

doi: 10.6046/zrzyyg.2023178.

引用格式: 罗鑫,王崇倡,孙尚宇.面向水体浅水区遥感识别的水体指数 NMBWI 研究.[J].自然资源遥感,2024,36(4): 142-148.(Luo X, Wang C C, Sun S Y. Water body index NMBWI for remote sensing-based identification of shallow water areas[J]. Remote Sensing for Natural Resources, 2024, 36(4): 142-148.)

面向水体浅水区遥感识别的水体指数 NMBWI 研究

罗鑫, 王崇倡, 孙尚宇

(辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院, 阜新 123000)

摘要: 针对传统水体指数模型易受水体边界浅水区的水体底质的影响, 导致在提取水体时容易产生水体错分和遗漏等问题, 该文以汤河水库、桐湖和近海浅水区为研究对象, 基于 Landsat 影像的典型地物光谱信息构建了一种新型多波段水体指数 (new multi band water index, NMBWI)。与传统水体指数模型归一化差异水体指数 (normalized difference water index, NDWI)、改进的归一化差异水体指数 (modified normalized difference water index, MNDWI)、增强型水体指数 (enhanced water index, EWI) 及修订型归一化水体指数 (revised normalized difference water index, RNDWI) 进行了对比分析, 结果表明: NMBWI 对于水体边界的浅水区水体强化效果更佳, 提取的水域范围更为完整, 总体精度和 Kappa 系数总体优于传统水体指数模型且 NMBWI 对不同类型水体边界的浅水区水体提取具有较好的普适性和稳定性。

关键词: 新型多波段水体指数; 水体提取; 水体浅水区; 水体指数模型

中图法分类号: TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 2097-034X(2024)04-0142-07

0 引言

水是人类赖以生存的重要物质资源之一, 在生产、生活中扮演着不可或缺的角色^[1-2]。准确、快速地提取水体的空间分布信息, 对全面了解水体变化规律和演化趋势具有重要意义^[3-5]。目前, 国内外许多文章运用遥感技术对水面进行提取及监测, 其中水体指数因其形式简单、处理数据快速有效和分类精度较高等特点, 被广泛运用于提取遥感影像中的水体^[6-7]。McFeeters^[8]提出的归一化差异水体指数 (normalized difference water index, NDWI) 突出了水体信息, 并能够有效抑制植被信息, 然而对建筑物和土壤的分离存在一定的影响, 受冰雪、薄云和山体阴影的影响较大; 徐涵秋^[9]提出的改进的归一化差异水体指数 (modified normalized difference water index, MNDWI) 对 NDWI 进行了改良, 建立出的水体指数能够更好地去除居民地和土壤的影响, 但受阴影影响较大; 闫需等^[10]针对半干旱水系提出了增强型水体指数 (enhanced water index, EWI), 有效地解决了半干涸河道与背景噪音混淆的问题, 却容易

受到浅滩和阴影的影响; 曹荣龙等^[11]提出了修订型归一化水体指数 (revised normalized difference water index, RNDWI), 此方法能够削弱混合像元和山体阴影的影响, 适用于山区等地形起伏较大的地区。

现阶段大多数水体指数模型的提取对象主要是面对海洋、大江大河、大型湖泊等大面积的深水区域^[12-14]。而水体边界的浅水区水体由于受到水体底质的影响, 容易出现水体提取不完整以及水体边界划分效果差等问题。因此, 根据以上问题, 本文针对泥沙或叶绿素等有机质含量较高的水域边界的浅水区水体, 构建一种有效提高浅水区水体提取精度的新型多波段水体指数 (new multi band water index, NMBWI), 并与传统水体指数模型的水体提取效果进行对比分析, 探究 NMBWI 模型的可行性与普适性。

1 研究区概况及数据源

本文选取汤河水库、桐湖和近海浅水区作为研究对象, 采用 Landsat8 OLI 遥感影像^[15]作为研究数据, 获取时间分别为 2020 年 7 月 22 日、2019 年 8 月

收稿日期: 2023-06-16; 修订日期: 2023-10-23

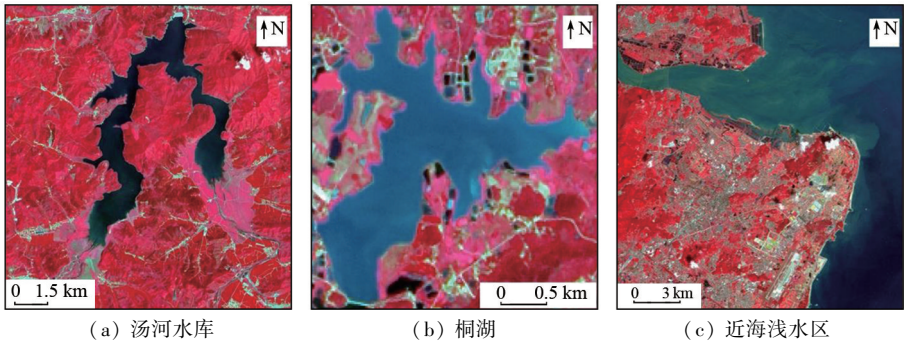
基金项目: 国家自然科学基金青年科学基金项目“双站+重轨 PolInSAR 混合模式下的森林高度反演研究”(编号: 42204031)资助。

第一作者: 罗鑫 (1998-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为遥感影像信息提取。Email: 1941518534@qq.com。

通信作者: 王崇倡 (1973-), 男, 硕士, 教授, 主要研究方向为遥感信息提取与应用、专题地理信息系统开发。Email: lgdclxwang@163.com。

17 日和 2021 年 9 月 20 日,轨道号分别为 119/31, 123/39 和 118/42,云含量均小于 5%。对以上影像进行图像预处理,分别为影像融合、辐射定标以及大气校正,并通过裁剪得到研究区域的影像图(图 1)。汤河水库位于辽宁省辽阳市弓长岭区,地处辽东低山丘陵与辽河平原的过渡带,水库的水体面积大约为 17.4 km²;桐湖位于湖北省武汉市蔡甸区,地处

汉江平原东部,属于郊野型小湖泊,水域面积大约为 2.3 km²;近海浅水区位于福建省福州市长乐区,地处闽江入海口,会有大量泥沙冲入浅海,此研究区域的水体面积大约为 159 km²。其中汤河水库尾端浅水区和近海浅水区受到泥沙的干扰,桐湖的浅水区受到水底有机质和叶绿素含量的影响,增加了水体提取的难度。



(a) 汤河水库 (b) 桐湖 (c) 近海浅水区

图 1 研究区地理位置影像

Fig.1 Geographic location image map of the study area

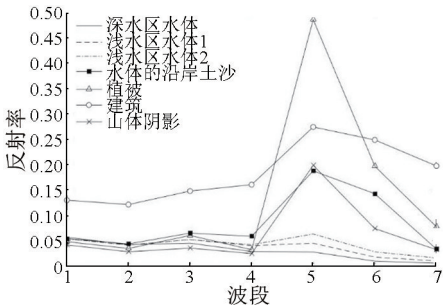
2 新型多波段水体指数

2.1 NMBWI 的构建

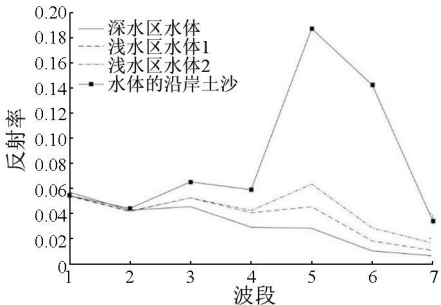
水体的光谱特征主要由水体本身物质组成对光辐射的吸收和散射性质决定,同时受各种水状态的影响^[16]。水体在可见光到中红外波段,随着波长的增加,反射率逐渐降低,且在近红外和中红外波段,水体的反射率明显低于其他地物^[17]。但水体边界的浅水区水体由于受到水体底质(如泥沙、有机质、叶绿素等)的影响,其遥感信息除了自身反射的能量外,还包含了水体底质反射的能量,导致浅水区水体的光谱反射率整体高于深水区水体。

经试验统计出研究区内影响水体提取的典型有效样本的光谱曲线,结果见图 2(a),可以看出植被、

建筑和山体阴影与水体的光谱差异比较明显;而水体与水体沿岸的土沙的光谱曲线变化趋势较为类似,水体与其沿岸土沙的光谱曲线图见图 2(b),其中浅水区水体 1 代表浅水区水体底质含量较低的水体,浅水区水体 2 代表浅水区水体底质含量较高的水体。从图 2(b)中可以看出,随着水体底质含量的增加,波段 5 的反射率的逐渐升高;而水体沿岸的土沙会由于含水量的增加导致其反射的能量减少,使得浅水区水体底质含量较高的水体与水体沿岸土沙的光谱曲线变化趋势相似,在传统的水体指数模型进行水体提取时易将两者混淆,无法准确分辨出浅水区水体与水体沿岸的土沙,导致水体被错分或漏分,出现水体边界划分不佳的情况。由于波段 1 仅存在 Landsat8 影像中,对于其他 Landsat 影像不适用,所以不考虑波段 1。



(a) 典型有效样本光谱曲线



(b) 水体及水体的沿岸土沙的光谱曲线

图 2 研究区内典型有效样本光谱曲线

Fig.2 Spectral curve of typical valid study area sample

为了提高水体提取的准确度,选取水体与非水体样本差异较大的波段用于构建指数模型。通过分析发现,水体在波段 2 的反射率均高于波段 6,非水

体样本则相反;深水区水体的反射率波动平缓,最高反射率出现在波段 3,而浅水区水体受水体底质含量的影响,最高反射率在波段 3 和波段 5 之间波

动,非水体样本的最高反射率均出现在波段 5。因此选用波段 2、波段 3、波段 5 和波段 6 用于指数模型的构建。

此时,深水区 and 浅水区水体底质含量较低的水体满足以下公式:

$$(B3 + B2) - (B5 + B6) > 0 \quad , \quad (1)$$

式中: $B2$, $B3$, $B5$ 和 $B6$ 分别为蓝光波段、绿光波段、近红外波段和短波红外波段的反射率。

非水体和浅水区水体底质含量较高的水体满足以下公式:

$$(B3 + B2) - (B5 + B6) < 0 \quad , \quad (2)$$

然而仍然无法实现浅水区水体的完整提取。因此需要对波段进行赋值,将浅水区水体的反射率峰值均转换到波段 3,从而实现水体的统一提取。在浅水区水体底质含量较高的水体的光谱反射率中,波段 5 与波段 3 的比值大约为 1:0.8,若将波段 3 的反射率扩大 2 倍,建筑样本的反射率峰值也会受到影响,所以将波段 3 的反射率扩大 1.5 倍,即波段 5 的系数赋值为 2,波段 3 的系数赋值为 3;为扩大水体与非水体在波段间的差异,将波段 6 的系数赋值为 2,使得在满足前一条条件的同时,非水体样本的波段差值结果更小,而水体的波段差值结果更大。即构建的 NMBWI 指数,其计算公式为:

$$NMBWI = (3B3 + B2) - 2(B5 + B6) \quad . \quad (3)$$

2.2 传统水体指数

水体指数构建的目的在于利用水体在波段组合中的光谱特性,构建相关模型公式来提高水体和其他地物的区别^[18]。目前常用的传统水体指数模型包括 NDWI, MNDWI, EWI 和 RNDWI 等,如表 1 所示。表中: $B3$ — $B6$ 分别为绿光波段、红光波段、近红外波段和短波红外波段反射率。

表 1 常用的水体指数模型

Tab.1 Commonly used water body index models		
水体指数	来源	模型公式
NDWI	Mcfeter ^[8]	$NDWI = (B3 - B5) / (B3 + B5)$
MNDWI	徐涵秋 ^[9]	$MNDWI = (B3 - B6) / (B3 + B6)$
EWI	闫霏 ^[10]	$EWI = (B3 - B5 - B6) / (B3 + B5 + B6)$
RNDWI	曹荣龙 ^[11]	$RNDWI = (B6 - B4) / (B6 + B4)$

3 结果分析与验证

3.1 水体提取结果与分析

为探究 NMBWI 的有效性和普适性,分别将 NMBWI 指数模型与表 1 中的指数模型对研究区汤河水库、桐湖和近海浅水区进行水体提取。为了达到更好的精度,在确保水体信息最大完整性的前提下,采用阈值分割法选取各水体指数模型的最优阈值,提取出的水体信息结果见图 3。从整体上看,5 种水体指数模型对 3 处研究区的水体提取效果大致相似,提取的水体完整性都较好。

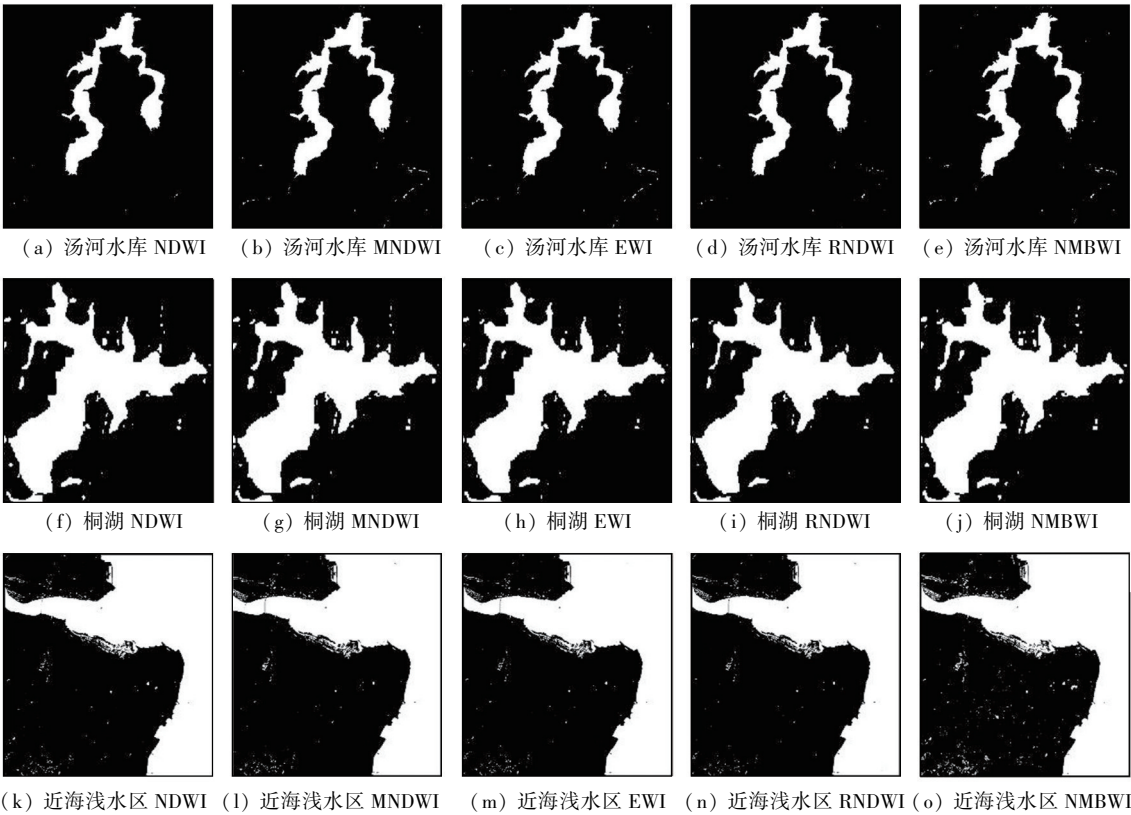


图 3 研究区不同水体指数模型的水体提取结果

Fig.3 Water body extraction results from different water body index models in the study area

但不同的水体指数模型对水体边界浅水区的提取存在差异。受到水底泥沙影响的汤河水库尾端的水体提取结果见图 4,可以看出 NDWI 的水体提取结果误差最大,受浅水区水底泥沙的影响较大,水体被漏提的现象最明显。与 NDWI 相比,RNDWI 的水体提取效果虽有改善,但仍有水体被漏提的现象。MNDWI 和 EWI 提取结果较为类似,能够达到较好

的提取效果,但仍受浅水区水底泥沙的影响,还出现了水体断流的现象。而 NMBWI 能有效抑制浅水区水底泥沙的影响,以及浅水区沿岸土沙的干扰,对于浅水区水体的提取更加完整。

桐湖水体边界的部分浅水区水体提取结果见图 5。由于受到水底有机质等因素的影响,5 种水体指数提取的水体边界都较小,提取效果也都大致相近,

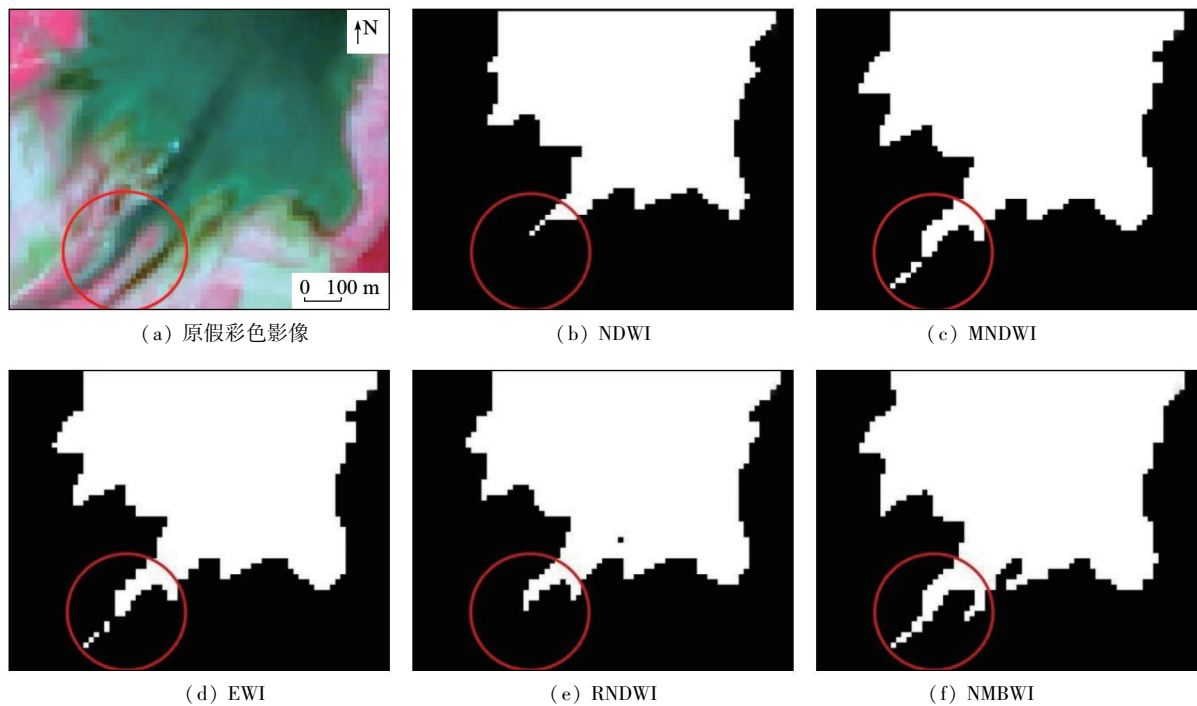


图 4 汤河水库浅水区原假彩色影像与不同水体指数模型的水体提取结果
Fig.4 Water body extraction results from original false colour images and different water body index models for shallow waters of the Tanghe Reservoir

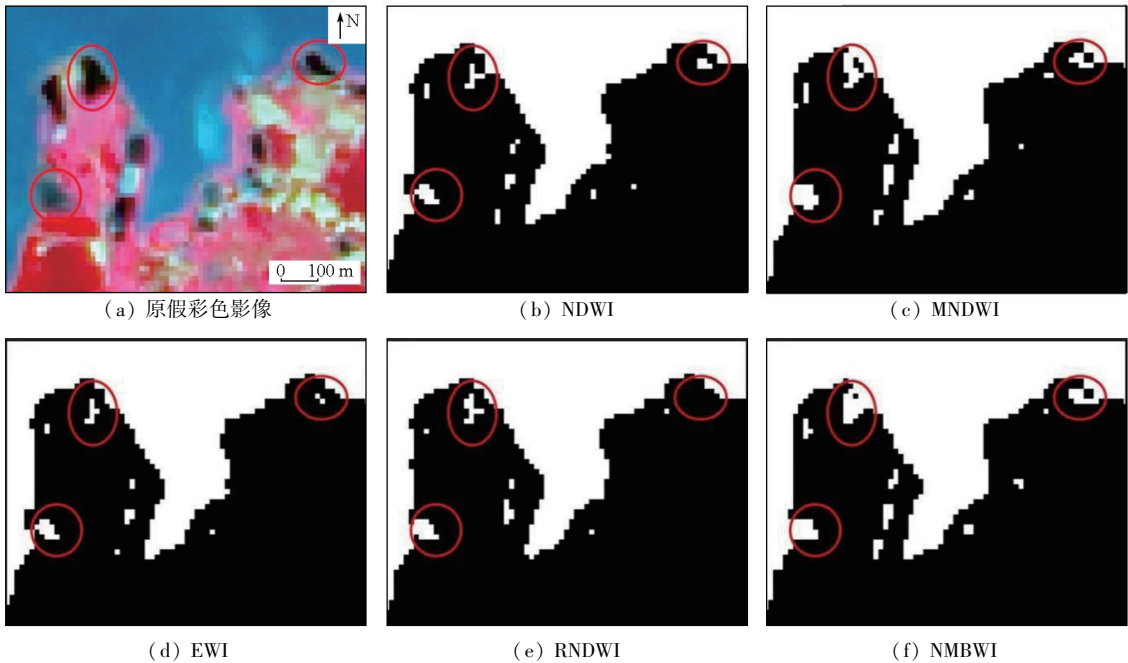


图 5 桐湖浅水区原假彩色影像与不同水体指数模型的水体提取结果
Fig.5 Water body extraction results from original false colour images and different water body index models for shallow waters of the Tonghu Lake

但相比之下,NMBWI 的提取的水体边界与实际边界更接近。对于桐湖周边水田的提取,NDWI,EWI 和 RNDWI 的提取效果较差;而 MNDWI 和 NMBWI 的水体提取结果要理想些;整体上看,NMBWI 的提取结果更为完整,在更好地提取到桐湖的浅水区水体

的同时,还能提取到较多水田的水体信息。
在近海浅水区内存在一些水产养殖区,同时又受到大量泥沙的影响,给近海浅水区的水体边界提取造成了很大的困难,其中部分浅水区的提取结果见图6。NMBWI提取的浅水区水体相对更加完整,

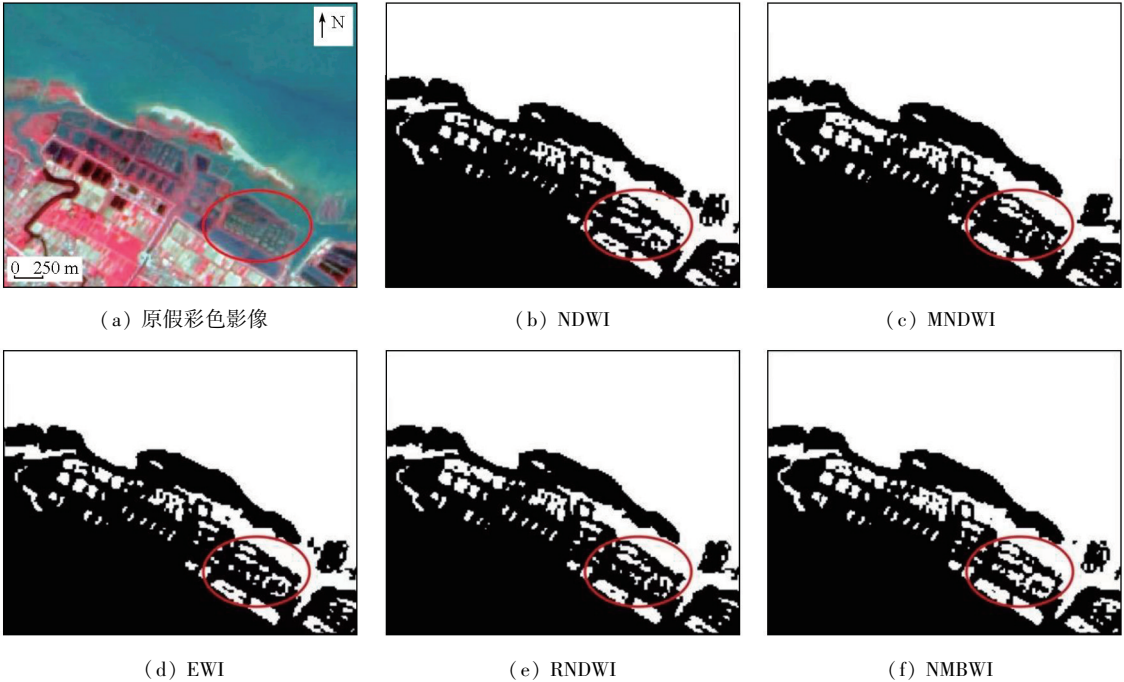


图 6 近海浅水区原假彩色影像与不同水体指数模型的水体提取结果
Fig.6 Water body extraction results from original false colour images and different water body index models for shallow waters of the coastal

其中最明显的提取差异体现在水产养殖区的水体提取; NDWI 的提取效果次之,MNDWI,EWI 和 RNDWI 提取的浅水区水体被漏提的最多,提取效果最差。

综上所述,NMBWI 能有效抑制浅水区水体底质的影响,对不同类型水体边界的浅水区水体都具有较好的适用性,NDWI 和 MNDWI 的适应性次之,EWI 和 RNDWI 的适应性最差。

3.2 精度评价

为了定量评价 NMBWI 的精确度和可靠性,从研究区影像中随机选取共 1 000 个水体和非水体检验样本,其中近海浅水区是沿海岸线进行随机选取检验样本,计算分类混淆矩阵进行精度分析,计算结果见表 2。从精度评价结果中看出,RNDWI 的提取精度最差,提取的水体区域偏小,水体被漏分的最为严重; EWI 和 NDWI 的提取精度总体一般,水体被漏分的情况稍有改善,但 NDWI 在近海浅水区水体提取的精度仅次于 NMBWI,取得了较好的提取效果; MNDWI 的提取精度整体相对较好,但仍会受到浅水区水底沉积物和水陆边界其他地物的影响,出现了水体被错提和漏提的情况; NMBWI 的总体精

度和 Kappa 系数整体优于其他水体指数模型,其中总体精度较其他水体指数模型提升了 0.2~2.1 百分点,Kappa 系数提升了 0.004 7~0.054 6。综合分析表明,NMBWI 对于浅水区水体边界的分离效果要更好,提取的水体范围更完整。

表 2 水体提取精度评价结果
Tab.2 Results of extraction accuracy evaluation of water bodies

地区	水体指数	总体精度/%	Kappa 系数
汤河水库	NDWI	98.3	0.956 7
	MNDWI	99.1	0.977 5
	EWI	98.8	0.969 7
	RNDWI	97.3	0.930 5
	NMBWI	99.4	0.985 1
桐湖	NDWI	95.2	0.889 6
	MNDWI	95.7	0.901 4
	EWI	95.2	0.889 6
	RNDWI	94.8	0.880 0
	NMBWI	95.9	0.906 1
近海浅水区	NDWI	94.6	0.891 8
	MNDWI	93.6	0.872 1
	EWI	93.6	0.872 2
	RNDWI	93.5	0.870 2
	NMBWI	94.9	0.897 8

4 结 论

本文根据典型地物光谱特征构建了提高浅水区水体识别精度的模型 NMBWI,并验证了其可靠性与普适性。相较于传统模型,该模型具有能够抑制浅水区水体底质干扰的优点,提取出的水域范围更加完整,对于不同类型水体提取的适用性也较好;NMBWI 的水体提取精度也最为理想,总体精度和 Kappa 系数均高于其他 4 种水体指数模型。

由于 Landsat8 卫星影像空间分辨率(15 m)的限制,仍然会受到混合像元的影响,因此利用高分辨率遥感影像探究此方法对于不同浅水区水体提取的普适性将是今后研究的重点。

参考文献 (References):

[1] 陈宗定,许春雪.守护生命之源——关注水体富营养化[J].自然资源科普与文化,2021(2):30-33.
Chen Z D,Xu C X.Protecting the source of life-paying attention to eutrophication of water body[J].Scientific and Cultural Popularization of Natural Resources,2021(2):30-33.

[2] 邱柯卫.渗透蒸发海水淡化过程研究[D].天津:天津大学,2020.
Qiu K W.Study on seawater desalination process by pervaporation [D].Tianjin:Tianjin University,2020.

[3] 刘 敏,黄金辉,彭振华,等.利用 0.5 m 分辨率卫星数据提取深圳市内浅水水体[J].测绘通报,2023(6):146-149,175.
Liu M,Huang J H,Peng Z H,et al.Extraction of shallow water bodies in Shenzhen using 0.5 m resolution satellite data[J].Bulletin of Surveying and Mapping,2023(6):146-149,175.

[4] 任 超,邓诗琴,高懋芳.一种提取北部湾沿海地区水体信息的动态阈值方法[J].测绘通报,2022(5):14-19,37.
Ren C,Deng S Q,Gao M F.A method for extracting dynamic threshold value of water body information in Beibu Gulf coastal area [J].Bulletin of Surveying and Mapping,2022(5):14-19,37.

[5] 黄效淳,陈圣波,张 斌,等.基于长时间序列遥感影像的查干湖水体面积变化分析[J].世界地质,2023,42(1):176-183.
Huang X C,Chen S B,Zhang B,et al.Analysis of water area change in Chagan Lake based on long period remote sensing data [J].World Geology,2023,42(1):176-183.

[6] 王瑶瑶,谭秀翠,董 洁,等.基于遥感数据的东平湖面积变化监测[J].山东农业大学学报(自然科学版),2020,51(4):655-659.
Wang Y Y,Tan X C,Dong J,et al.Monitoring for Dongping Lake area variation based on remote sensing data[J].Journal of Shandong Agricultural University (Natural Science Edition),2020,51(4):655-659.

[7] Deng Y,Jiang W,Tang Z,et al.Long-term changes of open-surface water bodies in the Yangtze River basin based on the Google Earth Engine cloud platform[J].Remote Sensing,2019,11(19):2213.

[8] McFeeters S K.The use of the normalized difference water index

(NDWI) in the delineation of open water features[J].International Journal of Remote Sensing,1996,17(7):1425-1432.

[9] 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,2005,9(5):589-595.
Xu H Q.A study on information extraction of water body with the modified normalized difference water index (MNDWI)[J].Journal of Remote Sensing,2005,9(5):589-595.

[10] 闫 需,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.
Yan P,Zhang Y J,Zhang Y.A study on information extraction of water system in semi-arid regions with the enhanced water index (EWI) and GIS based noise remove techniques[J].Remote Sensing Information,2007,22(6):62-67.

[11] 曹荣龙,李存军,刘良云,等.基于水体指数的密云水库面积提取及变化监测[J].测绘科学,2008,33(2):158-160.
Cao R L,Li C J,Liu L Y,et al.Extracting Miyun reservoir's water area and monitoring its change based on a revised normalized different water index[J].Science of Surveying and Mapping,2008,33(2):158-160.

[12] 李健锋,叶虎平,张宗科,等.基于 Landsat 影像的斯里兰卡内陆湖库水体时空变化分析[J].地球信息科学学报,2019,21(5):781-788.
Li J F,Ye H P,Zhang Z K,et al.Spatiotemporal change analysis of Sri Lanka inland water based on landsat imagery[J].Journal of Geo-Information Science,2019,21(5):781-788.

[13] 孙根云,邵宝婕,丁孙金衍,等.基于 GEE 平台的黄河流域水体指数研究[J].人民黄河,2023,45(3):119-124.
Sun G Y,Shao B J,Ding S,et al.Research on Yellow River basin water index based on GEE platform[J].Yellow River,2023,45(3):119-124.

[14] 肖 茜,杨 昆,洪 亮.近 30 a 云贵高原湖泊表面水体面积变化遥感监测与时空分析[J].湖泊科学,2018,30(4):1083-1096.
Xiao Q,Yang K,Hong L.Remote sensing monitoring and temporal-spatial analysis of surface water body area changes of lakes on the Yunnan-Guizhou Plateau over the past 30 years[J].Journal of Lake Sciences,2018,30(4):1083-1096.

[15] 韩伟孝,黄春林,王均琛,等.基于长时序 Landsat 5/8 多波段遥感影像的青海湖面积变化研究[J].地球科学进展,2019,34(4):346-355.
Han W X,Huang C L,Wang Y C,et al.Study on the area variation of Qinghai Lake based on long-term landsat 5/8 multi-band remote sensing imagery [J].Advances in Earth Science,2019,34(4):346-355.

[16] 王小标,谢顺平,都金康.水体指数构建及其在复杂环境下有效性研究[J].遥感学报,2018,22(2):360-372.
Wang X B,Xie S P,Du J K.Water index formulation and its effectiveness research on the complicated surface water surroundings [J].Journal of Remote Sensing,2018,22(2):360-372.

[17] 骈蔚然,张 莉,耿 晴.基于山地水体指数的水体边界提取方法[J].地理空间信息,2022,20(3):25-29.
Pian W R,Zhang L,Geng Q.Water boundary extraction method based on mountain water index [J].Geospatial Information,2022,20(3):25-29.

[18] 王春霞,张 俊,李屹旭,等.一种基于 Landsat8 的多波段组合水

体指数模型[J].测绘通报,2022(5):20-25.
Wang C X,Zhang J,Li Y X,et al.A multi-band combination water

index model based on Landsat8[J].Bulletin of Surveying and Mapping,2022(5):20-25.

Water body index NMBWI for remote sensing-based
identification of shallow water areas

LUO Xin, WANG Chongchang, SUN Shangyu
(School of Geomatics, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: Traditional water-body index models exhibit high susceptibility to sediments in the shallow water areas at the boundaries of water bodies. This susceptibility leads to challenges such as water misclassification and omissions during water information extraction. Focusing on the Tanghe Reservoir, Tonghu Lake, and shallow offshore areas, this study developed a new multi-band water index (NMBWI) based on the spectral information of typical surface features derived from Landsat images. The comparison with traditional water-index models, including NDWI, MNDWI, EWI, and RNDWI, reveals that NMBWI can significantly enhance the detection effects of shallow water areas at water body boundaries, resulting in more comprehensive extraction results of water areas. NMBWI outperforms traditional water index models in terms of overall accuracy and Kappa coefficient. Furthermore, NMBWI demonstrates high universality and stability in the information extraction of shallow water areas across various water body boundaries.

Keywords: new multi band water index; water body information extraction; shallow water zone; water-body index model

(责任编辑: 陈昊旻)