

基于一元线性回归研究芜湖市 NDVI 时空变化及其与气候因子相关性分析

邓书豪

(江西理工大学土木与测绘工程学院, 江西 赣州 341009)

【摘要】归一化植被指数 (NDVI) 是衡量地表植被状况的一项重要遥感指标, 反映植被的密度和生长活力。本文将采用一元线性回归分析和偏相关分析手段来探讨芜湖市植被指数 (NDVI) 与气温、降水等气候因素之间的联系。本文首先利用遥感数据计算了 2018 至 2022 年间芜湖市各个县区的归一化植被指数 (NDVI) 值, 再采用一元线性回归模型来分析这些 NDVI 值随时间的变化趋势。此外, 本文还对这些年度的平均气温和降水量与 NDVI 变化进行偏相关性分析, 以探究气候因素对植被指数变化的影响程度。经分析, 归一化植被指数 (NDVI) 与年降水量和年均温度之间存在显著的相关性, 这些气候因子对植被指数的变化起着重要作用。通过深入研究这些参数之间的关系, 我们可以为环境保护和可持续发展制定更加精确的策略与规划, 并确保我们的环境保护措施能够有效地促进生态系统的健康和稳定。

【关键词】NDVI; 气候因子; 一元线性回归; 偏相关分析

前言:

归一化植被指数 (NDVI) 是评估农作物生长状况和营养水平的关键指标^[1-3], 它能够对植被的动态变化进行定量分析, 从而揭示植被的生长发育情况, 通过监测 NDVI 的变化, 研究人员和农业专家可以获得关于作物生长周期、植被覆盖度以及生态系统健康状态的重要信息, 进而用于指导农业生产、优化灌溉计划和实施环境监测^[4]。

根据现有的研究成果, 植被覆盖与气候因子之间存在着显著的相关性。研究人员利用归一化植被指数 (NDVI) 遥感数据和综合气象数据, 对不同地区的植被覆盖变化与气候因素的关系进行了深入探讨。芜湖市的地理位置特征是西南部较高, 而东北部较低, 导致了植被覆盖在整个区域内部存在显著的空间差异^[5-8]。此外, 由于地处亚热带湿润季风气候区, 该市面临着较大的水热变化, 这些气候条件进一步影响了植被的分布和生长状况。本文采用了 2018 至 2022 年间芜湖市的 MODIS 归一化植被指数 (NDVI) 的月度时序数据, 以及相应的同期平均气温和降水数据^[9], 旨在分析芜湖市归一化植被指数 (NDVI) 与气温、降水之间的相关性, 为该市的生态环境保护工作和生态文明建设的进一步发展提供科学依据和参考。

一、研究区域概况与数据处理

(一) 研究区域概况

芜湖市位于中国安徽省东南部, 临近长江中下游南岸。该市占地大约为 6026 平方公里, 由六个市

区以及两个郊县构成, 地缘坐标位于北纬 30° 38' 至 31° 34', 东经 117° 57' 至 118° 54' 之间, 该市地处长江流域, 天然的水系将地域划分为明显的江南与江北两大区域^[10]。该市的年平均气温约为 16 摄氏度, 年降水量达到 1169.8 毫米, 地区植被主要涵盖针叶林、阔叶林、竹林、灌丛以及经济作物等多种群落类型, 它们共同构成了丰富的自然景观。

(二) 数据来源

在获取地理矢量数据时, 本文选择了全国地理信息资源目录服务系统作为数据来源。而对于 NDVI (归一化植被指数) 数据的选取, 本文则使用了中国的年度植被指数 (NDVI) 空间分布数据集。在 2018 年至 2022 年期间, 本文采用了一种先进的遥感技术, 利用 SPOT/VEGETATION 卫星搭载的 NDVI 传感器来收集数据。随后, 通过应用最大值合成法对这些数据进行了处理, 以生成一个精准的数据集, 该数据集涵盖了芜湖市范围内的植被指数信息。为了确保数据的精确性和适用性, 本文对数据集进行了裁剪处理, 以去除无关区域, 从而专注于研究区域内的植被变化情况。为了获取气象数据, 本文使用了中国国家气象局提供的年度平均气温和降水数据。这些数据经过必要的提取和裁剪步骤, 以得到芜湖市在 2018 年至 2022 年间的年平均气温和降水数据。

二、研究方法

(一) 一元线性回归分析法

一元线性回归分析是一种强大的工具, 用于模

拟和预测每个栅格单元的植被覆盖变化趋势。这种分析方法通过在特定时间段内应用最小二乘法,逐个像元地估算年均 NDVI 的斜率,从而综合地揭示植被覆盖随时间和空间变化的动态特征。通过执行像元尺度的 NDVI 一元线性回归分析,可以揭示芜湖市植被指数的年际变化趋势,为该地区的生态监测和植被管理提供科学依据。这种方法通过数学公式来表征年变化趋势,具体公式为:

$$\text{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times \text{NDVI}_i) - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n \text{NDVI}_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (1)$$

该式中, n 代表研究的总年数。在本文, $n=5$ 。Slope 是指 NDVI 在这 n 年间的变化趋势的数值。而 NDVI_i 则代表第 i 年的 NDVI 值。正值表示该像素在考察的时间范围内,其年最大 NDVI 值随着时间的推进呈现出增长的趋势;负值则暗示着 NDVI 随时间流逝而呈现减少的趋势;若该值为 0,则意味着 NDVI 在研究期间没有观察到明显的时间上的变动。这种变化趋势的分析对于理解植被覆盖的变化和生态环境的健康状况至关重要。

(二) 偏相关分析

偏相关分析适用于评估 NDVI 值与气温、降水等变量间的影响程度,其计算公式如下:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{X})(y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{Y})^2}} \quad (2)$$

式中: r_{xy} 为 x_i 、 y_i 的相关系数,在这里, x_i 和 y_i 分别代表变量 x 和 y 在时间点 i 的数值,而 $\bar{X}$ 和 $\bar{Y}$ 则分别表示变量 x 和 y 的平均值。 n 代表样本的数量,即数据集中的观测次数。偏相关系数是衡量两个变量之间线性相关程度的指标,其值域介于 -1 与 1 之间。当相关系数的数值落在区间 $(0, 1)$ 内时,这表明两个变量之间存在正相关,当相关系数的数值落在 $(-1, 0)$ 区间内时,这表明两个变量之间存在负相关,而当相关系数的数值接近 0 时,这表明两个变量之间的相关性非常微弱,几乎不存在线性联系。

为量化降水量与植被指数 (NDVI) 以及温度之间的相互关系,衡量两个变量间的线性相关性并排除其他变量的影响,本文利用偏相关系数进行计算。这种系数专门设计于评估在控制了其他潜在影响因素后,两个变量之间的关系强度,其公式如下:

$$r_{xy,z} = \frac{r_{xy} - r_{xz}r_{yz}}{\sqrt{(1-r_{xz}^2)(1-r_{yz}^2)}} \quad (3)$$

在该式中, $r_{xy,z}$ 表示当变量 z 被固定时,变量 x 和 y 的偏相关系数。而 r_{xy} 、 r_{xz} 和 r_{yz} 分别是变量 x 和 y 、变量 x 与 z 、变量 y 与 z 的相关系数。这些系数用于衡量在不同变量固定条件下,其他变量的相关性。

三、结果与分析

(一) 芜湖市植被 NDVI 时空动态

2018–2021 年芜湖市 NDVI 逐年变化如图 3-1 所示,5 年间考虑到 2022 年只有上半年的 NDVI 值,其影响权重降低,通过此图可以看出芜湖市每年的植被覆盖度数据显示,这一指标在年间总体上有降低的趋势,但这种下降的速度相对较缓;2021 年记录的植被归一化植被指数 (NDVI) 是最高的,而 2022 年是最低的;从 2018 年起,植被覆盖面积呈现出一种下降的趋势,但在 2021 年达到了一个增长的顶峰,之后又开始了新一轮的下降。

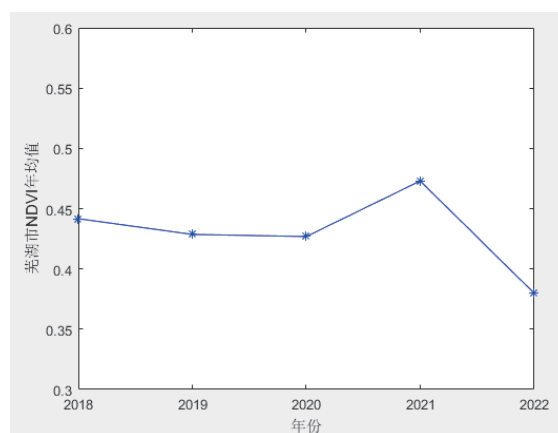


图 3-1 2018–2022 年芜湖市 NDVI 的动态变化

根据表 3.1 的数据,在过去五年中,无为市的植被覆盖度下降幅度最大,达到了 0.0992 的降幅;而镜湖区则是下降幅度最小的区域,其植被覆盖度下降了 0.0353。就植被覆盖度下降速率而言,从高到低依次是:无为市、南陵县、湾沚区、繁昌区、三山区、鸠江区、弋江区和镜湖区。

表 3.1 芜湖市各县区 2018–2022 年 NDVI 数值表

县区	2018	2019	2020	2021	2022
繁昌区	0.535	0.5193	0.5178	0.5623	0.4671
镜湖区	0.3834	0.383	0.3699	0.4285	0.348
鸠江区	0.3805	0.3653	0.3598	0.4018	0.332
南陵县	0.5531	0.5225	0.5447	0.5759	0.4769
湾沚区	0.4788	0.4688	0.4722	0.5087	0.4102
三山区	0.3849	0.3815	0.3769	0.4213	0.3295
弋江区	0.382	0.3706	0.3669	0.4242	0.3379
无为市	0.4356	0.418	0.4067	0.461	0.3364

根据图 3-2 的分析,芜湖市各区域的年 NDVI

值表现出明显的空间差异性,这种差异性受到气温、降水量、地表形态和土地利用类型等多种因素的影响。长江流域的植被指数分布呈现出一种中间偏低、两端偏高的模式,其中西南至东北方向的江段 NDVI 数值普遍较低,而流域的南部区域则表现为较高的 NDVI 值。在城市化程度较高的地区,植被指数往往较低,这反映了这些地方植被覆盖度的不足。在所观测的数据中,南陵县展现出最高的 NDVI 数值,意味着该县的植被覆盖率是全市最高的,在 2018 年达到了 0.5531。而三山区则拥有最低的 NDVI 值,这暗示着其植被覆盖率也是全市最低的。将所有区域的植被指数从高到低排列,我们得到以下顺序:镜湖区、三山区、繁昌区、弋江区、湾沚区、鸠江区、南陵县和无为市。这一排序不仅揭示了各区域之间的植被覆盖差异,也为当地政府在生态规划和植被恢复工作时提供了重要的参考信息。

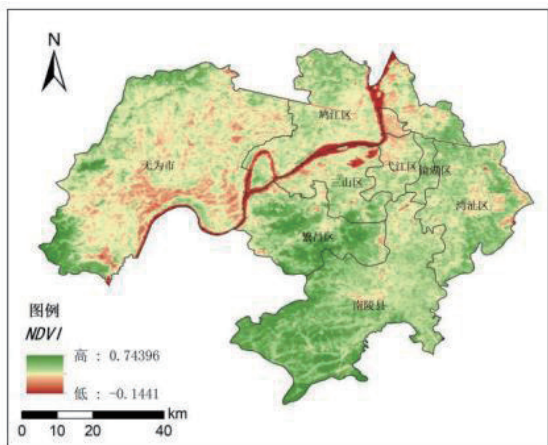


图 3-2 芜湖市 NDVI 空间分布

通过一元线性回归分析,我们可以观察到芜湖市在 2018 年至 2022 年间的植被指数的变化趋势如表 3.2 所示。运用标准差法对全市植被指数 (NDVI) 的变化趋势进行等级划分,结果显示变化趋势值介于 -0.01555 至 -0.00251 之间,这表明在过去五年间,NDVI 的变化趋势相对平稳,未观察到显著的波动或剧烈变化。75% 区域的植被指数经历了细微的变化,而另有 25% 的区域 NDVI 则基本保持不变。在植被指数的退化面积方面,长江沿岸及其周边区域尤为明显,其中无为市和南陵县的退化程度相对较为严重。此外,其他区域虽有轻微退化,但分布并不广泛。植被指数基本不变的区域主要集中在镜湖区、弋江区、鸠江区等,这些区域通常人口较为密集。由于人类活动对这些地区的自然环境给予了一定的重视和保护,如推动城市绿化、发展农业等,从而使得植被覆盖得以保持相对稳定。

表 3.2 芜湖市 2018-2022 年 NDVI 变化趋势

NDVI 变化趋势 (slope 值)	变化程度	所占百分比 /%
$-0.142 \sim -0.0552$	严重退化	0
$-0.0552 \sim -0.0303$	重度退化	0
$-0.0303 \sim -0.0054$	轻微退化	0.75
$-0.0054 \sim 0.0194$	基本不变	0.25

(二) 气温、降水变化分析

根据表 3.3 所示的数据,2018 年至 2022 年期间,芜湖市的区域气温和降水量变化情况如下:全市的年均气温变化范围介于 16.3°C 至 17.5°C 之间,而降水量的变化范围则在 623mm 至 1326mm 之间。在过去五年中,芜湖市的年均气温整体上呈现出较小幅度的变化,然而不同年份之间的气温差异较为显著,其中,2018 年的气温最低,达到了 16.3°C 。芜湖市的全年平均气温呈现出从北到南逐渐升高的一种空间分布模式,体现了明显的区域性渐变特征。在过去五年中,与气温变化相比,芜湖市的降水量经历了更为显著的波动。2018 年至 2022 年间,降水量数据显示出起伏不定的趋势。2020 年,芜湖市的降水量平均值达到了最高点,为 1639 毫米,而 2022 年的降水量平均值则降至最低,仅为 623 毫米。

表 3.3 芜湖市 2018-2022 年气温、降水变化

年份	年均降水量 /mm	年均气温 / $^{\circ}\text{C}$
2018	1326	16.3
2019	944	16.6
2020	1639	16.6
2021	1002	17.5
2022	623	17.5

(三) NDVI 与年降水、年均温之间的相关性分析

通过计算,我们获得了芜湖市在过去五年间植被指数 (NDVI) 与年平均气温和年降水量之间的偏相关系数。这些偏相关系数分别表示为 r_1 (气温与 NDVI 之间的偏相关系数) 和 r_2 (降水与 NDVI 之间的偏相关系数)。结果显示了这些变量之间相互作用的空间分布,具体分布情况见图 3-3 和图 3-4。

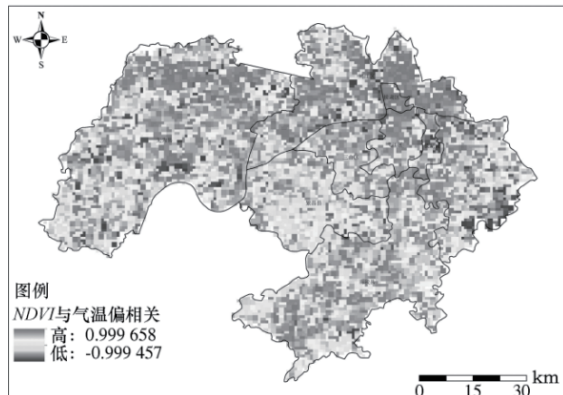


图 3-3 芜湖市 NDVI 与气温偏相关空间分布

图 3-3 展示了植被指数 (NDVI) 与平均气温之间的偏相关性分布。在该图中, 负偏相关的区域主要集中在繁昌县、无为市和鸠江区等局部地区, 而其他大部分区域显示出正相关性, 且正相关区域的范围相对较广。在研究区域中, 植被指数 (NDVI) 与年均气温之间的偏相关系数为正的占 70%, 而显示负相关的区域占 30%。

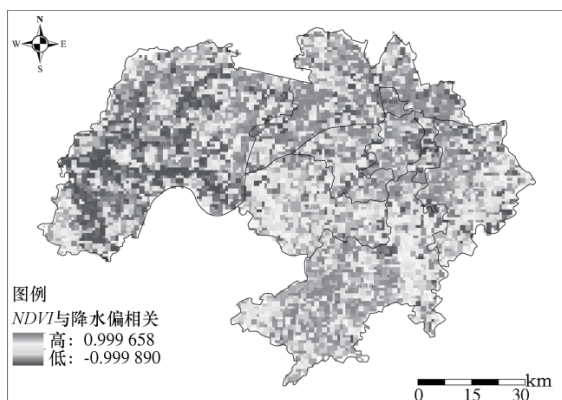


图 3-4 芜湖市植被指数 (NDVI) 与年降水量之间的偏相关性空间分布情况

图 3-4 揭示了芜湖市不同区域植被指数 (NDVI) 与年降水量之间的偏相关性。本文发现南陵县的大部分区域、三山区北部、镜湖区中部、弋江区的大部分区域、鸠江区的大部分以及无为市的北部区域显示出正偏相关性。这表明这些区域的降水量与植被生长之间存在积极的关系, 即降水量的增加有助于促进植被的生长和发展。这种正相关性可能是因为降水为植物提供了必要的水分, 从而有助于提高植被的覆盖度和生长速度。然而, 无为市的南部和南陵县东北部等地区则呈现负偏相关性, 暗示在这些地方, 降水可能对植被生长构成了一定的阻碍。

在芜湖市的研究中, 我们观察到与年降水量呈正相关的植被指数 (NDVI) 区域覆盖了该市 56.81% 的土地面积, 而与降水量呈负相关的区域则占据了剩余的 43.19%。这一发现表明, 总体上来看, 降水量与植被生长之间存在积极的关系, 即降水量的增加有利于植被的健康生长。

四、结论

对芜湖市 2018—2022 年的植被指数 (NDVI) 进行时空变化特征分析, 并考察其与气温、降水的关系后, 我们注意到以下几点结果:

1. 在时间序列上, 芜湖市各地区的 NDVI 值显示出显著的年际变化, 植被覆盖度在不同地区之间存在较大的差异, 且整体上呈现出下降的趋势。这可能表明, 随着时间的推移, 部分地区的植被健康状况有所下降, 需要关注和进一步研究其原因和影响。

2. 在芜湖市各区域中, 南陵县以其较高的植被覆盖率脱颖而出, 成为全市植被状况最佳的县区。与此同时, 三山区则以其最低的 NDVI 值表明, 该区域的植被生长状况相对滞后。按照 NDVI 平均水平从高到低的顺序排列, 镜湖区位列第一, 其次是三山区、繁昌、弋江区、湾沚区、鸠江区、南陵县和无为市。这进一步强调了不同区域之间植被健康状况的差异性。

3. 在过去的五年中, 植被指数 (NDVI) 的变化趋势相对平稳, 没有经历剧烈的波动。有 25% 的区域植被指数保持不变, 而其余 75% 的区域则显示出轻微的退化现象。其中, NDVI 退化较为严重的区域主要集中在长江沿岸, 特别是无为市、南陵县等地, 这些区域的植被状况需要引起关注并采取相应的保护措施。

参考文献:

- [1] 汤景泰, 陈秋怡. 时间序列数据分析在传播研究中的应用 [J]. 当代传播, 2022(02):29-34.
- [2] 陈登魁, 马超, 王夏冰, 刘畅. 1982—2015 年可可西里 NDVI 变化特征及其气候响应 [J]. 干旱区研究, 2018,35(06):1410-1417.
- [3] 曹洋, 熊康宁, 董晓超, 肖华, 全明英. 关岭—贞丰石漠化治理示范区植被覆盖变化及其对气候因子的响应 [J]. 中国岩溶, 2018,37(06):850-858.
- [4] 王新源, 连杰, 杨小鹏, 赵学勇, 王小军, 马仲武, 龚丞旭, 曲浩, 王彬. 玛曲县植被覆盖变化及其对环境要素的响应 [J]. 生态学报, 2019,39(03):923-935.
- [5] 李舒婷, 周艺, 王世新, 尚明, 杨宝林. 2001—2015 年内蒙古 NDVI 时空变化及其对降水和气温的响应 [J]. 中国科学院大学学报, 2019,36(01):48-55.
- [6] 李丽丽, 王大为, 韩涛. 2000—2015 年石羊河流域植被覆盖度及其对气候变化的响应 [J]. 中国沙漠, 2018,38(05):1108-1118.
- [7] 严晓瑜. 不同时间尺度若尔盖湿地植被变化及其与气候的关系 [D]. 中国气象科学研究院, 2008.
- [8] 白建军, 白江涛, 王磊. 2000—2010 年陕北地区植被 NDVI 时空变化及其与区域气候的关系 [J]. 地理科学, 2014,34(07):882-888.
- [9] 李霞, 李晓兵, 陈云浩, 莺歌. 中国北方草原植被对气象因子的时滞响应 [J]. 植物生态学报, 2007(06):1054-1062.
- [10] 王丽霞, 余东洋, 刘招, 张双成, 杨耘. 渭河流域 NDVI 与气候因子时空变化及相关性研究 [J]. 水土保持研究, 2019,26(02):249-254.