# 基于 Sentinel-2 影像的围海养殖信息提取

李轶平<sup>1,2</sup>,吴英超<sup>1,2</sup>,尤广然<sup>1,2</sup>,孔重人<sup>1,2</sup>, 席小慧<sup>1,2</sup>, 雷利元<sup>1,2</sup>,赵东洋<sup>1,2\*</sup>

(1. 辽宁省海洋水产科学研究院,辽宁大连116023;2. 大连市海域海岛开发与保护研究重点实验室,辽宁大连116023)

摘 要:为了能够利用遥感图像快速准确地提取围海养殖矢量信息,本文选取养殖水体、堤坝及育苗室等交错分布 的海参围海养殖区域作为研究区域,根据研究区域 Sentinel-2 遥感影像的光谱特征,选用归一化差异水体指数 (Normalized Difference Water Index, NDWI)、改进归一化差异水体指数(Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI)和增强水体指数(Enhanced Water Index, EWI)三类水体指数,分别进行提取实验,利用同时期高空间分辨率 的高分二号卫星(GF-2)影像作为参考,验证不同方法的提取精度,精度评价结果表明:相较 MNDWI和 EWI 两类水 体指数,NDWI 的分类精度更高,且利用 NDWI 提取研究区域的围海养殖信息的效果更好,所以该方法可在养殖区域的动态监测和规划管理中发挥数据支撑作用。

关键词:遥感影像;围海养殖;Sentinel-2;水体指数法

中图分类号:TP751; S967 文献标志码:A doi: 10.12362/j.issn.1002-3682.20211118001 文章编号:1002-3682(2022)02-0173-08

**引用格式:**李轶平,吴英超,尤广然,等.基于 Sentinel-2 影像的围海养殖信息提取[J].海岸工程,2022,41(2):173-180. LI Y P, WU Y C, YOU G R, et al. Information extraction of sea-enclosed aquaculture based on Sentinel-2 remote sensing images[J]. Coastal Engineering, 2022, 41(2): 173-180.

我国近海野生渔业资源日益退化,而人们对海产品的需求却不断增长,这使得近年来我国的海水养殖业 发展迅猛<sup>[1]</sup>。根据《中国渔业统计年鉴》<sup>[24]</sup>,截至2020年,我国海水养殖面积达199.56万hm<sup>2</sup>,海水养殖产量 达2135.3万t,占世界海水养殖总量的80%<sup>[5-6]</sup>,高居世界第一,所以,我国是海水养殖大国,也是世界上唯一 的养殖产量超过捕捞产量的国家<sup>[7]</sup>。海水养殖在不断满足人民日益增长的海产品需求的同时也出现了由于 过度养殖所引起的爆发性水产病害问题、浒苔爆发等环境问题、大规模围海养殖散乱分布影响船舶通航等 海上交通问题<sup>[8]</sup>,以及占用湿地、破坏自然岸线等问题。围海养殖区域作为承载海水养殖的主体,对海水养 殖的规划发展起着基础性作用。如何准确掌握围海养殖的分布区域并进行科学合理的规划,对保护海洋生 态环境和促进海水养殖业的可持续发展具有重要意义<sup>[8-10]</sup>。

围海养殖区域调查通常采用实地测量的方法,但该方法因受人力和物力的限制难以满足现场信息即时 获取和大范围作业的需求<sup>[1,11]</sup>。遥感作为一项成熟的对地观测技术,其具有覆盖范围广、可同步连续观测,以 及高空间分辨率、高时间分辨率等优点,这些优点可弥补传统方法的不足<sup>[12-13]</sup>。采用遥感技术、利用遥感图像能 够快速准确地提取出海水养殖所需的专题信息,并在养殖区域的动态监测、科学规划与管理中发挥作用<sup>[78,14-15]</sup>。 近年来很多学者利用遥感手段提取养殖区域信息,例如:武易天等<sup>[8]</sup>基于 LandSat-8 影像,运用光谱和纹理信 息结合的方式提取近海网箱式和浮绳式养殖区; 卢业伟等<sup>[10]</sup>基于 Rapideye 多光谱影像,利用纹理阈值检测结 合形状判断提取渔排和海带/紫菜养殖区;程博等<sup>[11]</sup>利用国产高分系列影像通过构建水体指数和纹理特征提

收稿日期:2021-11-18

(王 燕 编辑)

资助项目:辽宁省海岸线修测项目——生态岸线识别与认定(008006019)

作者简介:李轶平(1981—), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事海洋生态遥感方面研究. E-mail: yiping463@sina.com

<sup>\*</sup>通信作者:赵东洋(1982—),男,高级工程师,硕士,主要从事海域海岛海岸带保护利用方面研究.E-mail: dongyang7@126.com

41 卷

取筏式养殖区与渔排网箱养殖区两种近海养殖区信息;任源鑫等<sup>[16]</sup>通过构建新型混合水体指数提取具有平原及山 地背景下的陕西宝鸡市复杂地域水体;等等。但目前的研究中均未提及针对海参围海养殖的遥感信息提取方法。

本文选取养殖水体分布复杂且堤坝、工厂化养殖等交错分布的海参围海养殖区域作为实验区,基于 Sentinel-2遥感影像,选用归一化差异水体指数(Normalized Difference Water Index, NDWI)<sup>[17]</sup>、改进归一化差异水 体指数(Modified Normalized Difference Water Index, MNDWI)<sup>[18]</sup>和增强水体指数(Enhanced Water Index, EWI)<sup>[19]</sup> 三种水体指数,测试其提取效果,并使用同期高空间分辨率的高分二号(GF-2)卫星影像作为参考,验证不同 方法的提取精度,最终通过提取结果掌握研究区域内围海养殖的分布情况。

1 研究区域

本文选取大连瓦房店红沿河附近海域(121°28′~128°32′E, 39°44′~39°47′N)为研究区域,该区域海参围 海养殖分布集中,数量众多,在遥感图像中易于识别,表现为多边形的规则排列(图1)。



# 2 数据来源和研究方法

# 2.1 数据来源

实验数据为 Sentinel-2 卫星拍摄的遥感影像数据<sup>[20]</sup>,该数据具有空间分辨率高、重复周期短和覆盖波长范围广等特点<sup>[21]</sup>,由欧洲"哥白尼计划"发射的第 2 颗携带多光谱成像仪卫星<sup>[22]</sup>观测获得,其搭载了具有 13 个波段的多光谱成像传感器,由可见光波段覆盖至短波红外波段,分辨率分为 3 类,分别为 10 m、20 m 和 60 m,具有 10 d 的高效重返周期。

精度验证数据为 GF-2 卫星影像数据。GF-2 卫星采用 ZY1000 卫星平台,光学成像系统由 2 台相机组合 而成,同时具有全色和多光谱成像能力,地面像元分辨率优于 1 m 全色和 4 m 多光谱,幅宽达到 45 km<sup>[23]</sup>。

选取云量较少、质量较好、成像时间为 2020 年 10 月的 Sentinel-2 和 GF-2 影像,影像区域范围约为 30 km<sup>2</sup>。 实验使用的 Sentinel-2、GF-2 遥感影像数据参数见表 1。

	Table 1      Parameters of the satellite remote sensing images					
卫星	波段数	分辨率/m	重返周期/d	扫描幅宽/km		
Sentinel-2	13	10, 20, 60	10	190		
GF-2	5	1/4	69	45		

表1 卫星遥感数据

影像的预处理为影像数据的纠正与重建过程,主要是改正遥感成像过程中由传感器外在原因(如姿态、高度、速度和大气干扰等因素)所致的遥感影像的几何畸变与信息误差<sup>[24]</sup>,该过程通常包括辐射定标、大气校正、图像融合和影像镶嵌裁剪等<sup>[22]</sup>。本实验选用的 Sentinel-2 数据是经过正射校正和几何校正的大气表观反射率产品(Level-1C, L1C),但没有进行辐射定标和大气校正,所以,本研究在提取围海养殖矢量信息之前,需要利用 SNAP 软件的 Sen2cor 插件对 L1C 数据进行辐射定标和大气校正,同时将全部波段重采样至 10 m,处理后形成大气底层反射率数据(Level-2A, L2A)<sup>[25]</sup>。

#### 2.2 研究方法

## 2.2.1 光谱特征分析

养殖水体对入射光具有强吸收性,在大部分遥感传感器的波长范围内,呈现较弱的反射率,并随波长的 增加而减弱<sup>[26]</sup>,即蓝绿光波段短(表 2),其反射率却高,所以其对入射光的吸收弱;而短波红外波段波段长 (表 2),其反射率反而较低,所以对入射光的吸收较强<sup>[27-28]</sup>。

Table 2  Characteristics of the Sentinel-2 bands									
波 段	波段号	波长/nm	空间分辨率/m	反射率	波 段	波段号	波长/nm	空间分辨率/m	反射率
蓝光	B2	490	10	0.063	近红外光	B8	842	10	0.016
绿光	В3	560	10	0.079	短波红外光1	B11	1 610	20	0.010
红光	B4	665	10	0.043	短波红外光 2	B12	2 190	20	0.011

表 2 Sentinel-2 波段特征

2.2.2 水体指数方法

水体指数方法是根据波段比值法<sup>[29]</sup>原理,利用反射波段与吸收波段的比值处理增强地物之间的波谱差异,以使湿度信息明显的地物获得最大的亮度增幅,同时抑制其他背景地物亮度<sup>[19]</sup>的方法。目前,常用的水体指数主要有 NDWI、MNDWI 和 EWI。本文分别采用这 3 种水体指数提取实验区的海参围海养殖水体信息。

1)归一化差异水体指数(NDWI)方法

基于植被指数(Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)的比值原理, McFeeters<sup>[17]</sup>在1996年提出了归一化差异水体指数(NDWI),该指数经波段比值运算,利用波段之间的反差增强了水体的显示亮度,从而突出影像中水体的显示效果,其计算公式为:

$$NDWI = (L_G - L_{NIR})/(L_G + L_{NIR}), \qquad (1)$$

式中:  $L_G 和 L_{NIR}$ 分别为绿光波段(对应于 Sentinel-2 影像的 B3 波段)和近红外波段(对应于 Sentinel-2 影像的 B8 波段)像元亮度值。

2)改进的归一化差异水体指数(MNDWI)方法

在分析 NDWI 的基础上, 徐涵秋<sup>[18]</sup> 针对城市水体改进了 NDWI 指数的波段组合方式, 使用短波红外波段

(SWIR)替换了近红外波段(NIR),提出了改进的归一化差异水体指数 MNDWI,用于抑制居民地和土壤信息, 其计算公式为:

$$MNDWI = (L_G - L_{SWIR})/(L_G + L_{SWIR}), \qquad (2)$$

式中,  $L_G$  和  $L_{SWIR}$  分别为绿光波段(对应 Sentinel-2 影像的 B3 波段)和短波红外波段(对应 Sentinel-2 影像的 B11 波段)像元亮度值。

3) 增强水体指数(EWI) 方法

针对半干旱地区的水体,闫霈等<sup>[19]</sup>在构造归一化指数的同时引入了近红外波段与短波红外波段,提出了 增强水体指数 EWI,其计算公式为:

$$EWI = (L_G - L_{NIR} - L_{SWIR})/(L_G + L_{NIR} + L_{SWIR}), \qquad (3)$$

式中,  $L_G$ 、 $L_{NIR}$ 和 $L_{SWIR}$ 分别为绿光波段(对应 Sentinel-2影像的 B3 波段)、近红外波段(对应 Sentinel-2影像的 B8 波段)和短波红外波段(对应 Sentinel-2影像的 B11 波段)像元亮度值。

4)确定阈值

利用3种水体指数法所获取的图像可以突出水体与其他地物之间的光谱差异,但是若要提取边界信息, 还需要使用阈值对图像进行分割。理论上,水体指数提取的分割阈值均为0,但在实际操作中仍需要根据具 体场景对阈值进行调整,以达到最优的分割效果<sup>[8,15]</sup>。

本文采用 Otsu 算法<sup>[30]</sup> 确定分割阈值<sup>[25]</sup>。Otsu 算法又称最大类间方差法,是由日本学者 Otsu Nobuyuki于 1979 年提出的一种确定图像二值化分割阈值的算法,其原理是:将图像的灰度直方图利用某一阈值分割为两部分,即两个类别,它们分别拥有最大的类间方差与最小的类内方差,这个阈值就是最优分割阈值<sup>[10-11]</sup>。

#### 2.2.3 评价方法

混淆矩阵方法<sup>[16]</sup> 是通过将每个地表真实像元与分类图像中的相应位置和分类进行比较计算,获得比较 阵列的像元数的方法。矩阵中,"列"通常表示验证数据,"行"通常表示由遥感数据分类得到的类别数据。本 文采用混淆矩阵方法获取总体精度、Kappa系数、错分误差和漏分误差等精度评价指标,进而评价分类图像 精度。总体精度能够反映分类正确的比例,Kappa系数能够检验分类结果和实际结果的一致性,错分误差和 漏分误差分别可以检验错分和漏分的像元数<sup>[31]</sup>。

# 3 结果与分析

#### 3.1 实验结果

对比原始影像(图 2a)与采用 3 种水体指数法运算获取的水体指数图像(图 2b 至图 2d)可知:与原始影像 相比,3 种水体指数图像中水体显示亮度都出现了增强。其中:利用 NDWI 所得图像增强效果最好,在该图像 上可以探测到更微细的信息(图 2b); MNDWI 和 EWI 未能完整体现出水体和背景地物的差别,因为这 2 个图 像中存在较多的干扰信息和阴影杂质(图 2b 和图 2c)。

采用 Otsu 算法最终确定了 NDWI、MNDWI 和 EWI 三种水体指数的分割阈值,其分别为 0、-0.1 和-0.4。 根据阈值对水体指数图像进行分割,结果如图 3 所示。由图 3 可以看出:利用 3 种水体指数方法均能有效提 取围海养殖矢量信息,其中 NDWI 所提取的图斑完整、形状规则,与围海养殖水体匹配度高(图 3a);而 MNDWI 和 EWI 提取出的图斑相对零散,噪声杂质较多,与围海养殖水体匹配度较低(图 3b 和图 3c)。采用 NDWI 方法可以去除围海养殖周边堤坝及工厂化养殖等建筑物所导致的阴影杂质,排除干扰信息;采用 MNDWI 和 EWI 方法虽然可以有效提取出储水量较低的围海养殖信息,但同时也提取出了部分建筑物和植被等无效 信息。



3.2 精度评价

为定量分析利用3种水体指数方法所获取的围海养殖矢量信息的有效性和可靠性,本文依据遥感影像对 围海养殖矢量信息进行精度评价:首先对校验影像GF-2进行辐射定标和大气校正,并与Sentinel-2数据进行 几何配准;然后基于GF-2,采用目视解译结合野外验证的方式获取实验区的围海养殖分类图斑,如图4所 示,该图经实地验证为实验区围海养殖分布的真实反映;最后,结合图4利用混淆矩阵的方法对分割结果进 行精度评价<sup>[28]</sup>。

在区域范围内随机选取100个验证点,如图5所示。根据分类结果构建混淆矩阵,对3种方法做出精度 评价,得出验证点分类精度,如表3所示。



图 4 GF-2 目视解译围海养殖分类图斑





图 5 GF-2影像及验证点 Fig. 5 GF-2 image and verifed points

Table 3 Precision indices of the extracted results

精度指标	NDWI	MNDWI	EWI	精度指标	NDWI	MNDWI	EWI
总体分类精度	0.77	0.60	0.74	错分误差	27.45%	54.90%	35.29%
Kappa 系数	0.540 7	0.204 8	0.481 8	漏分误差	19.57%	34.29%	19.51%

由表 3 可知,利用 NDWI 方法比利用 MNDWI 和 EWI 两种方法得到的总体分类精度高,说明 NDWI 分类 准确率更高,对阴影信息的区分度更好;利用 NDWI 方法获得的 Kappa 系数最高,为 0.540 7,说明其分类结果 和实际结果的一致性最好;利用 MNDWI 和 EWI 方法获得的错分误差和漏分误差偏高,且利用这 2 种方法提 取的图像不仅在阴影信息上存在着许多错分现象,还在对非水体信息的提取中存在着错分和漏分。所以,相 较于 MNDWI 和 EWI,利用 NDWI 方法提取研究区域的围海养殖信息的精度最高,有更好的适用性。

# 4 结 论

本文基于 Sentinel-2 卫星影像,利用其空间分辨率的优势提取围海养殖信息,实现了研究区围海养殖水体 信息提取。采用 NDWI、MNDWI和 EWI 三种水体指数分别提取出实验区的围海养殖区域的水体指数图像, 再运用 Otsu 算法阈值分割水体指数图像,最终获得围海养殖的矢量数据。主要结论如下:

1)在对实验区的围海养殖的影像信息提取方面,NDWI方法比MNDWI和EWI方法有更高的精度和更好的适用性,且能够有效、完整地获得围海养殖矢量信息;MNDWI和EWI存在一定程度的误提和漏提现象。

2)基于 Sentinel-2 影像 B3 和 B8 波段所构建的 NDWI 在有效提取水体矢量信息的基础上可以过滤阴影信息,故此方法对养殖池塘分布密集、与工厂化养殖等交错分布的海参围海养殖区域有更好的适用性。

3)MNDWI和EWI两种指数的结合虽然能够过滤大量无效信息,但其精度偏低,究其原因,是在提取水体 矢量信息的过程中存在少量错分现象,从而造成最终结果中部分信息缺失。

4) Sentinel-2 传感器中绿光波段和短波红外波段的空间分辨率不一致(B3 和 B8 均为 10 m, B11 为 20 m), 导致 MNDWI 和 EWI 在提取结果中出现类似混合像元的问题,降低了提取精度。

5)EWI 较 NDWI 在近红外波段基础上引入了短波红外波段,可以起到增强水体信息、抑制背景信息效果, 但相比于混合像元的影响,增强水体信息的效果并未显现,其提取精度介于 NDWI 和 MNDWI 之间。

本文采用水体指数法能够在较复杂地物背景下获取围海养殖矢量信息,但该方法存在不能很好地解决" 异物同谱"、在分类结果中会产生"椒盐"噪声等不足<sup>[1,7]</sup>,在提取过程中也未考虑生物生长情况和围海养殖利 用情况对提取的影响,会导致部分区域出现错分现象,这些问题将在后续研究中结合多时相遥感数据对围海 养殖区域变化进行更深入的探讨。

### 参考文献 (References):

- [1] 马艳娟,赵冬玲,王瑞梅,等.基于ASTER数据的近海水产养殖区提取方法[J].农业工程学报,2010,26(增刊2):120-124. MA Y J, ZHAO D L, WANG R M, et al. Offshore aquatic farming areas extraction method based on ASTER data[J]. Transactions of the CSAE, 2010, 26(Suppl.2): 120-124.
- [2] 农业农村部渔业渔政管理局. 2019年全国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社, 2019: 3-56. Bureau of Fisheries and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. 2019 national fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2019: 3-56.
- [3] 农业农村部渔业渔政管理局. 2020年全国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社, 2020: 3-58. Bureau of Fisheries and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. 2020 national fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2020: 3-58.
- [4] 农业农村部渔业渔政管理局. 2021年全国渔业统计年鉴[M]. 北京:中国农业出版社, 2021: 3-56. Bureau of Fisheries and Fishery Administration, Ministry of Agriculture and Rural Affairs. 2021 national fishery statistical yearbook[M]. Beijing: China Agricultural Press, 2021: 3-56.

- [5] 张灿,孟庆辉,初佳兰,等.我国海水养殖状况及渤海养殖治理成效分析[J].海洋环境科学,2021,10(6):887-894. ZHANG C, MENG Q H, CHU J L, et al. Analysis on the status of mariculture in China and the effectiveness of mariculture management in the Bohai Sea[J]. Marine Environmental Science, 2021, 10(6): 887-894.
- [6] 王大海. 海水养殖业发展规模经济及规模效率研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014. WANG D H. A study on the problems and countermeasures of scale economy of marine aquaculture in China[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014.
- [7] 程田飞,周为峰,樊伟.水产养殖区域的遥感识别方法进展[J].国土资源遥感,2012,24(3):1-5. CHENG T F, ZHOU W F, FAN W. Progress in the methods for extracting aquaculture areas from remote sensing data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2012, 24(3):1-5.
- [8] 武易天,陈甫,马勇,等.基于LandSat 8数据的近海养殖区自动提取方法研究[J].国土资源遥感,2018,30(3):96-105.WUYT, CHENF, MAY, et al. Research on automatic extraction method for coastal aquaculture area using LandSat 8 data[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2018, 30(3):96-105.
- [9] 王学哲, 闫吉顺, 王鹏, 等. 辽宁省围海养殖的用海效益和退出机制[J]. 海洋开发与管理, 2019, 36(4): 17-19. WANG X Z, YAN J S, WANG P, et al. The benefit and withdrawal mechanism for sea reclamation aquaculture in Liaoning Province[J]. Ocean Development and Management, 2019, 36(4): 17-19.
- [10] 卢业伟,李强子,杜鑫,等.基于高分辨率影像的近海养殖区的一种自动提取方法[J].遥感技术与应用,2015,30(3):486-494.LUYW, LIQZ, DUX, et al. A method of coastal aquaculture area automatic extraction with high spatial resolution images[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2015, 30(3): 486-494.
- [11] 程博,刘岳明,刘旭楠,等.基于多源特征融合的高分辨率遥感图像近海养殖区提取方法研究[J].遥感技术与应用,2018,33(2):296-304. CHENG B, LIU Y M, LIU X N, et al. Research on extraction method of coastal aquaculture areas on high resolution remote sensing image based on multi-features fusion[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2018, 33(2): 296-304.
- [12] 宋国大,黄文骞,张梅彩,等.海洋TM卫星影像噪声探测与去除方法研究[J].海洋测绘,2013,33(2):42-44. SONG G D, HUANG W Q, ZHANG M C, et al. Methods for detecting and removing noise of ocean multi-spectral images[J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2013, 33(2):42-44.
- [13] 徐珊,夏立华,彭海波,等.基于面向对象的海水养殖模式遥感提取研究[J]. 测绘与空间地理信息,2018,41(5):110-112.XUS,XIALH, PENG H B, et al. Remote sensing extraction of mariculture models based on object-oriented[J]. Geomatics and Spatial Information Technology, 2018, 41(5):110-112.
- [14] 李健锋,叶虎平,张宗科,等.面向Sentinel-2影像的LBV和K-T变换水体信息提取模型[J].遥感信息,2020,35(5):148-154.LIJF,YEH
  P, ZHANG Z K, et al. Water body extraction from Sentinel-2 image based on LBV and K-T transformation[J]. Remote Sensing Information, 2020, 35(5):148-154.
- [15] 王大钊,王思梦,黄昌. Sentinel-2和LandSat 8影像的四种常用水体指数地表水体提取对比[J]. 国土资源遥感,2019,31(3):157-165. WANG D Z, WANG S M, HUANG C. Comparison of Sentinel-2 imagery with Landsat 8 imagery for surface water extraction using four common water indexes[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2019, 31(3):157-165.
- [16] 任源鑫,林青,李明洁,等.基于哨兵2号的复杂地域水体提取研究[J].地理空间信息,2020,18(12):5-9. REN Y X, LIN Q, LI M J, et al. Research on water body extraction of complex area based on Sentinel-2[J]. Geospatial Information, 2020, 18(12):5-9.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 闫霈,张友静,张元.利用增强型水体指数 (EWI)和GIS去嗓音技术提取半干旱地区水系信息的研究[J]. 遥感信息,2007(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(6): 62-67.
- [20] DRUSCH M, BELLO U D, CARLIER S, et al. Sentinel-2 optical high resolution mission for GMES land operational services[J]. Remote Sensing of Environment, 2012, 120: 25-36.
- [21] GUZINSKI R, NIETO H. Evaluating the feasibility of using Sentinel-2 and Sentinel-3 satellites for high-resolution evapotranspiration estimations[J]. Remote Sensing of Environment, 2019, 221: 157-172.
- [22] 苏伟,张明政,蒋坤萍,等. Sentinel-2卫星影像的大气校正方法[J]. 光学学报, 2018, 38(1): 314-323. SU W, ZHANG M Z, JIANG K P, et al. Atmospheric correction method for Sentinel-2 satellite imagery[J]. Acta Optica Sinica, 2018, 38(1): 314-323.
- [23] 潘腾.高分二号卫星的技术特点[J].中国航天, 2015(1): 3-9. PAN T. Technical characteristics of GF-2 satellite[J]. Aerospace China, 2015(1): 3-9.
- [24] 王晨巍, 王晓君. 高分遥感卫星影像的预处理技术[J]. 电子技术与软件工程, 2016(24): 122-123. WANG C W, WANG X J. Preprocessing technology of high resolution remote sensing satellite image[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2016(24): 122-123.

- [25] 赵金龙,韩颖娟,李阳,等. Sentinel-2 MSI卫星数据在水体信息提取中的应用[J]. 测绘与空间地理信息,2021,44(1):43-46. ZHAO J L, HAN Y J, LI Y, et al. Application of Sentinel-2 MSI satellite data in water body information extraction[J]. Geomatics and Spatial Information Technology, 2021, 44(1):43-46.
- [26] 朱程. 基于中等分辨率遥感图像的海岸带养殖池提取算法[D]. 大连: 大连海事大学, 2020. ZHU C. Extraction algorithms of aquaculture ponds in coastal zones based on moderate resolution remote sensing imagery[D]. Dalian: Dalian Maritime University, 2020.
- [27] 谢玉林, 汪闽, 张新月. 面向对象的海岸带养殖水域提取[J]. 遥感技术与应用, 2009, 24(1): 68-72. XIE Y L, WANG M, ZHANG X Y. An object-oriented approach for extracting farm waters within coastal belts[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2009, 24(1): 68-72.
- [28] 李缨, 张翠芬, 帅爽, 等. 威海市近海水产养殖信息提取方法研究[J]. 湿地科学, 2017, 15(5): 651-656. LIY, ZHANG CF, SHUAIS, et al. Information extraction method of aquaculture in the area of inshore coastal waters, Weihai City[J]. Wetland Science, 2017, 15(5): 651-656.
- [29] 邱志成. 多波段图象比值法的理论分析[J]. 测绘学报, 1985, 14(3): 180-187. QIU Z C. Theoretical analysis of ratios for multi-band images[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1985, 14(3): 180-187.
- [30] OTSUN. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 2007, 9(1): 62-66.
- [31] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社, 2003. ZHAO Y S. Principles and methods of remote sensing application analysis[M]. Beijing: Science Press, 2003.

# Information Extraction of Sea-Enclosed Aquaculture Based on Sentinel-2 Remote Sensing Images

LI Yi-ping<sup>1,2</sup>, WU Ying-chao<sup>1,2</sup>, YOU Guang-ran<sup>1,2</sup>, KONG Zhong-ren<sup>1,2</sup>,

XI Xiao-hui<sup>1,2</sup>, LEI Li-yuan<sup>1,2</sup>, ZHAO Dong-yang<sup>1,2</sup>

(1. Liaoning Ocean and Fisheries Science Research Institute, Dalian 116023, China;

2. Dalian Key Laboratory for the Development and Protection of Sea Island, Dalian 116023, China)

**Abstract:** In order to use remote sensing images to extract quickly and accurately the vector information of sea-enclosed aquaculture, some scattered enclosed sea cucumber aquaculture areas such as aquaculture water bodies, dams and nursery rooms are selected as the study area. According to the spectral characteristics of Sentinel-2 remote sensing images in the study area, three kinds of water body indices, including Normalized Difference Water Index (NDWI), Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) and Enhanced Water Index (EWI), are selected and used to carry out the information extraction experiments respectively. The extraction accuracy of each method is then verified by using the high spatial resolution GF-2 satellite image in the same period as the reference. The results of accuracy evaluation show that comparing with MNDWI and EWI, the classification accuracy is higher and the information extraction effect can be better by using NDWI, indicating that the water body index method can play a data-supporting role in the dynamic monitoring and planning management of aquaculture areas.

**Key words**: remote sensing images; sea-enclosed aquaculture; Sentinel-2; water body index method **Received**: November 18, 2021