

## 基于中分辨率影像湿地离散水体提取研究——以新疆阿勒泰科克苏湿地为例

伊力哈穆江·艾尼弯<sup>1,2</sup>, 孔翠翠<sup>1,2</sup>, 马利刚<sup>1,2\*</sup>, 杨晓东<sup>3</sup> (1. 绿洲生态教育部重点实验室, 新疆乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学资源与环境科学学院, 新疆乌鲁木齐 830046; 3. 宁波大学地理科学与旅游文化学院, 浙江宁波 315211)

**摘要** 首先利用 Landsat8 OLI 和 GF-1 WFV 卫星的多光谱影像分别对新疆阿勒泰科克苏湿地的离散水体进行支持向量机模型分类和最大似然模型分类, 以选出最佳的分类模型; 然后对 Landsat8 OLI 和 GF-1 WFV 影像分别提取灰度共生矩阵纹理特征、Getis 指数特征和 Moran'I 指数特征, 并与其对应的多光谱影像进行组合得到包括原始多光谱影像在内的 7 种组合特征集, 利用选出的最佳分类模型对特征集进行离散水体提取, 对其精度检验结果进行对比。结果表明, 对 Landsat8 OLI 和 GF-1 WFV 卫星的多光谱影像同时引入 Getis 指数特征和灰度共生矩阵纹理特征能够明显提高分类精度, Landsat8 OLI 影像 Kappa 系数从 0.815 7 提高到 0.922 3, 总体精度从 94.25% 提高到 97.50%; GF-1 WFV 影像的 Kappa 系数从 0.832 6 提高到 0.932 4, 总体精度从 94.75% 提高到 98.25%。综合可知, Getis 指数和灰度共生矩阵同时作为新的特征波段引入到多光谱影像上, 对于离散水体信息提取具有积极效果。

**关键词** 湿地; 离散水体; 空间自相关; 纹理特征; 灰度共生矩阵; 中分辨率影像

中图分类号 TP 79 文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2022)11-0050-06

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2022.11.014



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

### Research on the Extraction of Discrete Water Body in Wetland Based on Medium-resolution Image—Taking Altay Kekesu Wetland in Xinjiang as an Example

Elhamjan · Anwar<sup>1,2</sup>, KONG Cui-cui<sup>1,2</sup>, MA Li-gang<sup>1,2</sup> et al (1. Key Laboratory of Oasis Ecology, Ministry of Education, Urumqi, Xinjiang 830046; 2. College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046)

**Abstract** Firstly, multi-spectral images of Landsat8 OLI and GF-1 WFV satellites were used to classify the discrete water bodies in Altay Kekesu Wetland in Xinjiang by support vector machine model and maximum likelihood model, so as to select the best classification model. Then, the gray level co-occurrence matrix texture feature, Getis index feature and Moran'I index feature were extracted from Landsat8 OLI and GF-1 WFV images, respectively, and corresponding multispectral images were combined seven kinds of combinations, including the original multispectral image feature set. The selected best classification model was used to extract discrete water bodies from the feature sets, and the accuracy test results were compared. The results showed that the multi-spectral images of Landsat8 OLI and GF-1 WFV satellites could significantly improve the classification accuracy by introducing Getis index feature and grayscale co-existing matrix texture feature at the same time, which made the Kappa coefficient of Landsat8 OLI image increase from 0.815 7 to 0.922 3, and the overall accuracy increase from 94.25% to 97.50%. The Kappa coefficient of GF-1 WFV image was increased from 0.832 6 to 0.932 4, and the overall accuracy was increased from 94.75% to 98.25%. It can be concluded that both Getis index and grayscale symbiosis matrix were introduced into multi-spectral images as new characteristic bands at the same time, which had a positive effect on information extraction of discrete water bodies.

**Key words** Wetland; Discrete water bodies; Spatial autocorrelation; Texture features; Gray level co-occurrence matrix; Medium-resolution imagery

湿地是水文状况的调节者, 是某种独特植物区系和动物区系赖以存活的生境, 具有重大经济价值、文化价值和科学价值, 一旦完全丧失将不可逆<sup>[1]</sup>。近年来, 由于人类开发和气候变化的双重影响, 引起了生物多样性锐减, 水土流失、土壤沙化等一系列生态环境问题, 湿地退化成为全球性现象<sup>[2-3]</sup>。

新疆维吾尔自治区位于我国西部边陲, 受温带大陆性干旱气候控制, 当地降水量较少, 且存在季节性的特点。相对其他地区湿地, 干旱区湿地对气候变化和人类活动的响应更为敏感, 极易受到当地工农业用水和生活用水的影响<sup>[4]</sup>。中上游地区工农业用水的增加使得湿地面积退化相当严重。据估算, 新疆的典型湿地如艾比湖湿地、博斯腾湖湿地, 在过去 30 年缩减了 10%~20%<sup>[5-7]</sup>。为了改善和恢复退化的湿地, 当地政府采用了一系列生态补水的工程, 目前已取得了较好的成果, 其中以滴漫灌溉为手段的输水性

工程发挥了最突出作用。滴漫灌溉指的是为保护和恢复河谷和湿地生态系统, 根据流域内河谷和湿地生态系统需水要求及生态分区, 利用水库群生态调度, 人为营造流域内河流洪峰, 通过生态水利工程调控水流量, 在生态系统最缺水季节, 精细化地对河流和湿地生态系统补水的方式<sup>[8]</sup>。不同于大水漫灌, 滴漫灌溉主要目的是用最少的水资源发挥最大的生态价值。当前, 滴漫灌溉在新疆尤其是在阿勒泰地区已实施多年, 在生态系统保护与恢复中的作用显著。但是, 该生态水利工程实施时, 由于水域离散造成输水面积扩散, 较难实时动态监测滴漫灌溉的补水区域, 它的工程效果难以准确评估。

遥感手段在干旱区水体流域监测、湿地面积动态监测等方面已有很多的研究, 主要涉及技术以可见光遥感和微波遥感为主<sup>[9]</sup>。在研究尺度方面也已经有了大量探索, 如单个湖泊或湿地尺度、流域尺度和区域尺度<sup>[10]</sup>。然而, 目前针对干旱区湿地的离散水域, 尤其是实施“滴漫灌溉”水利工程影响的水域的提取研究还十分欠缺。这是因为在干旱区离散水域, 低空间分辨率影像在提取水体信息时误差较大, 高空间分辨率遥感影像覆盖范围小、费用昂贵, 且时间分辨率也难以保证滴漫灌溉水利工程实施前后的全程监测与评估。因

**基金项目** 国家自然科学基金项目(41661079, 31860111)。

**作者简介** 伊力哈穆江·艾尼弯(1995—), 男, 维吾尔族, 新疆喀什人, 硕士研究生, 研究方向: 资源环境遥感。\* 通信作者, 副教授, 硕士生导师, 从事土壤盐渍化研究。

**收稿日期** 2021-08-17

此,研究合适的方法针对干旱区流域尺度离散水体进行监测评估十分迫切。此外,对于进行生态补水湿地而言,漓漫灌溉前后水体分布差异较大,在进行遥感监测时,对于分类模型的精度也会有相应的要求。

中分辨率遥感影像有幅宽较广、时间序列较长的优点<sup>[11]</sup>,但是它对离散水域水体面积的提取精度还与分类模型有关。目前针对遥感影像信息提取的模型种类繁多,如支持向量机(support vector machine, SVM)、人工神经网络(artificial neural network, ANN)、最大似然分类(maximum likelihood classification, MLC)等,但是针对不同的问题,各模型都有各自的优缺点。Landsat8 OLI 影像数据和国产高分影像是当前在提取水域面积时最常用的中分辨率卫星影像<sup>[12]</sup>。这是因为国产高分 GF-1 WFV1 相机可以获取 16 m 多光谱彩色图像(蓝、绿、红、近红外 4 个波段),同时成像的幅宽可达 200 km 左右,它实现了高空间分辨率和高时间分辨率的完美结合;加上它具有重访周期短的特点,可以连续对水域水体面积进行实时监测。Landsat8 OLI 影像包含了 9 个波段,且避免了水汽吸收特征,其全色影像范围较窄,这加大了在全色波段上对植被和非植被的区分度,其幅宽为 180 km 左右<sup>[13]</sup>。但目前很少有学者研究过国产 GF-1 和 Landsat8 OLI 中分辨率影像在离散水域水体面积提取方面的适用性。因此,笔者以新疆阿勒泰科克苏湿地为例,利用不同特征组合

提高中分辨率影像离散水体信息提取精度,比较 Landsat8 OLI 数据与国产高分影像在离散水体信息提取方面的差异性,分析漓漫灌溉不同时间段模型提取精度的差异性,以期对干旱区湿地动态监测提供借鉴。

## 1 资料与方法

### 1.1 研究区概况

阿勒泰科克苏湿地是新疆北部荒漠中面积最大的沼泽湿地,位于新疆维吾尔自治区阿勒泰市境内,地理位置是 87°09'12"~87°34'59"E、47°28'31"~47°40'09"N (图 1)。在 2017 年被列为国家级湿地自然保护区,保护对象为湿地生态系统。保护区当地属于温带大陆性气候,年平均气温 4.0℃,极端最高气温 39.5℃,极端最低气温 -46.7℃;≥5℃ 的年积温为 3 087.4℃·d;≥10℃ 的年积温为 2 794.7℃·d,年平均日照时数 2 825~2 960 h;年均降水量为 113 mm,最大年降水量为 181 mm,最小年降水量为 94 mm<sup>[14]</sup>。科克苏湿地属干旱区,日照时间长,年均蒸发量超 2 000 mm。受周边工农业用水量增加的影响,导致科克苏湿地的主要水量补给来源即克兰河水量逐年递减,生态系统受到严重威胁。为保护科克苏湿地生态系统,从 2013 年开始,在额尔齐斯河流域开发工程建设管理局主持下,当地对湿地及其连同河流进行了人工“漓漫淹灌”的大型水利生态工程,即每年按照流域内生态需求量,在 5 月下旬之后不定期利用水库群进行淹灌,淹灌时长少则 14 d,多则 30 d。

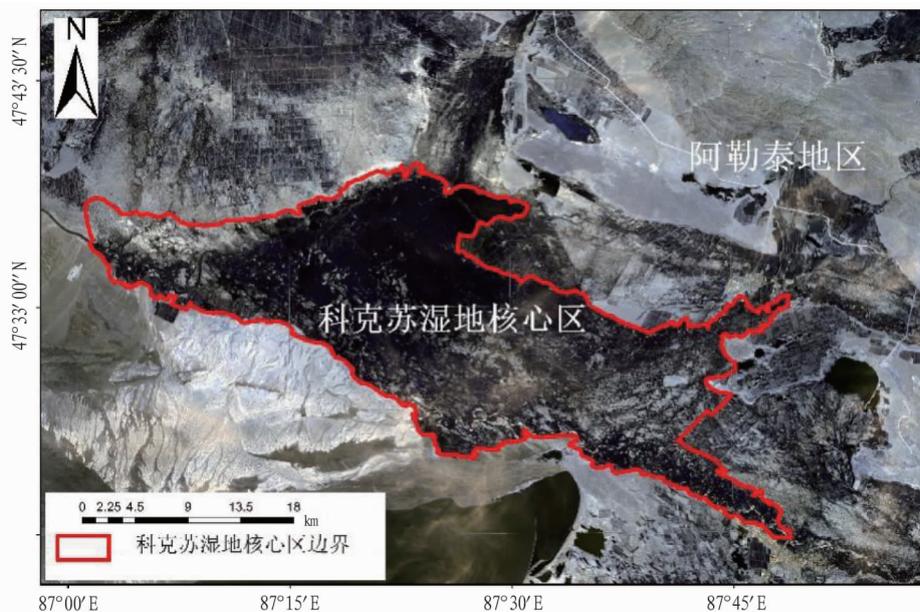


图 1 新疆阿勒泰科克苏湿地位置

Fig. 1 The location of the Kokesu Wetland in Altay, Xinjiang

### 1.2 试验数据源及精度评价

每年的 5 月底至 6 月初为科克苏湿地的首次漓漫灌溉时间,持续 7~14 d。为了分析对比模型分类精度以及改进法的适用性,该研究从地理空间数据云和陆地观测卫星数据服务平台上下载了 2017 年淹灌前期和淹灌期间各一景的 Landsat8 OLI 数据与国产高分 GF-1 WFV 影像。数据的预处理包括几何校正和辐射校正。在目视分析的基础上,该试验设定的分类地物只分为两类,即水体和非水体。由于试验区中的植被、裸地、耕

地等非水体地物都不是该试验的主要研究对象,因此被统一归为非水体一类。在此基础上,对同一景影像选择统一的训练样本,并使用 ERDAS 软件中误差矩阵的方法对精度进行验证<sup>[15]</sup>。具体做法为:对每类地物随机生成 200 个验证点,通过产生误差矩阵来实现分类精度检验,之后以得到的 Kappa 系数和总体精度作为检验依据;最终影像的水体识别能力,通过对分类结果进行目视判别和精度检验等方法综合验证。

**1.3 试验流程** 支持向量机模型和最大似然分类模型被认为是分类精度较高的模型,它们由于操作方便、性能稳定的优势被大量使用在影像信息分类提取上<sup>[16-17]</sup>。此外,支持向量机模型在小样本、非线性和高维空间中展现出良好的分类性能<sup>[18]</sup>;最大似然分类模型具有易于与先验知识融合、算法简单且易于实施等优点<sup>[19]</sup>。该研究基于前人研究成果,针对漓漫灌溉时期的科克苏湿地,分别利用支持向量机模型和最大似然分类模型对 2017 年的 Landsat 8 OLI 和 GF-1 WFV 影像的淹灌前期以及淹灌期间的原始多光谱数据进行水体信息提取,并进行精度检验,以筛选出最优提取离散水体面积的模型和最优的卫星影像。同时,为提高目标地物提取的精度,该研究针对待分类多光谱影像的特征波段加以改进,即在待分类多光谱影像的基础上,对其引入灰度共生矩阵(gray-level co-occurrence matrix, GLCM)纹理特征、局部 Getis 指数特征和局部 Moran' I 指数特征,以不同的组合方式形成 7 种新的特征集(GLCM+RGB 原图、Getis+ RGB 原图、Moran' I+RGB 原图、GLCM+Getis+ RGB 原图、GLCM+Moran' I+RGB 原图、Getis+Moran' I+RGB 原图、GLCM+Getis+Moran' I+RGB 原图),再利用选出的最佳分类模型进行分类。最后,采用混淆矩阵的方法,对各分类结果进行检验,以验证特征集的可行性,从中筛选出适合于科克苏湿地的漓漫灌溉时期可用于遥感监测的方法。

#### 1.4 研究方法

##### 1.4.1 基于高分影像离散水体提取方法的选择。

**1.4.1.1 灰度共生矩阵纹理特征的提取。**一般来说,在进行主成分分析(principal component analysis, PCA)后,影像中第一主成分包含了所有波段中 80% 的方差信息<sup>[20]</sup>。考虑到这一点,该研究中将经过预处理的 GF-1 WFV 影像进行主成分变换,选用变换后的第一主成分进行 GLCM 纹理、局部 Getis 系数和局部 Moran' I 指数的计算。灰度共生矩阵有 14 种纹理特征,而一般认为对于水体的提取选择同质性纹理(HOM)最为有效<sup>[21]</sup>,因此选择采用灰度共生矩阵中的熵(ENT)纹理和同质性纹理特征作为新的纹理特征波段。它们的计算公式如下:

$$ENT = -\sum_{i,j=1}^N P(i,j|d,\theta) \times \log P(i,j|d,\theta) \quad (1)$$

$$HOM = -\sum_{i,j=1}^N P(i,j|d,\theta) / [1+(i-j)^2] \quad (2)$$

在灰度共生矩阵中,元素值代表灰度级之间联合条件概率密度  $P(i,j|d,\theta)$ ,  $P(i,j|d,\theta)$  表示在给定空间距离  $d$  和方向  $\theta$  时,灰度以  $i$  为始点,出现灰度级为  $j$  的概率(也叫频数)。该研究的纹理计算过程均在 ENVI 5.3 中完成,考虑到纹理偏移距离和计算方向对计算结果影响不大<sup>[22]</sup>,因此对于偏移距离  $d$  和偏移角度  $\theta$  均取 ENVI 软件默认值(偏移距离  $d$  为 1 个像元距离,偏移角度  $\theta$  方向为 135°),移动窗口大小固定为 3×3。

**1.4.1.2 基于 GF-1 WFV 影像空间自相关局部指标。**根据地理学第一定律的描述,空间单元之间是存在相互联系的,对于空间单元的属性 and 分布模式而言,距离近的地物比距离远的地物影响更大。而空间统计学中的空间自相关是

用于检测空间单元之间的自相关程度。而空间自相关有全局和局部指标<sup>[23]</sup>,全局空间自相关用单一的值来表示整个区域的自相关性,而局部空间自相关是表征每个空间单元与邻近单元之间某一属性相关程度。常用的空间自相关局部指标有 Moran' I 指数和 Getis 指数<sup>[24]</sup>。Moran' I 指数定义如下:

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_j [w_{ij}(x_j - \bar{x})] \quad (3)$$

式中,  $x_i$  为空间单元  $i$  的属性值,  $w$  为空间权重矩阵,  $w_{ij}$  代表空间单元  $i$  和  $j$  之间的影响程度<sup>[25]</sup>,  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ,  $S^2 = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n [W_{ij}(x_j - \bar{x})^2]}{n-1}$ 。公式(3)检验的标准化统计量如下:

$$Z(I_i) = \frac{I_i - E(I_i)}{\sqrt{\text{VAR}(I_i)}} \quad (4)$$

式中,  $E(I_i)$  是其理论期望值,  $\text{VAR}(I_i)$  是理论方差值。

局部 Moran' I 指数并不是特指一个统计量,它的每一个观测值表示该值周围相似观测值在空间上的聚集程度。这样,局部 Moran' I 指数就可以表达某个位置  $i$  上的观测值与周围邻近观测值之间的关系。

局部 Getis 指数是由 Ord 和 Getis 提出,是基于距离定义空间权重矩阵,是一种探测空间聚集程度的指标<sup>[26]</sup>,其公式如下:

$$G_i = \frac{\sum_j (w_{ij} x_j)}{\sum_j x_j} \quad (5)$$

式中,  $G_i$  的物理意义是在某一步长条件下具有相同特征值的空间单元的相关程度,特征值越大,那么空间单元的相关程度越高。对于局部 Moran' I 指数和局部 Getis 指数的计算,该研究采用 ArcGIS 10.4 软件中的相关模块儿进行聚类统计。具体步骤:①对高分一号 GF-1 WFV 影像进行主成分分析,将得到的第一主分量进行局部 Moran' I 指数和 Getis 指数的计算;②将得到的局部 Moran' I 指数和 Getis 指数的结果进行栅格化作为高分影像的新的波段,与原始影像进行合成;③利用支持向量机分类和最大似然分类的方法进行分类。具体流程如图 2 所示。

**1.4.2 基于 Landsat8 OLI 影像的空间自相关局部指标的特征空间分类法。**对于 Landsat8 OLI 影像而言,比起多光谱通道数据,全色数据的空间分辨率更高,纹理和结构信息更加丰富,可以提供更加详细的地表覆盖信息<sup>[27]</sup>。因此该研究对于 Landsat8 OLI 影像的纹理特征、局部 Moran' I 指数和 Getis 指数的计算均基于 Landsat8 OLI 影像的全色数据。首先对其进行预处理,其后利用全色数据分别提出纹理特征、局部 Moran' I 指数和 Getis 指数,而后续步骤与“1.4.1.2”中 GF-1 WFV 影像的处理步骤②、③一致。具体处理流程如图 3 所示。

## 2 结果与分析

**2.1 最大似然和支持向量机分类模型的精度比较** 根据 2017 年的 Landsat8 OLI 和 GF-1 WFV 卫星的淹灌前期和淹

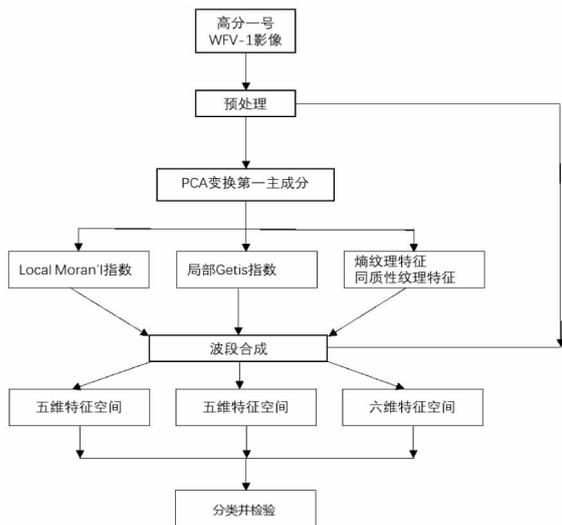


图 2 GF-1 WFV 影像处理流程

Fig. 2 GF-1 WFV image processing flow

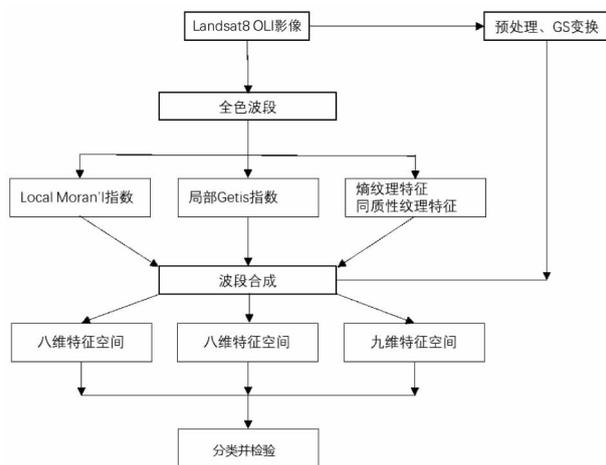


图 3 Landsat8 OLI 影像处理流程

Fig. 3 Landsat8 OLI image processing flow

灌期间的影像的 2 种不同模型分类精度检验结果(表 1)可以看出,淹灌前期无论是 GF-1 WFV 影像或是 Landsat8 OLI 影像,其支持向量机分类(SVM)的检验结果均高于最大似然分类(MLC)的检验结果。因此认为对于离散水域,支持向量机模型分类精度高于最大似然模型分类精度。在淹灌期间的水体分类试验中,支持向量机模型与最大似然模型分类精度相当,由此认为对于水体密集区域,两者的分类精度无太大差异。因此后续的试验只选择离散程度较大的淹灌前期的影像。

**2.2 基于不同特征组合的分类精度检验结果** 从 Landsat8 OLI 和 GF-1 WFV 影像不同特征组合分类结果局部效果(图 4)可以看出,2 种卫星影像均存在少分和误分的情况,且都出现在水体和非水体相互交错较严重的区域,但从分类效果图的整体来看,GF-1 WFV 影像的水体分类结果优于 Landsat8 OLI 影像,且再对比混淆矩阵分类结果时,也能看出 Landsat8 OLI 影像的水体提取精度较弱于 GF-1 WFV 影像,这说明与 Landsat8 OLI 影像相比,GF-1 WFV 影像对于水体的光谱响应程度更高。

表 1 最大似然分类(MLC)和支持向量机分类(SVM)精度检验结果  
Table 1 Test results of maximum likelihood classification(MLC) and support vector machine(SVM) classification accuracy

影像 Image	时间 Time	分类模型 Classification model	Kappa 系数 Kappa coefficient	总体精度 Overall accuracy %
Landsat8 OLI	2017-05-16 (淹灌前)	MLC	0.779 8	92.50
		SVM	0.815 7	94.25
Landsat8 OLI	2017-06-04 (淹灌期间)	MLC	0.886 3	95.75
		SVM	0.894 7	96.33
GF-1 WFV	2017-05-13 (淹灌前)	MLC	0.799 1	93.75
		SVM	0.832 6	94.75
GF-1 WFV	2017-06-03 (淹灌期间)	MLC	0.903 8	97.00
		SVM	0.913 5	97.50

根据不同特征组合分类精度检验结果(表 2)可以看出, Landsat8 OLI 影像同时引入了局部 Getis 指数纹理和灰度共生矩阵纹理(GLCM)的特征组合的分类精度最高,其 Kappa 系数为 0.922 3,总体精度为 97.50%;而 GF-1 WFV 影像也同样是同时引入局部 Getis 指数纹理和灰度共生矩阵纹理的特征组合的分类精度最高,其 Kappa 系数为 0.932 4,总体精度为 98.25%。

对比不同特征组合的分类精度,再结合分类结果图进行目视解读可以发现,对多光谱影像同时引入局部 Getis 指数纹理和灰度共生矩阵的熵纹理和同质性纹理有利于湿地水体信息的提取。相反原始多光谱影像单独引入某一种纹理特征或是随机引入多种纹理特征,对离散程度较大的水域而言,并不能保证水体分类精度的提高。

### 3 结论

该研究基于 Landsat8 OLI 影像和 GF-1 WFV 影像,利用支持向量机和最大似然分类算法对科克苏湿地水体进行了分类提取,对比了 2 种分类模型分类精度;并提取了 2 种卫星影像的原始多光谱影像、纹理特征、Getis 指数、Moran'I 指数等特征,对其确定了 8 种不同的试验方案,结合支持向量机算法对科克苏湿地进行了水体信息提取,得出了以下结论:

(1)通过对比支持向量机分类与最大似然分类算法,得出对于干旱区湿地离散水体的提取支持向量机算法分类精度高于最大似然分类。

(2)在水体信息提取中,与 Landsat8 OLI 影像相比,GF-1 WFV 影像对水体的光谱响应程度更高,它能够更准确识别水体。

(3)对比 8 种特征集,无论是 Landsat8 OLI 影像或是 GF-1 WFV 影像,在其多光谱影像的基础上,同时加入纹理特征和 Getis 指数特征,能够有效提高湿地水体信息提取的精度。同时引入局部 Getis 指数纹理和灰度共生矩阵的熵纹理和同质性纹理有利于提高湿地水体信息提取的精度,但单独引入某一特征对湿地水体信息提取精度的影响不大。

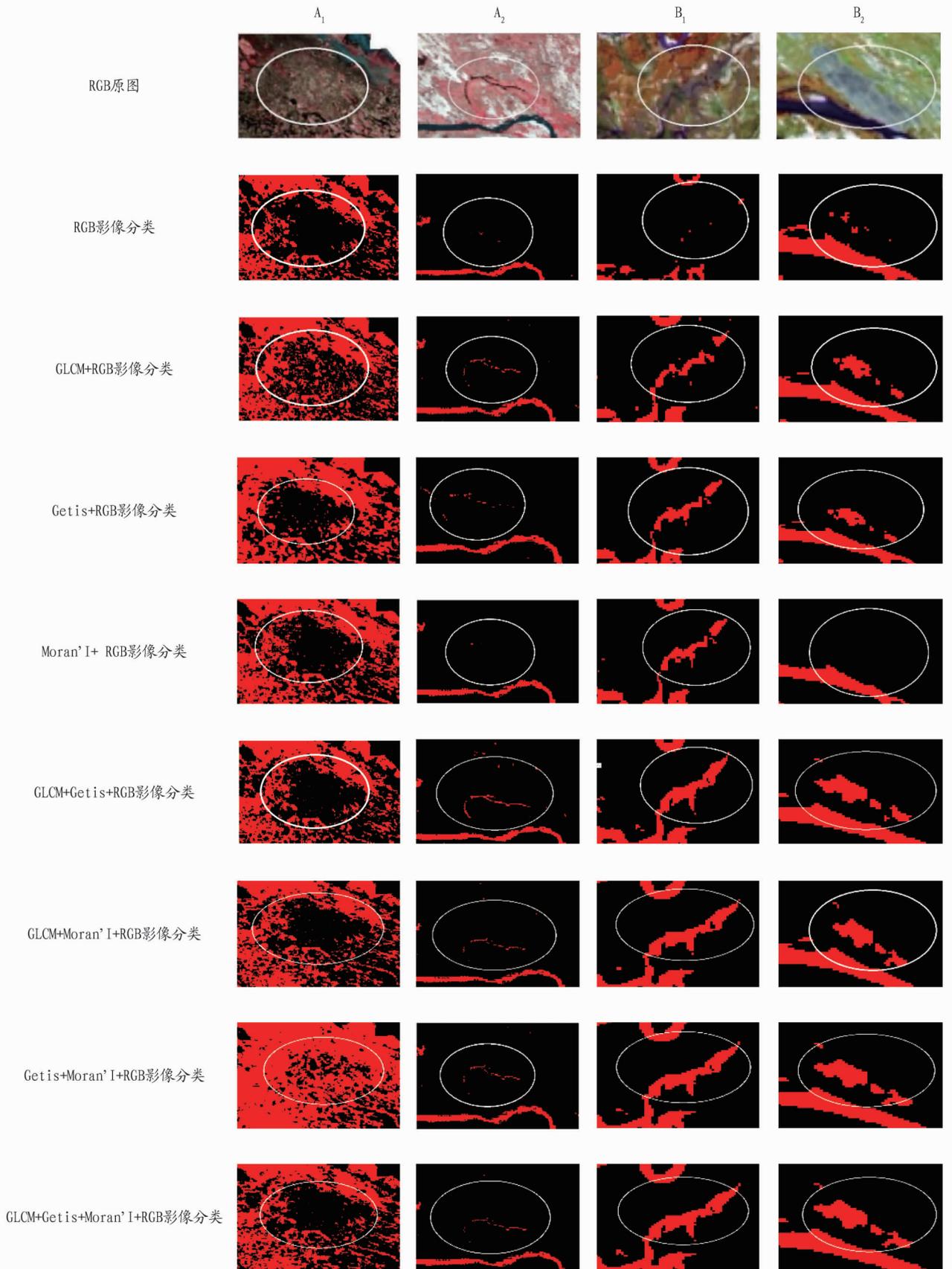


图 4 GF-1 WFV 影像(A)和 Landsat8 OLI 影像(B)淹灌前不同特征组合分类结果局部效果

Fig. 4 Local effect diagram of classification results of different feature combinations of GF-1 WFV image (A) and Landsat8 OLI image (B) before basin irrigation

表 2 不同特征组合分类精度检验结果

Table 2 Classification accuracy test results of different feature combinations

遥感影像 Remote sensing image	特征组合方式 Feature combination method	Kappa 系数 Kappa coefficient	总体精度 Overall accuracy %
Landsat8 OLI	RGB 原图	0.815 7	94.25
	RGB 原图+GLCM	0.886 3	96.75
	RGB 原图+Moran'I	0.823 3	94.25
	RGB 原图+Getis	0.850 5	95.50
	RGB 原图+GLCM+Getis	0.922 3	97.50
	RGB 原图+GLCM+Moran'I	0.821 6	93.75
	RGB 原图+Getis+Moran'I	0.847 6	93.25
	RGB 原图+GLCM+Getis+Moran'I	0.872 5	94.50
GF-1 WFV	RGB 原图	0.832 6	94.75
	RGB 原图+GLCM	0.860 5	96.25
	RGB 原图+Moran'I	0.826 5	95.25
	RGB 原图+Getis	0.858 5	95.50
	RGB 原图+GLCM+Getis	0.932 4	98.25
	RGB 原图+GLCM+Moran'I	0.853 7	93.75
	RGB 原图+Getis+Moran'I	0.837 3	93.75
	RGB 原图+GLCM+Getis+Moran'I	0.860 7	94.50

## 参考文献

- [1] 张珮纶,王浩,雷晓辉,等. 湿地生态补水研究综述[J]. 人民黄河,2017,39(9):64-69.
- [2] 韩大勇,杨永兴,杨杨,等. 湿地退化研究进展[J]. 生态学报,2012,32(4):289-303.
- [3] 程琳琳,董雪梅,詹佳琪,等. 基于面向对象的 GF-1 遥感影像采煤塌陷区湿地分类[J]. 农业工程学报,2018,34(9):240-247.
- [4] 朱长明,李均力,常存,等. 新疆干旱区湿地景观格局遥感动态监测与时空变异[J]. 农业工程学报,2014,30(15):229-238,339.
- [5] 曾光,高会军,朱刚,等. 近 32 年新疆博斯腾湖湿地动态变化及机制分析[J]. 国土资源遥感,2010,22(S1):213-218.
- [6] 朱长明,李均力,张新,等. 新疆博斯腾湖流域湿地遥感监测及时空变化过程[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2013,43(3):954-961.
- [7] 李磊,李艳红,陈成贺日,等. 1972~2011 年期间艾比湖面积变化研究

(上接第 39 页)

优势不能充分发挥,且该示范试验仅在洛南县庙柏烟站进行 1 年,试验结果的重演性还有待深入研究,因此需进一步验证试验的准确性。

## 参考文献

- [1] 刘国顺. 烟草栽培学[M]. 北京:中国农业出版社,2003.
- [2] 周克清,戴鹏. 控烟背景下的烟草财政贡献度研究[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版),2011,32(9):137-141.
- [3] 刘亚云. 做稳烤烟产业,助推脱贫攻坚[J]. 农业开发与装备,2019(2):12.
- [4] 贾兴华,王元英,佟道儒,等. 烤烟新品种中烟 100(CF965)的选育及其应用评价[J]. 中国烟草学报,2006,12(2):20-25.
- [5] 王献生,张忠锋,肖炳光. 中国烟草育种研究进展[J]. 烟草科技,2007,40(5):53-57.
- [6] 周金仙,卢江平,白富,等. 不同生态区烟草品种产量、品质变化研究初报[J]. 云南农业大学学报,2003,18(1):97-102.
- [7] 陈荣平,杨铁钊. 我国烟草品种工作的分析与思考[J]. 中国烟草学报,2007,13(6):47-50.
- [8] 查宏波,黄韡,胡启贤,等. 应用 AMMI 模型评价烤烟品种产量适宜性

- [J]. 湿地科学,2014,12(2):263-267.
- [8] 邓铭江,黄强,张岩,等. 额尔齐斯河水库群多尺度耦合的生态调度研究[J]. 水利学报,2017,48(12):1387-1398.
- [9] 李建平,张柏,张冷,等. 湿地遥感监测研究现状与展望[J]. 地理科学进展,2007,26(1):33-43.
- [10] 赵惠,张海英,李娜娜,等. 中国湿地遥感研究现状与趋势评述[J]. 地理与地理信息科学,2010,26(2):62-66.
- [11] 于清永. 利用中高分辨率影像对城市建成区信息提取的方法研究[D]. 阜新:辽宁工程技术大学,2016.
- [12] 陶长华. 基于 Landsat 8 和 GF-1 遥感影像南矶山湿地信息提取及时空动态变化研究[D]. 南昌:江西师范大学,2017.
- [13] 宋军伟,张友静,李鑫川,等. 基于 GF-1 与 Landsat-8 影像的土地覆盖分类比较[J]. 地理科学进展,2016,35(2):255-263.
- [14] 成克武,臧润国,张炜银,等. 新疆科克苏湿地自然保护区维管束植物区系[J]. 干旱区研究,2007,24(1):8-14.
- [15] 王崇倡,郭健,武文波. 基于 ERDAS 的遥感影像分类方法研究[J]. 测绘工程,2007,16(3):31-34,39.
- [16] 肖靛. 基于支持向量机的图像分类研究[D]. 上海:同济大学,2006.
- [17] 刘涛,孙忠林,孙林. 基于最大似然法的遥感图像分类技术研究[J]. 福建电脑,2010,26(1):7-8.
- [18] 高晓健. 基于支持向量机的高光谱遥感图像分类方法研究[D]. 杭州:杭州电子科技大学,2013.
- [19] 陈亮,刘希,张元. 结合光谱角的最大似然法遥感影像分类[J]. 测绘工程,2007,16(3):40-42,47.
- [20] 冯尚荣,陈庆涛. 主成分分析在遥感处理中的应用[J]. 世界有色金属,2019(11):255-256.
- [21] 周小成,汪小钦,骆剑承,等. 基于对象关系特征的高分辨率光学卫星影像水上桥梁目标识别方法[J]. 遥感信息,2010,25(2):36-42.
- [22] 李利虹,张华国,厉冬玲,等. 基于多尺度纹理和光谱信息的海岛土地利用遥感分类方法研究[J]. 海洋学研究,2013,31(2):35-44.
- [23] 刘良云,王纪华,赵春江,等. 基于地物空间信息的浮动先验概率最大似然分类研究[J]. 遥感学报,2006,10(2):227-235.
- [24] 陈丛. 基于空间自相关的图像分割的方法研究[D]. 福州:福建师范大学,2011.
- [25] 张松林,张昆. 局部空间自相关指标对比研究[J]. 统计研究,2007,24(7):65-67.
- [26] ORD J K, GETIS A. Local spatial autocorrelation statistics: Distributional issues and an application[J]. Geographical analysis, 1995, 27(4):286-306.
- [27] JENSEN J R, COWEN D C. Remote sensing of urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes[J]. Photogrammetric engineering & remote sensing, 1999, 65(5):611-622.

[J]. 中国烟草学报,2012,18(2):17-20.

- [9] 高维常,瞿永生,袁有波,等. 不同烤烟品种烟碱与钾含量变化及分类比较[J]. 江苏农业科学,2011,39(5):106-108.
- [10] 李雨,翟欣,胡钟胜,等. 基于气候条件与烟叶质量的烤烟适宜种植品种选用[J]. 中国烟草科学,2015,36(3):19-23.
- [11] 张世杰. 陇县烟区烤烟新品种引进研究[J]. 安徽农业科学,2022,50(1):33-36.
- [12] 国家烟草专卖局. 烟草农艺性状调查方法:YC/T 142—2010[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [13] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 烟草病虫害分级及调查方法:GB/T 23222—2008[S]. 北京:中国标准出版社,2008.
- [14] 赵羨波,李舜华,范坚强,等. 不同播期对云烟 116 生长及烟叶品质的影响[J]. 贵州农业科学,2020,48(4):36-40.
- [15] 蔡联合,白森,胡建斌,等. 广西中烟正安基地适宜烤烟品种筛选试验[J]. 南方农业学报,2014,45(2):189-193.
- [16] 田君同. 梅州烟区烤烟新品种(品系)引进与筛选[D]. 广州:华南农业大学,2017.
- [17] 姚健,李洪亮,孙晓伟,等. 许昌烟区浓香型特色烤烟品种筛选与评价[J]. 浙江农业科学,2019,60(4):573-576.