

自然资源遥感

Remote Sensing for Natural Resources

ISSN 2097-034X, CN 10-1759/P

《自然资源遥感》网络首发论文

题目: 基于高分六号 WFV 数据的可可西里湖泊水体识别模型研究
作者: 王仁军, 李东颖, 刘宝康
收稿日期: 2021-04-23
网络首发日期: 2021-11-22
引用格式: 王仁军, 李东颖, 刘宝康. 基于高分六号 WFV 数据的可可西里湖泊水体识别模型研究[J/OL]. 自然资源遥感.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/10.1759.P.20211119.1637.002.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式 (包括网络呈现版式) 排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊 (光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊 (网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊 (网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物 (ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

doi: 10.6046/gtzyyg.2021125

引用格式：王仁军，李东颖，刘宝康.基于高分六号 WFV 数据的可可西里湖泊水体识别模型研究[J].国土资源遥感. (Wang R J, Li D Y, Liu B K.A water body identification models of lakes in Hoh Xil based on GF-6 WFV satellite data [J].Remote Sensing for Land and Resources.)

基于高分六号 WFV 数据的可可西里湖泊水体识别模型研究

王仁军，李东颖，刘宝康

(天水师范学院资源与环境工程学院，天水 741000)

摘要：探究基于高分六号水体提取模型可为水体监测提供新的数据源和技术支撑。首先，基于卓乃湖的高分六号 WFV 数据分析水体与其他地物反射率的差异，从而构建了一种新的水体指数——红边水体指数 (read side water index, RSWI)；然后利用混淆矩阵生成的总体精度和 Kappa 系数，分别与归一化差异水体指数、改进的阴影水体指数和单波段阈值法进行了对比精度检验；最后选取可可西里地区不同类型面积大于 100 km² 的 6 个典型湖泊进行普适性分析。结果表明：与其他方法相比，RSWI 和近红外波段构成的决策树模型有效消除了湖底沉积物对水体的影响，更完整地提取浅水区水体，总体精度达 93.78%，Kappa 系数为 0.87；另外，RSWI 水体模型对不同类型的湖泊具有较好的稳定性和普适性。

关键词：高分六号；可可西里湖泊；水体识别模型；红边水体指数

中图法分类号：TP79 文献标志码：A 文章编号：2097-034X (2022) 0×-0×××-××

0 引言

湖泊作为地表水圈的重要组成，不仅参与全球水分循环，调节区域水分平衡，而且还为人类提供了丰富的生活和生产的资源，是维持区域生态平衡的重要因子之一^[1-2]。我国湖泊主要集中分布于对气候变化十分敏感的青藏高原地区，大于 1 km²的湖泊总数占全国湖泊总数的 39.2%^[3-4]。其中，深藏于青藏高原腹地的可可西里地区，是我国湖泊分布密度最高地区之一。通常，该区域湖泊分布的海拔较高，气候恶劣，受人类活动影响较小，因此该地区湖泊变迁能忠实记录气候变化，是气候变化的敏感指示器。

近年来极端气候事件频繁发生，引发了一系列的自然灾害^[5]。2011 年 9 月受青藏高原气候暖湿化的影响，可可西里地区卓乃湖发生溃堤，大量湖水外泄，依次流入库赛湖和海丁诺尔湖，最后注入盐湖，外溢湖水注入盐湖之后，盐湖水位上升，可能引起盐湖湖水外溢，盐湖湖水为高度矿化的咸水，一旦外溢，不仅会危及青藏铁路和青藏公路等一些基础设施，而且还会严重危及可可西里地区生态环境安全，通过研究及时、准确地获取盐湖水体变化信息，能够为相关部门进行水患防治提供科学决策和依据。基于此，大批学者对可可西里地区的湖泊进行了研究，如：姚晓军等^[6]和刘宝康等^[7]利用 Landsat TM/ETM+/OLI 遥感影像和国产环境减灾星 (HJ1A/B) CCD 数据对该区域湖泊水位变化、溃堤原因和可能引发溃堤的条件等进行了研究。

随着遥感技术被广泛应用于水体监测领域，水体信息提取方法成为热门研究方向。如

收稿日期：2021-04-23；修订日期：2021-07-08

基金项目：甘肃省科技计划资助自然科学基金项目“基于遥感的作物水分胁迫指数干旱监测方法研究”（编号：21JR1RE293）和天水市软件科学研究项目“3S 技术助力天水市乡村振兴对策研究”（编号：2021-ZCFGK-4223）共同资助。

第一作者：王仁军（1998-），男，硕士研究生，主要研究方向为地理信息系统与遥感应用研究。

Email:wrj_2021@163.com。

通信作者：刘宝康（1973-），男，博士，副教授，主要研究方向为湖泊和草地遥感研究。Email:liubk04@qq.com。

Komeil 等^[8]利用 Landsat TM、ETM+和 OLI 遥感影像,模拟了 2000—2013 年伊朗乌鲁米耶湖的时空变化;Adrian 等^[9]以澳大利亚东部的 TM/ETM/OLI 影像为数据源,在比较七种水体指数的基础上,提出了一种简单精确的大范围水体自动分类方法。目前,用于水体信息提取的方法以单波段阈值法和多波段谱间关系法为主^[10]。单波段阈值法主要是利用水体与背景地物在遥感影像的某一波段反射率存在差异,能有效抑制背景地物,实现与背景地物相分离的目的^[11],但单波段阈值法对不同时相、不同区域的水体需要设置不同的阈值,具有一定的局限性;多波段谱间关系法综合利用各波段信息,通过波段之间的组合,极大的增强了水体与其它地物反射率的差异,与单波段阈值法相比不受时空的影响^[12],多波段谱间关系法中以水体指数法最为常见,如 McFeeters^[13]提出了归一化差异水体指数(normalized difference water index, NDWI),能够抑制植被和土壤信息,实现增强水体信息的作用,徐涵秋^[14]针对 NDWI 提取市区水体不理想,在 NDWI 的基础上,提出了改进的归一化水体指数(modified normalized difference water index,MNDWI),陈文倩等^[15]基于高分一号 4 个波段并结合决策树法,提出了阴影水体指数(shade water index, SWI),能有效的剔除阴影、裸地等背景地物对水体的影响,王瑾杰等^[16]在阴影水体指数的基础上,提出了改进的阴影水体指数(modified shade water index,MSWI),进一步提高阴影与水体的分离程度,王小标等^[17]针对复杂环境下水体提取精度易受到低反射率地表影响的问题,利用 ETM+影像,构建了多波段水体指数(multi-band water index, MBWI),但此方法很难提出与水体反射率接近的地物,王琳等^[18]利用 Landsat8 影像,提出了双红外水体指数(doubleinfrared band water index, DIBWI),用于准确识别蓝藻湖泊水体信息。

现阶段水体研究主要利用国外卫星数据,国外卫星数据存在时间/空间分辨率低、晴空数据少等问题,难以对水体进行精准监测,而我国的高分六号卫星,是我国自主研发的低轨光学遥感卫星,与国外数据相比,具有高时间分辨率、宽覆盖等特点,有利于湖泊水库的精细化动态监测。本文以其 WFV 影像为数据源,构建了一种新型水体指数——红边水体指数(read side water index, RSWI),利用混淆矩阵生成的总体分类精度和 Kappa 系数进行精度验证,并与 NDWI、MSWI 和单波段阈值法三种水体提取模型进行精度对比分析,探究 RSWI 的精确度和可靠性。此方法可为高分六号卫星数据在湖泊面积及其湖岸线动态监测提供理论参考和技术支撑。

1 研究区概况及数据源

1.1 研究区概况

可可西里地区,位于 $N33^{\circ}30' \sim 36^{\circ}29'$, $E81^{\circ}56' \sim 94^{\circ}06'$,深藏于青藏高原腹地,横跨新疆维吾尔自治区、西藏自治区和青海省三大行政区(图 1)。可可西里地区平均海拔高达 4 000 m 以上,气候条件恶劣,湖泊众多且受人为影响较小,面积大于 10 km²的湖泊多达 83 个,包括淡水湖、微咸水湖、咸水湖、盐湖,其中微咸水湖和咸水湖分布较多,是青藏高原湖泊集中分布区域之一^[19]。本文选取可可西里地区的卓乃湖、太阳湖、可可西里湖、库赛湖、多格错仁错、加德仁错及西金乌兰湖 7 个不同类型的湖泊,作为新型水体指数可行性和普适性验证分析的研究区。

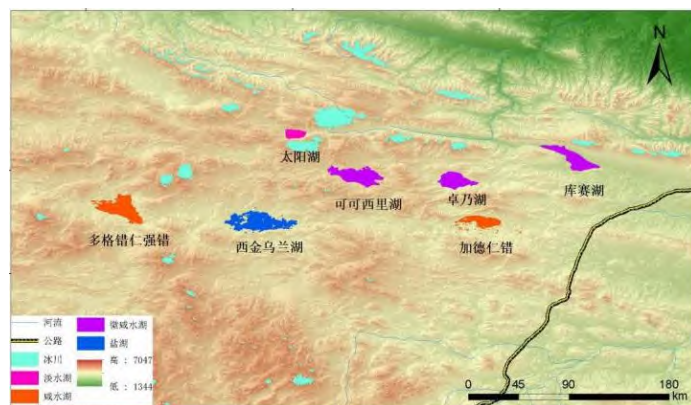


图 1 研究区地理位置

Fig.1 Location of study area

1.2 数据来源及预处理

高分六号卫星于 2018 年 6 月 2 日在我国酒泉卫星发射中心成功发射，是中国空间技术研究院研制的低轨光学遥感卫星，设计寿命为 8 a，有高时间分辨率和宽覆盖相协调等优点。影像包括 8 个波段，具体见表 1。本研究所使用的高分六号 16 m 多光谱遥感影像数据来自中国资源卫星应用中心 (<http://36.112.130.153:7777/DSSPlatform/index.html>)，影像获取时间为 2020 年 9 月 29 日。

表 1 高分六号卫星影像波段情况

Tab.1 Bands of GF-6 image

序号	波段	波长范围/ μm
B1	蓝光	0.45~0.52
B2	绿光	0.52~0.59
B3	红光	0.63~0.69
B4	近红外	0.77~0.89
B5	红边 1	0.69~0.73
B6	红边 2	0.73~0.77
B7	紫边	0.40~0.45
B8	黄边	0.59~0.63

首先在 ENVI5.3 下对遥感影像进行线性拉伸，突出显示水体信息；其次对影像进行辐射定标和大气校正，其中辐射定标采用中国资源卫星应用中心提供的绝对定标系数，大气校正采用 FLAASH 模型；然后利用影像自带的有理多项式函数模型参数 (rational polynomial coefficient, RPC) 和地面高程数据完成高分六号数据的正射校正；最后对影像进行裁切，以便下一步处理。

2 水体识别模型

2.1 新型水体指数构建

2.1.1 水体光谱特征分析

由于各类地物不同的光谱特征，在影像上反映出不同的综合特征，构成地物解译与信息

获取的基础。

水体在可见光范围内的反射率随波长的增加而逐渐降低，在蓝光波段反射率较高，波长达到近红外波段时，水体反射率接近 0，而植被、干土壤等的反射率曲线变化趋势与此相反，在蓝光波段呈强吸收和近红外波段呈强反射的特点，基于此为水体信息的获取提供了可能。通过理论研究结果进行实地调查可以确定研究区水体类型及附属地物为深水区、浅水区、盐碱地、裸岩、湿地、沙地、戈壁和积雪等，水体提取主要是浅水区边界和其附属地物的区分，从而高质量提取。

2.1.2 红边水体指数构建

经试验分别统计不同地物在高分六号 WFV 数据各波段中反射率的值，结果如图 2。由图可知，浅水区水体受湖底沉积物的影响，呈较高的反射率，整体高于深水区水体；积雪光谱曲线变化趋势虽与浅水区水体相似，但与其他地物光谱曲线分离性较大；湿地与浅水区水体在红光波段存在相交，异物同谱现象明显难以区分，盐碱地、裸岩、沙地和戈壁 4 类地物光谱曲线变化趋势相似，但是这些地物均在红边 2 波段与水体分离性较大；水体在蓝光波段和绿光波段的反射率整体高于红边 1、2 波段的反射率，尤其在红边 2 波段相差最大，而盐碱地、裸岩、沙地、湿地和戈壁等地物正好相反。通过大量实验证明，当红边 2 波段反射率扩大 2 倍时，水体与其他背景地物相差最大。利用上述特征构建新型水体指数，称为 RSWI，公式为：

$$RSWI = \frac{(B1 + B2) - 2 \times B6}{(B1 + B2) + 2 \times B6} \quad (1)$$

$$RSWI = C$$

式中 RSWI 为红边水体指数，B1、B2 和 B6 为高分六号 WFV 数据第 1、2、6 波段的反射率，当 $RSWI \geq C$ 时为水体，C 为经验性阈值。

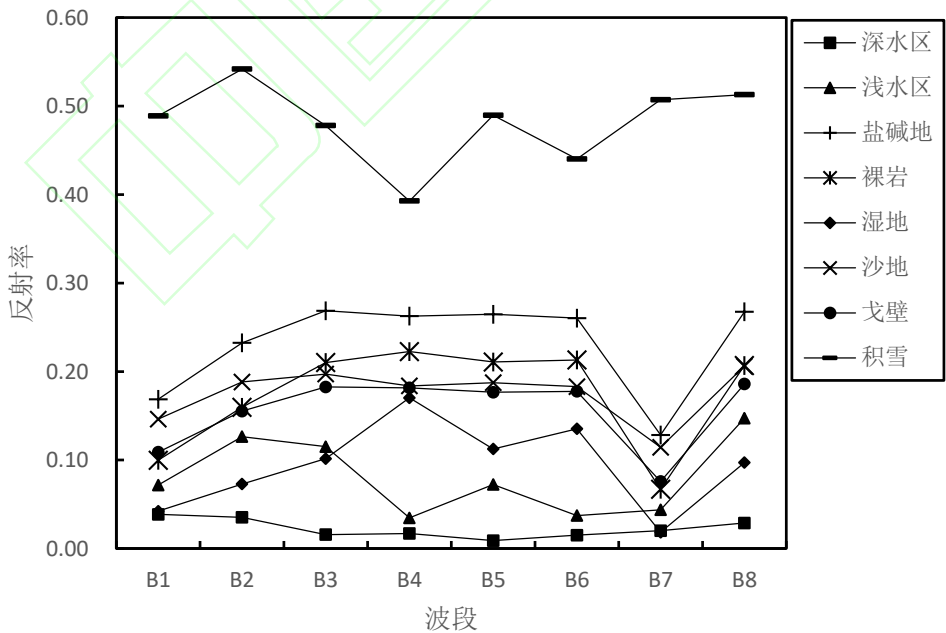


图 2 典型地物反射率曲线

Fig.2 Reflectance curves of typical ground objects

2.1.3 RSWI 决策树模型提取水体流程

考虑到积雪与浅水区水体反射率特征相似,且蓝光波段和绿光波段的反射率也整体高于红边 2 波段,利用红边水体指数无法将其区分,但积雪具有高反射的特点,与其他地物差异明显,可引入单波段并结合 RSWI 法构成决策树的逻辑运算,剔除此类地物的影响。RSWI 决策树模型提取水体流程见图 3。

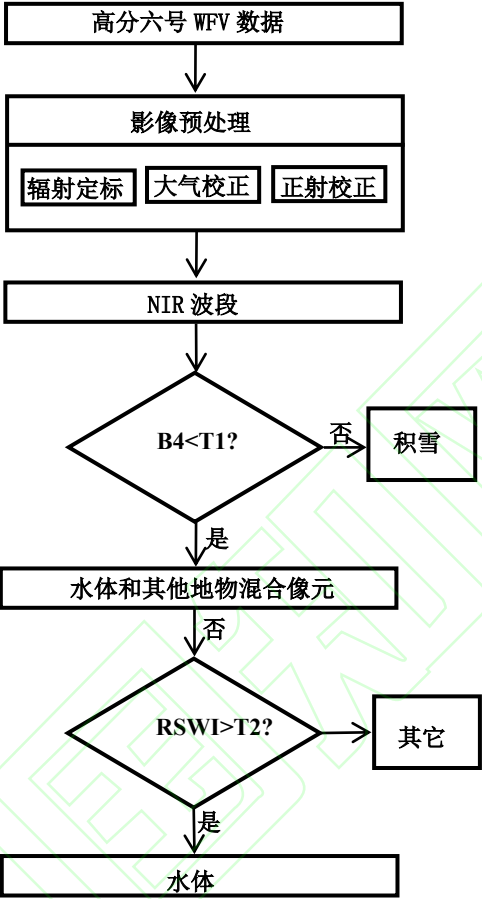


图 3 RSWI 提取水体流程

Fig.3 Flow chart of water extraction using RSWI

具体步骤为:

- (1) 通过高分六号 WFV 数据近红外波段的阈值剔除积雪,提取水体及其他地物信息。
- (2) 在图像上随机采集 60 个水体样本和 60 个非水体样本信息,统计其光谱信息,并结合直方图反复证实水体阈值范围,设定合理阈值,保证最大程度上不漏提水体信息。
- (3) 利用构建的 RSWI 法,确定阈值,提取水体信息,并对结果做二值化处理,使其与背景分离。

2.2 其他水体提取模型

为分析验证 RSWI 的可靠性,本文选取了其他几种常见水体提取模型,包括单波段阈值法、归一化差异水体指数 (NDWI) 和改进阴影水体指数 (MSWI), 计算公式如下:

$$B4 < T \quad (2)$$

$$NDWI = \frac{B2 - B4}{B2 + B4} \quad (3)$$

$$MSWI = \frac{B1 - B4}{B4} \quad (4)$$

式中: $B1$, $B2$ 和 $B4$ 分别为高分六号 WFV 数据的蓝光波段、绿光波段和近红外波段的反射率; T 为经验性阈值。

3 结果分析与验证

本文首先利用提出的模型进行水体提取, 为了达到更高精度运用直方图法对结果优化, 将 RSWI 与其他模型水体提取结果进行对比分析, 最后以目视解译提取结果作为验证数据, 通过结果分析得到基于高分六号 WFV 数据的水体提取效果。

3.1 水体提取及结果分析

利用本文提出的模型与 MSWI、NDWI 和单波段法的初次提取结果如图 4 所示。

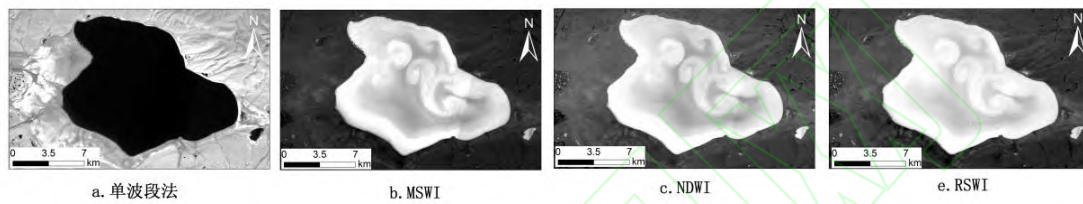


图 4 不同水体模型提取水体图像

Fig.4 Water body images extracted from different water body models

为了水体提取达到更高的精度, 首选利用直方图反复确认水体范围, 以确保最大程度上不漏提水体信息, 获取研究区的 MSWI、NDWI、单波段法和 RSWI 的阈值分别为 0.32, 0.11, 0.04 和 0 (图 5), 再对 4 种水体提取模型提取结果做二值化处理, 除单波段法小于或等于阈值的像元为水体外, 其余水体模型均大于或等于阈值的像元为水体, 小于阈值的像元为非水体, 水体和非水体像元分别赋值为 1 和 0, 结果见图 6。

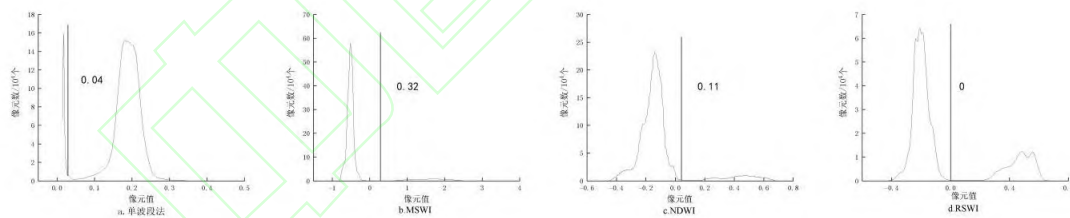


图 5 四种方法灰度直方图

Fig.5 Four kinds of gray histogram method

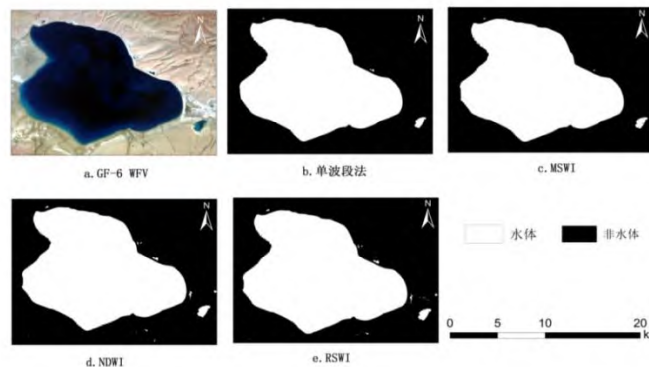


图 6 不同水体模型提取结果

Fig.6 Extraction results from different water models

分析图 6 可知, 4 种水体提取模型均能较好地提取水体边界, 提取结果大致相似, 但存在细节差异。4 种水体模型提取结果中, MSWI 提取结果误差最大, 由于湖泊浅水区域, 受湖底沉积物的影响, 水体反射率增高, 设置阈值时, 阈值过大无法将其与小斑块盐碱地进行区分, 阈值过小出现漏提, 从而导致提取结果不理想, 根据单波段影像灰度直方图, 当阈值设定为 0.32 时, 水体信息虽能达到较好的提取效果, 但仍受复杂湖底影响, 导致水体漏提现象。单波段阈值法与 MSWI 相比, 提取效果虽有所改善, 但仍受限干扰地物影响, 无法完整提取水体信息。而 RSWI 和 NDWI 提取结果较为相似, 均优于单波段阈值法和 MSWI, 但 NDWI 仍然无法区分反射率较高的浅水区水体和盐碱地, 导致部分浅水区水体漏提。RSWI 能有效的抑制湖底沉积物和盐碱地等的影响, 但与积雪等高亮地物无法区分, 导致将一些高亮地物误提为水体, 因此在实验过程中, 考虑引入近红外波段作为补充, 来剔除高亮地物, 从而提高水体提取精度。

3.2 精度验证

为了定量评价近红外波段和红边水体指数构成的决策树水体提取模型的精确度和可靠性, 需要对水体提取结果进行精度评价。水体提取精度主要体现在水陆边界上, 以同一时期 Google Earth 影像作为辅助数据, 沿水陆边界选取水体和非水体的样本点, 采用经混淆矩阵计算的总体精度和 Kappa 系数定量评价不同水体模型的提取结果, 计算结果见表 2。

表 2 基于不同水体模型提取结果精度评价

Tab.2 The precision contrast based on different water extraction models

方法	总体精度/%	Kappa 系数
单波段阈值法	90.55	0.81
MSWI	81.34	0.64
NDWI	92.41	0.85
RSWI	93.78	0.87

由表 2 验证结果可知, RSWI 水体指数与近红外波段构成的决策树水体提取模型总体精度较为理想, Kappa 系数效果较好。RSWI 决策树模型的总体精度和 Kappa 系数均高于其他三种水体提取模型, RSWI 决策树模型的总体精度和 Kappa 系数分别为 93.78%和 0.87, 较 NDWI 提高了 1.37%和 0.02, 较 MSWI 和单波段阈值法分别提高了 12.44%和 0.23、3.23%和 0.06。其次为 NDWI 和单波段阈值法, 总体精度和 Kappa 系数分别为 92.41%和 0.85、90.55%和 0.81, 与 RSWI 决策树模型相比, NDWI 和单波段阈值法对浅水区水体敏感性较弱。MSWI 提取效果最差, 总体精度和 Kappa 系数最低, 分别为 81.34%和 0.64。

综上所述, RSWI 和近红外波段构成的决策树模型提取精度最高, NDWI 和单波段阈值法提取精度次之, NDWI 和单波段阈值法对浅水区水体敏感性较差, MSWI 提取精度最差。可见, 本文提出的 RSWI 决策树模型能有效抑制复杂湖底沉积物和盐碱地等地物对水体提取时的干扰, 总体精度较高, 提取效果较为理想, 在基于国产高分六号 WFV 数据进行干旱区水体信息提取具有明显优势。

4 RSWI 普适性分析









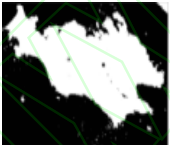
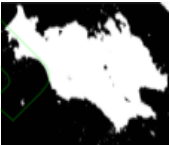







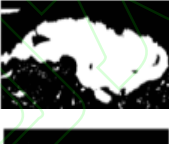


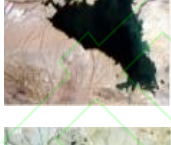

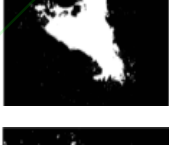


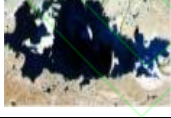




为了验证 RSWI 水体提取模型的稳定性与普适性, 从定性、定量及不同方法对比多角度进行验证。

4.1 定性验证

首先从区域上选取可可西里地区不同类型面积大于 100 km² 的 6 个典型湖泊，包括可可西里地区的加德仁错、多格错仁错、可可西里湖、库赛湖、西金乌兰湖及太阳湖进行 RSWI 的普适性分析，利用 4 种水体提取模型分别对 6 个不同类型的湖泊进行水体提取，提取结果见表 3。

表 3. 不同水体模型提取水体结果对比

Tab.3 Comparison of water extraction in different lakes by different models

湖泊	影像	单波段法	MSWI	NDWI	RSWI
太阳湖					
可可西里湖					
库赛湖					
加德仁错					
多格错仁错					
西金乌兰湖					

分析表 3 可知，单波段法、MSWI、NDWI 和 RSWI 4 种水体模型整体提取结果大致相同，均能较好地提取水体信息，但明显存在细节差异，需要从纵向和横向变化进行验证：

从纵向分析，从淡水湖到微咸水湖和咸水湖再到盐湖，湖水含盐量增加，湖底沉积物由简单变复杂，受湖底沉积物和湖水性质的影响，4 种水体提取模型对不同类型湖泊提的适应性不同。4 种水体提取模型对淡水湖均有较强的适应性，提取结果差异性较小，但随湖水含盐量增加，4 种水体提取模型对不同类型湖泊表现出适应性的差异。其中 MSWI 对不同类型湖泊的适应性最差，NDWI 和单波段阈值法对不同类型湖泊的适应性次之，而本文提出的 RSWI 水体提取模型能有效抑制湖水性质的影响，对不同类型湖泊的具较好的适应性。

从横向分析，MSWI 提取效果最差，提取水体区域偏小，单波段阈值法虽能较好的提取水体信息，但受湖底沉积物和湖水性质的影响，导致部分水体区域漏提，如多格错仁错西部浅水区水体；NDWI 和 RSWI 提取效果最好，两者虽提取结果相似，但 NDWI 对复杂湖底

沉积物的敏感性较弱，无法区分浅水区水体和湿地，出现过提现象，而 RSWI 水体提取模型能有效抑制湖底沉积物和湖水性质的影响，因此能有效的识别浅水区水体；此外，从库赛湖提取结果可知，NDWI 提取结果受高亮地物影响，误将积雪提为水体，而 RSWI 和 MSWI 均结合单波段阈值法构成了决策树模型能有效剔除积雪等高亮地物对提取结果的影响。

4.2 定量验证

为了更加深入地分析 RSWI 水体模型的普适性，同样以同一时期 Google Earth 影像为辅助数据，分别对 6 个不同类型的湖泊沿水陆边界选取水体和非水体样本作为真实地面数据，利用混淆矩阵计算单波段阈值法、MSWI、NDWI 和 RSWI 分别对太阳湖、可可西里湖、库赛湖、加德仁错、多格错仁错及西金乌兰湖提取水体结果的总体精度和 Kappa 系数，结果见表 4。分析表 4 可知，4 种水体提取模型对淡水湖的提取结果误差最小，总体精度最大差值仅为 3.39%，但随湖水含盐量增加，这一差值增大；6 个湖泊水体提取结果中，RSWI 的总体精度和 Kappa 系数均为各水体提取模型最高，其次为 NDWI 和单波段阈值法，而 MSWI 提取精度最差。

表 4 不同类型湖泊水体提取结果精度评价
Tab.4 Precision evaluation of water extraction results from different types of lakes

湖泊	湖泊性质	方法	总体精度/%	Kappa 系数
太阳湖	淡水湖	RSWI	93.64	0.86
		NDWI	92.37	0.83
		MSWI	90.25	0.79
		单波段法	91.10	0.80
可可西里湖	微咸水湖	RSWI	93.79	0.86
		NDWI	88.86	0.78
		MSWI	84.89	0.70
		单波段法	92.45	0.85
库赛湖	微咸水湖	RSWI	97.06	0.93
		NDWI	95.82	0.90
		MSWI	92.86	0.84
		单波段法	95.79	0.91
加德仁错	咸水湖	RSWI	96.18	0.92
		NDWI	90.66	0.81
		MSWI	88.11	0.76
		单波段法	89.81	0.79
多格错仁错	咸水湖	RSWI	97.01	0.94
		NDWI	93.69	0.87
		MSWI	84.85	0.70
		单波段法	95.91	0.92
西金乌兰湖	盐湖	RSWI	95.81	0.91
		NDWI	94.38	0.88
		MSWI	89.42	0.78
		单波段法	92.66	0.84

综合分析表明,本文提出的 RSWI 水体提取模型整体精度较好,对不同类型的湖泊具有较好的稳定性和普适性,因此本文提出的水体模型可用于高分六号可可西里地区湖泊水体提取。

5 结论与讨论

本文以可可西里地区的卓乃湖、太阳湖、可可西里湖、库赛湖、加德仁错、多格错仁错及西金乌兰湖为研究对象,利用高分六号 WFV 遥感影像,通过分析不同地物在高分六号 WFV 数据各波段中的反射率差异,构建了一种新型水体指数 RSWI,并结合单波段阈值法,引入近红外波段,提出了一种决策树水体提取方法。利用样本数据,对 RSWI、NDWI、MSWI 和单波段阈值法分别建立混淆矩阵进行精度评价,验证 RSWI 提取水体信息的可行性。结论如下:

1) 通过对比高分六号 WFV 的 RSWI、NDWI、MSWI 和单波段阈值法 4 种湖泊水体识别模型的提取结果,结果表明:MSWI 提取结果误差最大;单波段阈值法相比 NSWI 提取效果有所改善,但仍受湖底沉积物影响较大;RSWI 和 NDWI 提取结果较为相似,提取效果最好,但 NDWI 对浅水区水体敏感性弱,无法准确识别浅水区水体,导致部分浅水区水体漏提,而 RSWI 对浅水区敏感性较强,能够有效抑制湖底沉积物的影响,但 RSWI 受高亮地物的影响,因此结合单波段阈值法作为补充,从而有效的提高了水体提取精度。

2) 通过对混淆矩阵生产的总体精度和 Kappa 系数对 4 种模型进行精度评价,结果表明:RSWI 和近红外波段构成的决策树模型提取精度较为理想,总体精度和 Kappa 系数分别为 93.78%和 0.87,均高于其他 3 种水体提取模型;NDWI 和单波段阈值法提取精度次于 RSWI,但高于 MSWI,MSWI 提取精度最差。

3) 选取可可西里地区不同类型的 6 个湖泊,进一步分析 RSWI 的可行性和普适性,结果表明:RSWI 水体提取模型整体精度较好,总体精度和 Kappa 系数均高于 MSWI、NDWI 和单波段阈值法,对不同类型的湖泊具有较好的稳定性和普适性。

本文提出的 RSWI 水体提取模型能有效的识别浅水区水体信息,为水体监测提供了新的数据源和技术支撑,但本研究仅使用了单一数据源,受限于高分六号 WFV 数据的分辨率(16 m),提取结果仍然受混合像元的影响;此外未能获取不同时相遥感影像进行时空对比,结论具有一定局限性。因此,采用高分辨率多源卫星资料提取湖泊水体面积及湖岸线,探究此方法基于不同时相遥感影像的普适性将是今后工作研究的重点。

参考文献 (References):

- [1] 徐蓉,张增祥,赵春哲. 湖泊水体遥感提取方法比较研究[J]. 遥感信息,2015,30(1):111-118.
Xu R,Zhang Z X,Zao C Z.Different models used in extraction of lake water body based on MODIS data[J].Remote Sensing Information,2015,30(1):111-118.
- [2] 朱刚,高会军,曾光.近 35a 来新疆干旱区湖泊变化及原因分析[J]. 干旱区地理,2015,38(1):103-110.
Zhu G,Gao H J,Zeng G.Lake change research and reasons analysis in Xinjiang arid regions during the past 35 years[J].Arid Land Geography,2015,38(1):103-110.
- [3] 谢昌卫,刘文惠,吴吉春,等. 可可西里卓乃湖溃决后湖区环境变化及盐湖可能的溃决方式[J]. 冰川冻土,2019,41(6):1344-1352.
Xie C W,Liu W H,Wu J C,et al.Environmental changes caused by the outburst of Zonag Lake and the possible outburst mode of Yanhu Lake in the Hoh Xil Region[J].Journal of Glaciology and Geocryology,2019, (6):1344-1352.
- [4] 拉巴,格桑卓玛,拉巴卓玛,等. 1992—2014 年普若岗日冰川和流域湖泊面积变化及原因分析[J]. 干旱区地理,2016,39(4):770-776.
La B,Ge S Z M,La B Z M,et al.Variation and reasons of the coverage of Puruogangri glacier and its surrounding lakes during

1992-2014[J].Arid Land Geography,2016,39(4):770-776.

[5] 姚晓军,刘时银,李龙,等. 近 40 年可可西里地区湖泊时空变化特征[J]. 地理学报,2013,68(7):886-896.

Yao X J,Liu S Y,Li L,et al.Spatial temporal variations of lake area in Hoh Xil region in the past 40 years[J].Acta Geographica Sinica,2013,68(7):886-896.

[6] 姚晓军,孙美平,宫鹏,等. 可可西里盐湖湖水外溢可能性初探[J]. 地理学报,2016,71(9):1520-1527.

Yao X J,Sun M P,Gong P,et al.Overflow probability of the salt lake in HOH Xil region[J].Acta Geographica Sinica,2016,71(9):1520-1527.

[7] 刘宝康,李林,杜玉娥,等. 青藏高原可可西里卓乃湖溃堤成因及其影响分析[J]. 冰川冻土,2016,38(2):305-311.

Liu B K,Li L,Du Y E,et al.Causes of the outburst of Zonag lake in Hoh Xil,Tibetan Plateau,and its impact on surrounding environment[J].Journal of Glaciology and Geocryology,2016,38(2):305-311.

[8] Komeil R,Anuar A,Ail S,et al.Water feature extraction and change detection using multitemporal Landsat imagery[J].Remote Sens,2014,6(5):4173-4189.

[9] Adrian F,Neil F,Tim D.Comparing Landsat water index methods for automated water classification in eastern Australia[J].Remote Sensing of Environment,2016(175):167-182.

[10] 毕海芸,王思远,曾江源,等. 基于 TM 影像的几种常用水体提取方法的比较和分析[J]. 遥感信息,2012,27(5):77-82.

Bi H Y,Wang S Y,Zeng J Y,et al.Comparison and analysis of several common water extraction methods based on TM image[J].Remote Sensing Information,2012,27(5):77-82.

[11] 陈鹏,张青,李倩. 基于 FY3A/MERSI 影像的几种常用水体提取方法的比较分析[J]. 干旱区地理,2015,38(4):770-778.

Chen P,Zhang Q,Li Q.Comparative analysis of several commonly used water extraction method based on FY3A/MERSI imagery[J].Arid Land Geography,2015,38(4):770-778.

[12] 杨莹,阮仁宗.基于 TM 影像的平原湖泊水体信息提取的研究[J].遥感信息, 2010,25(3):60-64.

Yang Y,Ruan R Z.Extraction of Plain Lake Water Body Based on TM Imagery[J].Remote Sensing Information,2010,25(3):60-64.

[13] McFeeters S K.The use of the normalized difference water index(NDWI) in the delineation of open water feature [J] .International Journal of Remote Sensing,1996,17(7) : 1425-1432.

[14] 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(5):589-595.

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

[15] 陈文倩,丁建丽,李艳华,等.基于国产 GF-1 遥感影像的水体提取方法[J]. 资源科学,2015,37(6):1166-1172.

Chen W Q,Ding J L,Li Y H,et al.Extraction of water information based on China-made GF-1 remote sense image[J].Resources Science,2015,37(6):1166-1172.

[16] 王瑾杰,丁建丽,张成,等. 基于 GF-1 卫星影像的改进 SWI 水体提取方法[J]. 国土资源遥感,2017,29(1):29-35.

Wang J J,Ding J L,Zhang C,et al.Method of water information extraction by improved SWI based on GF-1 satellite image[J].Remote Sensing for Land and Resources,2017,29(1):29-35.

[17] 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.

[18] 王琳,谢洪波,文广超,等. 基于 Landsat8 的含蓝藻湖泊水体信息提取方法研究[J]. 国土资源遥感,2020,32(0):130-136.

Wang L,Xie H B,Wen G C,et al.A study on water information extraction method of cyanobacteria lake based on Landsat8[J].Remote Sensing for Land and Resources,2020,32(4):130-136.

[19] 李龙,姚晓军,李凤贤,李晓峰. 基于 ICESat/GLAS 数据的可可西里地区湖泊水位变化研究[J]. 中国农业资源与区划,2019,40(3):45-52,60.

Li L,Yao X J,Li F X,et al.Study on Monitoring lake water level changes in the HOH Xil region based on ICESat/GLAS data[J].Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning,2019,40(3):45-52,60.

[20] 王伟武,朱霞,孙跃池,等. 基于 ETM 图像的山地水体提取方法研究[J]. 系统仿真学报,2013,25(9):2196-2200,2205.

Wang W W,Zhu X,Sun Y C,et al.Water extraction method based on ETM image of mountain[J].Journal of System

A water body identification models of lakes in Hoh Xil based on GF-6 WFV satellite data

WANG Renjun, LI Dongying, LIU Baokang

(College of Resources and Environmental Engineering, Tianshui Normal University, Tianshui
741000, China)

Abstract: Exploring the water extraction model based on GF-6 satellite images can provide new data sources and technical support for water monitoring. GF-6 WFV satellite data of Zhuonai lake used to analyze the reflectance difference between water and other ground objects in each band of GF-6 WFV satellite data. A novel water index named read side water index (RSWI) was constructed. The overall accuracy and Kappa coefficient generated by confusion matrix was used to verify RSWI and other three water extraction models, which include single-band threshold method, normalized difference water index and modified normalized difference water index. The results showed that compared with single-band threshold method, normalized difference water index and modified normalized difference water index, RSWI and near infrared band phase combines to a decision tree water extraction model can better identify shallow water, it can completely extract shallow water and the overall accuracy is 93.78% and Kappa coefficient is 0.87. In addition, we also found that the stability and adaptation of RSWI is higher than other water body models in different types of lake.

Keywords: GF-6; Hoh Xil lake; water body identification models; read side water index