

龙泉山城市森林公园植被覆盖度变化及其对气候因子的响应

孙磊¹, 张一珂², 成青燕¹

¹成都市气象局, 四川 成都

²成都市生态环境数智治理中心, 四川 成都

Email: mcsun@qq.com, 664252858@qq.com, chqy0810@163.com

收稿日期: 2021年7月5日; 录用日期: 2021年7月19日; 发布日期: 2021年7月26日

摘要

为了掌握龙泉山森林公园植被的空间分布格局与时间变化, 评估生态修复效果, 指导修复工作, 本文对2003~2020年龙泉山城市森林公园区域植被覆盖度(FVC)进行了时空变化分析, 结果表明: 1) 研究区域内FVC总体较高, FVC超过50%的区域占总面积72%, 西侧FVC明显高于东侧, 南侧明显高于北侧, 海拔600米以上区域的植被覆盖度高于600米以下区域。2) 域内FVC存在明显的年内消长, 3~6月FVC呈快速上升, 7~8月达到全年最大值, 并开始进入快速下降阶段, 呈现高斯分布。3) 域内FVC总体呈上升趋势, 增长率为0.63%/a, 冬、春季增长率最高, 秋季次之, 夏季增长不明显。FVC改善区域面积占48.84%。4) 气温、降水与辐射等气象因子与月植被覆盖度存在显著正相关, 是地区植被生长的主要控制因子。5) 冬春季降水对当期及后期植被覆盖度存在0~5个月的滞后影响, 冬春季降水增加有利于植被覆盖度增加, 此时段可以作为气象部门人工增雨作业的主要时间窗口。

关键词

FVC, 时空分析, 气象驱动, 滞后影响

Change of Vegetation Coverage and Its Response to Climate Factors in Longquan Mountain Urban Forest Park

Lei Sun¹, Yike Zhang², Qingyan Cheng¹

¹Chengdu Meteorological Bureau, Chengdu Sichuan

²Chengdu Ecological Environment Intelligent Management Center, Chengdu Sichuan

Email: mcsun@qq.com, 664252858@qq.com, chqy0810@163.com

Abstract

In order to grasp the spatial distribution pattern and temporal changes of vegetation in Longquan Mountain Urban Forest Park, evaluate the ecological restoration effect and guide the restoration work, this paper analyzes the temporal and spatial changes of vegetation coverage (FVC) in Longquan Mountain Urban Forest Park from 2003 to 2020. The results show that: 1) The FVC in the study area is generally higher, with the FVC exceeding 50% accounting for 72% of the total area, and the FVC in the west side is significantly higher than that in the east side and the south side is significantly higher than that in the north side, the FVC above 600 m is higher than below 600 m. 2) The FVC in the study area has obvious annual growth and decline. FVC rises rapidly from March to June, reaches the annual maximum from July to August, and begins to decline rapidly, showing Gaussian distribution. 3) FVC in the study area is on the rise, with a growth rate of 0.63%/a, which is the highest in winter and spring, followed by autumn, but not obvious in summer. FVC improved area accounted for 48.84%. 4) Meteorological factors, such as temperature, precipitation and radiation, have a significant positive correlation with monthly vegetation coverage, which are the main controlling factors of regional vegetation growth. 5) The precipitation in winter and spring has a 0~5 month lag effect on the vegetation coverage in the current and later period. The increase of precipitation in winter and spring is beneficial to the increase of vegetation coverage, and this period can be used as the main time window for artificial precipitation enhancement in meteorological departments.

Keywords

FVC, Space-Time Analysis, Weather Driven, Lag Effects

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

植被覆盖度是植被生长状况的有效量化指标,探究植被覆盖度(FVC)时空变化有利于更准确地认识生态环境质量状况[1],量化区域内植被生长状况[2],同时在气候系统、水文过程、土壤保持、生物循环研究中发挥重要作用[3][4]。随着遥感技术发展,卫星遥感数据在分辨率、精度和降噪等方面有了显著提高[5]。李卓[6]、穆少杰[7]、龚建周[8]等通过遥感反演植被指数、植被覆盖度,分别对内蒙古、广州市植被时空变化特征进行了研究,杨绘婷等[9]基于植被覆盖度对武夷山国家级自然保护区进行了生态质量评估,王志超等[10]利用植被覆盖度对成都市锦江区生态质量进行评估,均取得了较好效果。邓玉娇[11]、任荣仪[12]在各自研究中均发现植被时空变化特征对气候变化存在响应。

成都市分别于2009年、2015年启动了龙泉山生态修复和提升工程,并于2017启动了成都龙泉山城市森林公园建设。为了准确掌握龙泉山城市森林公园植被的空间分布格局与时间变化,评估生态修复效果,指导生态修复和公园建设,本文基于2003~2020年MODIS 16日合成产品250M分辨率NDVI数据,计算得到了龙泉山城市森林公园区域植被覆盖度(FVC)数据;基于时间序列进行分析,得到2003~2020年区域内植被覆盖度时空变化特征;通过与气象因子的相关性分析,得出气温、降水、太阳辐射与植被覆盖度存在显著正相关,并得出了冬春季降水对当期及后期植被覆盖度存在0~5个月的滞后影响的结论。对

研究区域生态环境修复与决策具有重要现实意义。

2. 资料与方法

2.1. 研究区域

本文研究区域为成都龙泉山城市森林公园，位于四川省成都市龙泉山脉成都段，南北向约 90 公里，东西向约 10~15 公里，规划面积 1275 平方公里(图 1)。北起金堂县、南至天府新区、西靠龙泉驿区、东临简阳市。涉及成都高新区东区、成都天府新区、龙泉驿区、青白江区、简阳市、金堂县 6 个区(市)县。

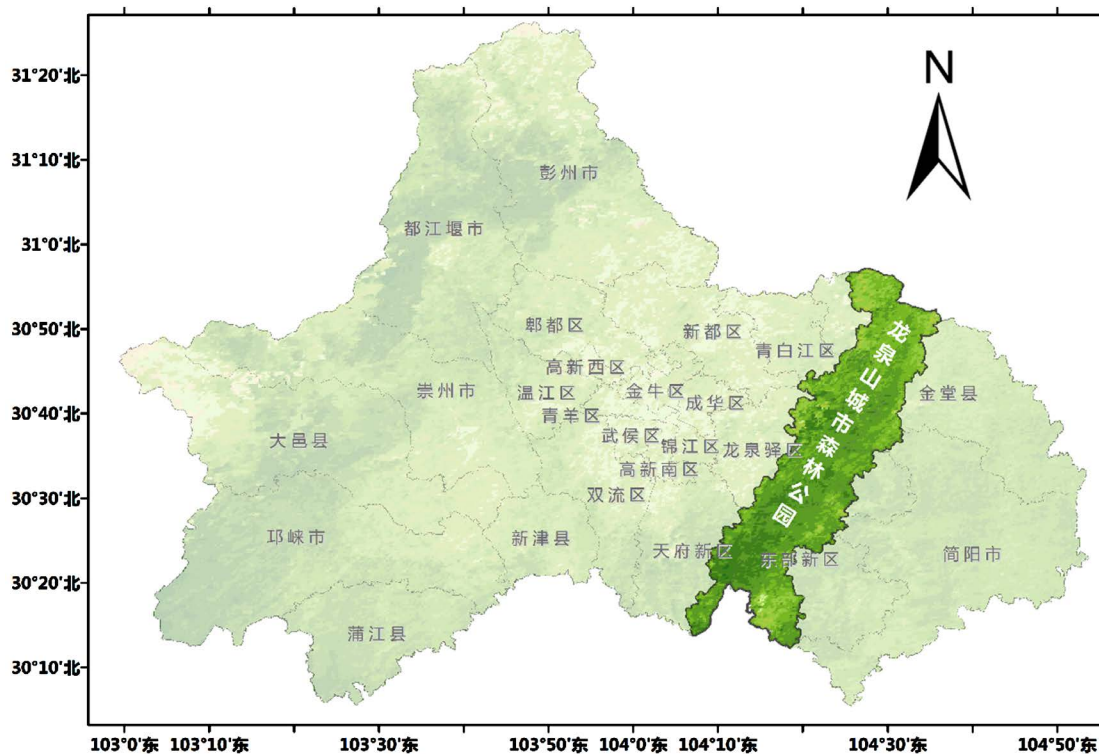


Figure 1. Chengdu zoning map and Longquan Mountain Urban Forest Park area
图 1. 成都市区划图与龙泉山城市森林公园

2.2. 数据来源

气象数据采用研究区及周边气象监测站点 2002~2020 年逐日观测数据，包括气温、降水、太阳辐射采用龙泉驿国家气象站同期逐日观测数据。

卫星遥感数据采用研究区 2003~2020 年 16 天 MYD13Q1 和 MOD13Q1 250 米分辨率植被指数产品。

2.3. 数据处理

植被覆盖度基于 NDVI 进行计算[1]，公式如下：

$$FVC = \frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}}$$

$NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 分别为区域内最大和最小的 NDVI 值。由于存在噪声， $NDVI_{\max}$ 和 $NDVI_{\min}$ 一般取一定置信度范围内的最大值与最小值，置信度取值根据图像实际情况确定。

植被覆盖度基于每 16 天的 MODIS/NDVI 计算得到, 全年得到 23 期结果。然后对植被覆盖度进行 WS 滤波, 去除异常数据, 重建更符合植被季节动态变化的时间序列。在此基础上, 通过均值合成转换为月、季和年时间尺度的植被覆盖度(平均 FVC)。

2.4. 研究方法

2.4.1. 相关性分析

分别对逐象元 FVC 与温度、降水、太阳辐射的皮尔逊相关系数进行计算, 并在 0.05 水平下对相关系数 R 进行显著性检验, 得出 FVC 与温度、降水、太阳辐射的相关性分布。

2.4.2. 一元线性回归趋势分析

本文采用一元线性回归进行趋势线分析, 通过线性回归方式计算各网格的 FVC 变化倾向特征, 从而反映 FVC 空间变异倾向特征, 趋势斜率计算公式[13]为:

$$\text{Slope} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n i \cdot \overline{\text{FVC}}_i - \sum_{i=1}^n i \cdot \sum_{i=1}^n \overline{\text{FVC}}_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n i^2 - \left(\sum_{i=1}^n i\right)^2}$$

式中, n 为总年数, i 为第 i 年; $\overline{\text{FVC}}$ 为年平均 FVC 值; slope 为趋势线斜率。其中, slope < 0 时, 说明 FVC 在 n 年间呈现增加趋势; slope = 0 时, 说明 FVC 没有变化; slope > 0 时, FVC 呈现减少趋势。

2.4.3. 时滞相关分析

时滞相关分析即利用相关分析方法获得变量自身和变量间随时间变化的相关系数, 然后依据这些相关系数确定因变量和结果变量, 以及时滞效应(长度)。通过统计 FVC 与温度、降水、太阳辐射的皮尔逊相关系数, 并分别统计 0.05 显著性水平上达到显著的象元个数, 从而得出温度、降水、太阳辐射影响时滞性特征。

2.4.4. WS 滤波

Whittaker 平滑法(Whittaker Smoother, 简称 WS)。它通过保真度和粗糙度进行时间序列的重建。将所有数据合理的划分成 m 行 n 列, 下式中 i 为每个小集合的索引(0 到 n), 其基本公式[14]为:

$$k_i = \left\lceil \frac{x_i - x_0}{b} \right\rceil + 1$$

$$Q = |y - Gu|^2 + \lambda |Du|^2$$

$$(G'G + \lambda D'D)u = G'y$$

式中, Q 为拟合效果, 值越小表示拟合效果越好; u 为经过 k_i 计算后所有数据的合并矩阵; G 为构造的 m 行 n 列的稀疏矩阵; D 为次数; b 为间隔; x_i 为每行的第 i 个数; x_0 为第 0 个数; λ 为粗糙度的惩罚系数; y 为最终的模拟数据。

3. 结果与分析

3.1. FVC 空间分布特征

将 2003~2020 年研究区域 FVC 进行均值合成, 得到近 18 年平均 FVC 分布状况(图 2)。对比土地利用图可以发现, FVC 高值区主要集中于研究区域中部和南部的西侧, 而研究区域东部北部 FVC 明显低于中部南部。FVC ≥ 50% 的区域超过研究区域总面积 70% (表 1)。

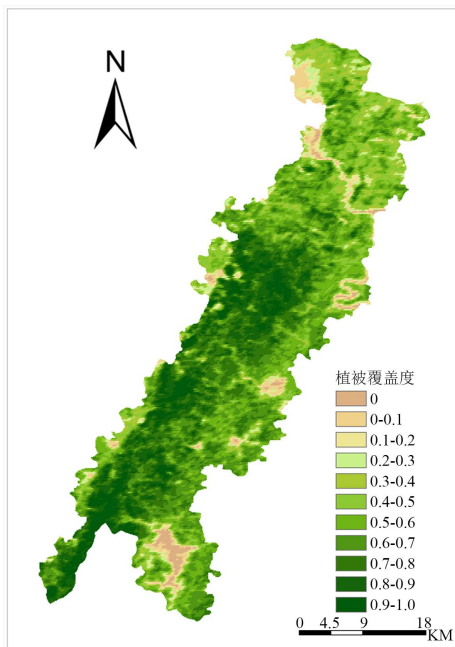


Figure 2. Spatial distribution characteristics of mean FVC from 2003 to 2020
图 2. 2003~2020 年平均 FVC 空间分布特征

Table 1. Area ratio of FVC in the study area
表 1. 研究区域内 FVC 均值面积占比

Mean FVC	Area ratio
≥70%	33%
50%~70%	39%
20%~50%	21%
<20%	6%

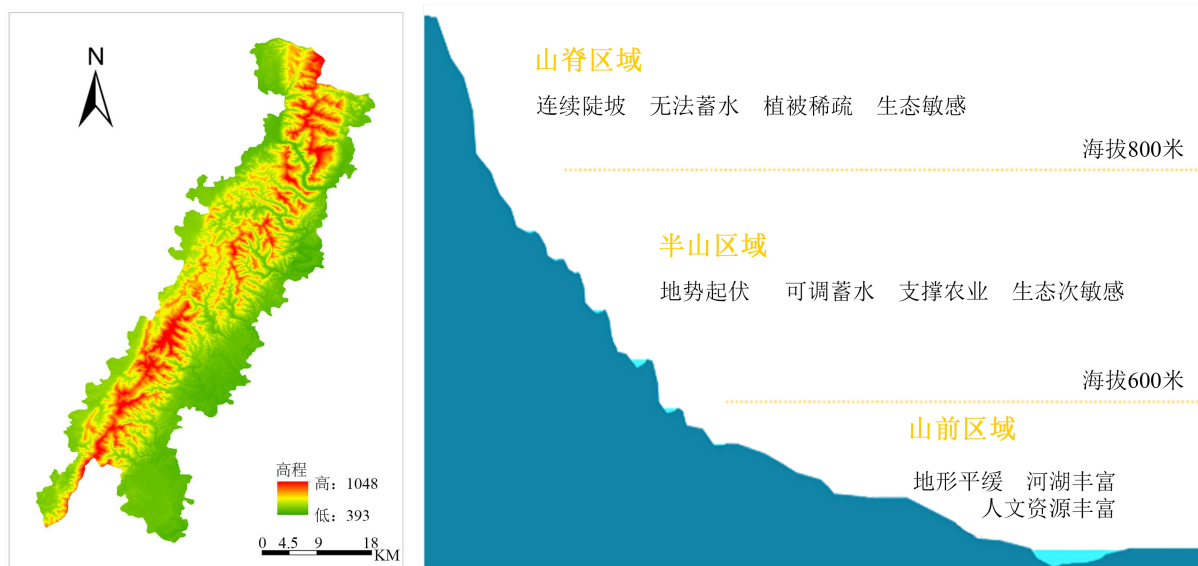


Figure 3. Elevation map (left) and vertical division (right) in the study area
图 3. 研究区域高程图(左)和垂直划分(右)

对比高程图(图3左),并参考《龙泉山城市森林公园总体规划》[15]对龙泉山城市森林公园的垂直划分(图3右),将研究区域分为山前区域、半山区域、山脊区域,分析得到不同区域内 FVC 平均值(表2),山脊区域平均 FVC 最高。不同海拔高度 FVC 分布见图4。

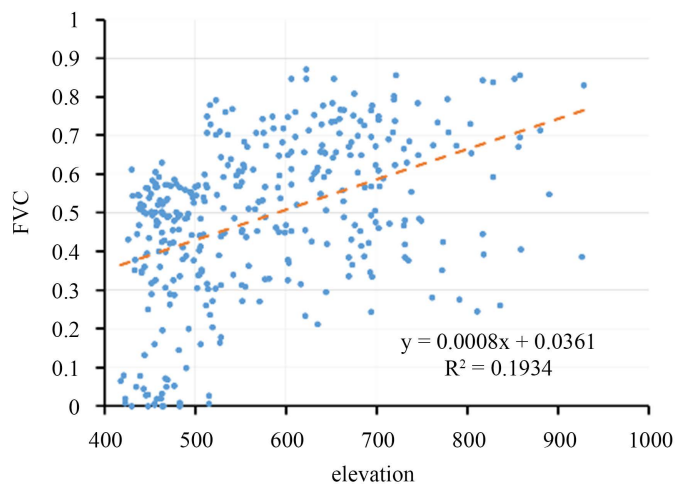


Figure 4. FVC distribution at different elevations

图4. 不同高程 FVC 分布

Table 2. Average FVC and IQR in different regions

表2. 不同区域 FVC 平均值及 IQR

Area	Mean FVC	Q1	Median	Q3
山前区域	42%	32%	48%	57%
半山区域	59%	46%	62%	71%
山脊区域	61%	42%	66%	81%

3.2. FVC 时空变化特征

3.2.1. FVC 年内变化特征

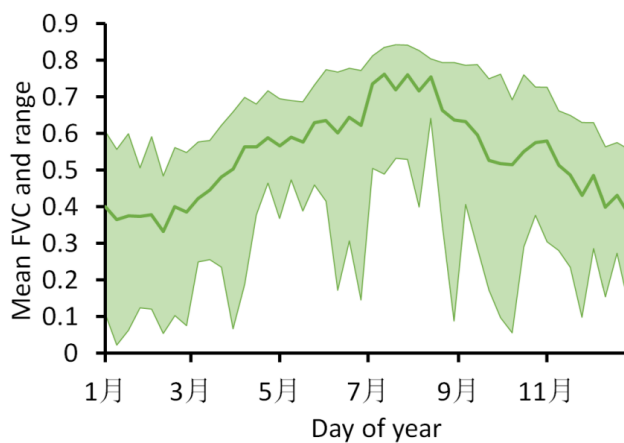


Figure 5. Curve: Annual average FVC growth and decline

图5. 累年平均 FVC 消长曲线

统计逐 16 日研究区域 FVC，得到累年平均 FVC 消长曲线(图 5)，可以看出，研究区域 FVC 从 3 月开始快速上升，3~6 月呈快速上升阶段，7~8 月达到全年最大值，并开始进入快速下降阶段，呈现高斯分布。

3.2.2. FVC 时序变化特征

2003~2020 年，研究区域内 FVC 总体呈上升趋势(图 6)，增长率为 0.63%/a ($R^2 = 0.7366$)；其中春(3~5 月)、秋(9~11 月)、冬季(12~次年 2 月) FVC 增加明显，增长率分别为 0.62%/a ($R^2 = 0.6212$)、0.53%/a ($R^2 = 0.3499$)和 0.71%/a ($R^2 = 0.5871$)，而夏季(6~8 月) FVC 增长率仅为 0.11%/a ($R^2 = 0.0212$)。

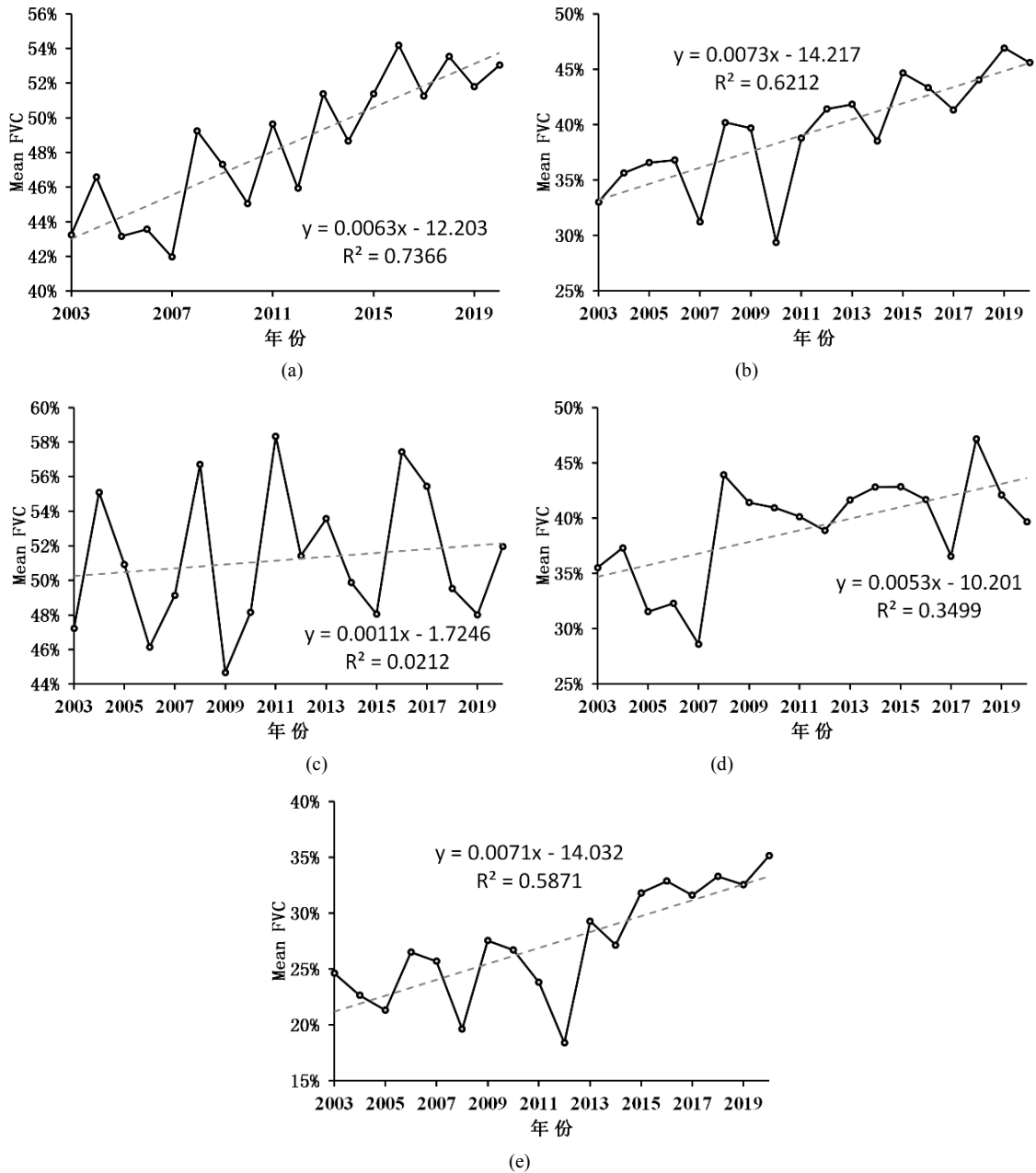


Figure 6. Trend of FVC from 2003 to 2020 ((a). annual (b). spring (c). summer (d). autumn (e). winter)

图 6. 2003~2020 年 FVC 变化趋势((a). 年平均 (b). 春季 (c). 夏季 (d). 秋季 (e). 冬季)

3.2.3. FVC 空间变异倾向分析

使用一元线性回归分析法对 2003~2020 年逐年平均 FVC 进行趋势分析,得到 2003~2020 年平均 FVC 空间变异倾向分布图(图 7)。可以看出, FVC 变差趋势区域主要集中在研究区域边缘和南部,中部和北部区域则基本呈现变好的趋势。研究区域内 FVC 改善区域面积占 48.84% (见表 3)。

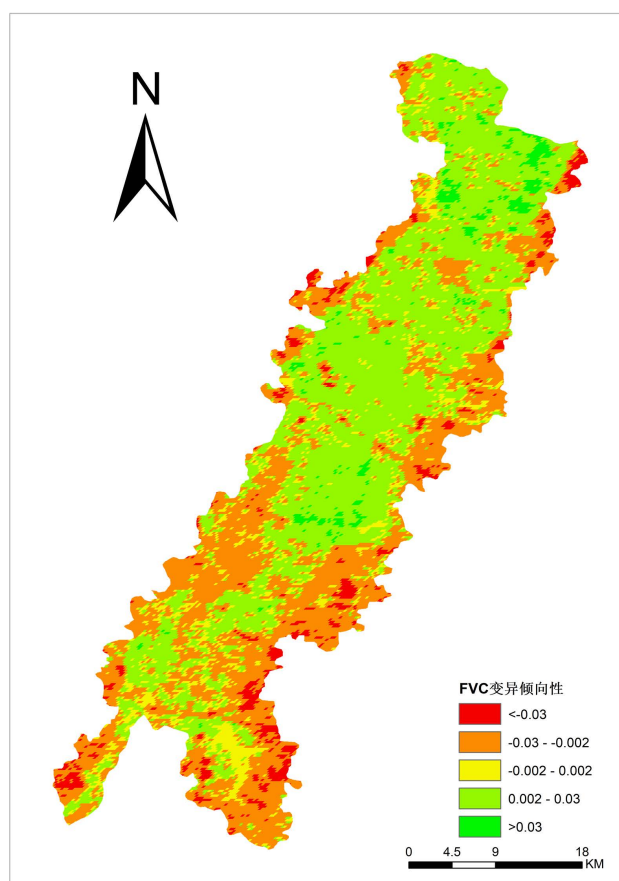


Figure 7. Distribution map of FVC spatial variation tendency
图 7. FVC 空间变异倾向分布图

Table 3. Classification statistics of FVC spatial variability tendency
表 3. FVC 空间变异倾向分级统计

变化程度	变异倾向率	面积比例%
严重退化	<-0.03	11.27%
退化	$-0.03\sim-0.002$	28.65%
基本不变	$-0.002\sim0.002$	11.24%
改善	$0.002\sim0.03$	46.38%
明显改善	>0.03	2.46%

3.3. FVC 对气候因子的响应

3.3.1. FVC 与气候因子的相关性分析

气候因子与次月 FVC 相关性分析表明,研究区域 FVC 随温度、降水、太阳辐射的升高而增加,温

度、降水、太阳辐射与次月植被覆盖度存在显著正相关，决定系数 R² 分别为 0.77、0.58 与 0.52 (图 8)，为该地区植被生长的主要控制因子。这与龙泉山城市森林公园区域气温适宜、降水偏少、太阳辐射偏低的情况相符合。

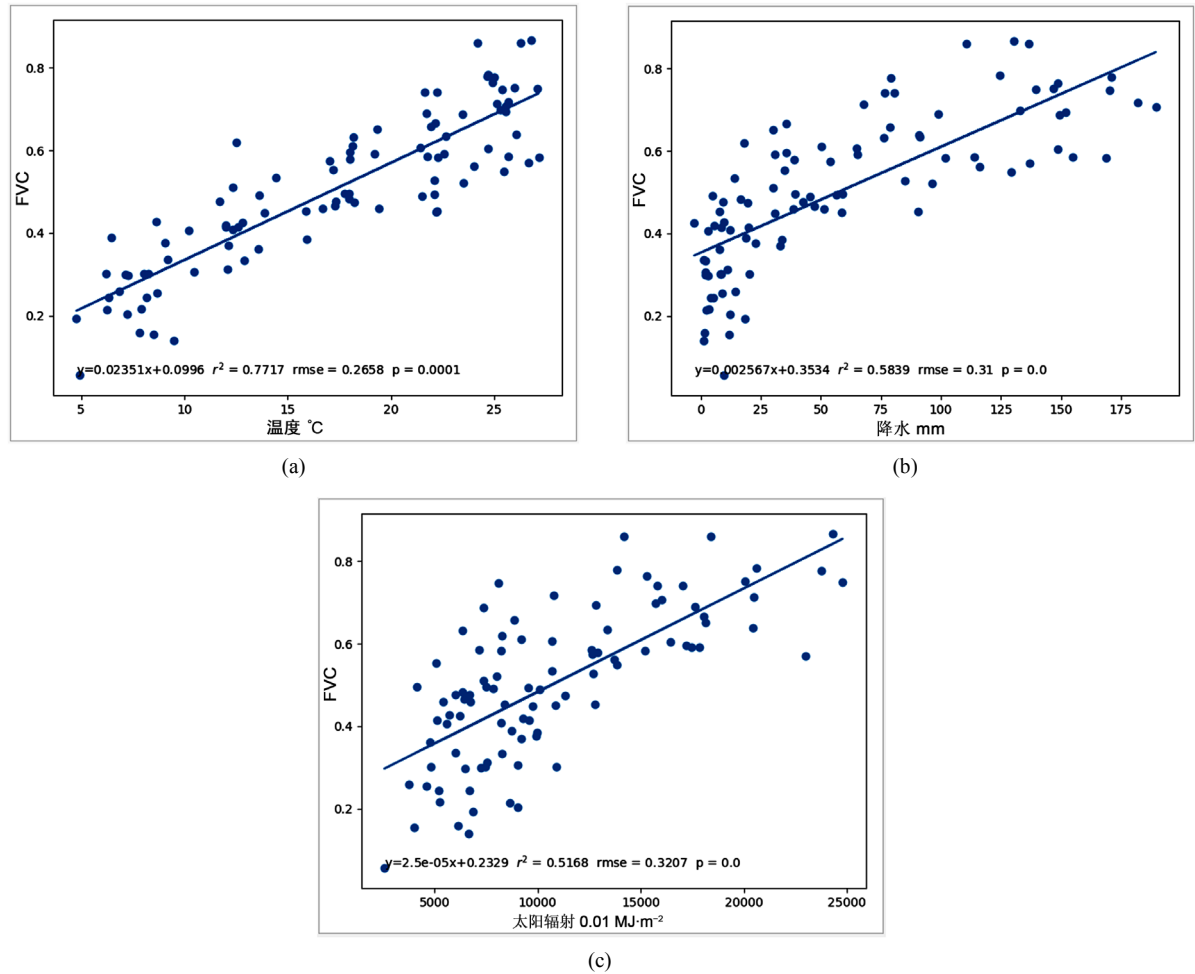


Figure 8. Correlation analysis between monthly climate factors i and FVC_{i+1} (i : this month, (a). Temperature vs. FVC (b). Precipitation vs. FVC (c). Solar radiation vs. FVC)

图 8. 月气象要素 i 与 FVC_{i+1} 相关性分析(i : 月, (a). 温度 vs. FVC (b). 降水 vs. FVC (c). 太阳辐射 vs. FVC)

3.3.2. 降水响应时滞性分析

分析 10 月至次年 9 月降水与后期植被覆盖度相关性，可以发现冬春季降水与当期及后期植被覆盖度有显著正相关性，存在 0~5 个月的滞后影响(见表 4)，冬春季降水增加有利于植被覆盖度增加。

Table 4. Lag correlation coefficient between monthly precipitation and vegetation coverage (R)^{*}

表 4. 月降水与植被覆盖度的时滞相关系数(R)^{*}

Precipitation period	+0 month	+1 month	+2 month	+3 month	+4 month	+5 month	+6 month
Oct.	-0.16	0.42	0.22	0.07	0.32	0.53	0.19
Nov.	0.01	-0.25	-0.22	-0.03	0.47	0.23	-0.26
Dec.	0.45	0.38	0.47	0.05	0.55	0.48	0.27
Jan.	0.05	0.19	-0.36	-0.03	0.06	0.75	0.32

Continued

Feb.	0.62	-0.08	0.71	0.50	0.50	0.23	0.39
Mar.	-0.08	0.39	0.54	0.55	0.14	0.73	0.09
Apr.	0.34	0.32	-0.20	-0.24	-0.02	0.54	0.02
May.	0.22	0.70	0.62	0.21	-0.41	0.53	-0.36
Jun.	0.04	0.19	-0.06	0.52	0.41	0.08	0.09
Jul.	0.17	0.50	0.59	0.38	0.36	0.12	0.31
Aug.	-0.51	0.52	-0.11	0.17	0.18	0.26	0.41
Sep.	0.07	0.53	0.36	0.61	0.55	0.37	-0.14

*加粗为相关系数 $R > 0.45$ 的结果。

4. 结论

1) 研究区域内 FVC 总体较高, FVC 超 50% 区域占总面积 72%。分布上, 研究区域西侧 FVC 明显高于东侧, 南侧明显高于北侧, 海拔 600 米以上的半山区域及山脊区域高于 600 米以下的山前区域。

2) 研究区域 FVC 存在明显的年内消长, 3~6 月 FVC 呈快速上升, 7~8 月达到全年最大值, 并开始进入快速下降阶段, 呈现高斯分布。

3) 2003~2020 年间, 研究区域 FVC 总体呈上升趋势, 增长率为 0.63%/a, 冬、春季增长率最高, 秋季次之, 夏季增长不明显。FVC 改善区域面积占 48.84%, 退化区域占 39.92%。

4) 冬春季降水对当期及后期植被覆盖度存在 0~5 个月的滞后影响。

5. 讨论

研究表明植被覆盖度与气温、降水、太阳辐射等气象因子存在显著正相关, 上述气象因子是植被生长的主要控制因子。冬春季降水增加有利于植被覆盖度增加, 此时段可以作为气象部门人工增雨作业的主要时间窗口, 冬春季开展人工增雨作业能够有效提高龙泉山城市森林公园植被生态修复效果。

本研究对龙泉山城市森林公园区域生态环境修复与决策具有重要现实意义。

参考文献

- [1] 刘焱焱, 曾鹏, 张然, 等. 基于 GEE 和 BRT 的 1984~2019 年长三角生态绿色一体化发展示范区植被覆盖度变化[J]. 应用生态学报, 2021, 32(3): 1033-1044.
- [2] 付迎春, 卢雪玉, 曾献铁. 广州市植被净初级生产力对土地覆被变化的时空响应特征[J]. 地理科学研究, 2013, 2(3): 65-71.
- [3] 郭轲. 植被指数及其研究发展[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 71-75.
- [4] 尤南山, 蒙吉军, 孙慕天. 2000~2015 年黑河流域中上游 NDVI 时空变化及其与气候的关系[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2019, 55(1): 171-181.
- [5] Zhang, Y.H. and Ye, A.Z. (2020) Spatial and Temporal Variations in Vegetation Coverage Observed Using AVHRR GIMMS and Terra MODIS Data in the Mainland of China. *International Journal of Remote Sensing*, **41**, 4238-4268.
- [6] 李卓, 孙然好, 张继超, 等. 京津冀城市群地区植被覆盖动态变化时空分析[J]. 生态学报, 2017, 37(22): 7418-7426.
- [7] 穆少杰, 李建龙, 陈奕兆, 等. 2001~2010 年内蒙古植被覆盖度时空变化特征[J]. 地理学报, 2012, 67(9): 1255-1268.
- [8] 龚建周, 夏北成. 广州市 1990~2005 年植被覆盖度的时空变化特征[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1289-1294.
- [9] 杨绘婷, 徐涵秋. 基于遥感空间信息的武夷山国家级自然保护区植被覆盖度变化与生态质量评估[J]. 应用生态学报, 2020, 31(2): 533-542.
- [10] 王志超, 何新华. 基于植被覆盖度和遥感生态指数的成都市锦江区生态质量评估[J]. 生态与农村环境学报, 2021,

37(4): 492-500.

- [11] 邓玉娇, 王捷纯, 徐杰, 等. 广东省 NDVI 时空变化特征及其对气候因子的响应[J]. 生态环境学报, 2021, 30(1): 37-43.
- [12] 任荣仪, 贺中华, 梁虹, 等. 贵州省 NDVI 时空变化及其对温度和降水变化的响应[J]. 水土保持研究, 2021, 28(2): 118-129.
- [13] 康雄, 曹俊涛, 陈成, 等. 不同趋势法的宁夏长时序植被变化分析[J]. 测绘通报, 2020(11): 23-27.
- [14] 张晗, 任志远. 基于 Whittaker 滤波的陕西省植被物候特征[J]. 中国沙漠, 2015, 35(4): 901-906.
- [15] 成都市规划设计研究院. 龙泉山城市森林公园总体规划[EB/OL]. <http://www.cdipd.org.cn/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=85&id=98>, 2020-07-09.