

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.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.24.096

基于 TM 影像的新型组合水体指数模型研究

聂欣然^{1,2}, 刘 荣^{1,2}, 聂爱球³, 余 健¹, 王道芸¹

(1. 东华理工大学测绘工程学院,江西南昌 330013; 2. 流域生态与地理环境监测国家测绘地理信息局重点实验室,江西南昌 330013;
3. 江西省交通设计研究院有限责任公司,江西南昌 330022)

摘要:针对归一化差异植被指数和改进的归一化差异水体指数在提取水体的过程中无法抑制裸地信息的问题,提出一种新的水体指数。采用改进的归一化差异水体指数中绿光波段和中红外波段的反射率差值作为分子,以归一化差异植被指数中近红外波段和红光波段的反射率差值作为分母,构建了新型组合水体指数。该指数不仅能有效地抑制植被和建筑物噪音,还进一步拉大了水体和裸地的反差值,减少了裸地信息对水体提取的干扰。经验证新型组合水体指数提取湖泊区、河流区、海洋区水体的 Kappa 系数分别达到了 0.95、0.96、0.99。研究还发现,对于城市、海岸等植被覆盖程度中等或偏低区域的水体,新指数的提取效果更佳。

关键词:遥感;水体提取;NDVI;MNDWI;NCWI

中图分类号: TP79;S127 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)24-0374-05

地表水体信息的获取对于水资源调查、水利规划、水质监测、湿地保护、流域生态评估等具有重大意义^[1]。传统的野外测量方法虽然能够获取较高精度的水体信息,但受气候、地势和水文等因素的影响,不仅费时费力,且难以反映水体在时间和空间上的分布状况。而遥感技术具有大尺度、成本低、周期性和速度快等特点,能够更准确快速地提取水体信息,成为长久监测河流、湖泊和海洋等水体的重要手段^[2]。

常用的水体信息提取方法一般分为单波段法和多波段法。单波段法是指通过对近红外波段或中红外波段等单一波段设置合适阈值来提取水体的方法^[3],又称单波段阈值法,主要依据水体在近红外和中红外波段的低反射特征以及植被、建筑物和裸地等在这 2 个波段的高反射特征来区分水体和其他地物。多波段法则通过对多个波段进行组合运算,以达到加强水体信息的目的,主要包括谱间关系法、差值法、比值法、植被指数法、水体指数法等。周成虎等在研究 TM 影像中水体和背景地物的波谱特征曲线时,发现水体具有 TM2 加 TM3 大于 TM4 加 TM5 的谱间关系特征,并依此建立逻辑判断规则来提取水体^[4]。陈华芳等利用 TM 影像的第二波段和第五波段进行差值运算,并辅以相应阈值,有效地区别出水体和阴影^[5]。王晴晴等根据 TM 影像中水体的灰度值在第二波段高于第五波段,而其余地物的灰度值在第二波段低于第五波段这一特性,构建了简单比值型水体指数(simple ratio of water index,简称 SRWI),快速区分了水体和背景地物^[6]。于欢等采用归一化差异植被指数(normalized difference vegetation index,简称 NDVI)对内陆湿地水体进行了提取,获

得了较好的效果^[7]。受 NDVI 的启发,各种水体指数应运而生,如归一化差异水体指数(normalized difference water index,简称 NDWI)、改进的归一化差异水体指数(modified normalized difference water index,简称 MNDWI)、薄云覆盖下山区水体指数(light clouds cover down the mountain water index,简称 CMWI)、改进型混合水体指数(new combined index of NDVI and NIR for water body identification,简称 NCIWI)、经验型归一化差异水体指数(empirical normalized difference water index,简称 ENDWI)等^[8-12]。本研究重点研究了 NDVI 和 MNDWI 2 种常用的水体提取方法后,对二者重新进行了组合,以 MNDWI 的分子作为新指数的分子,以 NDVI 的分母作为新指数的分母,构建出一种能够减少裸地错提现象的新型组合水体指数(new combination of water index,简称 NCWI)。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选取昆明市滇池、长江下游马鞍山河段、大连市近岸海域 3 块研究区进行试验。昆明市位于云贵高原中部地区,属北纬低纬度亚热带-高原山地季风气候,全年四季如春,又被称为“春城”,市区南部的滇池为云南省第一大淡水湖,湖泊流域面积 2 920 km²。马鞍山市地处安徽省东部,长江下游地区,属亚热带湿润季风气候,地表水资源以河流为主,全市水系发达,境内河流总面积约为 26.7 km²。大连市位于辽宁省辽东半岛南端,地处黄渤海之滨,属暖温带大陆性季风气候,为典型的港口城市,全市水资源较为丰富,水系主要包括黄海和渤海两大流域。

1.2 试验概况

试验采用 2011 年 2 月 26 日(轨道号 129/43)、2010 年 8 月 19 日(轨道号 120/38)和 2010 年 8 月 3 日(轨道号 120/33)分别从昆明市、马鞍山市、大连市上空过境的 Landsat TM 影像,影像成像质量良好,云量均低于 0.2%,已进行过系统

收稿日期:2017-08-17

基金项目:国家自然科学基金(编号:41206078)。

作者简介:聂欣然(1992—),男,江西樟树人,硕士研究生,主要从事 3S 技术理论与应用研究。E-mail:290972332@qq.com。

通信作者:刘 荣,硕士,教授,主要从事摄影测量与遥感研究。
E-mail:rlui@ecit.edu.cn。

辐射校正、地面控制点几何校正和 DEM 地形校正等处理,研究区影像均通过 ENVI 5.1 裁剪完成。

1.3 试验原理与方法

1.3.1 水体提取原理 在大多数卫星传感器的波长范围内,水体的吸收能力较强,而反射能力较弱,并且反射率有随波长增加而减小的趋势。清澈水体在蓝绿光波段(0.48 ~ 0.58 μm ,对应 TM 影像的第一和第二波段)的反射率介于 4% ~ 5%;红光波段(0.58 μm ,对应 TM 影像的第三波段),反射率下降至 2% ~ 3%;当波长超过 0.74 μm ,特别是在近红外波段和中红外波段(0.74 ~ 2.50 μm ,对应 TM 影像的第四、第五和第七波段),水体对入射光的吸收能力达到最强,导致反射率降至谷底,接近于零,这也是水体在影像中色调偏暗的原因^[13],而植被、建筑物、裸地在近红外波段和中红外波段有较高的反射率(图 1),这就为区分水体和背景地物提供了依据。因此,可以总结出清澈水体在各波段的反射率高低依次为蓝光 > 绿光 > 红光 > 近红外 > 中红外。此外,水体中叶绿素和悬浮物浓度的升高会导致水体浑浊度增加,反射率也会相应提高,使得波谱特征曲线的反射峰向长波方向推进^[9]。

1.3.2 水体提取方法

1.3.2.1 归一化差异植被指数(NDVI) NDVI 由 Rouse 等于 1973 年提出^[14],最初用于植被生长状况研究和植被覆盖率监测。相关学者研究发现,水体的反射率从红光波段到近红外波段逐渐减弱,而植被的反射率从红光波段到近红外波段突然增强(图 2),根据近红外波段和红光波段的反差构建出的 NDVI 可以很好地区分出水体和植被,故又被用于提取水体。公式如下:

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1)$$

式中: NIR 为近红外波段,对应 TM 影像的第四波段; Red 为红光波段,对应 TM 影像的第三波段。

1.3.2.2 改进的归一化差异水体指数(MNDWI) 徐涵秋在

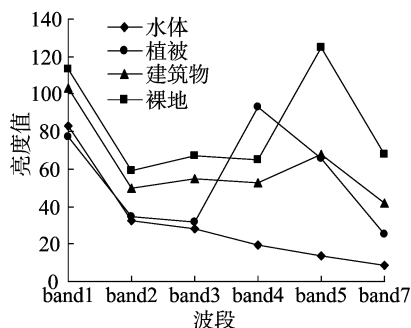


图1 海洋区典型地物光谱特征

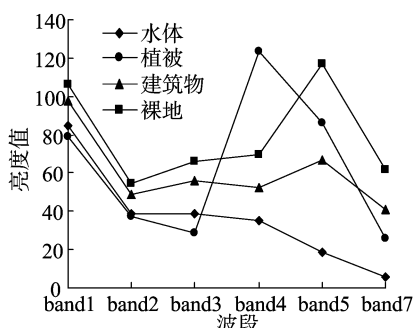


图2 河流区典型地物光谱特征

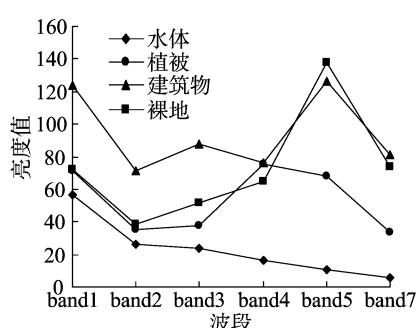


图3 湖泊区典型地物光谱特征

2 结果与分析

利用 NDVI、MNDWI 和 NCWI 3 种方法对湖泊区、河流区、海洋区 3 种典型区域的水体进行提取,提取阈值统一选择 0.4。并引入反差值指标来描述水体与背景地物的可分离性,反差值越大,说明水体和背景地物的可分离性越好^[15]。公式如下:

$$C = |W - B| \quad (4)$$

式中: C 为反差值, W 为水体的 NDVI、MNDWI 或 NCWI 均值, B 为背景地物的 NDVI、MNDWI 或 NCWI 均值。

研究 TM 影像的光谱特征后发现,水体的反射率从绿光波段到中红外波段持续减弱,在中红外波长范围内有最强的吸收特性^[9],而建筑物的反射率从近红外波段到中红外波段快速增强,根据这种特点,选择绿光波段和中红外波段构建了归一化比值模型,增大了水体和建筑物之间的反差,减小了二者混淆的程度。公式如下:

$$MNDWI = (Green - MIR) / (Green + MIR) \quad (2)$$

式中: $Green$ 为绿光波段,对应 TM 影像的第二波段; MIR 为中红外波段,对应 TM 影像的第五波段。

1.3.2.3 新型组合水体指数(NCWI) 通过分析各区域的典型地物光谱特征(图 1 ~ 图 3)可以看出,裸地的反射率在绿光波段存在最小值,而在中红外波段则存在最大值,2 个波段之间进行差值运算,则可以得到 1 个负值;而裸地在近红外波段和红光波段的反射率和值要小于在绿光波段和近红外波段的反射率和值(表 1 ~ 表 3),所以在 MNDWI 的分子不变的情况下,利用 NDVI 的分母替换掉 MNDWI 的分母,即运用近红外波段和红光波段的反射率和值替换绿光波段和中红外波段的反射率和值,则计算出来的裸地的指数值将明显减小。相应的水体因为在绿光波段的反射率较高,在中红外波段的反射率较低,2 个波段之间进行差值运算后则会呈现正值;而水体在近红外波段和红光波段的反射率和值要大于在绿光波段和中红外波段的反射率和值,所以在替换掉 MNDWI 的分母后,计算得出的水体的指数值同样会减小。但值得注意的是,裸地指数值减小的幅度要远大于水体指数值减小的幅度,水体与裸地的反差将会得到相当程度的增强,从而降低 2 种地物的混淆,提高水体提取的精度。公式如下:

$$NCWI = (Green - MIR) / (NIR + Red) \quad (3)$$

式中: $Green$ 为绿光波段, Red 为红光波段, NIR 为近红外波段, MIR 为中红外波段,分别对应 TM 影像的第二、三、四、五波段。

2.1 湖泊区

湖泊区选择昆明市滇池(图 4-a),背景地物中植被和建筑物居多。从各指数的提取结果来看,虽然 NDVI 较好地抑制了植被的干扰(图 4-b),但因为水体和建筑物的 NDVI 均值都呈现负值(表 1、表 2),分别为 -0.19 和 -0.07,容易形成大量的建筑物噪音,所以成片的建筑物被混淆为水体,如滇池东北方向大块建筑物信息被提取出来。此外,裸地的 NDVI 均值虽然出现正值,为 0.11,但和水体之间的反差值较小为 0.30,所以仍有部分裸地被误提。而水体的 MNDWI 均值表现为正值,其余地物的 MNDWI 均值都表现为负值,所以能较

好地抑制背景地物的干扰,尤其体现在对建筑物信息的抑制,水体和建筑物的反差值达到了 0.71,远远高于 NDVI 中的 0.12。但 MNDWI 在水体和裸地的分离上还有所欠缺(图 4-e),有相当一部分的裸地被错认为水体一并被提取。而 NCWI 在利用近红外波段和红光波段的和值替换掉 MNDWI

的分母后,计算出的裸地的 NCWI 均值 -0.85 要小于 MNDWI 均值 -0.56,继续研究水体与裸地的反差值可以发现, C_{NCWI} 值 1.25 比 C_{MNDWI} 值 0.99 提升了 26.26%,反差值的升高说明水体和裸地的分离效果得到了加强,通过目视解译也能够发现大部分裸地信息被抑制(图 4-d)。

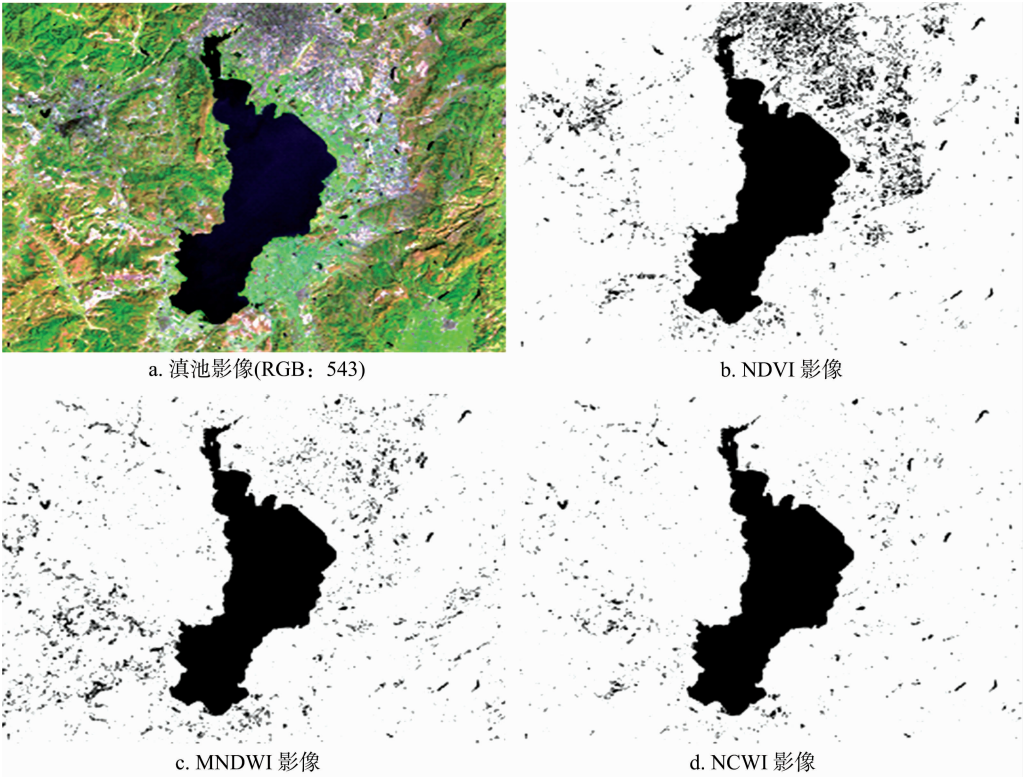


图4 湖泊区水体提取

表 1 湖泊区不同地物的亮度均值、NDVI、MNDWI、NCWI 均值

| 地物类型 | band1 | band2 | band3 | band4 | band5 | band7 | NDVI | MNDWI | NCWI |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 水体 | 57.0 | 26.5 | 24.0 | 16.5 | 10.5 | 6.0 | -0.19 | 0.43 | 0.40 |
| 植被 | 71.5 | 35.0 | 38.0 | 75.5 | 68.0 | 34.0 | 0.33 | -0.32 | -0.29 |
| 建筑物 | 124.0 | 71.0 | 88.0 | 76.0 | 126.5 | 81.5 | -0.07 | -0.28 | -0.33 |
| 裸地 | 72.0 | 38.5 | 52.0 | 64.5 | 138.0 | 74.0 | 0.11 | -0.56 | -0.85 |

表 2 湖泊区水体和植被、建筑物、裸地的反差值

| 类型 | NDVI | MNDWI | NCWI |
|-----------|------|-------|------|
| C(水体、植被) | 0.52 | 0.75 | 0.69 |
| C(水体、建筑物) | 0.12 | 0.71 | 0.73 |
| C(水体、裸地) | 0.30 | 0.99 | 1.25 |

2.2 河流区

河流区以植被覆盖程度较高的长江下游河段为例(图 5-a),背景地物中约有 70% 为植被,建筑物次之,裸地最少。对比图 5-b、图 5-c、图 5-d,不难看出 MNDWI 和 NCWI 的提取效果要优于 NDVI,主要原因是 NDVI 提取的水体不够完全,部分零散湖泊和细小河流被漏提,如城区中央的雨山湖和长江左侧的得胜河。并且 NDVI 也未能消除建筑物和裸地的干扰,从表 3、表 4 可以看出,建筑物与水体的反差值为 0.02,而裸地与水体的反差值也仅为 0.08。仔细观察 MNDWI 影像和 NCWI 影像可知,MNDWI 中仍有少量裸地被识别成水体,而 NCWI 则进一步消除了裸地的干扰。考察水体和裸地的反差值也可以发现, C_{NCWI} 值 0.73 比 C_{MNDWI} 值 0.71 高 0.02。

2.3 海洋区

海洋区选在大连市近岸海域(图 6-a),背景地物包括植被、建筑物和裸地。分别利用 3 种指数对水体进行提取,结果见图 6-b、图 6-c、图 6-d。NDVI 在划分海岸边界时,部分裸露的滩涂被误认为海水,而在建筑密集区和植被覆盖区也出现了裸地错分为水体的情况。此外,NDVI 对于建筑物的抑制效果也不是很理想。相比 NDVI,MNDWI 虽然消除了绝大部分建筑物噪音,但同样出现了裸地被误认为水体的情况,而 NCWI 则较好地解决了这一问题,不仅同时抑制了植被和建筑物的干扰,还进一步消除了裸地的错提。从表 5、表 6 可以看出,裸地在 NDVI、MNDWI 和 NCWI 影像中的值分别为 -0.02、-0.36 和 -0.50,与海水的反差值分别达到了 0.17、0.76 和 0.89,3 种水体提取方法中,NCWI 对于裸地的抑制效果最佳。

2.4 精度评价

为了进一步检验新指数有效性,从各研究区影像中随机选择 1 000 个水体和非水体验样本,以目视解译的结果作为参考图,通过建立混淆矩阵计算出总体分类精度、Kappa 系

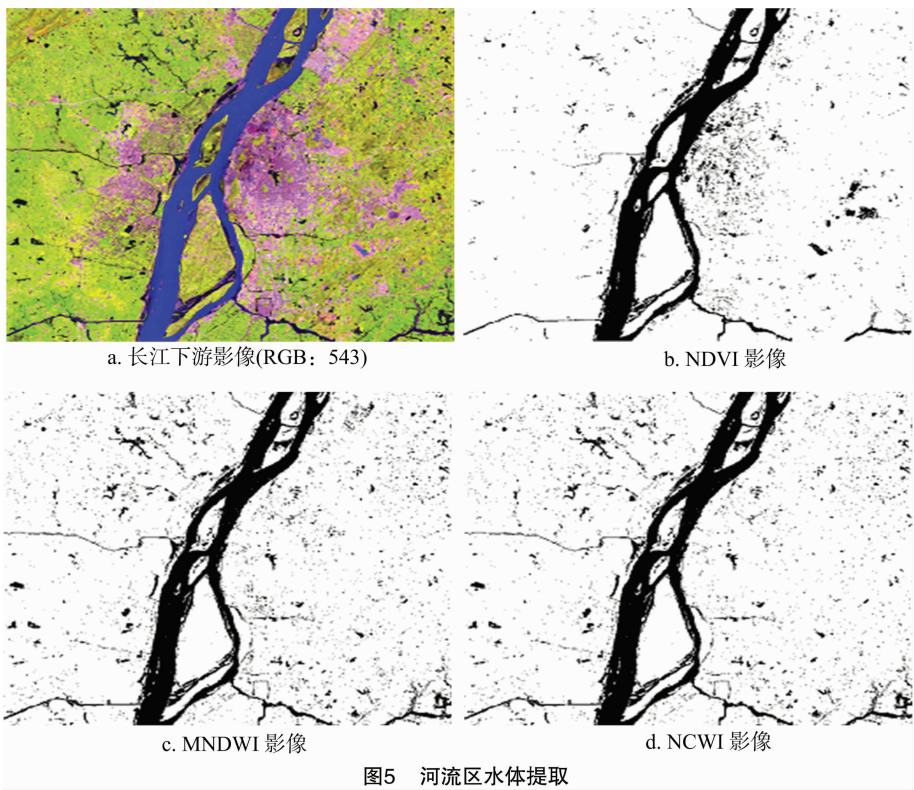


图5 河流区水体提取

表 3 河流区不同地物的亮度均值、NDVI、MNDWI、NCWI 均值

| 地物类型 | band1 | band2 | band3 | band4 | band5 | band7 | NDVI | MNDWI | NCWI |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 水体 | 84.5 | 38.5 | 38.5 | 35.0 | 18.5 | 6.0 | -0.05 | 0.35 | 0.27 |
| 植被 | 79.0 | 37.5 | 28.5 | 123.5 | 86.5 | 25.5 | 0.63 | -0.40 | -0.32 |
| 建筑物 | 97.5 | 48.5 | 56.0 | 52.5 | 67.0 | 41.0 | -0.03 | -0.16 | -0.17 |
| 裸地 | 106.0 | 54.5 | 66.0 | 70.0 | 117.0 | 62.0 | 0.03 | -0.36 | -0.46 |

表 4 河流区水体和植被、建筑物、裸地的反差值

| 类型 | NDVI | MNDWI | NCWI |
|-----------|------|-------|------|
| C(水体、植被) | 0.68 | 0.75 | 0.59 |
| C(水体、建筑物) | 0.02 | 0.51 | 0.44 |
| C(水体、裸地) | 0.08 | 0.71 | 0.73 |

数、制图精度和用户精度来评价各水体提取模型的提取精度，精度评价结果见表 7。对于 NCWI 模型，湖泊区、河流区和海洋区的 Kappa 系数分别达到了 0.95、0.96 和 0.99，皆高于同区域的另外 2 种提取模型。此外，NCWI 在各研究区的总体分类精度、制图精度和用户精度也均超过了 90%。综合考虑 4 种评价指标，可以得出各研究区内 3 种水体提取模型的精度高低依次顺序为 NCWI > MNDWI > NDVI。

3 结论

利用 NDVI 公式中近红外波段和红光波段的反射率和值替换 MNDWI 公式中绿光波段和中红外波段的反射率和值构建出的新型组合水体指数(NCWI)可以快速全面地提取水体信息。相比 NDVI、MNDWI，NCWI 不仅能够有效地抑制植被和建筑物噪音，还能进一步减少裸地信息的干扰，特别是在城市、海岸等植被覆盖程度中等或偏低的区域，NCWI 的提取效果更佳。此外，NCWI 提取湖泊区、河流区、海洋区水体的总体分类精度、制图精度、用户精度都高于 90%，Kappa 系数也

均达到了 0.95 及以上，较另外 2 种水体提取方法精度更高。

研究还发现，NCWI 在提取水体的过程中，对于露天矿地的抑制还不够完全；并且受影像分辨率的影响，新指数也存在错分和漏分的现象。在今后研究中将会更深入地分析典型区域的地物光谱特征，同时引入高分辨率遥感影像和多源遥感数据融合技术，进一步提高水体指数的实用性。

参考文献：

[1] 杨柯,段功豪,牛瑞卿,等. 基于多源遥感影像的武汉都市发展区湖泊变迁分析[J]. 长江科学院院报,2016,33(1):139-142,146.

[2] 胡晓东,骆剑承,夏列钢,等. 图谱迭代反馈的自适应水体信息提取方法[J]. 测绘学报,2011,40(5):544-550.

[3] Moller-Jensen L. Knowledge-based classification of an urban area using texture and context information in Landsat-TM imagery[J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1990, 56(6): 899-904.

[4] 周成虎,骆剑承. 遥感影像地学理解与分析[M]. 北京:科学出版社,1999:75-78.

[5] 陈华芳,王金亮,陈忠,等. 山地高原地区 TM 影像水体信息提取方法比较[J]. 遥感技术与应用,2004,19(6):479-484.

[6] 王晴晴,余明. 基于简单比值型水体指数(SRWI)的水体信息提取研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版),2014,30(1):

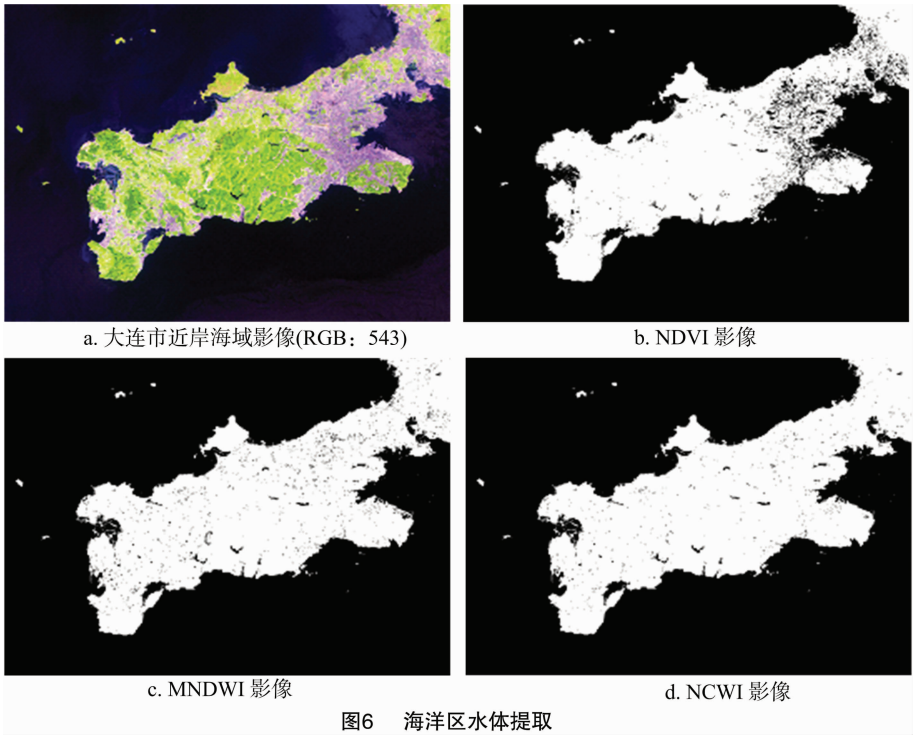


图6 海洋区水体提取

表 5 海洋区不同地物的亮度均值、NDVI、MNDWI、NCWI 均值

| 地物类型 | band1 | band2 | band3 | band4 | band5 | band7 | NDVI | MNDWI | NCWI |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 水体 | 83.0 | 32.5 | 28.5 | 19.5 | 14.0 | 9.0 | -0.19 | 0.40 | 0.39 |
| 植被 | 77.5 | 34.5 | 31.5 | 93.0 | 65.5 | 25.5 | 0.49 | -0.31 | -0.25 |
| 建筑物 | 103.0 | 49.5 | 54.5 | 52.5 | 67.5 | 41.5 | -0.02 | -0.15 | -0.17 |
| 裸地 | 113.5 | 59.0 | 67.0 | 65.0 | 125.0 | 67.5 | -0.02 | -0.36 | -0.50 |

表 6 海洋区水体和植被、建筑物、裸地的反差值

| 类型 | NDVI | MNDWI | NCWI |
|-----------|------|-------|------|
| C(水体、植被) | 0.68 | 0.71 | 0.64 |
| C(水体、建筑物) | 0.17 | 0.55 | 0.56 |
| C(水体、裸地) | 0.17 | 0.76 | 0.89 |

表 7 NDVI、MNDWI 和 NCWI 水体提取精度评价

| 研究区域 | 水体提取模型 | 总体分类精度(%) | Kappa 系数 | 制图精度(%) | 用户精度(%) |
|------|--------|-----------|----------|---------|---------|
| 湖泊区 | NDVI | 94.64 | 0.78 | 99.58 | 68.10 |
| | MNDWI | 96.75 | 0.85 | 100.00 | 77.81 |
| | NCWI | 98.90 | 0.95 | 99.99 | 91.18 |
| 河流区 | NDVI | 96.23 | 0.81 | 81.45 | 85.77 |
| | MNDWI | 98.78 | 0.94 | 100.00 | 90.65 |
| | NCWI | 99.12 | 0.96 | 100.00 | 93.00 |
| 海洋区 | NDVI | 97.35 | 0.93 | 99.76 | 96.57 |
| | MNDWI | 99.39 | 0.98 | 99.99 | 99.15 |
| | NCWI | 99.73 | 0.99 | 99.99 | 99.63 |

39-44.

[7] 于欢,张树清,李晓峰,等. 基于 TM 影像的典型内陆淡水湿地水体提取研究[J]. 遥感技术与应用,2008,23(3):310-315.

[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.

[10] 冯晋涛,周新志. 薄云覆盖下山区河道水体遥感影像提取方法研究[J]. 人民长江,2010,41(21):14-17.

[11] 方刚. 改进型混合水体指数的城市水体信息提取——以宿州市为例[J]. 测绘科学,2016,41(4):44-49.

[12] 聂欣然,刘荣,余健,等. 基于不同地形的 TM 影像水体提取方法比较和分析[J]. 江西科学,2017,35(3):360-366.

[13] Ramsey E W. Monitoring flooding in coastal wetlands by using radar imagery and ground-based measurements[J]. International Journal of Remote Sensing,1995,16(13):2495-2502.

[14] Rouse J W Jr, Haas R H, Schell J A, et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS [J]. Nasa Special Publication,1973,351:309,317.

[15] 周艺,谢光磊,王世新,等. 利用伪归一化差异水体指数提取城镇周边细小河流信息[J]. 地球信息科学学报,2014,16(1):102-107.