003, 2010, 2017

2003 年、2010 年、2017 年三期数据显著性均为 0.000,说明植被覆盖度与地表温度显著相关。三期

数据  $R$  方分别为 0.136、0.364、0.290,说明植被覆盖度变化平均能解释 26.3% 的地表温度变化。从三期数据回归线截距来看,植被覆盖度每提升 10%,地表温度分别能降低 0.64 °C、0.96 °C、1.14 °C。值得注意的是,三期散点图均呈喇叭状,说明植被覆盖度处于不同水平时,与地表温度的线性相关性存在差异。

为印证上述发现,将 2003 年、2010 年、2017 年三期植被覆盖度数据以 0.75 为界,分别进行线性回归,显著性均为 0.000,  $R$  方结果值见表 4。从表 4 可以发现,植被覆盖度不高于 0.75 时,与地表温度的线性相关性较强;植被覆盖度高于 0.75 时,与地表温度的线性相关性大幅减弱,对于地表温度的解释效力直降。

表 4 2003 年、2010 年、2017 年不同植被覆盖度与地表温度线性回归的  $R$  方

Tab. 4  $R$ -square with linear regression of different vegetation coverage and land surface temperature in 2003, 2010, 2017

植被覆盖度	2003 年	2010 年	2017 年
≤0.75	0.307	0.483	0.637
>0.75	0.049	0.198	0.183

#### 4 结束语

本文基于 2003 年、2010 年、2017 年三期遥感影像研究龙泉市植被覆盖度与地表温度的时空演变,发现植被覆盖度时空演变方面,中低覆盖、中覆盖、中高覆盖面积比例持续下降,高覆盖面积比例持续上升,主要是东北至西南一带植被覆盖度有所提升;地表温度时空演变方面,高温区、次高温区逐渐集聚于东北至西南一带,2010 至 2017 年温度变化较 2003 年至 2010 年温度变化更为剧烈。探索植被覆盖度与地表温度空间集聚性及线性相关性、空间集聚方面,LISA 图显示低-高区域逐渐集聚于东北至西南一带,为中心城区和主要乡镇,高-低区域分布于西北、东南方向,为生态高地;线性相关方面,两者呈显著负相关,植被覆盖度变化平均能解释 26.3% 的地表温度变化,植被覆盖度处于不同水平时,与地表温度的线性相关性存在差异。

#### 参考文献

[1] 新华社. 改革开放以来我国城镇化水平显著提高[EB/OL]. [2018-09-10]. [http://www.gov.cn/shuju/2018-09/10/content\\_5320844.htm](http://www.gov.cn/shuju/2018-09/10/content_5320844.htm).  
 [2] 柯锐鹏,梅志雄. 城镇化与绿地退化对城市热环境影响研究[J]. 生态环境学报, 2010, 19(9):2023-2030.