

# 基于Landsat8数据的水体指数模型研究

雷盛磊<sup>1</sup>, 张鹏飞<sup>1\*</sup>, 王新鹏<sup>1,2</sup>, 王春霞<sup>1</sup>

<sup>1</sup>贵州大学矿业学院, 贵州 贵阳

<sup>2</sup>武汉大学地球空间环境与大地测量教育部重点实验室, 湖北 武汉

收稿日期: 2022年2月21日; 录用日期: 2022年3月15日; 发布日期: 2022年3月22日

## 摘要

为寻找一种环境适应能力强、提取效果稳定的水体指数模型, 本文根据可见光到近红外波段水体与常见噪声的光谱差异, 构建水体指数 $GRN-WI$ 。为验证模型的有效性, 选取3幅不同环境下的landsat8数据中4个区域进行实验, 实验采用K均值聚类法代替手动调节阈值提取水体, 将实验结果与5种不同的水体指数进行对比分析。结果表明,  $GRN-WI$ 能有效提取水体, 总体精度优于96.21%, kappa系数优于92.35%, 总体误差小于8.15%, 总体优于其它指数; 模型在含有大量山体阴影、大量薄云和冰雪的环境下较其它指数精度明显提高。

## 关键词

Landsat8, 水体提取,  $GRN-WI$ , K-Mean聚类, 山体阴影

# Study on Water Index Construction Based on Landsat8 Data

Shenglei Lei<sup>1</sup>, Pengfei Zhang<sup>1\*</sup>, Xingpeng Wang<sup>1,2</sup>, Chunxia Wang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mining College of Guizhou University, Guiyang Guizhou

<sup>2</sup>Key Laboratory of Geospatial Environment and Geodesy, Ministry of Education, Wuhan University, Wuhan Hubei

Received: Feb. 21<sup>st</sup>, 2022; accepted: Mar. 15<sup>th</sup>, 2022; published: Mar. 22<sup>nd</sup>, 2022

## Abstract

In order to find a water index model with strong environmental adaptability and stable extraction

\*通讯作者。

文章引用: 雷盛磊, 张鹏飞, 王新鹏, 王春霞. 基于 Landsat8 数据的水体指数模型研究[J]. 应用数学进展, 2022, 11(3): 1178-1186. DOI: 10.12677/aam.2022.113127

effect, based on the spectral difference between water and common noise in visible to near-infrared bands, this paper constructs water index GRN-WI. In order to verify the validity of the model, four regions in three Landsat8 data under different environments were selected for experiments. K-means clustering method was used in the experiment to extract water instead of manually adjusting the threshold value, and the experimental results were compared with five different water indexes. The results show that: GRN-WI can effectively extract water; the overall accuracy is better than 96.21%; the Kappa coefficient is better than 92.35%; the overall error is less than 8.15%; the overall is better than other indexes. The model is more accurate than other indexes in the environment with a lot of mountain shadow, a lot of thin cloud and ice and snow.

## Keywords

Landsat8, Water Extraction, GRN-WI, K-Mean Clustering, Mountain Shadow

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/>



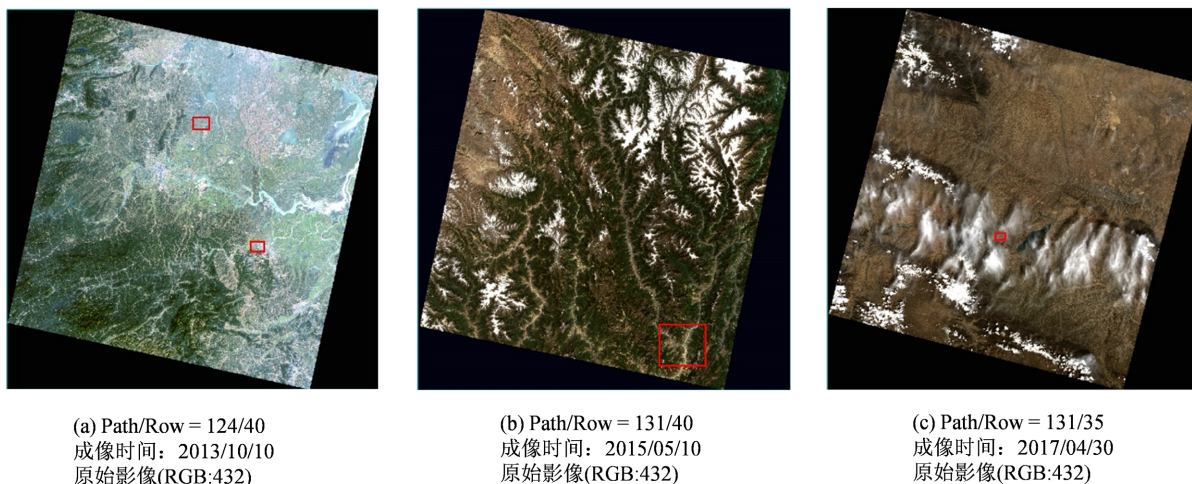
Open Access

## 1. 引言

水体是人类生存和发展的基础, 水资源的监测、管控, 水体的形态、景观、水质等研究对人类生存具有重要意义。水体的研究离不开对其范围的精确提取, 利用光学遥感影像提取水体信息是一种经济有效的办法, 被国内外学者广泛应用。光学遥感影像提取水体的方法有多种, 苏龙飞[1]将其分为三类: 阈值法、分类器法和其他方法。其中阈值法是根据光学卫星影像中水体与噪声的光谱差异来提取水体的方法, 可分为单波段法、多波段谱间关系法和水体指数法。阈值法中水体指数法提取效果更好[2], 稳定性更高, 是目前研究热门且应用广泛的水体提取方法之一[3]。从 1996 年 Mcfeeters [4]提出 NDWI 至今, 水体指数法不断发展, 衍生出十余种常用的指数模型。实验证明, NDWI 提取水体能有效抑制植被信息, 但易受山体阴影、冰雪、薄雾影响。徐涵秋[5]提出的改进的归一化差异水体指数(MNDWI)能有效去除土壤和建筑物信息, 但受阴影的影响较大。Feyisa [6]提出的  $AWEInsh$  对山区阴影和低反射表面的去除效果好, 受冰雪这类高反射表面的影响大。王小标[7]构建的多波段水体指数(MBWI)在城市建筑物、植被、含悬浮物的水体等多种环境中提取效果有一定优势, 但在山区阴影反射率较低的地方水体提取的正确率不高。所以, 在目前的研究中, 缺乏一种环境适应能力强, 提取效果稳定的水体指数模型。为此, 本文结合 landsat-8 OLI 数据, 构建一种基于绿光波段、红光波段和近红外波段的水体指数模型(GRN-WI), 提取不同环境下的水体信息, 并对模型的适应性和有效性进行验证。研究表明, 提出的水体指数模型在 landsat-8 OLI 数据的水体提取中, 各项指标参数较优, 特别是含有大量山体阴影、大量薄云和冰雪的环境下水体提取效果大幅度提升。

## 2. 数据来源

本文数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>), 共选出四个测试点, 干扰噪声包括建筑群及阴影、山体及阴影、农田、裸土、冰雪、薄云等。数据具体情况如图 1 所示, 红色方框内的区域为待研究区, 影像的云量和主要噪声见表 1。



**Figure 1.** Original image  
**图 1.** 原始影像

**Table 1.** Image details  
**表 1.** 影像详细情况

影像行列号	云量(%)	主要噪声
124/40	0.36	建筑群及阴影、植被
131/40	2.77	山体阴影、裸土、冰雪
131/35	14.01	裸土、云、山体阴影

### 3. 水体提取方法

#### 3.1. 辐射校正及大气校正

辐射校正(radiometric correction)是指对由于外界因素,数据获取和传输系统产生的系统的、随机的辐射失真或畸变进行的校正,消除或改正因辐射误差而引起影像畸变的过程。辐射校正分为两步,星上校正(如式(1))和气顶层反射率校正(如式(2))。

$$L_i = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{DN_{\max} - DN_{\min}}(DN_i - DN_{\min}) + L_{\min} \quad (1)$$

式中,  $DN_{\max}$  和  $DN_{\min}$  表示第  $i$  波段  $DN$  值的最大、最小值,  $L_{\max}$  为探测器可探测到的最大辐射亮度,即最大灰度值所对应的辐射亮度,  $L_{\min}$  与  $L_{\max}$  相反。

$$\rho = \frac{\pi \cdot L_i \cdot d^2}{E_0 \cdot \cos \theta} \quad (2)$$

式中,  $\rho$  表示地表相对反射率,  $L_i$  为星上辐射亮度,  $d$  为日地距离,  $E_0$  大气顶层的太阳平均光谱辐射,即大气顶层太阳辐照度,  $\theta$  为太阳天顶角。

大气校正是指传感器最终测得的地面目标的总辐射亮度并不是地表真实反射率的反映,其中包含了由大气吸收,尤其是散射作用造成的辐射量误差。大气校正就是消除这些由大气影响所造成的辐射误差,反演地物真实的表面反射率的过程。大气校正采用 FLAASH (Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes)模型。

### 3.2. 水体指数构建

水体在可见光到近红外波段反射率呈下降的趋势，其中在绿光波段反射率较高，红光波段次高，近红外波段最低，而常见噪声中均存在绿光波段和红光波段反射率明显小于近红外波段的现象[8]。基于此分析，水体在绿光波段和红光波段的反射率减去近红外波段均大于0，而在噪声中则小于0 [9]。因此新构建水体指数模型为：

$$GRN-WI = \rho_{b3} + \rho_{b4} - 2\rho_{b5} \quad (3)$$

式中  $\rho_{bi}$  表示 Landsat-8 数据上第  $i$  波段所对应的反射率。

### 3.3. K 均值聚类法

阈值法提取水体通常采用人工手动调节最优阈值的方法，该方法需进行多次重复实验确定最优阈值，过程受人为误差影响。K 均值聚类法操作简单，可实现计算机自动分类，减少人工误差的影响。本文采用 K 均值聚类对水体进行提取，设置分类数目、变化阈值和最大迭代次数分别为 10、0.01 和 10000。将分类结果合并为水体和非水体两类[7]。

## 4. 结果与分析

为验证模型的应用效果，将 GRN-WI 与 5 种常用水体指数模型进行对比分析，各种水体指数模型见表 2。选取湖南常德及益阳地区、凉山地区、兰州地区共三幅 landsat8 OLI 影像，4 种环境各异的实验区，分别用 6 种模型进行水体信息提取，采用混淆矩阵计算提取结果的精度，并对相同地区不同模型的提取结果进行对比分析。

**Table 2.** Commonly used water index model

**表 2.** 常用水体指数模型

指数	来源	等式
<i>MBWI</i>	王小标(2018)	$2\rho_{b3} - \rho_{b4} - \rho_{b5} - \rho_{b6} - \rho_{b7}$
<i>EInsh</i>	Fisher等(2014)	$4(\rho_{b3} - \rho_{b5}) - (0.25\rho_{b5} + 2.75\rho_{b7})$
<i>NEW</i>	肖艳芳等(2010) [10]	$(\rho_{b2} - \rho_{b7}) / (\rho_{b2} + \rho_{b7})$
<i>NDWI</i>	Mcfeeters (1996)	$(\rho_{b3} - \rho_{b5}) / (\rho_{b3} + \rho_{b5})$
<i>TCW</i>	Crist (1985) [11]	$0.0315\rho_{b2} + 0.2021\rho_{b3} + 0.3102\rho_{b4} + 0.1594\rho_{b5} - 0.6806\rho_{b6} - 0.6109\rho_{b7}$

### 4.1. 常德地区(实验区一)

实验区一位于常德市鼎城区西洞庭管理区北面，毗邻杭瑞高速，大小为  $397 \times 294$  像元，涵盖的水体有湖泊、河流、池塘和一些细小水体。各模型提取结果如图 2 所示，错分或漏分之处在图中用白圈标出。GRN-WI、MBWI、AWEInsh、NDWI、TCW 在研究区左侧中部出现错分或漏分，NEW 和 NDWI 在研究区左下角有一定程度的错分或漏分，NEW 在研究区中部细小水体还出现一些漏分之处，AWEInsh、NDWI、TCW 在研究区右上角均有漏分，采用混淆矩阵对提取结果进行精度评定，精度评价结果见表 3。在研究区内选取水体和非水体样本作为检验点，检验点在研究区内均匀选取，水体样本包含所有类型水体，非水体样本需包含各类地物和阴影。总体而言该区域 GRN-WI 的提取效果较优。

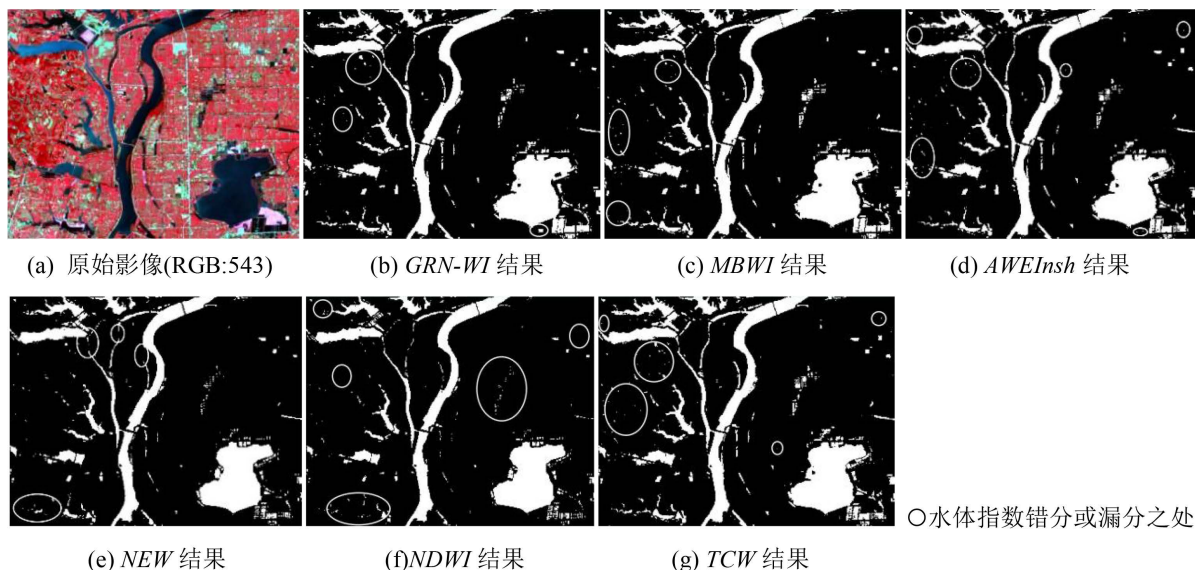


Figure 2. Extraction results of a water in the experimental area 1

图 2. 实验区一水体提取结果图

Table 3. Extraction accuracy evaluation results of a water in the experimental area 1

表 3. 实验区一水体提取精度评价结果

水体指数	总体精度/%	Kappa系数/%	制图者精度/%	用户精度/%	错分误差/%	漏分误差/%	总误差/%
<i>GRN-WI</i>	96.24	92.48	92.50	100.00	0	7.5	7.5
<i>MBWI</i>	96.48	92.95	93.22	99.73	0.27	6.78	7.05
<i>AWEInsh</i>	96.16	92.32	92.56	99.76	0.24	7.44	7.68
<i>NEW</i>	93.49	86.99	87.02	100.00	0.00	12.98	12.98
<i>NDWI</i>	91.05	82.10	82.14	100.00	0.00	17.86	17.86
<i>TCW</i>	95.73	91.46	91.80	99.66	0.34	8.20	8.54

#### 4.2. 益阳地区(实验区二)

实验区二位于益阳市区,研究区大小为  $328 \times 252$  像元,主要水体信息为流经城区的资水河及其支流、湖泊和水塘等。市区内包含大量高反射建筑物,建筑物阴影、绿地等。如图 3 所示,GRN-WI、MBWI、NDWI 在研究区中部有不同程度的错分或漏分,在研究区右上角的,GRN-WI、MBWI、NDWI 和 NEW 模型均出现不同程度的漏分现象,研究区中下部的支流中 NEW 出现明显漏分,AWEInsh、NEW、TCW 在研究区中部和右下角存在一定程度的错分。混淆矩阵进行精度评定结果见表 4,由精度评定结果可知,GRN-WI 模型在该区域提取效果总体上有一定优势。

#### 4.3. 凉山地区(实验区三)

为验证 GRN-WI 对大量山体阴影、冰雪、裸土的抑制能力,选取实验区三位于四川省凉山州西昌市雅砻江与理塘河交汇处,大小为  $946 \times 843$  像元,该区域水体主要为雅砻江与理塘河,水体有一定程度结冰,周围被群山围绕,有大量的山体阴影和裸土,部分山区覆盖有冰雪。

提取结果如图 4 所示,MBWI、NEW、TCW 在试验区右侧、左上角及左下角均出现一定程度的错分,

错分区域均为山区阴影区域，MBWI 和 TCW 对左上角结冰的水体有不同程度的漏分，AWEInsh 在研究区右侧和左上角也出现一定程度的错分现象，NDWI 在右侧有少量的错分，而 GRN-WI 仅在研究区上方出现零星错分。精度评定结果见表 5，由精度评定结果可知，GRN-WI 在该区域提取精度为 99.73%，kappa 系数为 99.46%，总体误差为 0.54%，提取效果较其它水体指数而言，精度明显提高。

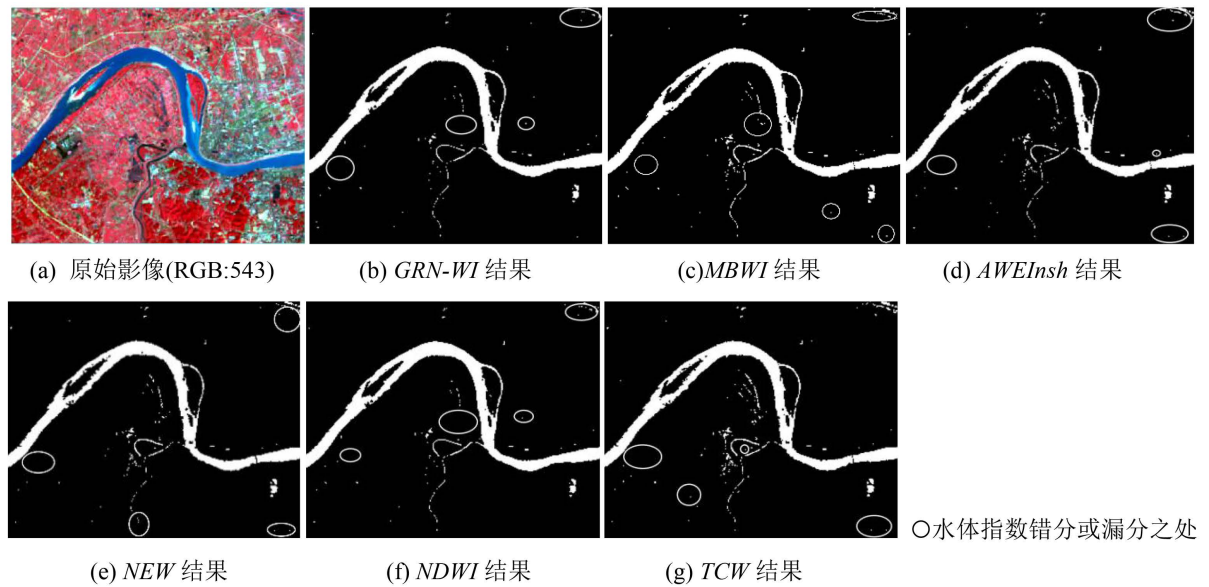


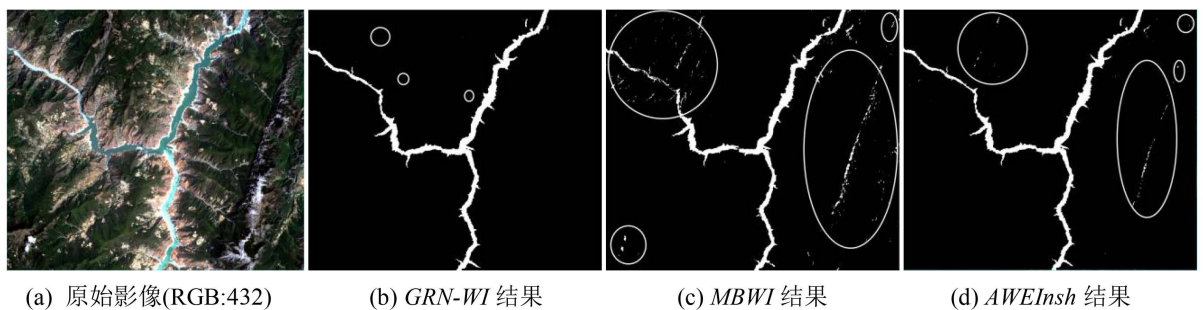
Figure 3. Extraction results of water in experimental area 2

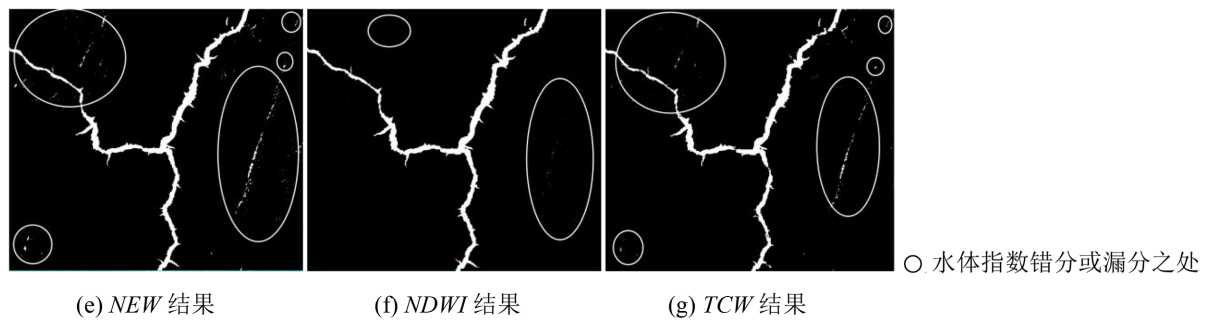
图 3. 实验区二水体提取结果图

Table 4. Evaluation results of extraction accuracy of water in experimental area 2

表 4. 实验区二水体提取精度评价结果

水体指数	总体精度/%	Kappa系数/%	制图者精度/%	用户精度/%	错分误差/%	漏分误差/%	总误差/%
<b>GRN-WI</b>	<b>96.21</b>	<b>92.35</b>	<b>92.41</b>	<b>99.44</b>	<b>0.56</b>	<b>7.59</b>	<b>8.15</b>
MBWI	95.61	91.16	91.95	98.61	1.39	8.05	9.44
AWEInsh	96.13	92.19	92.64	99.02	0.98	7.36	8.34
NEW	95.50	90.93	91.02	99.31	0.69	8.98	9.59
NDWI	96.21	92.35	92.41	99.44	0.56	7.59	8.15
TCW	95.91	91.76	92.41	98.77	1.23	7.59	8.82





**Figure 4.** Extraction results of water in experimental area 3  
**图 4.** 实验区三水体提取结果图

**Table 5.** Evaluation results of extraction accuracy of water in experimental area 3  
**表 5.** 实验区三水体提取精度评价结果

水体指数	总体精度/%	Kappa系数/%	制图者精度/%	用户精度/%	错分误差/%	漏分误差/%	总误差/%
<i>GRN-WI</i>	<b>99.73</b>	<b>99.46</b>	<b>99.47</b>	<b>99.99</b>	<b>0.01</b>	<b>0.53</b>	<b>0.54</b>
<i>MBWI</i>	95.41	90.81	95.49	95.33	4.67	4.51	9.18
<i>AWEInsh</i>	98.85	97.71	98.55	99.15	0.85	1.45	2.30
<i>NEW</i>	97.80	95.59	98.30	97.32	2.68	1.70	4.38
<i>NDWI</i>	99.40	98.80	98.95	99.85	0.15	1.05	1.25
<i>TCW</i>	97.09	94.18	95.70	98.43	1.57	4.30	5.87

#### 4.4. 兰州地区(实验区四)

在实际研究中,经常会遇到数据质量不佳,含有大量薄云的情况。为验证 *GRN-WI* 的抑制薄云的能力,选取位于兰州刘家峡水库附近含较多薄云的区域为实验区四,该区域除有较多的薄云外,还存在较多裸土及一些山体阴影,为水体提取研究常遇到的情况。

实验结果如图 5 所示,6 种模型在研究区右下角均出现不同程度的错分,*NDWI* 和 *MBWI* 在研究区薄云较多左上角均出现一定程度漏分现象,*NEW* 在研究区左上方,右上方出现错将薄云提取为水体的现象,*TCW* 和 *AWEInsh* 受薄云影响较少,但在研究区右下方阴影处有一定错提,而 *GRN-WI* 在该区域受影响较小,相对其它模型有一定优势。具体精度评价结果见表 6。

**Table 6.** Evaluation results of extraction accuracy of water in experimental area 4  
**表 6.** 实验区四水体提取精度评价结果

水体指数	总体精度/%	Kappa系数/%	制图者精度/%	用户精度/%	错分误差/%	漏分误差/%	总误差/%
<i>GRN-WI</i>	<b>97.07</b>	<b>94.06</b>	<b>95.80</b>	<b>97.56</b>	<b>2.44</b>	<b>4.20</b>	<b>6.64</b>
<i>MBWI</i>	96.10	92.07	94.00	97.11	2.89	6.00	8.89
<i>AWEInsh</i>	95.66	91.20	95.40	94.83	5.17	4.60	9.77
<i>NEW</i>	92.46	84.69	90.20	92.61	7.39	9.80	17.19
<i>NDWI</i>	95.74	91.31	91.40	98.92	1.08	8.60	9.68
<i>TCW</i>	94.86	89.58	94.00	94.38	5.62	6.00	11.62

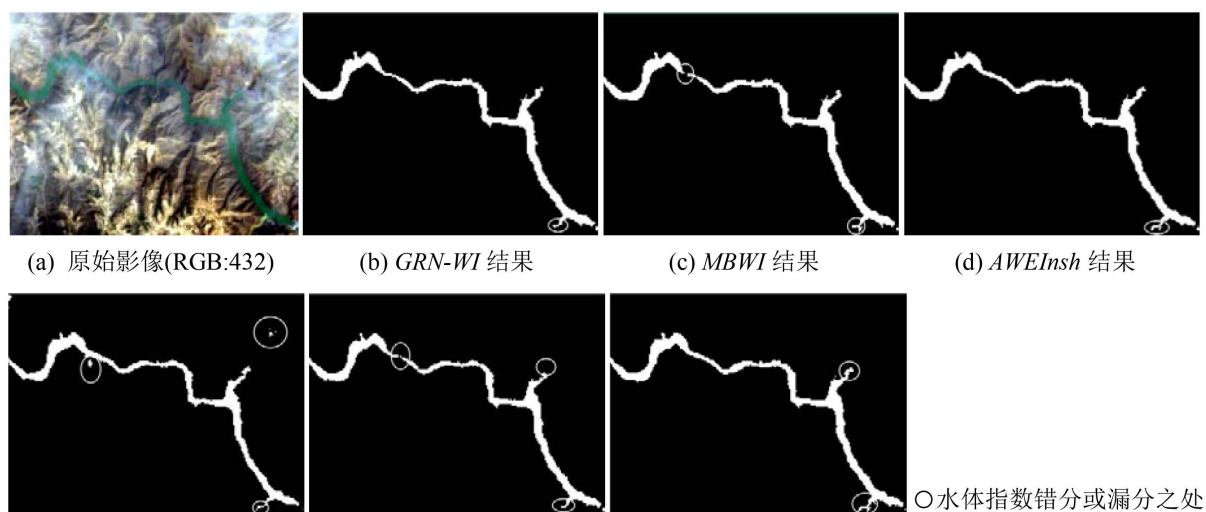


Figure 5. Extraction results of water in experimental area 4  
图 5. 实验区四水体提取结果图

## 5. 结束语

本文通过分析遥感影像中水体和非水体光谱特征的差异, 构建基于绿光、红光和近红外波段的水体指数(GRN-WI)。收集了 5 种常用的水体指数模型, 在 4 种不同环境下进行水体提取试验, 经精度评价和对比分析, 得出以下结论:

1) 构建的 GRN-WI 模型在复杂环境下能有效提取水体信息, 抑制阴影、建筑物、低反射地物、薄云和冰雪等噪声。总体精度优于 96.21%, kappa 系数优于 92.35%, 总体误差小于 8.15%, 总体优于其它指数。

2) 在含有大量山体阴影和冰雪的区域, GRN-WI 模型不仅能有效抑制冰雪, 且对山体阴影以及低反射物的抑制效果更佳, 提取效果明显优于其它指数。

3) GRN-WI 基于绿光、红光和近红外波段构建, 而目前遥感影像的数据源多数覆盖可见光到近红外波段, 为进一步验证 GRN-WI 的有效性, 可从以下两个方面展开: 一方面可尝试将该模型应用到其它数据源上, 如 GF-1、GF-2 等国产卫星影像上; 另一方面可将其应用于提取长时间序列的水体, 验证模型的稳定性。

## 基金项目

贵州大学引进人才科研项目(贵大人基合字(2020)43);

武汉大学地球空间环境与大地测量教育部重点实验室开放基金资助(No.20-01-02);

贵州大学培育项目(贵大培育[2020]57 号)。

## 参考文献

- [1] 苏龙飞, 李振轩, 高飞, 等. 遥感影像水体提取研究综述[J]. 国土资源遥感, 2021, 33(1): 9-19.
- [2] 李爱民, 刘月, 张旭, 等. 不同指数法在地表水体提取中的效果比较[J]. 水利信息化, 2019(5): 34-38+44.
- [3] 程筱茜, 洪友堂, 陈劲松, 等. 基于 ESTARFM 的内陆湖泊遥感动态变化监测[J]. 国土资源遥感, 2020, 32(3): 183-190.
- [4] 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>



- [5] 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.
- [6] Feyisa, G.L., Meilb, Y.H., Fensholt, R., *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>
- [7] 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.
- [8] 伏蝶, 岳建平. 基于 Landsat 影像的洪泽湖水面面积及其变化分析[J]. 甘肃科学学报, 2019, 31(2): 35-39.
- [9] 聂欣然, 刘荣, 聂爱球, 等. 基于 TM 影像的新型组合水体指数模型研究[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 374-378.
- [10] 肖艳芳, 赵文吉, 朱琳. 利用 TM 影像 Band1 与 Band7 提取水体信息[J]. 测绘科学, 2010, 35(5): 226-227+216.
- [11] Crist Eric, P. (1985) A TM Tasseled Cap Equivalent Transformation for Reflectance Factor Data. *Remote Sensing of Environment*, **17**, 301-306. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(85\)90102-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90102-6)