

# 基于遥感影像的沿江平原水体信息提取方法

吴星麒<sup>1\*</sup>, 张松<sup>2</sup>, 詹超<sup>3</sup>, 姚鑫鹏<sup>4</sup>

<sup>1</sup>浙江师范大学化学与生命科学学院, 浙江 金华

<sup>2</sup>中国农业大学资源与环境学院, 北京

<sup>3</sup>安徽师范大学地理与旅游学院, 安徽 芜湖

<sup>4</sup>安徽省六安市文峰学校, 安徽 六安

收稿日期: 2022年1月20日; 录用日期: 2022年2月20日; 发布日期: 2022年2月28日

## 摘要

随着航空航天技术的发展, 采用卫星遥感影像提取水体信息逐渐成为研究热点。Landsat8数据产品是开放获取的中高分辨率遥感影像, 选择芜湖地区进行研究, 分别使用监督分类(支持向量机分类、卷积神经网络)、面向对象方法、水体指数法(NDWI、MNDWI、AWEIsh、RNDWI、EWI)提取水体分布信息, 分析了不同方法的提取结果。结果表明: 1) 通过Kappa检验显示出MNDWI、监督分类方法平均总体精度最高效果最好, 分别为95%和94%。2) 面向对象方法分类对小区域零碎水体分类效果比较好。3) 水体在红绿波段反射率较强, 而在近红外及中红外波段吸收较强, 红外波段可以较好的识别地物信息。因此, 从绿波段到红外波段权重递减的MNDWI水体指数法能够有效地抑制反射率噪声, 在水体提取方面有较大的优势。本文对水文水资源的研究与应用具有一定的实际价值, 尤其为沿江平原地区健康发展和水资源综合管理调查研究与保护提供新视野。

## 关键词

TM影像, 遥感影像, 水体信息, 沿江平原, 提取

# A Method of Extracting Water Body Information along the River Plain Based on Remote Sensing Images

Xingqi Wu<sup>1\*</sup>, Song Zhang<sup>2</sup>, Chao Zhan<sup>3</sup>, Xinpeng Yao<sup>4</sup>

<sup>1</sup>School of Chemistry and Life Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua Zhejiang

<sup>2</sup>School of Resources and Environment, China Agricultural University, Beijing

<sup>3</sup>School of Geography and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu Anhui

<sup>4</sup>Wenfeng School, Lu'an City, Anhui Province, Lu'an Anhui

\*第一作者。

文章引用: 吴星麒, 张松, 詹超, 姚鑫鹏. 基于遥感影像的沿江平原水体信息提取方法[J]. 世界生态学, 2022, 11(2): 87-95. DOI: 10.12677/ije.2022.112012

## Abstract

With the development of aerospace technology, water information extraction from satellite remote sensing image has gradually become a research hotspot. Landsat8 data product is an open access medium and high resolution remote sensing image. Wuhu area was selected for research. Supervised classification (support vector machine classification, convolutional neural network), object-oriented method and water index method (NDWI, MNDWI, AWEIsh, RNDWI, EWI) were used to extract water distribution information. The extraction results of different methods were analyzed. The results showed as follows: 1) Kappa test showed that MNDWI and supervised classification had the highest average overall accuracy and the best effect, which were 95% and 94%, respectively. 2) The object oriented classification method has better classification effect on small area fragmentary water body. 3) The reflectivity of water body is strong in red and green bands, while the absorption is strong in near-infrared and mid-infrared bands, and the ground object information can be better recognized in the infrared band. Therefore, the MNDWI water index method with decreasing weight from green band to infrared band can effectively suppress the reflectivity noise and has great advantages in water body extraction. This paper has a certain practical value for the study and application of hydrology and water resources, especially for the healthy development of the plain area along the river and provides a new vision for the investigation and protection of integrated water resources management.

## Keywords

TM Image, Remote Sensing Image, Water Body Information, Plain along the River, Extract

Copyright © 2022 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

地球上所有的生物成长、生存、进化及繁衍都无法离开水，水资源是地球上的生物生存、生长及繁衍的重要因素，也是维持生态系统稳定和健康发展的重要保障[1]。水域景观是人类活动区域中最为复杂的开放空间，往往产生边缘效应，是自然要素耦合交杂、自然演变过程最为复杂的地域，对人类经济的发展，生活的改善起着十分重要的作用。根据目前的查阅得知，大多数学者多集中于对自然河道景观的形成机制、城市水域景观研究以及历史变迁的研究，侧重于河流、湖泊淡水湿地历史变迁的分析。随着中国经济的高速发展，城市化过程逐渐加快，水资源压力逐渐加大，产生了一系列水环境问题，对区域生态系统的影响日益严重，干扰了自然生态系统原有的生态平衡，影响了局地水域小气候，产生了热岛效应，雨岛效应等，在当前全球气候变化的大环境条件下，人类社会的高速发展打破了原来生态系统的结构和平衡，水资源压力增加，面源污染加重，严重干扰了生态系统原有的平衡。因此，研究城市化背景下区域性水域景观格局具有十分重要的意义。如何建立行之有效的对水网进行监测与科学评价，采用水资源环境变化的信息，对已有水体资源进行整合开发利用进而实现水资源环境的保护已成为重要命题[2]。鉴于遥感探测具有能够在较短时间内进行大方位观测、获取信息速度快且周期短、数据具有综合可比性和经济型的特点，其已经成为人们认识和探索自然重要手段。而随着城市化进程加剧，高强度、大范围、

长历时的人类活动深刻地改变着河网水系的数量和结构特征,致使洪涝灾害与水环境问题日益突出,所以快速准确获取沿江城市水体信息显得格外重要。由于遥感影像具有高波谱分辨率、高空间分辨率、信息量大且研究价格低廉的特点,利用遥感影像提取水体信息成为近一段时期调查研究的重要数据之一。随着技术的进步,国内外学者也据此研究提出了多种水体指数,文献[3]选取了 Landsat ETM+遥感产品,利用水体指数法(NDVI、NDWI、MNDWI),多波段谱间关系法、支持向量机法实现对水库信息的提取,结果表明支持向量机法提取精度最高,NDVI漏提率较高。文献[4]利用 Landsat 遥感影像,将巢湖作为研究区利用 NDWI 水体指数、监督分类最大似然法及面向对象法进行水体提取,发现面向对象法提取精度较高,监督分类精度最低。文献[5]将卷积神经网络与水体指数联合进行水体信息提取,识别准确率在一定程度上提高。当下将监督分类、面向对象与水体指数法相结合进行的研究较少,本文基于芜湖地区进行水体提取并加以验证。

## 2. 资料与方法

### 2.1. 研究区概况

芜湖市位于安徽省东南部(117°40'E~118°44'E, 30°19'N~31°34'N) (图 1),地区主体属长江中下游平原的组成部分,区域内地貌类型多样,河网密布,水域面积为 1098.3 平方千米。流经芜湖市的河流,以长江芜湖段为主干构成了一个较为完整的水系。芜湖降雨充沛,但年内降水分布不均,主要降水集中于春季、梅雨季和初冬。依据全国及省生态功能区划要求,芜湖属沿江平原区中沿江平原湿地生态保护与洪水调蓄生态区、沿江重点城镇人居保障功能区。其地区中部有限的水资源将对城市的发展造成一定影响。由于水文条件复杂、河网众多,因此确定芜湖的水域边界较为困难。

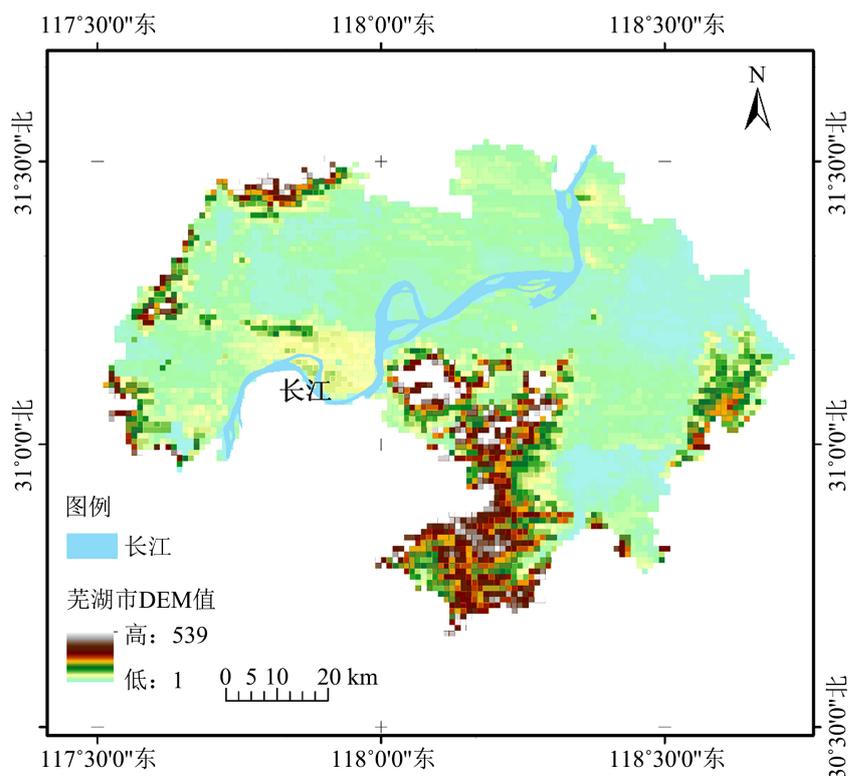


Figure 1. Location of study area  
图 1. 研究区域位置

## 2.2. 数据来源及预处理

### 2.2.1. 数据来源

考虑到芜湖地区的地貌状况,若采用中低分辨率的遥感影像容易出现混合像元而使分辨率降低,因此本研究使用 landsat8 TM 系列的 30 m 空间分辨率卫星产品,数据源于地理空间数据云平台(<http://www.gscloud.cn/>),成像时间为2018年6月6日至2018年6月15日。三幅影像的含云量分别为1.6%、2.15%、1.9%。验证数据由 Google earth(<https://google-earth.gosur.com/cn/>)提供的遥感影像中获取,利用芜湖地区的影像提取分布均匀的水体及非水体验证样本点各70个。实测的非水体验证样本点共30个,对其经纬度进行提取并进行地表信息标注,以便于后期进行精度验证。

### 2.2.2. 数据预处理

数据预处理首先对数据进行辐射定标,卫星搭载的传感器会将传感器获得的地物光谱辐射信息数据转化为数字量化的值记录信息,而辐射定标通过线性关系将数字量化值转换为辐射亮度值。其次进行几何校正,利用选取的地面控制点和几何校正的数学模型来校正系统因素和非系统因素造成的误差。进而将 TM 影像进行投影变换。最后通过 ENVI5.3 的 FLAASH 模块进行大气校正,以减少太阳高度角及气候条件对数据质量造成的影响。

## 2.3. 研究方法

卫星遥感通过向地物发射光谱信息,并远距离感知地物向外辐射的电磁波谱信息以获得不同波段的组合图像。遥感影像通过像元值的高低及空间变化来表示不同地物之间的差异与区别。计算机通过遥感影像中的各类光谱信息进行分析,将图像中的像元按照算法划分为不同的类别,并与实际地物信息对应来实现影像的分类。本文基于 Landsat 8 遥感影像,采用监督分类、非监督分类、面向对象及5种水体指数法,进行研究区水体信息提取,并对不同方法的水体精度进行分析。

### 2.3.1. 监督分类

监督分类是影像信息提取模式的一种方法,通常被称作训练场地法,是以根据以往的经典样本训练方法进行逐一分类,基于已知目标区域提供的样本,进行特征参数的筛选,以期将得出的具体特征参数当做决策规则建立判别函数,对即将需要分类的影像进行图像分类[6]。这就往往要求目标区域具有一定的代表性。最终加以判别,若满足分类精度要求,则试验结果成立;如若不符合则需重新采取新的特征参数建立新的分类的决策规则,直至满足分类精度要求为止。支撑向量机(support vector machines, SVM)是 Vapnik 团队[7]开发出来的一种机器学习算法,其理论基础较强,在分类样本信息有限的前提下,能够得到全局最优解,因而广泛应用于遥感图像的分类研究。文献[8]卷积神经网络(Convolutional Neural Network, CNN)与水体指数相结合建立模型进行水文特征的提取,水体识别精度达到了94.19%。文献[6]提出了一种卷积神经网络模型 AMR-Unet 模型提取精度可达94.78%。

### 2.3.2. 面向对象

面向对象的框架设计其中根本在于实现从图像中自动探求影像的特征信息,类似于模仿人类视觉系统下的解释过程。基于以往的一系列全新的特征信息提取的经验,引入基于面积、周长等各种几何特性,加上相关性、正交性、纹理、波段和通量特征进行基于样本的面向对象的信息探求。方法可以对初始的分类结果进行修改以期将所需要探求的图像调整到特定的环境状态,然后选取相对应的特征信息模型并最终将模型应用到整个图像的水体信息的提取的过程中。文献[9]提出了一种基于面向对象方法的矢量约束以实现通过高空间分辨率的遥感影像对水体进行提取,可较为准确的提取水体信息。文献[10]利用面向对象水体提取方法表明,面向对象方法具有较高的精度,可以有效地区分水体与阴影。

### 2.3.3. 水体指数法

水体指数法属于多波段谱间关系法的范畴。水体信息对红外波段和近红外波段吸收较强，而其他的地物如土壤、植被、市政建筑对两种波段的反射较强，因此这一区域的波段常用来区分水体与其他地物。如表 1，文献[11]提出了归一化差异水体指数(NDWI)，可使遥感影像中的水体信息得到加强、非水体信息得到抑制，从而使影像的灰度差异增强，有利于水体的进一步提取。文献[12]在 NDWI 的基础上，提出了改进的归一化差异水体指数(MNDWI)，使用短波红外代替近红外波段可突出水体信息。文献[13]提出了针对有阴影的场景自动水提取指数(AWEI)，提高了阴影地区及黑暗面的分类准确性。

**Table 1.** Five water index and formulas

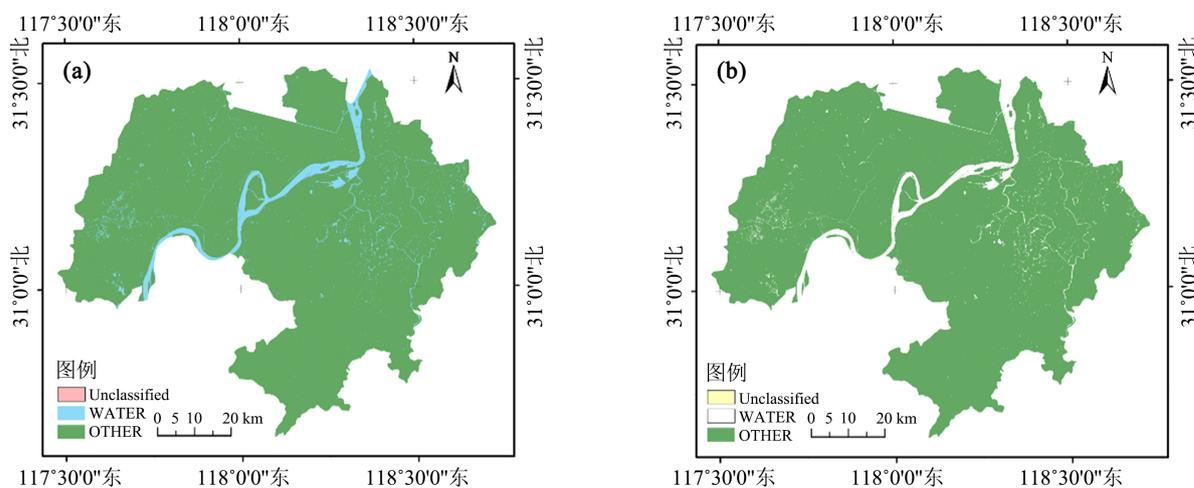
**表 1.** 五种水体指数及公式

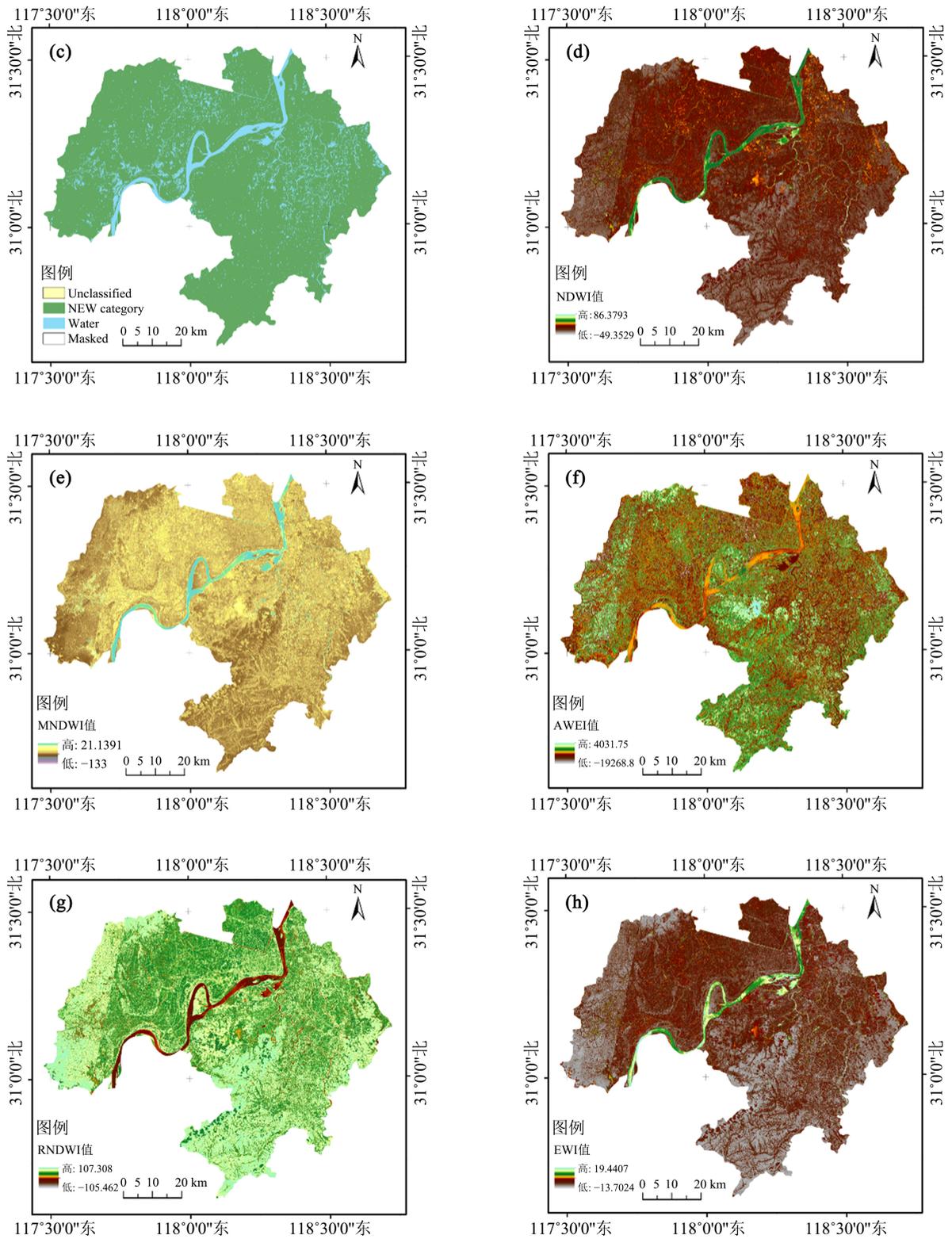
指数 Index	等式 Equation	参考文献 References
NDWI	$\frac{\text{Green} - \text{Nir}}{\text{Green} + \text{Nir}}$	文献[11]
MNDWI	$\frac{\text{Green} - \text{Mir}}{\text{Green} + \text{Mir}}$	文献[12]
AWEIsh	$\text{Blue} + 2.5\text{Green} - 1.5(\text{Nir} + \text{Swir1}) - 0.25\text{Swir2}$	文献[13]
RNDWI	$\frac{\text{Swir1} - \text{Red}}{\text{Swir1} + \text{Red}}$	文献[14]
EWI	$\frac{\text{Green} - \text{Nir} - \text{Swir1}}{\text{Green} + \text{Nir} + \text{Swir1}}$	文献[15]

## 3. 结果与分析

### 3.1. 结果分析

本文主要分三个方向对芜湖地区的水域基本信息进行试验，最终分析采取了神经网络，支撑向量机，非监督分类，面向对象，五种水体指数方法(NDWI、MNDWI、AWEIsh、RNDWI、EWI)进行了对分辨率为 30 的 landsat8TM 影像进行水提取试验，分类精度最终结果如下图 2。





**Figure 2.** Extraction results of (a) SVM; (b) ANN; (c) Object-oriented; (d) NDWI; (e) MNDWI; (f) AWEI; (g) RNDWI and (h) EWI

**图 2.** (a) SVM; (b) ANN; (c) 面向对象; (d) NDWI; (e) MNDWI; (f) AWEI; (g) RNDWI; (h) EWI; 8 种水体分类方法提取结果图

### 3.2. 精度验证

定量的精度检验是模型结果验证过程中不可或缺的一环, 本次研究将利用从统计学中所提供的 kappa 系数验证去验证模型的模拟精度。Kappa 统计分析(Kappa statistic, k)是一种多元离散统计方法, 该方法在比较两个样本的一致性时, 可以剔除随机性导致的一致性, 即从表面一致性中减去随机性导致的样本一致性, 与非随机性的一致性相比即可计算出该样本的 Kappa 统计值, 该方案曾多次用于不同主题地图图件一致性的比较过程中。

水体提取后需采用精度评价来验证方法的准确性, 以便鉴别各种方法的适用性。分别对不同模型计算总体分类精度, 并通过混淆矩阵计算 Kappa 系数。根据 Google earth 提供的遥感影像在芜湖地区选取分布均匀的水体及非水体验证样本点 70 个, 非水体实体验证样本点 30 个, 与模型提取图进行比较, 以构建水体评价体系。图形的校对完成后便根据图形对比要求对模拟结果与观测值进行 Kappa 统计, 其具体方法是: 完成统一标准验证图和模拟实验结果的图形属性类型和数据类型设定, 然后根据 Kappa 统计要求制作相应的误差混淆矩阵。计算公式如下:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^C X_{ii} - \sum_{i=1}^C (X_{i+} * X_{+j})}{N^2 - \sum_{i=1}^C (X_{i+} * X_{+j})}$$

$$P = X_{ii} / \sum_{i=1}^C X_{i+}$$

式中,  $C$  为交叉表的行的数量;  $X_{ii}$  为沿着对角线上的类型组合的数量;  $X_{i+}$  为行  $i$  的总的观测数;  $X_{+j}$  为列的总的观测数量;  $N$  为单元格的总数量;  $K$  为两幅图总的符合度。  $P$  为判别精度, 通常用对比图件和参考图件的重合比例来描述制图的精准度, 范围通常在 0~1 之间。  $K$  值的大小可以判断两幅图件的一致性,  $K$  值越接近于 1 代表所比较图像的符合度也就越高。下方混淆矩阵表格为描述两幅图对比符合度  $K$  值一致性解释的判断标准。判别结果如下表 2:

**Table 2.** Accuracy verification and interpretation results of various water index methods  
**表 2.** 各种水体指数方法的精度验证判读结果

方法	精度	Kappa
NDWI	93%	0.793
MNDWI	95%	0.857
EWI	92%	0.781
RNDWI	91%	0.757
AWEI	89%	0.663
面向对象	93%	0.806
SVM	94%	0.831
NN	92%	0.781

## 4. 结论与讨论

### 4.1. 研究结论

本文以芜湖地区作为研究区, 采用了 8 种水体提取方法进行精度验证: 监督分类(SVM、ANN)、面

向对象、水体指数法(NDWI、MNDWI、AWEI、RNDWI、EWI), 分别对芜湖地区进行水体提取, 比较各种方法对提取的精度及适用性, 分析结果表明: MNDWI 水体指数所得的结果精度最高、能有效抑制低反射率的噪声, 提取精度可达到 95%, 其次为 SVM 方法, 能够较完整的提取影像中的湖泊、河流及分散的池塘或水库等水体信息, 提取精度可达 94%。AWEI 水体指数所得结果精度较差, 仅为 89%。相比之下, MNDWI 水体指数方法针对芜湖地区有较好的适用性, 更适合进行芜湖地区的水体提取。因遥感影像中水体吸收的可见光较少, 而对近红外短波红外的吸收较多[10], 因此分析得出根据可见光到红外波段权重递减的 MNDWI 水体指数能够较好的抑制反射噪声。MNDWI 通过验证也表明其总体上较其他水体指数有较大的优势。面向对象基于样本方法分类结果表明, 其对小型零碎水体的分类效果较好, 但也会因湖泊污染严重、水体富营养化而使光谱性质接近建设用地导致分类结果不佳。

## 4.2. 讨论

本文基于已有的研究, 将多种水体提取方法集中于芜湖地区进行应用, 可较为全面的筛选针对芜湖地区较为合适的水体指数, 进而为芜湖地区的进一步水体研究及管理规划提供依据。本次水体数据提取的试验的过程中发现芜湖区域水文条件特殊, 河网和淡水湿地数量较多, 水文条件比较复杂, 尤其小面积水体和纤细河网密布。结果表明, 面向对象方法分类对小区域零碎水体分类效果比较好。个别水体由于严重污染、极度富营养化导致光谱特性接近建设用地, 导致最后分类结果不佳。试验采取的数据是分辨率为 30 m 的影像, 芜湖地区的水域面积小于 900 平方米的水域例如龙窝湖、河流宽度小于 30 m 的扁担河, 造成了芜湖地区提取水体信息的局限性。同时本文将 8 种水体提取方法应用与同一地区并加以分析验证, 为南方多水地区的水体提取方法的选取提供参考。

城市平原下的很多水体, 建议采取像元分解及多源遥感数据融合技术对安徽芜湖河网和淡水湿地的水体数据提取研究, 以减少 TM 影像空间分辨率较低的特点, 解决 TM 影像提取水体的局限性, 提高实验研究结果的真实性和准确性。其次, 在提取过程中大部分模型对水体提取往往不能成功的排除山体阴影部分的影响, 也会错误的将白色高反射率的建筑噪声识别为水体。建筑群阴影、低反射率建筑、山体阴影及林地等也会对水体信息提取结果造成影响。建议通过对模型进行优化改进水体提取方法。由于本次水体提取仅选取了长江干流流经的芜湖地区, 对北方干旱地区水网稀疏的地区研究尚未提及, 本文分析得到的模型普适性尚需进一步研究。

## 参考文献

- [1] 王根绪, 刘桂民, 常娟. 流域尺度生态水文研究评述[J]. 生态学报, 2005, 25(4): 892-903.
- [2] Sophocleous, M. (2002) Interactions between Groundwater and Surface Water: The State of the Science. *Hydrogeology Journal*, **10**, 52-67. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0170-8>
- [3] 刘玉梅. 不同水体提取方法的提取效果比较[J]. 陕西水利, 2021(11): 104-106. <https://doi.org/10.16747/j.cnki.cn61-1109/tv.2021.11.036>
- [4] 邵晓曼, 仲臣. Landsat-8 遥感影像不同水体提取方法适用性分析[J]. 黑龙江工程学院学报, 2021, 35(4): 1-5. <https://doi.org/10.19352/j.cnki.issn1671-4679.2021.04.001>
- [5] 何海清, 杜敬, 陈晓勇. 结合水体指数与卷积神经网络的遥感水体提取[J]. 遥感信息, 2017, 32(5): 82-86.
- [6] 何予霄, 周江. ENVI 中几种监督分类方法精度比较[J]. 科技创新与应用, 2018(13): 22-24.
- [7] Vapnik, V.N. (1999) An Overview of Statistical Learning Theory. *IEEE Transactions on Neural Networks*, **10**, 988-999. <https://doi.org/10.1109/72.788640>
- [8] 张铭飞, 高国伟, 胡静芳, 宋钰. 基于卷积神经网络的遥感图像水体提取[J]. 传感器与微系统, 2022, 41(1): 72-74, 88.
- [9] 崔齐, 王杰, 汪闽, 张东, 孙艳霞. 矢量约束的面向对象高分遥感影像水体提取[J]. 遥感信息, 2018, 33(4): 115-121.
- [10] 殷亚秋, 李家国, 余涛, 杨红艳, 张永红. 基于高分辨率遥感影像的面向对象水体提取方法研究[J]. 测绘通报,

- 
- 2015(1): 81-85. <https://doi.org/10.13474/j.cnki.11-2246.2015.0016>
- [11] McFeeters, S.K. (1996) The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. *International Journal of Remote Sensing*, **17**, 1425-1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- [12] Xu, H.Q. (2006) Modification of Normalised Difference Water Index (NDWI) to Enhance Open Water Features in Remotely Sensed Imagery. *International Journal of Remote Sensing*, **27**, 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- [13] Feyisa, G.L., *et al.* (2014) Automated Water Extraction Index: A New Technique for Surface Water Mapping Using Landsat Imagery. *Remote Sensing of Environment*, **140**, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.029>
- [14] 杨亚莉, 赵宁, 成晓倩. 基于 FLAASH 模型的 SPOT6 卫星影像大气校正及评价[J]. 现代测绘, 2015, 38(2): 3-6+9.
- [15] 闫霏, 张友静, 张元. 利用增强型水体指数(EWI)和 GIS 去噪音技术提取半干旱地区水系信息的研究[J]. 遥感信息, 2007, 22(6): 62-67.