

基于 PIE-Engine 云计算平台的黄河 流域郑州段监测系统



刘红权^{*}, 王星东

河南工业大学信息科学与工程学院, 河南郑州 450001

摘要: 本研究旨在充分利用 PIE-Engine Studio 遥感实时计算云平台, 对黄河流域的生态环境进行全面评估。在此平台中, 我们构建了专门用于黄河流域的监测系统, 该系统整合了多源遥感数据, 以提供全面的生态环境监测和评估。在黄河流域监测系统中, 我们建立了河道变化、水体监测、植被覆盖、遥感生态指数分析等模块, 以综合评估黄河流域生态系统长时间演变的趋势。河道变化模块通过实时遥感数据追踪河道形态的变化, 为水资源管理提供重要信息。水体监测模块专注于监测水体质量和分布, 以全面了解水资源的动态变化。植被覆盖模块利用遥感数据监测植被的覆盖情况, 评估生态系统的健康状况。遥感生态指数对热度、干度、湿度、绿度进行分析, 对得到的结果再进行评估, 得到最后的分析评价。通过采用预警点识别方法, 我们跨足不同的时空尺度, 全面评估了黄河生态环境的质量。这一综合评估为地方提供了科学依据, 并为生态环境的保护和规划决策提供了有力支持, 为黄河流域的生态可持续发展提供了详实的数据和科学依据。

关键词: PIE-Engine; 水体监测; 河道变化; 植被覆盖; 评估分析

DOI: [10.57237/j.wjese.2024.01.002](https://doi.org/10.57237/j.wjese.2024.01.002)

Monitoring System of Zhengzhou Section of Yellow River Basin Based on PIE-Engine Cloud Computing Platform

Hongquan Liu^{*}, Xingdong Wang

College of Information Science and Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China

Abstract: This study aims to make full use of the PIE-Engine Studio remote sensing real-time computing cloud platform to comprehensively assess the ecological environment of the Yellow River Basin. In this platform, we constructed a monitoring system specifically for the Yellow River basin, which integrates multi-source remote sensing data to provide comprehensive ecological environmental monitoring and assessment. In the monitoring system of the Yellow River Basin, we have established modules such as river course change, water body monitoring, vegetation cover, and remote sensing ecological index analysis to comprehensively evaluate the trend of long-term evolution of the Yellow River Basin ecosystem. The channel change module tracks the changes in channel morphology through real-time remote sensing data, providing important information for water resources management. The water body monitoring module focuses on monitoring water quality and distribution to obtain a comprehensive understanding of the dynamics of water resources. The vegetation cover module uses remote sensing data to

^{*}通信作者: 刘红权, 1123542811@qq.com

monitor vegetation cover and assess ecosystem health. The remote sensing ecological index analyzes heat, dryness, humidity, and greenness, and then evaluates the obtained results to obtain the final analysis and evaluation. By using the early warning point identification method, we comprehensively evaluated the ecological environment quality of the Yellow River across different spatial and temporal scales. This comprehensive assessment provides the local scientific basis, and provides strong support for the protection and planning decisions of the ecological environment, and provides detailed data and scientific basis for the ecological sustainable development of the Yellow River Basin.

Keywords: PIE-Engine; Water Monitoring; River Course Change; Vegetation Cover; Evaluation and Analysis

1 引言

黄河是中国重要的河流之一，涉及的流域面积广阔，对流域内资源的监测和管理具有重要意义。因此，黄河流域信息检测的目的是通过收集、分析和监测相关的信息，全面了解黄河流域的情况，以实现流域资源的合理开发和保护。

在黄河流域的研究中，瞿萌等人基于 2006—2018 年黄河流域九省（区）101 个地级市的面板数据，构建城镇化与生态环境耦合协调评价指标体系，结果表明：研究期内黄河流域城镇化与生态环境耦合协调状况不断向好[1]。郑佳琦以黄河流域为研究对象，系统整编了流域污染负荷、气象、水文和水质等数据，采用 RSPARROW 模型模拟了黄河流域 2006-2018 年总氮和总磷通量的时空分布特征[2]。赵洋利用模糊最优最劣法（FBWM）计算 2000-2019 年黄河流域各省区的取水权和水排污权，通过对水权的理论配额与实际值分析目前分水模式存在的不足[3]。庞雅颂在研究中比较了生态安全与其他相关概念之间的关系，对生态安全理论框架和评价方法进行了总结[4]。吴艳霞在分析城镇化发展与自然生态相互作用基础上，选取 2006 年至 2017 年长江经济带沿线 11 个省市数据为研究样本，进一步推导出生态安全预警依据[5]。王文宣根据 DPSIR 模型从自然、经济、社会、环境和景观格局方面构建指标体系，利用综合权重物元分析模型对湖南省土地生态安全进行评价，并对空间格局变化特征及其影响因素进行分析[6]。崔馨月以长三角城市群 41 个城市为研究对象建立 DPSIR 生态安全指标评价模型，利用熵权法与均方差决策法确定 DPSIR 权重，采用主成分分析法和综合指数法得到长三角城市群生态安全综合指数 YDESI 与生态安全等级[7]。张继权利用 1989 年、1999 年和 2006 年的 3 期 TM 遥感影像，结合研究区的 DEM 数据和实地调查数据建立解译标志，对白山市土地覆被进行景观分类，借助 Fragstats 分析景观指数，提取重要的生态安全评价指标，对白山市所辖各区县进行生

态安全综合评价[8]。虽然这些研究中有很多不同视角（共度[5]、协调度等[9]）的生态安全评价研究，但缺少对生态安全影响因素以及影响因素间作用的分析，而本系统基于 PIE-Engine Studio 遥感实时计算云平台，依托其高效快速计算、实时分析以及免费、灵活和弹性的计算服务等优势，为黄河流域信息监测提供了更加方便和高效的方式去进行。

本文以郑州市为研究区域，利用 PIE-ENGINE 云平台的优势对遥感数据进行处理，选取 Landsat7 和 Landsat8 数据，添加特征变量，采用众多算法，分别对黄河流域的水质检测、河道变化、植被覆盖度、热度、湿度、干度进行分析，综合对黄河流域郑州段进行分析。

2 研究方法

2.1 算法模型

2.1.1 黄河流域植被覆盖度

在植被覆盖度研究中，Jordan 提出了比值植被指数（RVI）。该指数通过可见光红光波段与近红外波段的简单比值，充分表达了绿色植物的光谱响应差异[10]。

RVI 计算公式为：

$$RVI = NIR/R \quad (1)$$

其中，NIR 为近红外波段的反射率，R 为红光波段的反射率。

另一种植被指数为归一化植被指数，归一化植被指数对绿色植物敏感，与植物分布密度呈线性关系，是植物生长状况和空间分布密度的最佳指标，常被用于植被监测。NDVI 主要是对 2 个波段的特征进行对比，即红光波段中叶绿素的色素吸收率和近红外波段中植物体的高反射率，该指数的输出值范围为 [-1,1]，当

NDVI 值较低 (≤ 0.1) 时, 表示岩石、沙石或雪覆盖的贫瘠区域; 当 NDVI 值中等 (0.2~0.3) 时, 表示灌木丛和草地; 当 NDVI 值较高 (0.6~0.8) 时, 表示温带雨林或热带雨林。为更加高效的识别农田地块[11]。

NDVI 计算公式为:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R}) \quad (2)$$

其中, NIR 为近红外波段的反射率, R 为红光波段的反射率。

增强型植被指数(EVI)是在归一化植被指数(NDVI)改善出来的, 根据大气校正所包含的影像因子大气分子、气溶胶、薄云、水汽和臭氧等因素进行全面的大气校正, EVI 大气校正分三步, 第一步是去云处理。第二步是大气校正处理, 校正内容除了 NDVI 已有的瑞利散射和臭氧外, 还包括大气分子、气溶胶、水汽等。第三步是进一步处理残留气溶胶影响, 方法是借助蓝光和红光通过气溶胶的差异。由于输入的 NIR、Red、Blue 都经过比较严格的大气校正, 所以在设计植被指数算式时, 无须为了消除乘法性噪音而采用基于 NIR/Red 比值的植被指数, 因此也就解决了由此引起的植被指数容易饱和以及与实际植被覆盖缺乏线性关系的问题[12]。

EVI 计算公式:

$$\text{EVI} = 2.5(\rho^*\text{NIR}-\rho^*\text{Red})/(\rho^*\text{NIR}+\text{C1}\rho^*\text{Red}-\text{C2}\rho^*\text{Blue}+\text{L}) \quad (3)$$

其中, ρ^* 分别为经过大气校正的反射值 (NIR, Red, Blue)。L=1 为土壤调节参数。参数 C1 和 C2 分别为 6.0 和 7.5, 描写通过 Blue 来修正大气对 Red 的影响。

2.1.2 河道变化趋势检测

为了研究河道变化趋势, 选择 NDWI 和 MNDWI 指数, NDWI 主要利用了在近红外波段水体强吸收几乎没有反射而植被反射率很强的特点, 通过抑制植被和突出水体用来提取影像中的水体信息, 效果较好。但是由于 NDWI 只考虑了植被因素, 忽略了建筑物和土壤这 2 个重要的地物, 通过 NDWI 提取水体信息时由于绿光波段的反射率远远高于近红外波段, 所以提取结果往往混淆有土壤和建筑物信息[13]。

NDWI 计算公式:

$$\text{NDWI} = (\text{Green}-\text{NIR}) / (\text{Green}+\text{NIR}) \quad (4)$$

其中, Green 代表绿光波段; NIR 代表近红外波段。在 Landsat TM 影像中, 分别为 2, 4 波段。

MNDWI 则是因为建筑物等阴影在绿光和近红外

波段的波谱特征与水体相似, 当采用短波红外波段替换近红外波段时, 可以使计算出的水体与建筑物指数的反差明显增强, 大大降低了二者的混淆程度, 从而有利于城镇中水体信息的准确提取。NDWI 和 MNDWI 模型的同时使用有利于更全方面分析土地。

MNDWI 计算公式:

$$\text{MNDWI} = (\text{GREEN}-\text{SWIR}) / (\text{GREEN}+\text{SWIR}) \quad (5)$$

其中, GREEN 为绿光波段; SWIR 为短波红外波段。

2.1.3 水体监测

在水体监测方面, 植被覆盖度 (FVC) 和透明度反演算法 (SDD) 用于表征植被和水体的状态。

FVC 表征地表植被覆盖情况, 一般将植被覆盖度定义为植被冠层在地面上垂直投影面积与土地总面积的比值。在计算 FVC 过程中用到了像元二分模型。

像元二分模型是一种简单实用的遥感估算模型, 它假设一个像元的地表由有植被覆盖部分地表与无植被覆盖部分地表组成, 而遥感传感器观测到的光谱信息也由这 2 个组分因子线性加权合成, 各因子的权重是各自的面积在像元中所占的比率, 如其中植被覆盖度可以看作是植被的权重。

FVC 计算公式如下:

$$\text{FVC} = (\text{NDVI}-\text{NDVI}_{\text{soil}}) / (\text{NDVI}_{\text{veg}}-\text{NDVI}_{\text{soil}}) \quad (6)$$

其中, NDVI 为归一化植被指数。

SDD 是水体能见度的一种量度主要受水体光学性质的影响能直观反映水体对光的吸收和散射程度[14]。SDD 计算公式如下:

$$\text{SDD} = 5.766-26.701*\text{b4}/\text{b3}+(\text{b4}/\text{b3})*2*45.625-(\text{b4}/\text{b3})*3*21.035 \quad (7)$$

其中, b3, b4 分别为 B3, B4 波段的表面反射率。

TSS 用于估计水体中的悬浮固体含量, 本文选择构建方法简单经验模型, 决定系数较高的模型为 $\text{B4}/\text{B3}$ 、 B4 、 $\text{B4}/\text{B2}$ 、 $\text{B4}/\text{B1}$, 比较线性模型和二次函数模型, 发现二次函数的相关系数均高于线性函数的相关系数, 且 $\text{B4}/\text{B2}$ 组合的二次函数模型相关系数最高。

TSS 计算公式如下:

$$\text{TSS} = 0.898\text{x}+0.031\text{x}+0.0009 \quad (8)$$

其中, x 为 $\text{B4}/\text{B2}$ 。

2.1.4 生态评估

干度指标（NDSI）：干度指标选用的是裸土指数 SI。但在区域环境中，还有相当一部分的建筑用地，它

们同样造成地表的“干化”，因此 NDSI 可由二者合成，即由裸土指数 SI 和建筑指数 IBI 合成[15]。

NDSI 计算公式如下：

$$NDSI = (SI+IBI)/2 \quad (9)$$

$$\text{其中, } SI = [(\rho_{SWIR1}+\rho_{Red})-(\rho_{Blue}+\rho_{NIR})]/[(\rho_{SWIR1}+\rho_{Red})+(\rho_{Blue}+\rho_{NIR})] \quad (10)$$

$$IBI = \{2\rho_{SWIR1}/(\rho_{SWIR1}+\rho_{NIR}) - [(\rho_{NIR}/(\rho_{Red}+\rho_{NIR}) + \rho_{Green}/(\rho_{Green}+\rho_{SWIR1}))\} / \{2\rho_{SWIR1}/(\rho_{SWIR1}+\rho_{NIR}) + [(\rho_{NIR}/(\rho_{Red}+\rho_{NIR}) + \rho_{Green}/(\rho_{Green}+\rho_{SWIR1}))\} \quad (11)$$

遥感缨帽变换所得的亮度、绿度、湿度分量已被广泛地应用于生态环境监测中，其中湿度分量反映了水体和土壤、植被的湿度，与生态环境密切相关，因此，湿度生态因子以湿度分量 Wet 代表[16]。

对于 Landsat TM 影像 Wet 计算公式如下：

$$Wet = 0.0315\rho_{Blue}+0.2021\rho_{Green}+0.3102\rho_{Red}+0.1594\rho_{NIR}-0.6806\rho_{SWIR1}-0.6109\rho_{SWIR2} \quad (12)$$

地表温度与植被的生长与分布、地表水资源蒸发循环密切相关，是反映地表环境的重要参数之一。由于 NASA 的陆地过程分布式数据档案中心 MODIS 现有产品地表温度分辨率为 1 000 m，为确保用 GIS 对分量指标进行叠加分析的精度一致，可通过地表热辐射传输方程反演获取[17]。

基于 TM6 提取地表真实温度 LST 的计算公式为：

$$LST = T/[1+(\lambda T/\rho)\ln \epsilon]-273.15 \quad (13)$$

其中，T 为传感器处温度，K； λ 为中心波长； α 取 1.438×10^{-2} mK； ϵ 为基于 TM6 波段的地表比辐射率。

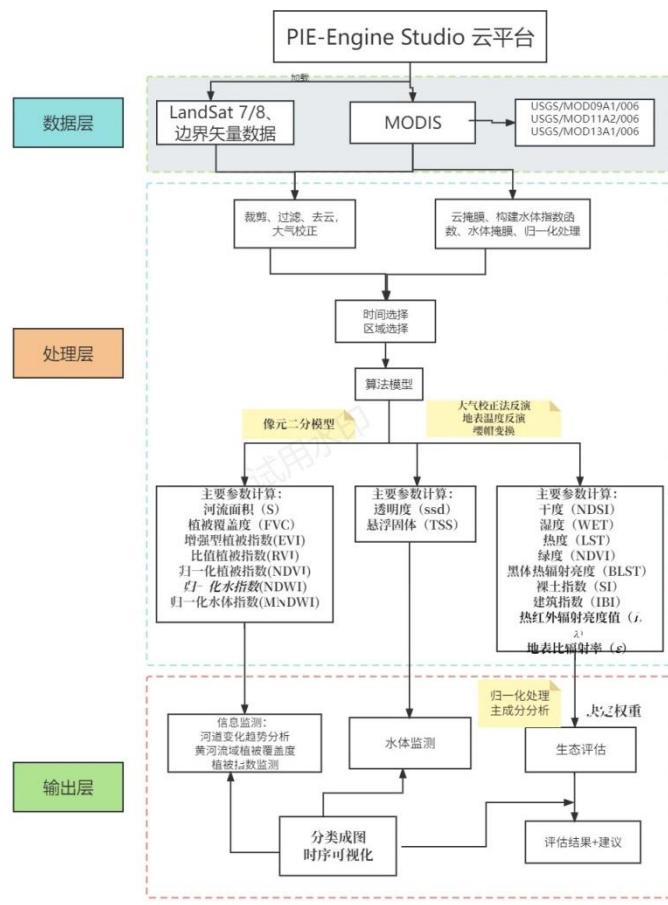


图 1 技术流程图

2.2 技术流程

本文通过一系列技术流程进行深入分析:

首先, 对近九年的河道变化趋势进行了综合分析, 借助 Landsat 系列影像数据, 揭示了河道系统的演变过程。

其次, 在河道面积计算方面, 运用相同数据源, 精确计算了河道的空间覆盖面积, 为后续研究提供了重要基础。在植被基础指数的计算中, 针对 Landsat 系列影像数据, 分别计算了多个关键指数, 如 NDVI、EVI、NDWI、MNDWI、RVI 等, 以这些指数作为基础数据, 全面展示了研究区域内土壤背景变化、水体和植被的基本属性与特征。通过计算长时间序列植被覆盖度, 覆盖了 2013 年至 2021 年的时间范围, 选定的区域范围内植被的分布情况得以全面统计。水体监测阶段着重关注近 11 年水域的透明度变化和泥沙含量的演变, 通过详尽的计算揭示了水体动态的重要特征。

最后, 评估的计算与分析将综合前述结果, 为研究区域的生态环境状况提供全面的评估, 为未来的管理和保护提供有力支持。以郑州段为例, 计算 Wet、NDBSI、NDVI、LST、利用 Landsat 系列以及地面温度合成数据 MODIS 影像数据进行计算, 将计算好的遥

感生态指数在图像上展示。并将这些指数计算出贡献度, 进行评估和分析。研究总体技术路线如图 1 所示。

3 结果与讨论

3.1 河道变化

河道的演变通常牵涉到河岸的侵蚀或冲积, 对周边土壤质量和地区稳定性都带来一系列影响。通过对河道变化的监测, 我们能够及时发现河岸侵蚀的迹象, 并采取相应的保护措施, 以降低土壤侵蚀、土地退化和水土流失等问题的发生。

以郑州段 2020 年为例, 这项功能通过提取每年河道水体的变化, 生动展示了黄河流域在郑州段自 2013 年至 2021 年间的河道演变。2020 年郑州河道变化如图 2 所示。同时, 通过精确计算每年河流的水体面积, 更为直观地呈现了每年河流的变化趋势。2013-2021 年河流面积如图 3 所示。这种详尽的数据分析有助于更全面地理解河道系统的动态变化, 为制定有效的保护和管理策略提供了有力支持。



图 2 2020 年郑州段河道

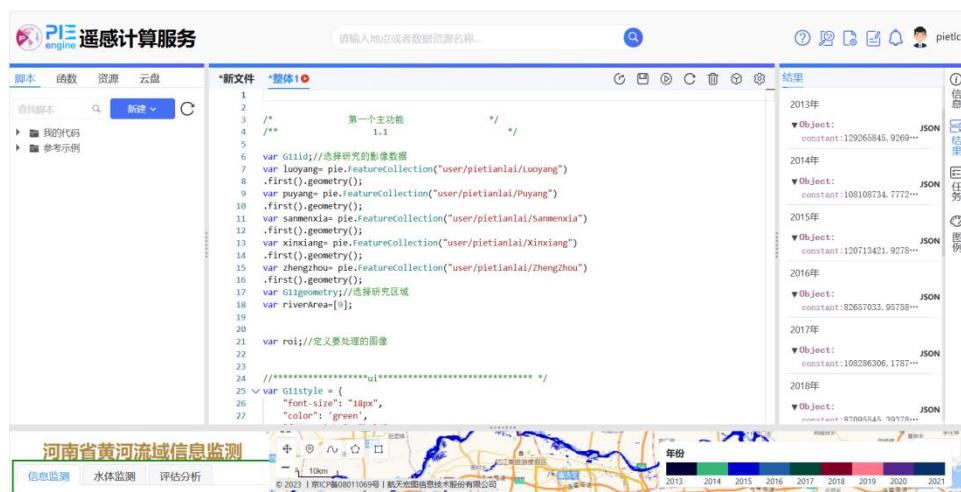


图 3 郑州段 2013-2021 年的河流面积

3.2 植被覆盖面积

监测植被覆盖面积可以提供有关地表植被状况的重要信息。它可以帮助科学家、农民和环境保护人员了解植被的生长情况、植被类型和植被变化。郑州段植被覆盖信息如图 4 所示。FVC 的监测可以用于评估土地健康状况、监测气候变化、预测干旱和洪水等自然灾害，并支持农业管理和生态系统保护决策。



图 4 郑州段植被覆盖信息

3.3 植被指数

植被指数通常用于评估植被的绿度和生长状况。较高的 RVI 值通常表示较为茂盛和健康的植被，而较低的 RVI 值则可能表示植被受到了压力或不良环境条件的影响。通过设置五个级别进行展示植被指数变化，这样可以更加明显的进行对比，计算结果如图 5 所示。

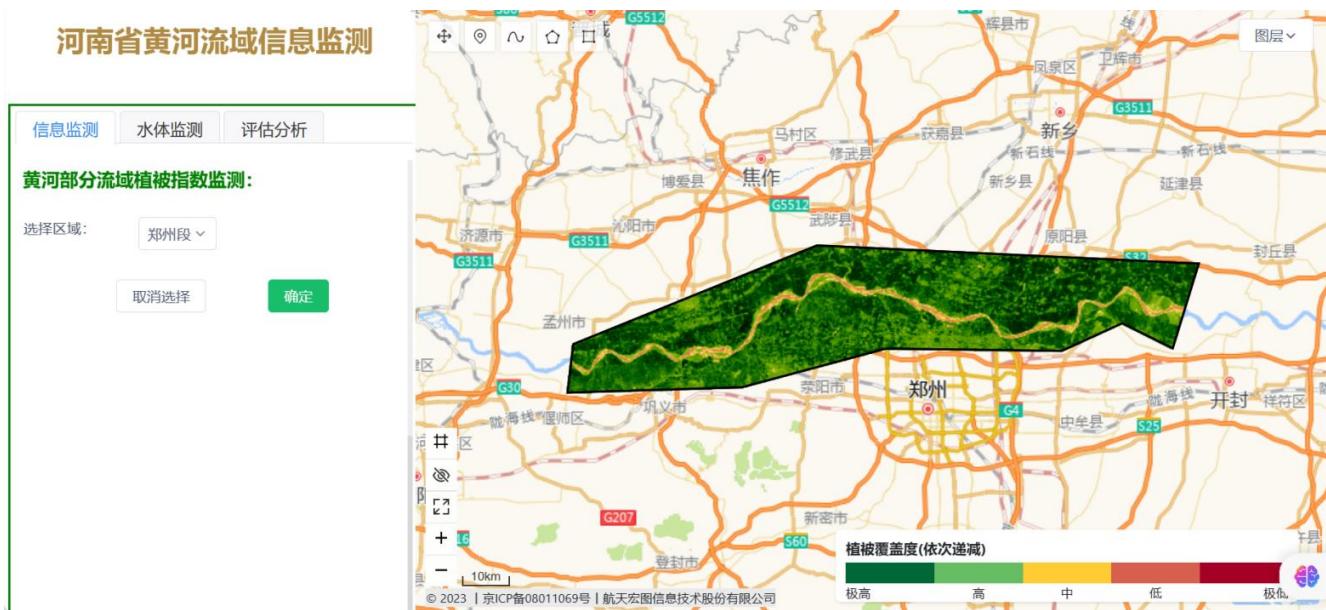


图 5 郑州段植被指数

3.4 透明度

透明度是指水体或其他液体中的可见光透過程度的度量。它是通过测量光线在水体中传播时的衰減来确定的。透明度可以用来评估水体的清澈程度和透明度，反映水体中悬浮物质、溶解物质和浑浊度等因素的影响。透明度对于水体生态系统的健康和功能至关重要。运用渐变的方式进行对比计算结果，可以更好的看出透明度的变化，以郑州段 2007 年的透明度为例进行展示，计算结果如图 6 所示。

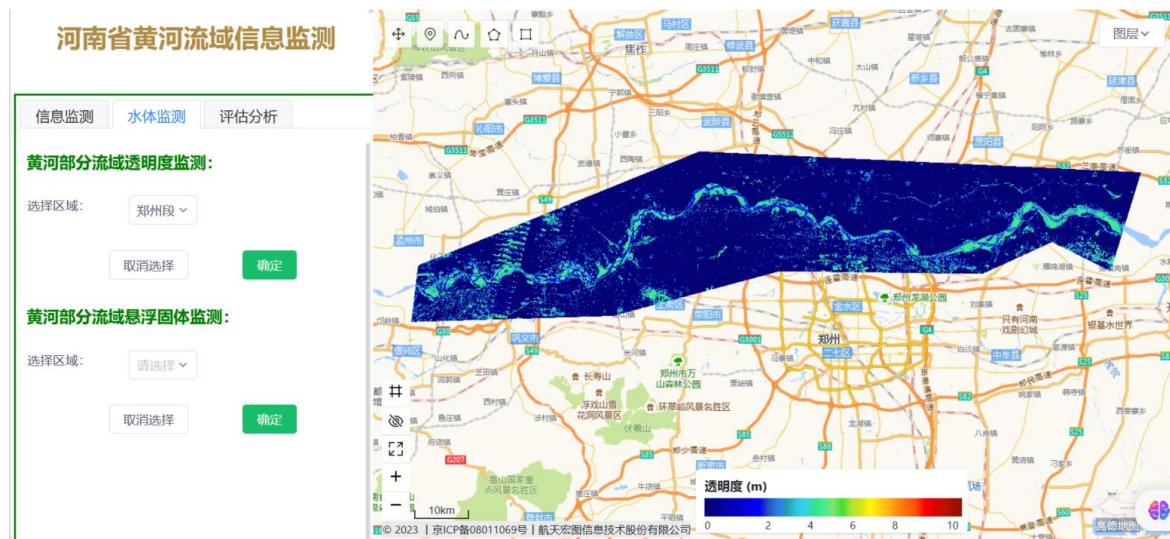


图 6 郑州段 2007 年透明度

3.5 悬浮物沉積度

悬浮物沉積度是指水体中悬浮颗粒物质的浓度或含量。悬浮物是指在水体中悬浮的固体颗粒，如泥沙、粉尘、藻类、有机物等。悬浮物沉積度是水质监测和环境评估中的重要参数之一。它可以提供有关水体浑浊度、水质污染程度和沉积物输运情况的信息。高悬浮物沉積度通常意味着水体浑浊，可能由于泥沙侵蚀、土壤侵蚀、废水排放等原因导致。通过设置逐步变红的色彩进行对比，能清晰地看到悬浮物沉積度的大小对比，以郑州段 2008 年为例，计算结果如图 7 所示。

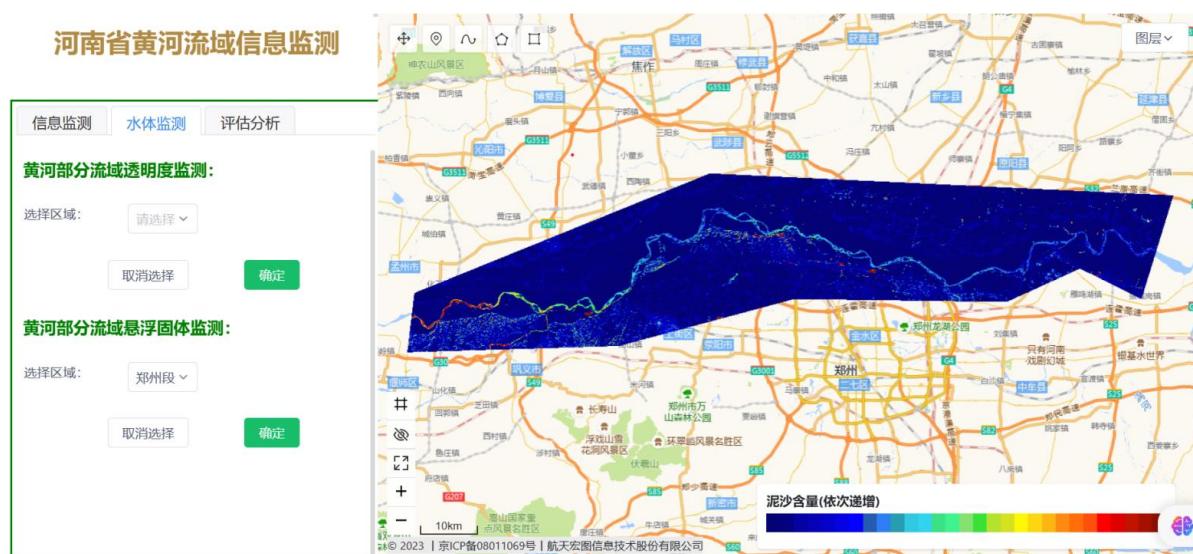


图 7 郑州段 2008 年悬浮固体

3.6 干度

干度是一种用于评估城市建筑物覆盖程度的遥感指数。它通过计算红外波段和绿色波段的归一化差异来反映建筑物的分布情况。以郑州段 2015 年为例, 如图 8 所示, 可以清晰地看到建筑物的分布情况。干度指数可以应用于城市规划、土地利用研究、城市热岛效应分析等领域, 帮助评估城市建筑物的分布情况和城市化程度。

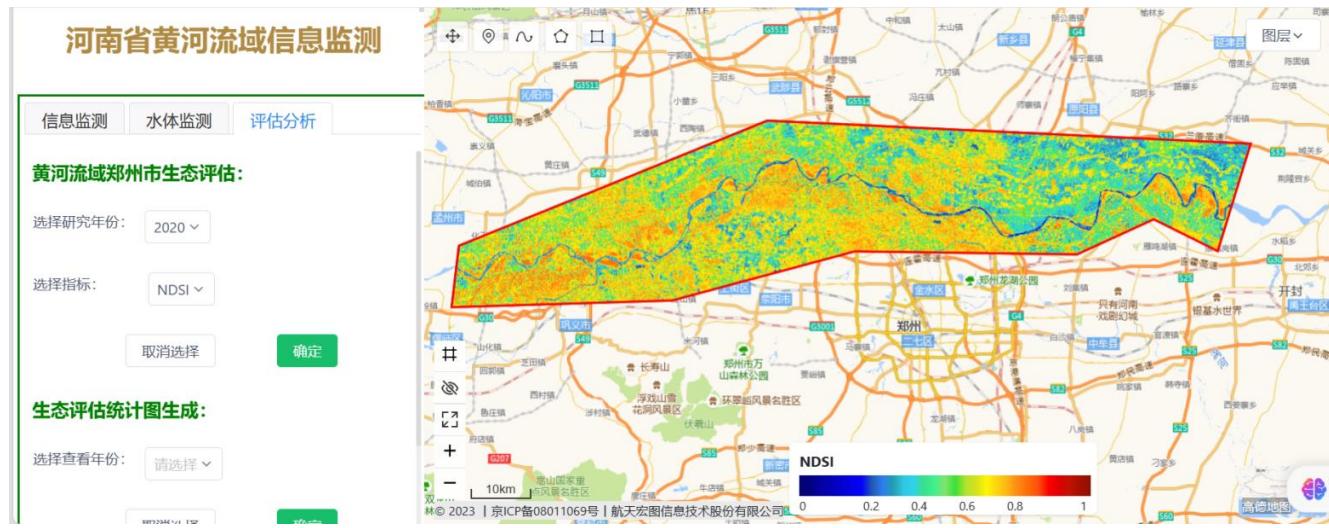


图 8 郑州段 2015 年干度

3.7 湿度

湿度是指空气中所含水蒸气的量或水分的含量。通常以相对湿度的形式表示, 即空气中所含水蒸气的实际水分量与该温度下最大可能水分量之间的比例。随着相对湿度的增加, 空气中的水分含量也相应增加, 相反则减少。以郑州段 2015 年为例, 如图 9 所示, 我们对该区域的湿度进行了分析和展示。

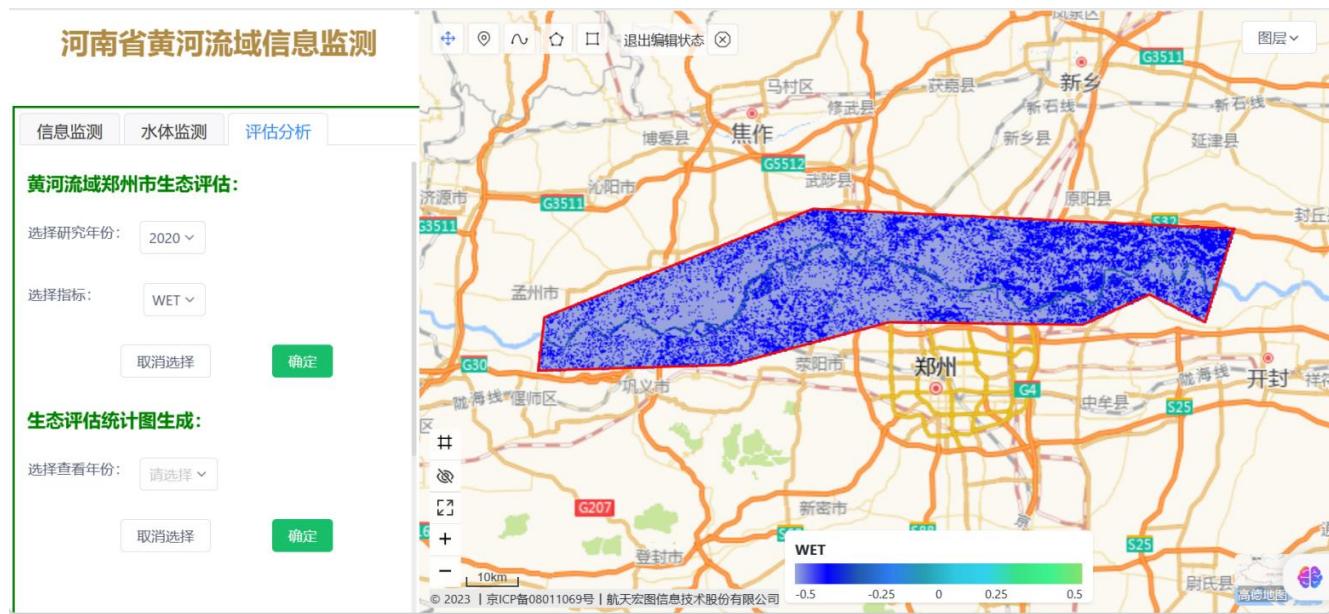


图 9 郑州段 2015 年湿度

3.8 温度反演

温度反演是指通过遥感技术测量地表温度的过程。温度反演通常使用热红外遥感数据，如卫星传感器记录的地表辐射亮温数据，通过物理模型和算法将亮温转换为地表温度。在进行本研究中，我们也采用了温度反演技术来获取黄河流域地表温度信息。如图 10 所示，我们得到了黄河流域的地表温度分布情况。

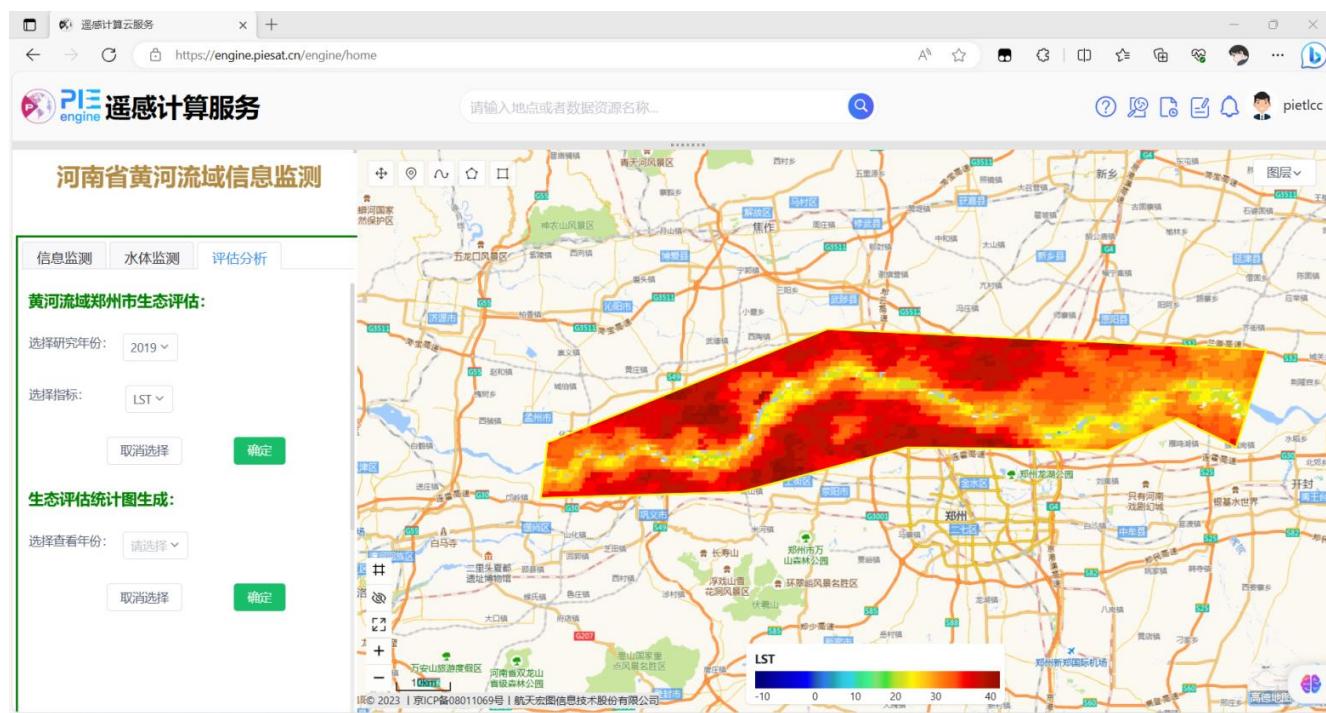


图 10 郑州段 2019 年热度

3.9 评估分析

此模块由郑州市为例，对其进行生态和评估和建议，在此界面中可以选择研究年份和研究指标，指标包括 NDVI、WET、NDSI 和 LST，选定后会在地图中心展现指数图像供用户查看，四个数据计算完成还可以生成评估统计图，统计图可以直观地看到不同指标的大小和对比。以郑州段 2015 年的评估分析为例，计算结果如图 11 所示。

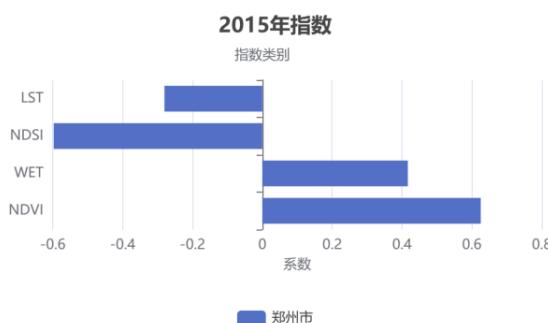


图 11 统计图示例

4 结论

本研究以全新的生态视角进行黄河流域的生态评价，提供了全面多元的数据支持。通过空间量化评估城市生态宜居性，并展示了多时间尺度、多空间尺度的生态系统变化，为决策提供科学依据。该研究成功识别了生态环境预警点，并实时监测黄河流域生态环境，为及时采取措施提供科学支持，为区域内生态环境管理提供指导方向。

最终，通过分析各种生态指标提出了具体建议，支持改善该区域的生态环境，为可持续发展提供重要支持。

参考文献

- [1] 瞿萌, 陈准, 闫明涛等. 黄河流域城镇化与生态环境耦合协调及交互胁迫关系研究 [J]. 人民黄河, 2023, 45(12): 19-24.
- [2] 郑佳琦. 长江黄河流域氮磷通量时空变化规律及关键驱动因素研究 [D]. 中国环境科学研究院, 2023.

- [3] 赵洋. 黄河流域省区间水权分配及水生态补偿 [D]. 东北财经大学, 2023.
- [4] 庞雅颂, 王琳. 区域生态安全评价方法综述 [J]. 中国人口·资源与环境, 2014, 24(S1): 340-344.
- [5] 吴艳霞, 罗恒, 梁志康. 长江经济带生态安全测度研究 [J]. 生态学报, 2020, 40(19): 6761-6775.
- [6] 王文萱, 李明孝. 基于 DPSIR 的湖南省土地生态安全时空变化 [J]. 生态学志, 2020.
- [7] 崔馨月, 方雷, 王祥荣等. 基于 DPSIR 模型的长三角城市群生态安全评价研究 [J]. 生态学报, 2021, 41(01): 302-319.
- [8] 张继权, 伊坤朋, Hiroshi Tani 等. 基于 DPSIR 的吉林省白山市生态安全评价 [J]. 应用生态学报, 2011, 22(01): 189-195.
- [9] 杨振龙, 左其亭, 姜龙等. 黄河流域九省区城镇化与生态安全交互作用机制 [J]. 南水北调与水利科技(中英文), 2022, 20(01): 191-200.
- [10] 陈明华, 柴鹏, 陈文祥, 黄坤, 陈志彪. 不同植被指数估算植被覆盖度的比较研究 [J]. 亚热带水土保持, 2016, 28(01): 1-4+56.
- [11] 王正兴, 刘闯, HUETE Alfredo. 植被指数研究进展: 从 AVHRR-NDVI 到 MODIS-EVI [J]. 生态学报, 2003, (05): 979-987.
- [12] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究 [J]. 遥感学报, 2005, (05): 589-595.
- [13] 赵春燕, 禹定峰, 周燕等. 水体透明度遥感反演算法研究进展 [J]. 海洋科学, 2023, 47(05): 176-185.
- [14] 徐涵秋. 区域生态环境变化的遥感评价指数 [J]. 中国环境科学, 2013, 33(05): 889-897.
- [15] 李婧, 郝育红, 孙京敏等. 基于遥感生态指数的城市矿山生态环境时空变化评价 [J]. 城市发展研究, 2021, 28(01): 17-22.
- [16] 刘东, 欧阳安, 陈聪等. 基于归一化植被指数的农田边界识别方法 [J]. 江苏农业科学, 2022, 50(11): 196-201.
- [17] 刘索玄, 袁艳斌, 赵皞等. 基于遥感生态指数(RSEI)的水电开发区生态环境变化分析: 以清江中下游地区为例 [J]. 生态与农村环境学报, 2019, 35(11): 1361-1368.