

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2022.05.001

# 基于多源遥感数据的淇澳岛红树林范围提取研究

孙玉超<sup>1,2</sup>, 董迪<sup>1,2</sup>, 温玉波<sup>2,3</sup>, 艾彬<sup>4</sup>

(1. 国家海洋局南海规划与环境研究院, 广东 广州 510300; 2. 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室, 广东 广州 510300; 3. 国家海洋局南海信息中心, 广东 广州 510300; 4. 中山大学海洋科学学院, 广东 珠海 519082)

**摘要:** 本文使用 Landsat-8 影像、Sentinel-2 影像、高分 6 号影像和 ASTER GDEM 数据等多源遥感数据, 采用随机森林监督分类方法提取珠海淇澳岛红树林分布范围, 对比不同影像数据提取红树林的精度及适用性。实验结果表明: 使用三类遥感影像分别进行红树林范围提取, Sentinel-2 影像提取红树林范围总体精度最高; 在三类遥感影像中分别增加 DEM 数据、波段指数和纹理信息后, 红树林范围提取精度可进一步提升; 增加 DEM 数据后, 精度提升最明显, 高分 6 号影像增加纹理信息后, 精度也有较大提升。通过对比可知, Sentinel-2 影像拥有较多的光谱波段及适中的空间分辨率, 是最合适的红树林范围提取数据源, 而 ASTER GDEM 数据便于区分红树林和陆生植被, 是比较好的辅助数据。通过对多源遥感影像及辅助数据提取红树林范围进行对比分析, 为红树林遥感提取数据源选取及红树林提取精度提升提供了参考和借鉴。

**关键词:** 红树林; 遥感提取; Landsat-8; Sentinel-2; 高分 6 号

**中图分类号:** P237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-2029 (2022) 05-0001-08

红树林是生长于热带、亚热带海岸潮间带, 受到海水周期性浸没的木本植物群落, 是海岸重要的湿地生态系统, 在净化沿海水质、维护生态平衡和生物多样性等方面发挥着重要作用<sup>[1]</sup>。淇澳岛位于珠海市东北, 珠江口西岸, 面积约 24 km<sup>2</sup>, 岛上属亚热带季风气候, 雨热充足<sup>[2]</sup>。该区域红树林属于“珠海淇澳—担杆岛省级自然保护区”保护范围, 保护区总面积 51 km<sup>2</sup>, 红树林面积约 7 km<sup>2</sup>。根据已有调查结果<sup>[3]</sup>, 淇澳岛红树林群落外貌波状起伏, 结构简单, 大多为高大乔木状林, 少数为小乔木或灌木状林, 主要包括无瓣海桑、秋茄、卤蕨、老鼠簕、海桑、桐花树、银叶树、水黄皮、海芒果和海

漆+杨叶肖槿 10 个群落类型。其中, 无瓣海桑群落、秋茄群落、卤蕨群落和老鼠簕群落等为主要群落, 占红树林总面积的 95% 以上。无瓣海桑群落呈浅绿色, 植株高大, 林相相对整齐; 秋茄群落为本地种群落, 枝繁茂密长势良好, 树冠连续; 卤蕨群落呈密灌丛状, 呈现出墨绿色; 老鼠簕群落为连续灌木丛, 呈现出黄绿色。淇澳岛红树林生长区域附近植被以高大乔木为主, 且生长位置地势较高, 与红树林群落有明显的高差起伏。

红树林范围提取和种群分类是红树林研究的两个基本问题, 近年来, 主要采用遥感手段开展红树林范围监测和种群分类<sup>[3]</sup>。目前, 国内外对红树林

**收稿日期:** 2022-05-30

**基金项目:** 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室自主设立课题 (MESTA-2020-C004); 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室开放课题 (MESTA-2021-A005)

**作者简介:** 孙玉超 (1987—), 男, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事摄影测量与遥感、GIS 开发及红树林遥感提取等研究。E-mail: 503598481@qq.com

**通讯作者:** 艾彬 (1979—), 女, 博士, 副教授, 主要从事海岸带环境遥感及规划应用研究。E-mail: abin@mail.sysu.edu.cn

范围提取主要是利用遥感影像的植被指数、光谱和纹理特征等分类属性,结合红树林野外调查和相关先验知识,采用监督分类或面向对象的分类方法提取红树林空间分布或进行动态变化监测研究<sup>[4]</sup>。贾明明<sup>[5]</sup>基于 Landsat 影像采用面向对象和决策树分类方法,提取了 1973—2013 年中国红树林面积和分布;董迪等<sup>[6]</sup>提出了一种联合 Sentinel-1 和 Sentinel-2 影像的红树林和互花米草的遥感监测方法,并提取了 2016—2018 年漳江口红树林和互花米草范围;张威<sup>[7]</sup>基于 Landsat 影像,采用目视解译、监督分类、面向对象分类和决策树分类等方法,对广西北部湾 1978—2014 年的红树林进行了遥感监测。

上述研究主要采用 Landsat 和 Sentinel-2 等遥感影像对红树林范围进行遥感监测,采用的分类方法包括监督分类、面向对象分类和决策树分类等。不同的遥感数据源和红树林分类方法虽然可以满足相应的研究要求,但没有文章综合对比不同的遥感影像在红树林范围提取中的适用性,以及如何使用辅助数据有效提升红树林范围提取的精度。本文以珠海淇澳岛为例,重点探讨 Landsat-8、Sentinel-2 和高分 6 号等遥感影像在红树林范围提取中的效果,并对上述影像分别增加数字高程模型 (Digital Elevation Model, DEM) 数据、波段指数和纹理信息后的精度提升,从而有效指导使用何种遥感影像及辅助数据可以更好地应用于大区域的红树林范围提取。

## 1 数据获取及预处理

### 1.1 Landsat-8 数据获取及预处理

Landsat-8 由美国航空航天局 (National Aeronautics and Space Administration, NASA) 与美国地质调查局 (United States Geological Survey, USGS) 合作开发,于 2013 年 2 月 11 日在加利福尼亚范登堡空军基地发射成功。Landsat-8 上携带了陆地成像仪 (Operational Land Imager, OLI) 和热红外传感器 (Thermal Infrared Sensor, TIRS)。

Landsat-8 影像可以从 USGS 网站上免费下载。本文下载的影像为 1 景 2019 年 9 月 27 日获取的 L2SP 产品,该数据包含陆地成像仪 OLI 的 8 个多光谱波段 (分辨率为 30 m) 和 1 个全色波段 (分辨率为 15 m),并经过地形校正、几何校正、辐射

校正和大气校正等预处理,本文选取第 1~7 个光谱波段用于监督分类 (第 8 波段为全色波段,第 9 波段为卷云波段)。在 ENVI 5.3 软件中对上述光谱波段进行波段合并后,得到研究区域分辨率为 30 m、包含 7 个光谱波段的 Landsat-8 影像反射率数据。

### 1.2 ASTER GDEM 数据获取

ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model) 数据由 NASA 和日本经济产业省 (Ministry of Economy Trade and Industry, METI) 联合研制并免费面向公众分发,分别于 2009 年 6 月 28 日、2011 年 1 月和 2019 年 8 月 5 日发布了 V1、V2 和 V3 版本。ASTER GDEM 数据同样可以从 USGS 网站上下载,本文获取的 ASTER GDEM 数据为 V3 版本,水平分辨率为 30 m,垂直分辨率为 1 m。ASTER GDEM 数据获取后,可直接在 ENVI 5.3 软件中与 Landsat-8 影像数据进行波段合并。

### 1.3 Sentinel-2 数据获取及预处理

Sentinel-2 卫星是欧洲哥白尼 (Copernicus) 计划发射的系列卫星之一, Sentinel-2 卫星搭载多光谱传感器,主要应用于水资源监测、土地覆被变化监测和灾害应急监测等领域<sup>[8]</sup>。Sentinel-2 影像也可以从 USGS 网站上免费下载。本文下载的影像为 1 景 2019 年 9 月 7 日获取的 L1C 产品,该数据共包含 13 个光谱波段,分辨率分别为 10 m (Band2、Band3、Band4 和 Band8)、20 m (Band5、Band6、Band7、Band8A、Band11 和 Band12) 和 60 m (Band1、Band9 和 Band10),并经过地形校正和几何校正等预处理。

利用欧洲航天局开发的 SNAP 软件对上述数据进行辐射校正和大气校正。在 SNAP 软件中采用 Sen2cor 插件进行处理,得到经过辐射校正和大气校正后的 L2A 数据,该数据共包含 12 个波段数据 (Band10 为卷云图层,未做处理)。将各波段采用最近邻法按 10 m 分辨率重采样后,在 ENVI 软件中进行波段合并,得到分辨率 10 m 包含 12 个光谱波段的 Sentinel-2 反射率数据。

在 ENVI 5.3 软件中,对上述影像进行波段指数 (Band Index, BI) 计算,包括归一化植被指数<sup>[9]</sup> (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI)、归一化水体指数<sup>[10]</sup> (Normalized Difference Water Index,

NDWI) 和红树林指数<sup>[11]</sup>(Mangrove Vegetation Index, MVI), 用于后续监督分类。

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

$$NDWI = (GREEN - NIR) / (GREEN + NIR) \quad (2)$$

$$MVI = (NIR - GREEN) / (SWIR1 - GREEN) \quad (3)$$

式中, NIR 表示近红外波段; RED 表示红色波段; GREEN 表示绿色波段; SWIR1 表示短波红外波段 (Sentinel-2 影像中的第 11 个波段)。

归一化植被指数是反映绿色活植被相对丰度和活性的辐射量化值, 常被用于表征研究区域的植被生理状况、绿色生物量及植被生产力等, 能较好地反映植被的分布范围及生长状况; 归一化水体指数通过用特定的遥感影像波段进行归一化差值处理, 可以凸显影像中的水体信息, 较好地地区分水体与其他地物; 红树林指数基于 Sentinel-2 影像计算, 可以快速且准确地进行红树林范围提取。

### 1.4 高分 6 号数据获取及预处理

高分 6 号是我国于 2018 年 6 月 2 日发射的首

颗精准农业观测的高分卫星, 具有高分辨率、宽覆盖、高质量和高效成像等特点, 能有力支撑农业资源监测、林业资源调查、防灾减灾救灾等工作<sup>[12]</sup>。本文获取的高分 6 号影像为 2019 年 9 月 30 日获取的 L1A 级产品, 该数据包含 4 个分辨率为 8 m 的多光谱波段和 1 个分辨率为 2 m 的全色波段, 该数据已经过初步几何校正等预处理。

在 ENVI 5.3 软件中对高分 6 号多光谱影像进行辐射定标后, 采用 FLAASH 方法进行大气校正, 再使用影像自带的 RPC 参数进行正射校正, 得到研究区域分辨率为 8 m、包含 4 个光谱波段的高分 6 号反射率数据。

### 1.5 多源遥感数据统一处理

将上述多源遥感数据统一坐标系 (WGS1984) 和投影 (UTM 投影 6 度分带 49 投影带) 后, 利用现场测量控制点采用多项式拟合进行几何精校正, 并使用相同的矢量范围对处理后的影像进行裁剪 (图 1)。

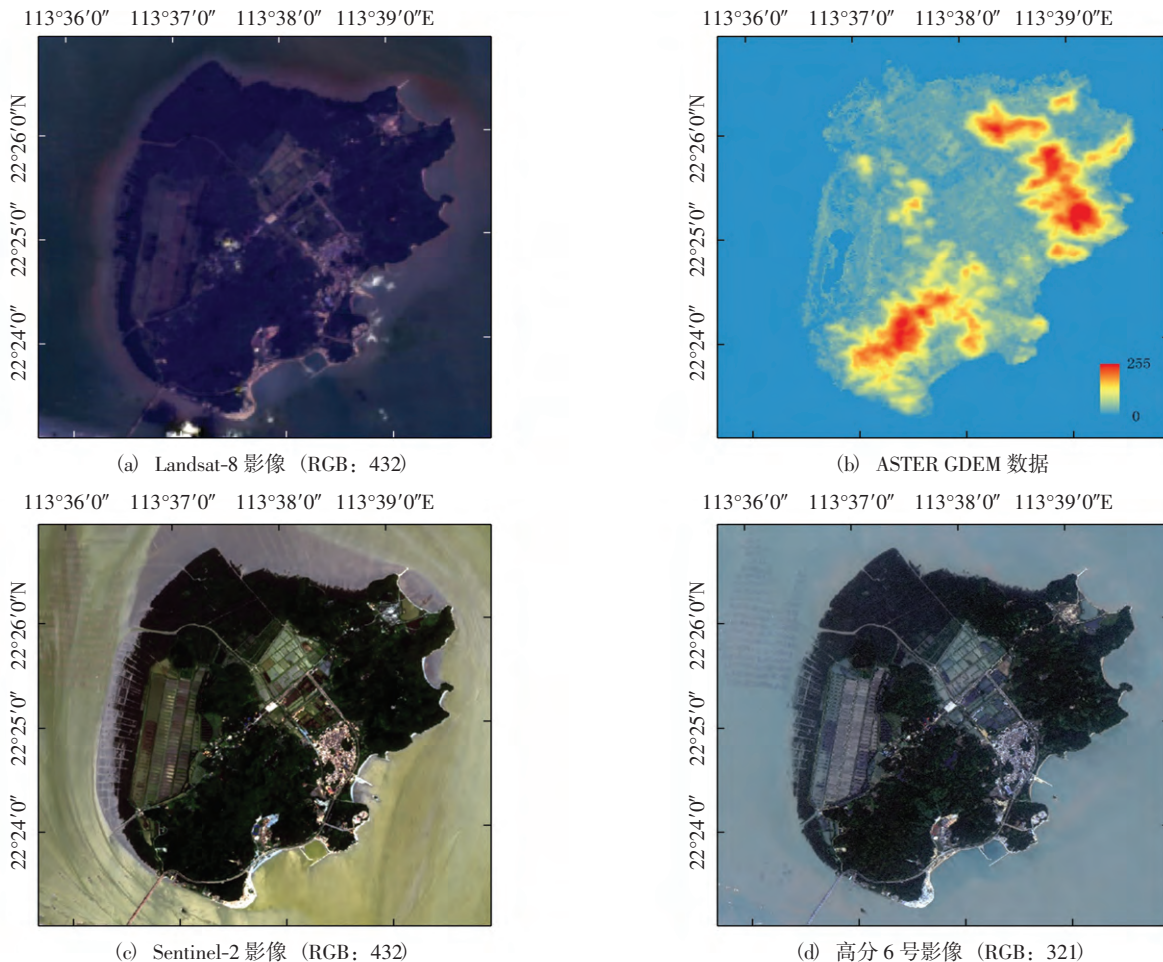


图 1 预处理后的多源遥感数据

## 2 基于多源影像的红树林范围提取

随机森林 (Random Forest, RF) 算法由 Leo Breiman 提出, 是一种由多棵 CART 决策树构成的新型机器学习算法<sup>[13]</sup>。随机森林算法具有较强的抗噪能力, 分类性能显著, 主要用于解决回归与分类的问题, 并在植被分类中应用比较广泛<sup>[14-15]</sup>, 本文统一采用该分类方法对已处理的多源遥感数据进行红树林范围提取。

### 2.1 监督分类样本数据选取

红树林范围提取难点在于与周边陆生植被的准

确区分, 为方便提取结果的对比分析, 将研究区域地物分成红树林 (Mangroves)、陆生植被 (Trees)、水体 (Water), 以及裸地和建筑 (Buildings) 四种类型。红树林以外, 生长在陆域的植被均归到陆生植被一类; 海水、陆域河流、湖泊和水塘等均归到水体一类; 滩涂、裸地、道路、房屋和人工建筑等均归到裸地和建筑一类。

采用目视解译与现场调查相结合的技术手段, 在高分 6 号融合影像上 (分辨率为 2 m, 4 个波段) 选取用于监督分类和精度验证的样本数据。样本选取采用框选, 训练样本和验证样本比例约 2:1 (图 2)。

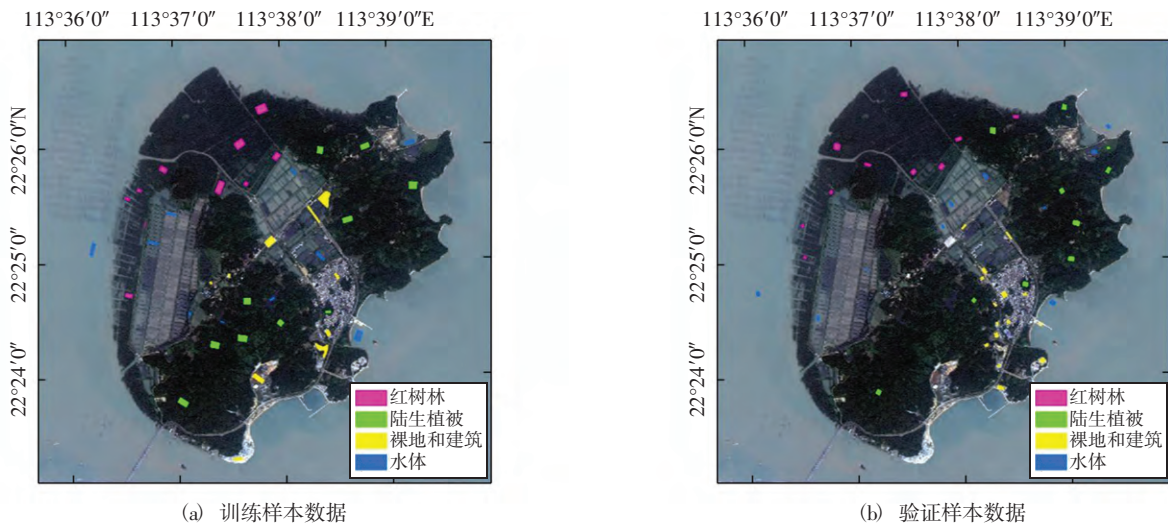


图 2 基于高分 6 号融合影像进行样本数据选取

### 2.2 基于 Landsat-8 影像和 ASTER GDEM 数据的红树林范围提取

在 ENVI 5.3 软件中使用随机森林监督分类方法对预处理的 Landsat-8 影像 (分辨率为 30 m, 7 个波段) 进行监督分类, 分类结果见图 3。使用随机森林分类时, Number of Trees 参数设置为 100; Number of Features 参数选择 Square Root; Impurity Function 参数选择 Gini Coefficient; Min Node Samples 参数设置为 1; Min Impurity 参数设置为 0。

将 Landsat-8 影像与 ASTER GDEM 数据进行波段合并, 得到新的影像数据 (分辨率为 30 m, 8 个波段), 采用上述分类方法和参数设置对该数据进行监督分类, 分类结果见图 4。

### 2.3 基于 Sentinel-2 影像的红树林范围提取

在 ENVI 5.3 软件中使用随机森林监督分类工具

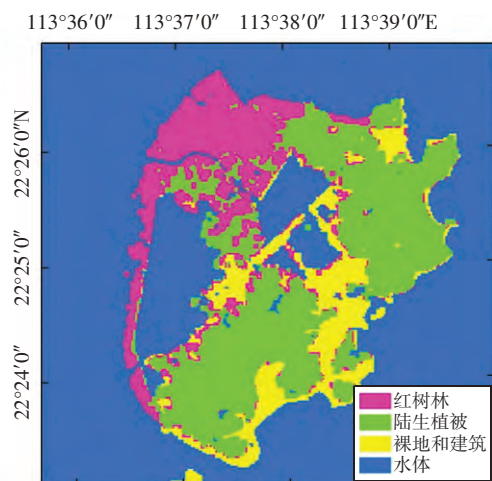


图 3 Landsat-8 影像监督分类结果

对预处理的 Sentinel-2 影像 (分辨率为 10 m, 12 个波段) 进行监督分类, 参数设置参考 2.2 节, 分类结果见图 5。

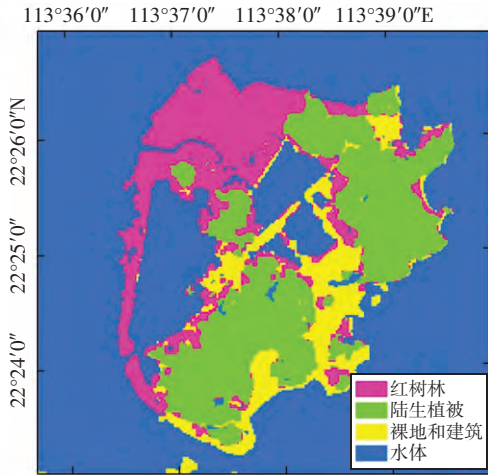


图 4 Landsat-8 影像和 ASTER GDEM 数据监督分类结果

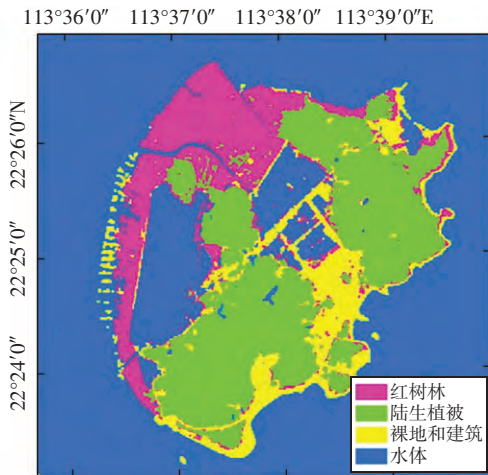


图 5 Sentinel-2 影像监督分类结果

将 Sentinel-2 影像与 *NDVI*、*NDWI* 和 *MVI* 波段指数进行波段合并, 得到新的影像数据 (分辨率为 10 m, 15 个波段), 采用 2.2 节的分类方法和参数设置对该数据进行监督分类, 分类结果见图 6。

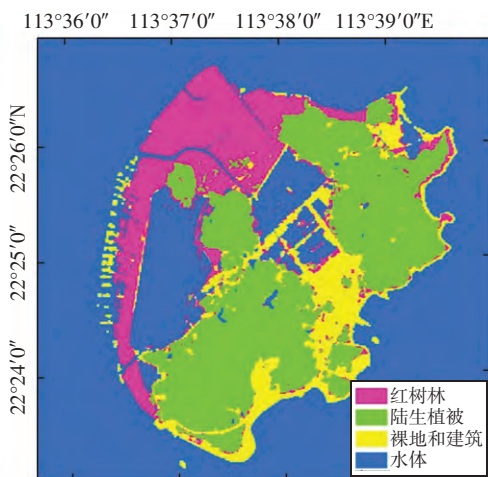


图 6 Sentinel-2 影像+波段指数监督分类结果

### 2.4 基于高分 6 号影像的红树林范围提取

在 ENVI 5.3 软件中使用随机森林监督分类工具对预处理的高分 6 号影像 (分辨率为 8 m, 4 个波段) 进行监督分类, 参数设置参考 2.2 节, 分类结果见图 7。

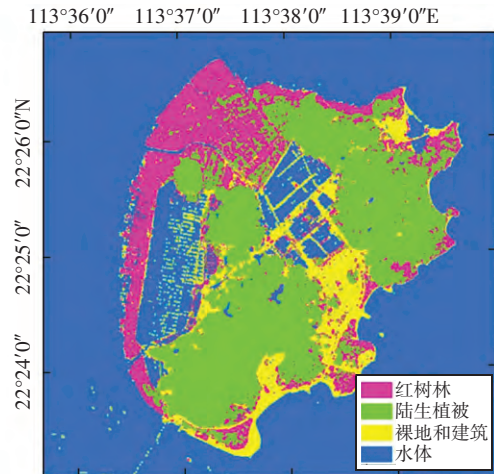


图 7 高分 6 号影像监督分类结果

高分 6 号影像分辨率高且光谱波段数少, 这些特征都不利于红树林等植被信息提取, 需要提取纹理信息辅助红树林范围提取<sup>[6]</sup>。影像纹理信息通常计算灰度矩阵 (Gray Level Co-occurrence Matrix, GLCM) 来提取, 灰度共生矩阵是像素距离和角度的矩阵函数, 它通过计算遥感影像中一定距离和一定方向的两点灰度之间的相关性, 来反映影像在方向、间隔、变化幅度及快慢上的综合信息。在 ENVI 5.3 软件中, 将高分 6 号影像全色波段采用最近邻法重采样到 8 m 分辨率后, 采用“二阶概率统计的滤波 (Co-occurrence Measures)”工具计算灰度共生矩阵, 参数设置如下: 同时勾选 Mean、Variance、Homogeneity、Contrast、Dissimilarity、Entropy、Second Moment 和 Correlation 8 个参数; Co-occurrence Shift 参数 *X* 和 *Y* 均设置为 1; Grayscale Quantization Levels 参数设置为 64; Processing Window (处理窗口) 设置为 15×15 (经对比, 使用该设置得到的分类精度最高), 计算的纹理数据共包含 8 个波段。

将高分 6 号影像与纹理数据进行波段合并, 得到新的影像数据 (分辨率为 8 m, 12 个波段), 采用 2.2 节的分类方法和参数设置对该数据进行监督分类, 分类结果见图 8。

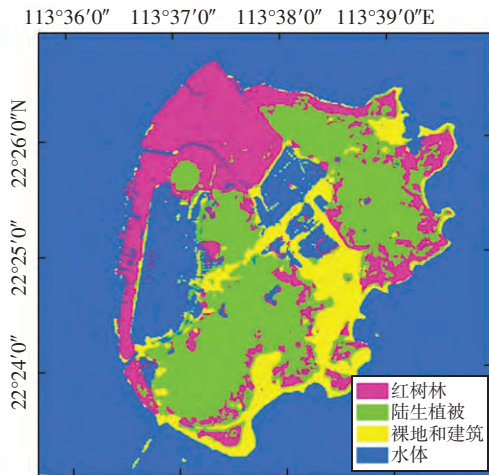


图8 高分6号影像+纹理信息监督分类结果

### 3 红树林范围提取结果对比分析

本研究采用混淆矩阵对分类结果进行评价。混淆矩阵评价指标包括总体精度、Kappa系数、生产者精度和用户精度等，总体精度表示被正确分类的样本数占总样本数的比例；Kappa系数反映分类结果与参考数据的一致性；生产者精度表示被正确分类的样本数占参考样本总数的比例；用户精度表示被正确分类的样本数占待评价样本总数的比例。上述多源遥感数据采用随机森林分类结果见表1。

表1 多源遥感影像红树林提取结果

| 输入数据                 | 总体精度/% | Kappa系数 | 红树林生产者精度/% | 红树林用户精度/% |
|----------------------|--------|---------|------------|-----------|
| Landsat-8            | 91.81  | 0.889 9 | 74.34      | 97.67     |
| Landsat-8+ASTER GDEM | 95.32  | 0.937 4 | 94.92      | 94.12     |
| Sentinel-2           | 94.50  | 0.926 2 | 89.06      | 90.90     |
| Sentinel-2+波段指数      | 95.80  | 0.943 7 | 93.81      | 91.57     |
| 高分6号                 | 86.60  | 0.820 4 | 74.58      | 60.61     |
| 高分6号+纹理信息            | 89.56  | 0.860 0 | 83.42      | 73.98     |

#### 3.1 Landsat-8 影像和 ASTER GDEM 数据红树林提取结果分析

由 Landsat-8 影像监督分类结果（表2）可知，由于红树林与陆生植被光谱信息差异较小，Landsat-8 影像中陆生植被容易错分成红树林，红树林生产者精度仅为 74.34%。加入 ASTER GDEM 数据后，红树林的生产者精度提升了 20.58%，总体精度也提升了 3.51%（表3），主要原因是红树林生长的潮间带高程较低，而陆生植被生长区域高程普遍较高，加入 ASTER GDEM 数据后能够较好地区分红树林和陆生植被。

#### 3.2 Sentinel-2 影像红树林范围提取结果分析

由于 Sentinel-2 影像拥有更多的光谱波段，在区分红树林和陆生植被上比 Landsat-8 影像更有优势（表4），红树林和陆生植被分类精度均在 90% 左右。通过计算 Sentinel-2 影像 *NDVI*、*NDWI* 和 *MVI* 等波段指数，并加入 Sentinel-2 影像后分类，红树林的生产者精度提升了 4.75%，总体精度提升了 1.3%（表5）。

#### 3.3 高分6号影像红树林提取结果分析

相比于 Landsat-8 和 Sentinel-2 影像，高分6号影像拥有更少的光谱波段和更高的空间分辨率，红

表2 Landsat-8 影像分类精度

| 类别    | 水体/%  | 红树林/% | 陆生植被/% | 裸地与建筑/% | 生产者精度/% | 用户精度/% |
|-------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|
| 水体    | 96.81 | 4.42  | 0      | 4.35    | 96.81   | 89.22  |
| 红树林   | 1.06  | 74.34 | 0.76   | 0       | 74.34   | 97.67  |
| 陆生植被  | 1.06  | 21.24 | 99.24  | 0       | 99.24   | 83.87  |
| 裸地与建筑 | 1.06  | 0     | 0      | 95.65   | 95.65   | 99.25  |

表3 Landsat-8 影像+ASTER GDEM 数据分类精度

| 类别    | 水体/%  | 红树林/% | 陆生植被/% | 裸地与建筑/% | 生产者精度/% | 用户精度/% |
|-------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|
| 水体    | 93.88 | 5.08  | 0      | 2.40    | 93.88   | 91.09  |
| 红树林   | 1.02  | 94.92 | 4.65   | 0       | 94.92   | 94.12  |
| 陆生植被  | 2.04  | 0     | 95.35  | 0.80    | 95.35   | 97.62  |
| 裸地与建筑 | 3.06  | 0     | 0      | 96.80   | 96.80   | 97.58  |

表4 Sentinel-2 影像分类精度

| 类别    | 水体/% | 红树林/% | 陆生植被/% | 裸地与建筑/% | 生产者精度/% | 用户精度/% |
|-------|------|-------|--------|---------|---------|--------|
| 水体    | 100  | 0     | 0      | 0       | 100     | 100    |
| 红树林   | 0    | 89.06 | 8.40   | 0       | 89.06   | 90.90  |
| 陆生植被  | 0    | 10.94 | 90.79  | 0       | 90.79   | 89.81  |
| 裸地与建筑 | 0    | 0     | 0.81   | 100     | 100     | 99.14  |

表5 Sentinel-2 影像+波段指数分类精度

| 类别    | 水体/% | 红树林/% | 陆生植被/% | 裸地与建筑/% | 生产者精度/% | 用户精度/% |
|-------|------|-------|--------|---------|---------|--------|
| 水体    | 100  | 0     | 0      | 0       | 100     | 100    |
| 红树林   | 0    | 93.81 | 8.13   | 0       | 93.81   | 91.57  |
| 陆生植被  | 0    | 6.19  | 90.92  | 0       | 90.92   | 93.98  |
| 裸地与建筑 | 0    | 0     | 0.95   | 100     | 100     | 98.99  |

树林与陆生植被相互错分情况严重(表6), 红树林生产者精度为74.58%, 用户精度仅60.61%。考虑到高分6号全色波段拥有更高的空间分辨率和更丰富的纹理信息, 而红树林与陆生植被在纹理特征上

差异明显, 加入纹理信息后, 红树林生产者精度提升了8.84%, 用户精度提升了13.37%, 总体精度提升了12.03%(表7)。

表6 高分6号影像分类精度

| 类别    | 水体/%  | 红树林/% | 陆生植被/% | 裸地与建筑/% | 生产者精度/% | 用户精度/% |
|-------|-------|-------|--------|---------|---------|--------|
| 水体    | 98.91 | 2.16  | 0      | 7.49    | 98.91   | 88.23  |
| 红树林   | 0     | 74.58 | 42.98  | 1       | 74.58   | 60.61  |
| 陆生植被  | 0     | 22.28 | 56.66  | 0       | 56.66   | 73.76  |
| 裸地与建筑 | 1.09  | 0.98  | 0.36   | 91.51   | 91.51   | 97.65  |

表7 高分6号影像+纹理信息分类精度

| 类别    | 水体/% | 红树林/% | 陆生植被/% | 裸地与建筑/% | 生产者精度/% | 用户精度/% |
|-------|------|-------|--------|---------|---------|--------|
| 水体    | 100  | 3.93  | 0      | 0.70    | 100     | 93.99  |
| 红树林   | 0    | 83.42 | 26.55  | 0       | 83.42   | 73.98  |
| 陆生植被  | 0    | 12.56 | 73.45  | 0       | 73.45   | 86.60  |
| 裸地与建筑 | 0    | 0.1   | 0      | 99.30   | 99.30   | 99.90  |

## 4 结论

本文主要对比多源遥感影像数据加入DEM数据、波段指数和纹理数据后的红树林范围提取精度, 分析不同遥感影像及辅助数据对红树林范围提取精度的影响。根据实验结果及进一步分析可知, Landsat-8影像由于其相对较低的空间分辨率和较多的光谱波段, 用于红树林范围提取精度适中, 加入ASTER GDEM数据后精度提升明显; Sentinel-2影像拥有更多的光谱波段和适中的空间分辨率, 用于红树林范围提取总体精度最高; 高分6号影像由于光谱波段较少而空间分辨率相对较高, 用于红树林

范围提取精度最低, 但加入纹理信息后精度提升明显。综上所述, Sentinel-2影像拥有最多的光谱波段和适中的影像分辨率, 数据获取免费且卫星重访周期短, 是红树林范围提取最合适的遥感数据源; ASTER GDEM数据能较好地地区分红树林和陆生植被, 是比较好的辅助数据。

随着遥感技术的发展及图像信息提取算法的提升, 以监督分类为代表的机器学习算法越来越难满足不断提高的精度要求及智能化的图像处理要求。近年来, 深度学习分类方法在遥感影像信息提取中应用越来越广泛且精度更高, 后续文章将研究使用Sentinel-2影像和ASTER GDEM数据, 基于深度学习方法进行红树林范围提取。

## 参考文献:

- [1] GIRI C, OCHIENG E, TIESZEN L L, et al. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data[J]. *Global Ecology and Biogeography*, 2011, 20(1): 154–159.
- [2] 王震, 陈卫军, 管伟, 等. 珠海市淇澳岛主要红树林群落特征研究[J]. *中南林业科技大学学报*, 2017, 37(4): 86–91.
- [3] 邱霓, 徐颂军, 邱彭华, 等. 珠海淇澳岛红树林群落分布与景观格局[J]. *林业科学*, 2019, 55(1): 1–10.
- [4] 刘凯, 朱远辉, 李骞, 等. 基于多源遥感的广东镇海湾红树林演变分析[J]. *热带地理*, 2016, 36(5): 850–859.
- [5] 贾明明. 1973—2013年中国红树林动态变化遥感分析[D]. 长春: 中国科学院研究生院(东北地理与农业生态研究所), 2014.
- [6] 董迪, 曾纪胜, 魏征, 等. 联合星载光学和 SAR 影像的漳江口红树林与互花米草遥感监测[J]. *热带海洋学报*, 2020, 39(2): 107–117.
- [7] 张威. 广西北部湾海岸带红树林变化的遥感监测[D]. 南宁: 广西大学, 2016.
- [8] 田颖, 陈卓奇, 惠凤鸣, 等. 欧空局哨兵卫星 Sentinel-2A/B 数据特征及应用前景分析[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2019, 55(1): 57–65.
- [9] TUCKER C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation[J]. *Remote Sensing of Environment*, 1979, 8(2): 127–150.
- [10] MCFEETER 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.
- [11] BALOLOY A B, BLANCO A C, ANA R, et al. Development and application of a new mangrove vegetation index (MVI) for rapid and accurate mangrove mapping[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2020, 166: 95–117.
- [12] 张青, 陈鹏. 基于高分六号卫星的植被生态景观监测分析[J]. *农学学报*, 2021, 11(7): 56–59, 111.
- [13] BREIMAN L. Random forests[J]. *Machine Learning*, 2001, 45(1): 5–32.
- [14] 徐芳. 基于 Sentinel-2 的红树林提取及碳储量估算研究[D]. 兰州: 兰州交通大学, 2020.
- [15] 蒙良莉. 基于哨兵多源遥感数据的红树林信息提取算法研究[D]. 南宁: 南宁师范大学, 2020.
- [16] 李姗姗. 北部湾红树林空间分布信息提取与种类识别遥感研究[D]. 南京: 南京大学, 2012.

## Extraction of Mangrove Range in Qi'ao Island Based on Multi-source Remote Sensing Data

SUN Yuchao<sup>1,2</sup>, DONG Di<sup>1,2</sup>, WEN Yubo<sup>2,3</sup>, AI Bin<sup>4</sup>

(1. South China Sea Institute of Planning and Environmental Research, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China; 2. Key Laboratory of Marine Environmental Survey Technology and Application, Ministry of Natural Resources, Guangzhou 510300, China; 3. South China Sea Information Center, State Oceanic Administration, Guangzhou 510300, China; 4. School of Marine Sciences, Sun Yat-sen University, Zhuhai 519082, China)

**Abstract:** In this study, Landsat-8, Sentinel-2, GF-6 and ASTER GDEM multi-source remote sensing data were used to extract the distribution range of mangroves in Zhuhai Qi'ao Island by using the random forest supervised classification method, and the accuracy and applicability of extracting mangroves from different image data were compared. The results show that the overall accuracy of extracting mangrove range from Sentinel-2 image is the highest when using three types of remote sensing images respectively; After DEM data, band index and texture information are added to the three types of remote sensing images, the accuracy of mangrove range extraction can be further improved; After adding DEM data, the accuracy is improved most obviously. After adding texture information to GF-6 image, the accuracy is also greatly improved. Through comparison, Sentinel-2 image has more spectral bands and moderate spatial resolution, which is the most suitable data source for extracting mangrove range, while ASTER GDEM data is a good auxiliary data for distinguishing mangrove and terrestrial vegetation. Through the comparative analysis of multi-source remote sensing images and auxiliary data extraction of mangroves, it provides a reference for the selection of mangrove remote sensing extraction data sources and the improvement of mangrove extraction accuracy.

**Key words:** mangroves; remote sensing extraction; Landsat-8; Sentinel-2; GF-6