

滨海湿地土地覆盖面向对象分类及变化监测

邵亚婷, 卢霞, 叶慧, 张森, 孙敏, 林雅丽, 赵倩

(江苏海洋大学, 江苏 连云港 222005)

摘要: 基于 1973—2018 年期间的 6 期遥感影像数据, 利用面向对象的分类方法提取江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区核心区的土地覆盖分类信息, 进而利用土地转移矩阵分析近 45 年来盐城保护区核心区土地覆盖变化规律。研究表明: 在 1973—2018 年期间, 研究区土地覆盖类型由海到陆依次为海水、光滩、河流、米草、碱蓬、茅草、芦苇和养殖区。土地覆盖变化总体上表现为: 光滩大面积减少, 变化类型是光滩→碱蓬群落→米草群落, 主要集中在研究区中部地区。茅草群落自 2008 年消失, 变化类型是茅草群落→芦苇群落→养殖区, 主要集中在研究区的西南和西北部地区。碱蓬群落明显减少, 主要转变为芦苇和米草群落, 集中在研究区中部地区; 西部靠近海堤的变化类型是碱蓬群落→芦苇群落, 东部靠近光滩的变化类型是碱蓬群落→米草群落。养殖区大面积增加, 集中在研究区西南部地区; 芦苇群落明显增加, 集中在研究区西部和西北部地区。结果分析认为, 盐城滨海湿地保护区核心区土地覆盖类型在近 45 年来变化显著, 尤其是人工湿地养殖区的分布范围明显增加, 这可能会对滨海湿地生态系统健康与可持续发展造成一定影响, 应尽快改变滨海湿地保护区核心区的开发利用方式。

关键词: 面向对象; 土地覆盖; 变化监测; 江苏盐城; 滨海湿地

中图分类号: P931.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2020)01-0052-15

DOI: 10.11759/hyxx20190704001

滨海湿地是介于陆地和海洋生态系统之间复杂的过渡性区域^[1-2], 具有稳定环境、保护物种基因等功能, 在全球和区域生态过程中发挥着极为重要的作用^[3]。盐城滨海湿地属于典型的近海及海岸湿地, 是太平洋西海岸、亚洲大陆边缘最大的海岸型湿地, 拥有独特的淤泥质海岸带及丰富多样的滩涂湿地生态系统, 已列入世界重点湿地名录^[4]。江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区(简称盐城保护区)是盐城滨海湿地中保护最完整的部分, 是我国最大的沿海湿地自然保护区, 是全球重要的湿地之一。保护区内河流众多, 沼泽湿地众多, 蕴藏着丰富的生物资源, 为鸟类的栖息和其他动物的生存提供了得天独厚的自然条件, 是各种动物的繁殖地与鸟类的重要越冬地^[5]。同时, 盐城保护区作为生产力最高的天然生态系统, 还为其周边居民提供着各种宝贵资源。然而, 在人口和经济的压力之下, 保护区内的实验区已经大部分被开垦为鱼塘或农田, 缓冲区也很大程度上受到人为干扰, 目前只有核心区仍然保留着大片原生湿地; 同时, 过热的经济开发活动也在不断导致滩涂湿地的资源遭到破坏。

土地覆盖是指自然营造物和人工建筑物所覆盖

的地表诸要素的综合体, 包括地表植被、土壤、湖泊、沼泽湿地及各种建筑物(如道路等), 具有特定的时间和空间属性, 其形态和状态可在多种时空尺度上变化^[6]。几十年来, 盐城保护区的土地覆盖发生了巨大的变化^[7], 土地覆盖变化能够体现人与自然的相互作用, 人类对地表景观的开发、利用而引起土地覆盖发生变化。因此, 及时有效地研究盐城保护区土地覆盖的变化对保护江苏盐城滨海湿地生态系统的安

收稿日期: 2019-07-04; 修回日期: 2019-08-12

基金项目: 国家自然科学基金(41506106); 江苏高校优势学科建设工程资助项目; 2019 年江苏省研究生实践创新计划项目(SJXC19_0975); 2018 年江苏省研究生实践创新计划项目(SJXC18_0919); 江苏省海洋技术品牌专业建设项目(PPZY2015B116); 2018 年江苏省大学生实践创新训练计划项目

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No.41506106; Superiority Discipline Construction Project of Jiangsu Colleges and Universities; Practical Innovation Program of Jiangsu Graduate Students in 2019, No.SJXC19_0975; Practical Innovation Program of Jiangsu Graduate Students in 2018, No.SJXC18_0919; Construction Project of Marine Technology Brand in Jiangsu Province, No.PPZY2015B116; Practical Innovation Training Program for Jiangsu University Students in 2018]

作者简介: 邵亚婷(1995-), 女, 河南登封人, 硕士研究生, 从事滨海湿地环境遥感监测研究, 电话: 15716581726, E-mail: syt2018wyy@foxmail.com; 卢霞, 通信作者, 女, 教授, 主要研究滨海湿地环境遥感动态监测, E-mail: luxial210@163.com

全与稳定,维持人与自然的和谐共存非常重要。利用遥感技术对盐城滨海湿地土地覆盖变化的研究已经成为国内外研究的热点^[7-18]。左平等^[7]基于1976年的地形测绘数据和1987、1992、1997、2002、2007年的遥感数据提取土地利用和景观的时空变化,并分析了江苏盐城滨海湿地的景观变化和驱动力。贺秋华^[8]以江苏滨海地区为研究对象,以1987年利用现状图、1997年和2006年TM遥感影像为数据源,运用3S技术,采用定性与定量相结合的手段,系统分析了该区域土地利用时空变化特征。张华兵等^[9]将盐城国家级自然保护区核心区划分为人工管理区和自然湿地区,根据1987、1997、2007年3个时相的景观资料,运用遥感(RS)、地理信息系统(GIS)技术和景观生态学方法,分析不同驱动力下湿地景观格局的变化差异。王凯等^[10]以盐城国家级珍禽自然保护区核心区为例,基于3期(2002、2010、2013年)遥感影像数据,通过监督分类方法研究了近10年来核心区湿地土地利用类型的变化情况,为保护区核心区进一步加强管理与保护提供科学依据。郝敬锋等^[11]基于RS和GIS技术,利用1987—2007年期间3个时相的遥感图像提取了江苏省滨海湿地信息,定量分析了研究区湿地资源的演变趋势和驱动机制。杜培军等^[12]基于景观生态学原理、RS和GIS技术,分析了1992—2009年江苏滨海湿地景观格局动态变化。丁晶晶等^[15]选用1992年、2002年和2006年的TM影像,分析了江苏省盐城海岸带湿地的景观格局特征及其景观动态变化。尽管以上学者利用RS和GIS相结合的方法开展了盐城滨海湿地土地覆盖变化研究,但在盐城保护区土地利用及景观格局变化监测方面的研究稍显集中,而对盐城保护区土地覆盖分类算法及其长时间序列的变化监测研究偏少。为深入探讨盐城保护区核心区的土地覆盖分类算法及其变化监测,本文选用1973—2018年期间6期遥感影像,通过构建土地覆盖分类规则集,应用面向对象的分类方法提取研究区土地覆盖分类信息;基于土地利用转移矩阵分析土地覆盖变化特征。通过该研究可为人类活动、盐城保护区的保护和建设提供有利的依据和建设性意见。

1 数据和方法

1.1 研究区概况

江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区位于江苏省盐城市境内的沿海地带(119°53'45"E~121°18'12"E,

32°48'47"N~34°29'28"N),地跨响水县、滨海县、射阳县、亭湖区、大丰区、东台市的沿海滩涂,其海岸线长达约500 km,区域面积为247 260 hm²。盐城保护区属于北亚热带向南暖温带过渡的气候类型,具有季风盛行、四季分明、日照充足、无霜期、降水丰富、雨热同期的特征。主要受海洋性和大陆性气候影响,年平均气温为13.7~14.6℃,光照充足,无霜期210~224 d,雨水丰沛,年平均降水量980~1 070 mm。

盐城保护区内的滩涂主要是1128—1855年,黄河从黄土高原携带大量的泥沙以及来自海底的部分泥沙在潮流等海洋动力作用下淤积而成的粉沙淤泥质滨海平原。1855年黄河北迁,泥沙来源骤减,导致射阳河以北开始侵蚀,射阳河以南仍然淤积,盐城保护区海岸线总体上呈现南淤北蚀的状态。

盐城保护区成立于1983年,成立时面积为453 300 hm²,核心区面积为17 400 hm²。1992年11月,江苏盐城沿海湿地珍禽省级保护区经国务院批准升级为江苏盐城国家级珍禽自然保护区。2006年国务院对保护区进行了调整,调整后保护区总面积和核心区面积分别为284 179 hm²、21 889 hm²,保护区主要保护对象为丹顶鹤等珍稀野生动物及其赖以生存的滩涂湿地生态系统。2012年,保护区范围再次进行了调整,调整后保护区总面积247 260 hm²,其中核心区面积22 596 hm²,缓冲区56 742 hm²,实验区167 922 hm²,核心区、缓冲区和实验区等五块区域组成保护区。

选取1992年保护区的核心区(120°29'2"E~120°42'44"E, 33°28'40"N~33°39'6"N)范围作为研究区域,核心区位于新洋港和斗龙港之间的滩涂湿地,以西至陈李线(盐城市响水县陈家港镇至南通市海安县李堡镇的省级公路),以东至黄河水深3 m的区域。核心区所在的滩涂不断向海域淤积延伸,目前拥有江苏最大的原生滩涂湿地,研究区位置如图1所示。

1.2 数据获取与预处理

为开展盐城保护区核心区土地覆盖分类,利用地理空间数据云平台选取1973年、1985年、2001年、2008年、2013年和2018年等6期美国Landsat卫星影像,数据信息如表1所示。对遥感影像,主要进行波段组合、图像配准、图像裁剪等预处理,图像配准精度控制在0.5个像素之内。图像裁剪的矢量边界主要依据1992年11月经国务院批准的盐城保护区核心区的空间范围。

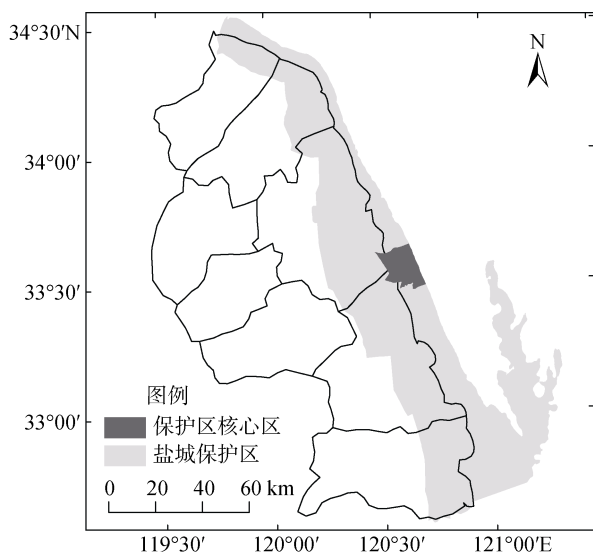


图1 江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区及保护区核心区位置

Fig. 1 Map of the core area of the Rare Bird National Nature Reserve in Yancheng Wetland, Jiangsu Province

1.3 构建研究区土地覆盖分类体系

根据第三次全国土地调查土地分类体系和中国滨

海湿地分类系统^[19], 结合盐城保护区土地利用覆盖现状和开发利用特点, 同时依据前人的研究成果^[20-21], 通过分析盐城保护区核心区遥感影像, 对核心区土地覆盖的空间分布进行了研究, 确立了盐城保护区核心区土地覆盖分类系统(表2)。从表中可以看出: 研究区土地覆盖方式分为自然湿地和人工湿地两个一级类, 其中每个一级类又包含不同的二级类别, 最终将研究区划分为8个类型, 分别是海水、光滩、河流、米草群落、碱蓬群落、芦苇群落、茅草群落、养殖区。

1.4 研究方法

面向对象分类方法(object-oriented classification method), 是指将分割得到的同质影像对象作为最小单元, 以实现较高层次的遥感图像分类和目标地物提取^[22]。基于像元的分类方法无法充分利用影像中存在的形状和纹理等特征, 可能会造成分类精度不高。而面向对象分类方法可以充分利用目标地物的光谱、形状和纹理信息, 提高了分类精度和分类效率。面向对象影像分类方法包括影像的分割和分类。

表1 研究区遥感影像数据信息

Tab. 1 Data of remote sensing images in research areas

影像获取时间/(年-月-日)	卫星	传感器	空间分辨率/m	波段数/个	卫星轨道号
1973-11-16	Landsat1	MSS	78	4	128-37
1985-01-11	Landsat5	TM	30	7	119-37
2001-04-13	Landsat5	TM	30	7	119-37
2008-02-28	Landsat5	TM	30	7	119-37
2013-12-10	Landsat8	OLI-TIRS	30	11	119-37
2018-04-28	Landsat8	OLI-TIRS	30	11	119-37

表2 盐城保护区核心区土地覆盖分类体系

Tab. 2 Land cover classification system in the core area of Yancheng Reserve

一级分类	二级分类
自然湿地	米草群落
	碱蓬群落
	芦苇群落
	茅草群落
	海水
	河流
	光滩
人工湿地	养殖区

1.4.1 影像分割

影像分割是面向对象分类方法的核心, 影像分

割首先将单个像素合并为较小的影像对象, 再将较小的影像对象合并成较大的多边形对象, 是从下到上、逐级合并的过程^[22]。多尺度分割后, 影像的最小单元不再是单个的像素, 而是具有相同光谱特征和共同属性的一个个对象, 后续的影像分析和处理也都是根据这些对象进行的^[23-25]。分割参数的选择直接影响分割效果, 多尺度分割参数包含各波段权重、分割尺度、光谱因子和形状因子(紧密度和光滑度)。

1.4.2 影像分类

影像分割后进行分类, 分类方法包括基于样本的影像分类和基于规则集的影像分类。其中基于样本的分类与常规的光谱监督分类有显著不同, 其样

本的对比参数更多, 不仅仅是光谱信息, 还包括空间、纹理等信息; 基于规则集的分类也是根据影像对象的不同特征建立规则集进行分类^[26]。选取合适的影像对象分类特征是分类最重要的一部分, 分别统计计算分割后影像对象的光谱特征、纹理特征以及

形状几何特征, 并通过建立规则集对分割后的影像进行分类。表 3 列出了本文选取的影像对象的分类特征。其中, 比值植被指数(RVI)强化了植被在近红外和红光波段反射率的差异, 在植被覆盖浓密的情况下对植被十分敏感, 非常适合高覆盖度的植被监测。

表 3 影像对象的分类特征描述

Tab. 3 Description of classification features of image objects

特征类别	特征名称	特征描述及公式
光谱特征	光谱均值	各影像对象组成的像元在各个波段上光谱值的平均值
	亮度指数(Brightness)	影像对象光谱信息的影像层平均值总和除以层数
	波段组合	$T_S = N_{Green} + N_{Red} - N_{NIR} - N_{SWIR}$
	归一化植被指数(NDVI)	$NDVI = (R_{NIR} - R_{Red}) / (R_{NIR} + R_{Red})$
	归一化湿度指数(NDMI)	$NDMI = (R_{NIR} - R_{SWIR}) / (R_{NIR} + R_{SWIR})$
	比值植被指数(RVI)	$RVI = R_{NIR} / R_{Red}$
	最大差异(Max(Diff))	$Max(Diff) = Max(R_{i,j}) - Min(R_{i,j})$
纹理特征	灰度共生矩阵	灰度共生矩阵是从灰度为 x 的像素点出发, 离开某个固定位置(相隔距离为 d 、方位为 θ) 的点上灰度值为 y 的概率, 所有估计的值可以表示成一个矩阵的形式
形状特征	长宽比	长/宽
	形状指数(I_{Shape})	$I_{Shape} = L / \sqrt[4]{S}$

注: N_{Green} 、 N_{Red} 、 N_{NIR} 、 N_{SWIR} 分别为绿光波段、红光波段、近红外波段、短波红外波段的像元值; R_{NIR} 、 R_{Red} 、 R_{SWIR} 分别为近红外波段、红光波段、短波红外波段的反射率; i 为波段序列号, j 为对象序列号, $R_{i,j}$ 为 i 波段 j 对象对应像元值的值; L 为对象边长, S 为对象面积。

2 结果与分析

2.1 研究区土地覆盖分类信息提取

利用 eCognition 软件对 Landsat 卫星影像进行基于规则集的面向对象分类, 首先对影像数据进行多尺度分割, 其次构建规则集进行分类。

2.1.1 确定最优多尺度分割参数

根据各时相遥感影像邻近像素亮度、纹理、颜色等对影像进行分割。通过反复试验和对比, 对每一时期的遥感影像进行多尺度分割, 最终得到各时相遥感影像的最优多尺度分割参数如表 4 所示。

2.1.2 基于规则集的分类

规则集构建和分类的主要步骤是:

1) 区分水体与非水体

根据盐城保护区核心区土地覆盖分类体系先将初始层定义为水体(海水、河流)与非水体(光滩、米草、碱蓬、芦苇、茅草、养殖区), 水体在可见光波段处的光谱特征比较明显, 不断试验确定水体的特征阈值, 构建水体的分类规则, 通过 T_S 将海水提取出来, 河流的形状是细长的, 因此利用 I_{Shape} 将河流提取出来。

2) 区分植被与非植被

根据分类体系将未分类的非水体分为植被(米

表 4 多尺度分割参数

Tab. 4 Multiscale segmentation parameters

遥感影像年份	分割尺度	权重因子				
		光谱因子	形状因子	光滑度	紧密度	波段权重
1973 年	15	0.8	0.2	0.5	0.5	1, 1, 1, 1
1985 年	20	0.9	0.1	0.5	0.5	1, 1, 1, 1, 1, 0, 1
2001 年	15	0.9	0.1	0.5	0.5	1, 1, 1, 1, 1, 0, 1
2008 年	25	0.9	0.1	0.5	0.5	1, 1, 1, 1, 1, 0, 1
2013 年	100	0.8	0.2	0.5	0.5	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0
2018 年	200	0.8	0.2	0.5	0.5	1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0

草、碱蓬、芦苇、茅草)和非植被(光滩、养殖区), 根据光滩和养殖区的光谱特征和影像信息构建分类规则。利用 NDVI 和 Brightness 提取光滩, 养殖区中含水量大, 形状比较规则, 利用 NIR、Blue 和长/宽将养殖区提取出来。

3) 区分植被类型

研究区中植被主要包括米草、碱蓬、芦苇和茅草。在 eCognition 中创建 NDVI、NDMI、RVI 等可

以区分植被的光谱特征, 根据不同植被在不同波段的光谱特征差异, 经过反复比较并通过多次试验确定了米草、碱蓬、芦苇、茅草的分类阈值。1973、1985、2001、2008、2013 和 2018 年盐城保护区核心区的土地覆盖分类规则集如图 2—图 7 所示。

4) 分类及后处理

基于规则集进行土地覆盖分类, 并进行合并地类、去除小图斑、平滑等一系列后处理, 利用

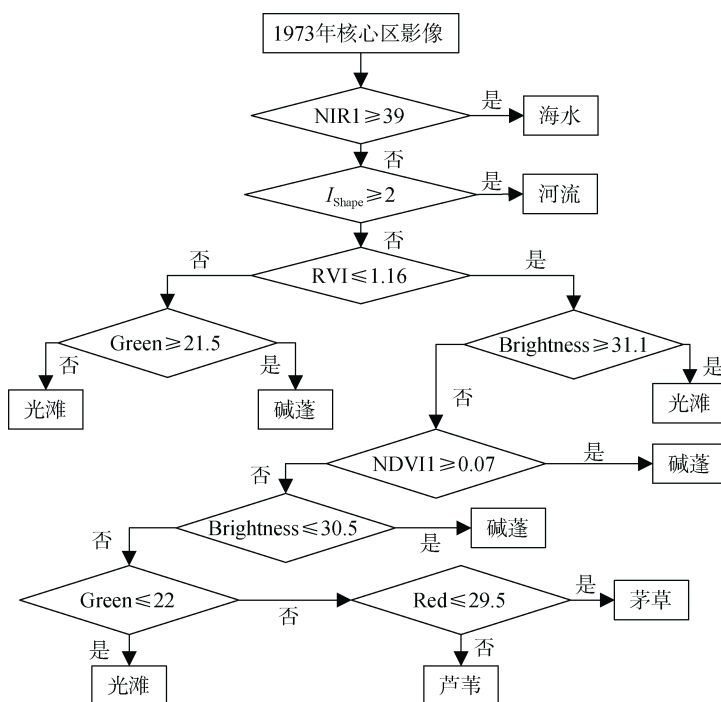


图 2 1973 年遥感影像分类规则集

Fig. 2 Classification rules set of remote sensing images in 1973

注: NIR1、Green、Red 分别是 Landsat1-MSS 影像中的第 4 波段、第 1 波段、第 2 波段的光谱均值; $NDVI1 = (R_{NIR1} - R_{Red}) / (R_{NIR1} + R_{Red})$, 其中 R_{NIR1} 、 R_{Red} 分别为 Landsat1-MSS 影像中的第 4 波段和第 1 波段的反射率。

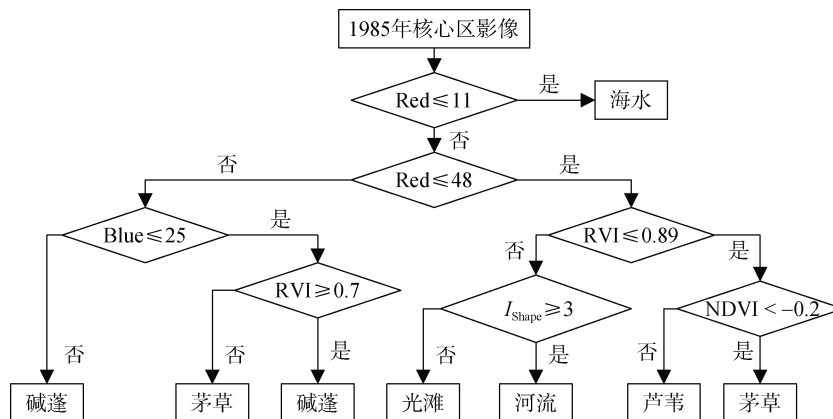


图 3 1985 年遥感影像分类规则集

Fig. 3 Classification rules set of remote sensing images in 1985

注: Red、Blue 分别是 Landsat5-TM 影像中的第 3 波段、第 1 波段的光谱均值。

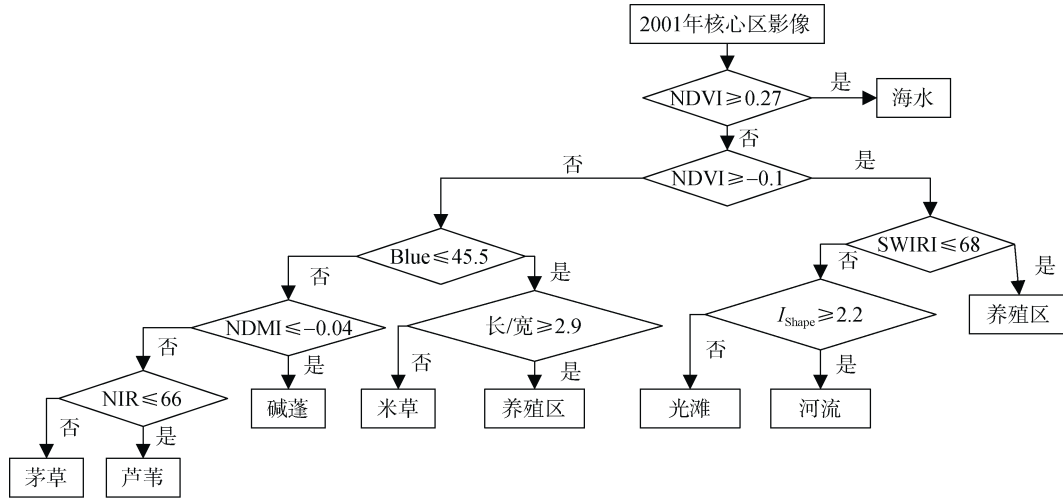


图 4 2001 年遥感影像分类规则集

Fig. 4 Classification rules set of remote sensing images in 2001

注: Blue、NIR、SWIR1 分别是 Landsat5-TM 影像中的第 1 波段、第 4 波段和第 7 波段的光谱均值。

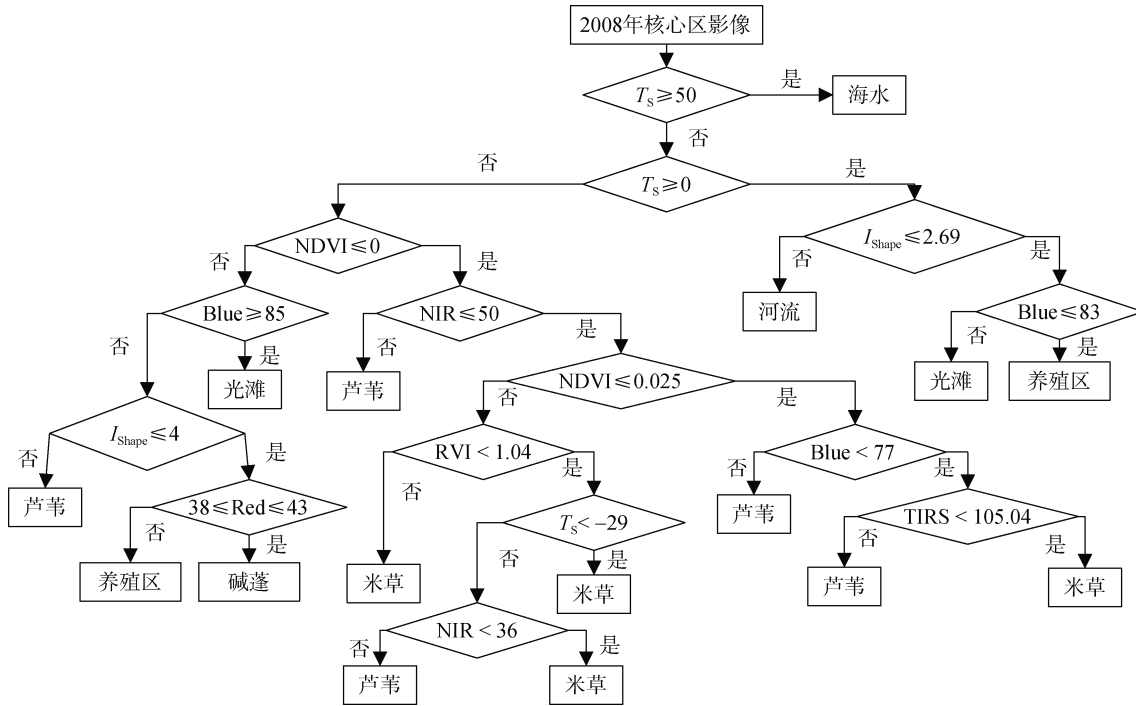


图 5 2008 年遥感影像分类规则集

Fig. 5 Classification rules set of remote sensing images in 2008

注: Blue、Red、NIR、TIRS 分别是 Landsat5-TM 影像中的第 1 波段、第 3 波段、第 4 波段和第 6 波段的光谱均值; $T_s = N_{Green} + N_{Red} - N_{NIR} - N_{SWIR}$, 其中 N_{Green} 、 N_{Red} 、 N_{NIR} 、 N_{SWIR} 分别为 Landsat5-TM 影像中的第 2、3、4 和第 5 波段的像元值。

eCognition 软件随机产生 500 个分布随机且均匀的样本点, 并根据 Google Earth 地图对样本进行分类, 建立混淆矩阵, 得到最终分类精度评价结果如表 5 所示, 盐城保护区核心区土地覆盖分类结果(图 8)。

由图 8 和表 6 可知: 核心区在 2001 年之前基本为自然湿地, 基本未受人为干扰。1973 年, 盐城保护

区核心区土地覆盖由海到陆依次是海水、光滩、河流、碱蓬、茅草、芦苇; 其中光滩覆盖面积最大, 占总面积的 47.90%。1985 年, 盐城保护区核心区土地覆盖由海到陆依次是海水、光滩、河流、米草、碱蓬、茅草、芦苇; 其中碱蓬覆盖面积最大, 占总面积的 26.97%, 新出现的米草群落面积为 455.99 hm^2 ,

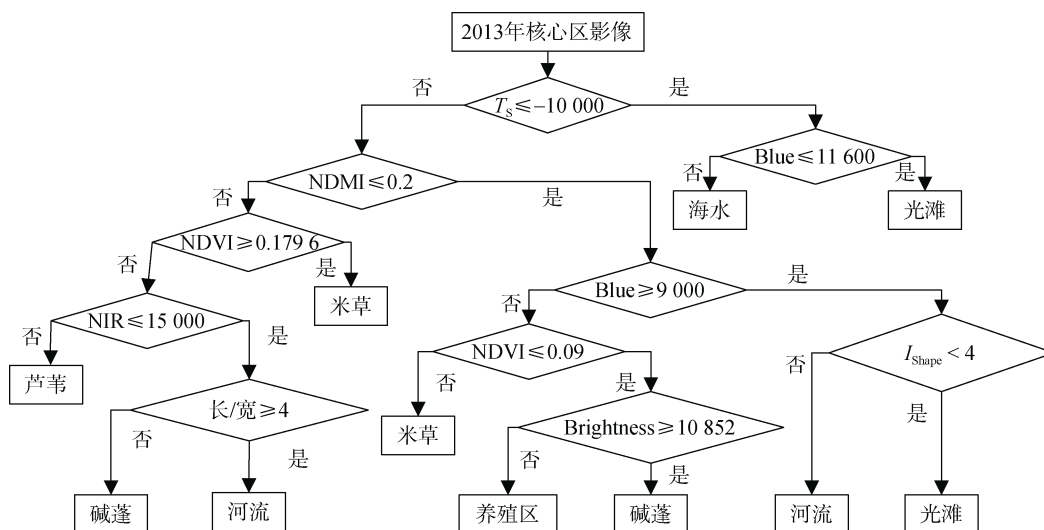


图 6 2013 年遥感影像分类规则集

Fig. 6 Classification rules set of remote sensing images in 2013

注: Blue、NIR 分别是 Landsat8 OLI-TIRS 影像中的第 2 和第 5 波段的光谱均值; $T_s = N_{Green} + N_{Red} - N_{NIR} - N_{SWIR}$, 其中 N_{Green} 、 N_{Red} 、 N_{NIR} 、 N_{SWIR} 分别为 Landsat8 OLI-TIRS 影像中的第 3、4、5 和第 6 波段的像元值。

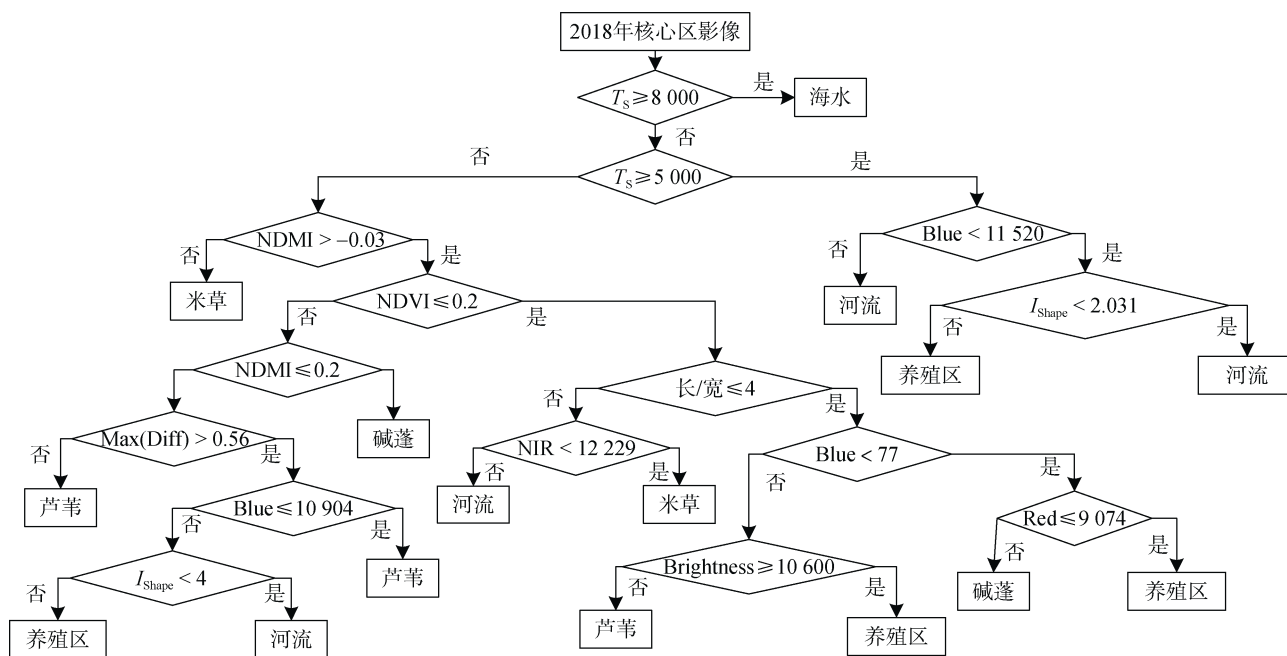


图 7 2018 年遥感影像分类规则集

Fig. 7 Classification rules set of remote sensing images in 2013

注: Blue、Red、NIR 分别是 Landsat8 OLI-TIRS 影像中的第 2、4 和第 5 波段的光谱均值; $T_s = N_{Green} + N_{Red} - N_{NIR} - N_{SWIR}$, 其中 N_{Green} 、 N_{Red} 、 N_{NIR} 、 N_{SWIR} 分别为 Landsat8 OLI-TIRS 影像中的第 3、4、5 和第 6 波段的像元值。

占总面积的 2.04%。2001 年, 盐城保护区核心区土地覆盖由海到陆依次是海水、光滩、河流、米草、碱蓬、芦苇、茅草、养殖区; 其中碱蓬覆盖面积最大, 占总面积的 23.26%。2008 年, 盐城保护区核心区土地覆盖由海到陆依次是海水、光滩、河流、米草、碱蓬、芦苇、养殖区; 其中芦苇的覆盖面积最大, 占总面积的

19.65%。2013 年, 盐城保护区核心区土地覆盖由海到陆依次是海水、光滩、河流、米草、碱蓬、芦苇、养殖区; 其中米草群落的覆盖面积最大, 占总面积的 17.84%。2018 年, 盐城保护区核心区土地覆盖由海到陆依次是海水、光滩、河流、米草、碱蓬、芦苇、养殖区; 其中米草群落覆盖面积最大, 占总面积的 20.00%; 养殖

区面积为 4 425.32 hm², 占总面积的 19.84%。

1973—2018 年期间, 盐城保护区核心区土地覆盖变化趋势: 海水呈现先增长、后下降、再增长、再下降的趋势; 光滩呈现先下降后增长的趋势; 河流呈现平缓的趋势; 米草于 20 世纪 60 年代引入中国^[4], 从遥感影像上看出, 1973 年以后开始出现米草, 呈现从无到有, 持续增长的趋势; 碱蓬呈现增长、下降、再增长、再下降的趋势; 芦苇呈现先增长后下降的趋势; 茅草呈现先增长后下降的趋势; 养殖区从 1985 年以后开始出现, 呈现从无到有, 先增长、后平缓下

降、再增长的趋势。

表 5 分类精度评价结果

Tab. 5 Classification accuracy

年份	分类精度/%	Kappa 系数
1973	90.76	0.895 4
1985	90.95	0.902 3
2001	91.87	0.901 2
2008	93.37	0.920 1
2013	92.56	0.910 2
2018	93.23	0.915 5

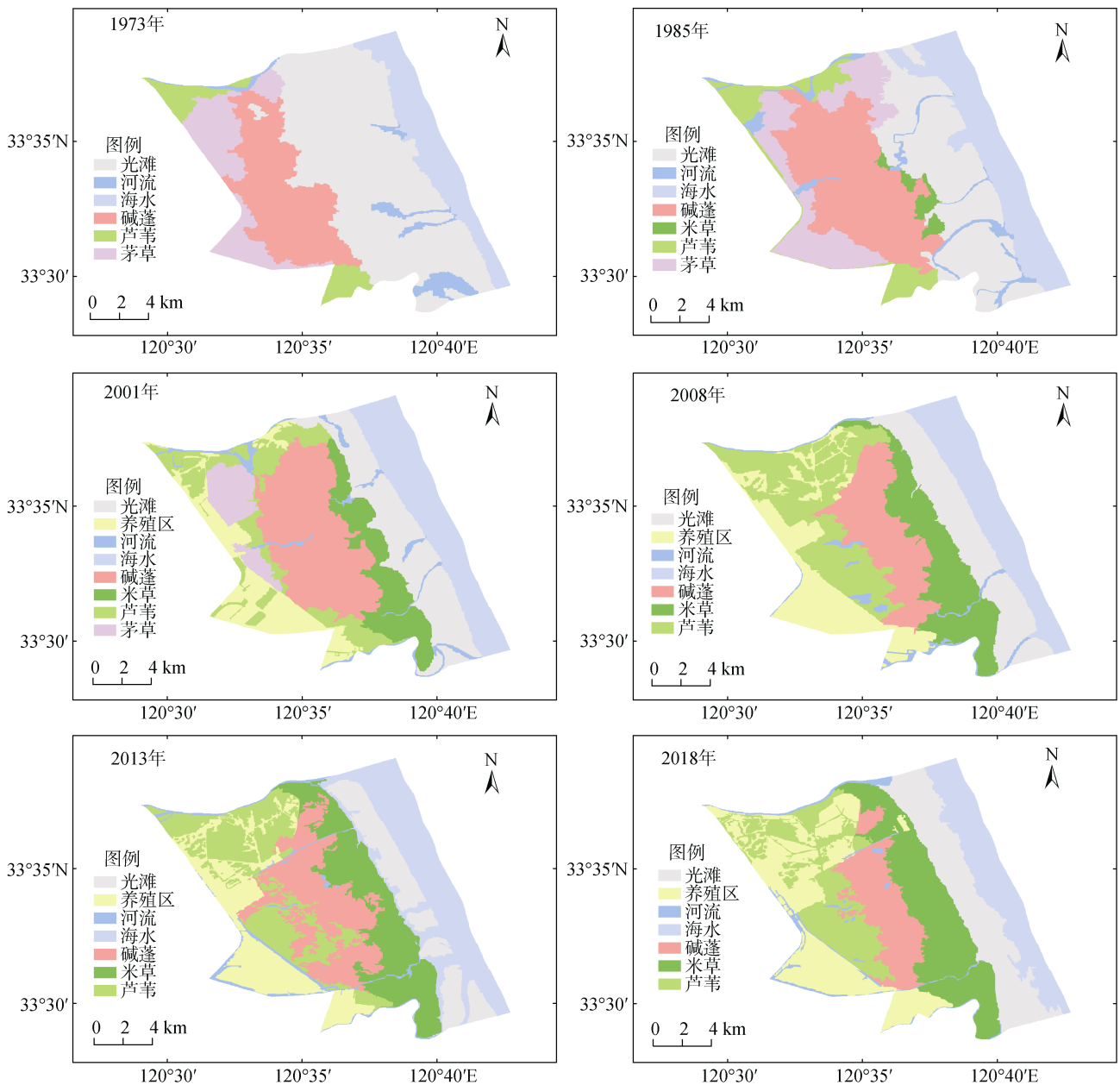


图 8 1973—2018 年盐城保护区核心区土地覆盖分类结果

Fig. 8 Classification of land covers in the core areas of the Yancheng Nature Reserve from 1973 to 2018

表 6 盐城保护区核心区各年土地覆盖类型面积

Tab. 6 Areas of land cover types in the core areas of the Yancheng Nature Reserve in each year

土地覆盖类型	面积/hm ²					
	1973 年	1985 年	2001 年	2008 年	2013 年	2018 年
光滩	10 681.09	6 243.64	3 928.47	3 672.59	2 524.10	3 855.13
海水	2 869.74	4 003.34	3 764.47	3 387.33	4 332.93	3 137.09
河流	838.56	883.28	686.21	577.42	652.71	612.73
碱蓬	4 433.88	5 974.14	5 187.42	3 396.96	3 830.94	2 658.24
芦苇	1 047.73	1 532.71	2 660.03	4 381.81	3 799.13	3 152.55
茅草	2 429.77	3 207.68	1 249.47	0.00	0.00	0.00
米草	0.00	455.99	2 428.84	3 580.22	3 978.90	4 459.71
养殖区	0.00	0.00	2 395.87	3 304.43	3 182.07	4 425.32
总计	22 300.77	22 300.77	22 300.77	2 2300.77	22 300.77	22 300.77

2.2 研究区土地覆盖变化监测

2.2.1 土地转移矩阵

土地利用转移矩阵是马尔科夫模型在土地利用变化方面的应用,土地利用转移矩阵可以定量地表明不同土地利用类型之间的转化情况。土地利用转移矩阵来源于系统分析中对系统状态与状态转移的定量描述。

2.2.2 土地覆盖类型变化及转移特征分析

利用 ArcGIS 软件对 eCognition 导出的土地覆盖分类矢量数据进行融合和叠置分析,得到 1973—1985、1985—2001、2001—2008、2008—2013、2013—2018 年的土地覆盖变化(图 9),并计算得到转移矩阵(表 7—表 11),以定量分析盐城保护区核心区土地覆盖动态变化特征。

在 1973—1985 年期间,土地覆盖转变方式主要为光滩向海水、碱蓬、茅草的转变,碱蓬向茅草的转变,茅草向芦苇的转变。其中光滩向海水、碱蓬、茅草的转变主要分布在东部、中部、北部区域;碱蓬向茅草的转变主要分布在西南部区域;茅草向芦苇的转变主要分布在西北部区域。海水覆盖面积增加了 1 133.59 hm²,光滩覆盖面积减少了 4 437.45 hm²,河流覆盖面积增加了 44.71 hm²,碱蓬覆盖面积增加了 1 540.27 hm²,茅草覆盖面积增加了 777.91 hm²,芦苇覆盖面积增加了 484.98 hm²,米草覆盖面积增加了 455.98 hm²。其中,光滩转变了 5 122.59 hm²,转变率为 47.96%,有 1 194.77 hm² (11.18%)转变为海水,487.65 hm² (4.57%)转变为河流,1 982.64 hm² (18.56%)转变为碱蓬,128.85 hm² (1.21%)转变为芦苇,880.96 hm² (8.25%)转变为茅草,447.73 hm² (4.19%)转变为米草。

在 1985—2001 年期间,土地覆盖转变方式主要为光滩向米草的转变,碱蓬向芦苇、茅草的转变,茅草向芦苇、养殖区的转变。其中,光滩向米草的转变主要分布在中东部区域;碱蓬向芦苇、茅草的转变主要分布在西部区域;茅草向芦苇、养殖区的转变主要分布在北部、西南部区域。海水覆盖面积减少了 238.87 hm²,光滩覆盖面积减少了 2 315.18 hm²,河流覆盖面积减少了 197.07 hm²,米草覆盖面积增加了 1 972.85 hm²,增加了 4.33 倍,碱蓬覆盖面积减少了 786.72 hm²,茅草覆盖面积减少了 1 985.21 hm²,芦苇覆盖面积增加了 1 127.31 hm²,养殖区覆盖面积增加了 2 395.87 hm²。其中,碱蓬转变了 2 138.52 hm²,转变率为 35.80%,有 83.29 hm² (1.39%)转变为河流,842.09 hm² (14.10%)转变为芦苇,807.77 hm² (13.52%)转变为茅草,74.04 hm² (1.24%)转变为米草,331.32 hm² (5.55%)转变为养殖区。

在 2001—2008 年期间,土地覆盖转变方式主要为光滩向米草的转变,碱蓬向芦苇、米草的转变,芦苇向养殖区的转变,茅草向芦苇、养殖区的转变。其中,光滩向米草的转变主要分布在东部靠海区域;碱蓬向芦苇、米草的转变主要分布在中西部、中东部区域;芦苇向养殖区的转变主要分布在西南、西北部区域;茅草向芦苇、养殖区的转变主要分布在西北部和西部区域。海水覆盖面积减少了 377.14 hm²,光滩覆盖面积减少了 255.88 hm²,河流覆盖面积减少了 108.79 hm²,米草覆盖面积增加了 1 151.39 hm²,碱蓬覆盖面积减少了 1 790.46 hm²,茅草覆盖面积减少了 1 249.47 hm²,芦苇覆盖面积增加了 1 721.78 hm²,养殖区覆盖面积增加了 908.56 hm²。其中,碱蓬转变了 2 105.26 hm²,转变率为 40.58%,有 117.07 hm²

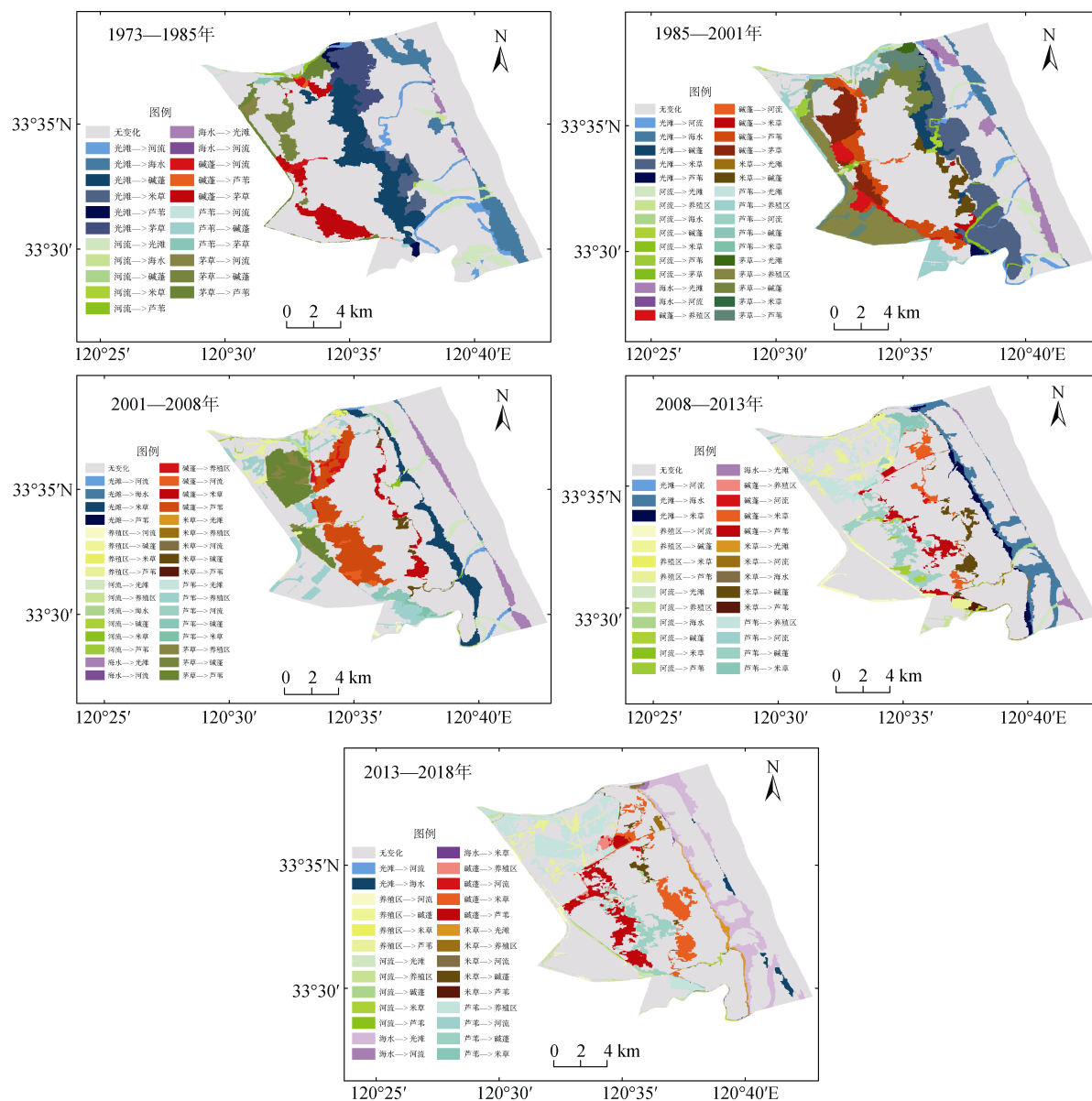


图9 1973—2018年核心区土地覆盖变化图

Fig. 9 Maps of land cover changes of the core areas from 1973 to 2018

表7 1973—1985年核心区土地覆盖类型面积转移矩阵

Tab. 7 Transfer matrix of the core areas of land cover types from 1973 to 1985

土地覆盖类型	1973—1985年土地覆盖类型面积转移量/hm ²							总计 1/hm ²
	1973年	光滩	海水	河流	碱蓬	芦苇	茅草	
光滩	5 558.50	1 194.77	487.65	1 982.64	128.85	880.96	447.73	10 681.09
海水	102.38	2 760.01	7.35	0.00	0.00	0.00	0.00	2 869.74
河流	582.77	48.56	120.89	3.00	75.10	0.00	8.26	838.56
碱蓬	0.00	0.00	109.48	3 501.67	31.07	791.67	0.00	4 433.88
芦苇	0.00	0.00	42.33	36.42	929.23	39.74	0.00	1047.73
茅草	0.00	0.00	115.58	450.41	368.46	1 495.31	0.00	2 429.77
总计 2/hm ²	6 243.64	4 003.34	883.28	5 974.14	1 532.71	3 207.68	455.99	22 300.77

注：土地覆盖类型面积转移是指，从1973年地物类型到1985年土地覆盖类型面积转移量。总计1：1973年土地覆盖类型面积总和；总计2：1985年土地覆盖类型面积总和。

表 8 1985—2001 年核心区土地覆盖类型面积转移矩阵

Tab. 8 Transfer matrix of the core areas of land cover types from 1985 to 2001

1985 年 土地覆盖类型	1985—2001 年土地覆盖类型面积转移量/hm ²								总计 1/hm ²
	光滩	海水	河流	碱蓬	芦苇	茅草	米草	养殖区	
光滩	2 969.85	331.20	335.87	396.81	70.94	0.00	2 138.99	0.00	6 243.64
海水	559.23	3 420.00	24.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4 003.34
河流	330.19	13.28	115.73	63.53	141.52	28.60	119.27	71.17	883.28
碱蓬	0.00	0.00	83.29	3 835.62	842.09	807.77	74.04	331.32	5 974.14
芦苇	1.42	0.00	127.21	2.06	805.49	0.00	0.04	596.49	1 532.71
茅草	67.46	0.00	0.00	521.96	799.99	413.10	8.27	1 396.89	3 207.68
米草	0.32	0.00	0.00	367.44	0.00	0.00	88.23	0.00	455.99
总计 2/hm ²	3 928.47	3 764.47	686.21	5 187.42	2 660.03	1 249.47	2 428.84	2 395.87	2 2300.77

注：土地覆盖类型面积转移是指，从 1985 年地物类型到 2001 年土地覆盖类型面积转移量。总计 1：1985 年土地覆盖类型面积总和；总计 2：2001 年土地覆盖类型面积总和。

表 9 2001—2008 年核心区土地覆盖类型面积转移矩阵

Tab. 9 Transfer matrix of the core areas of land cover types from 2001 to 2008

2001 年 土地覆盖类型	2001—2008 年土地覆盖类型面积转移量/hm ²								总计 1/hm ²
	光滩	海水	河流	碱蓬	芦苇	米草	养殖区		
光滩	2 973.18	42.87	101.13	0.00	2.27	809.02	0.00	3 928.47	
海水	423.05	3 340.86	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	3 764.47	
河流	273.65	3.60	181.35	13.18	97.84	51.07	65.51	686.21	
碱蓬	0.00	0.00	117.07	3 082.16	1 548.65	302.51	137.03	5 187.42	
芦苇	1.59	0.00	96.15	183.36	1 447.57	99.85	831.51	2 660.03	
茅草	0.00	0.00	0.00	0.48	1 070.38	0.00	178.61	1 249.47	
米草	1.11	0.00	21.76	114.08	2.55	2 289.02	0.32	2 428.84	
养殖区	0.00	0.00	59.41	3.70	212.55	28.76	2 091.45	2 395.87	
总计 2/hm ²	3 672.59	3 387.33	577.42	3 396.96	4 381.81	3 580.22	3 304.43	22 300.77	

注：土地覆盖类型面积转移是指，从 2001 年地物类型到 2008 年土地覆盖类型面积转移量。总计 1：2001 年土地覆盖类型面积总和；总计 2：2008 年土地覆盖类型面积总和。

表 10 2008—2013 年核心区土地覆盖类型面积转移矩阵

Tab. 10 Transfer matrix of the core areas of land cover types from 2008 to 2013

2008 年 土地覆盖类型	2008—2013 年土地覆盖类型面积转移量/hm ²								总计 1/hm ²
	光滩	海水	河流	碱蓬	芦苇	米草	养殖区		
光滩	2 358.87	984.03	21.16	0.00	0.00	308.54	0.00	3 672.59	
海水	105.58	3 281.76	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3 387.33	
河流	57.74	34.45	203.15	55.75	121.93	30.25	74.15	577.42	
碱蓬	0.00	0.00	75.30	2 626.02	376.81	311.73	7.10	3 396.96	
芦苇	0.00	0.00	54.48	796.71	2 713.43	180.92	636.27	4 381.81	
米草	1.92	32.70	39.22	309.03	50.50	3 146.85	0.00	3 580.22	
养殖区	0.00	0.00	259.40	43.43	536.45	0.60	2 464.55	3 304.43	
总计 2/hm ²	2 524.10	4 332.93	652.71	3 830.94	3 799.13	3 978.90	3 182.07	22 300.77	

注：土地覆盖类型面积转移是指，从 2008 年地物类型到 2013 年土地覆盖类型面积转移量。总计 1：2008 年土地覆盖类型面积总和；总计 2：2013 年土地覆盖类型面积总和。

表 11 2013—2018 年核心区土地覆盖类型面积转移矩阵

Tab. 11 Transfer matrix of the core areas of land cover types from 2013 to 2018

2013 年 土地覆盖类型	2013—2018 年土地覆盖类型面积转移量/hm ²							总计 1/hm ²
	光滩	海水	河流	碱蓬	芦苇	米草	养殖区	
光滩	2 397.11	126.84	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	2 524.10
海水	1 274.56	3 010.25	31.31	0.00	0.00	16.81	0.00	4 332.93
河流	3.95	0.00	342.27	35.36	37.34	58.71	175.07	652.71
碱蓬	0.00	0.00	42.69	2 055.04	853.64	775.62	103.95	3 830.94
芦苇	0.00	0.00	50.88	446.73	1 911.75	23.80	1 365.97	3 799.13
米草	179.51	0.00	45.09	120.98	1.26	3 584.74	47.33	3 978.90
养殖区	0.00	0.00	100.32	0.13	348.56	0.04	2 733.01	3 182.07
总计 2/hm ²	3 855.13	3 137.09	612.73	2 658.24	3 152.55	4 459.71	4 425.32	2 2300.77

注：土地覆盖类型面积转移是指，从 2013 年地物类型到 2018 年土地覆盖类型面积转移量。总计 1：2013 年土地覆盖类型面积总和；总计 2：2018 年土地覆盖类型面积总和。

(2.26%)转变为河流, 1 548.65 hm²(29.85%)转变为芦苇, 302.51 hm²(5.83%)转变为米草, 137.03 hm²(2.64%)转变为养殖区。

在 2008—2013 年期间, 土地覆盖转变方式主要为光滩向海水、米草的转变, 米草向碱蓬的转变, 碱蓬向芦苇、米草的转变, 芦苇向碱蓬、养殖区、米草的转变。其中光滩向海水、米草的转变主要分布在东部靠海区域; 米草向碱蓬的转变主要分布在东部区域; 碱蓬向芦苇、米草的转变主要分布在中部、东北部区域; 芦苇向碱蓬、养殖区、米草的转变主要分布在中部、西北部、东北部区域。海水覆盖面积增加了 945.59 hm², 光滩覆盖面积减少了 1 148.49 hm², 河流覆盖面积增加了 75.29 hm², 米草覆盖面积增加了 398.68 hm², 碱蓬覆盖面积增加了 433.98 hm², 芦苇覆盖面积减少了 582.68 hm², 养殖区覆盖面积减少了 122.37 hm²。其中, 芦苇转变了 1 668.38 hm², 转变率为 38.08%, 有 54.48 hm²(1.24%)转变为河流, 796.71 hm²(18.18%)转变为碱蓬, 180.92 hm²(4.13%)转变为米草, 636.27 hm²(14.53%)转变为养殖区。

在 2013—2018 年期间, 土地覆盖转变方式主要为海水向光滩的转变, 碱蓬向芦苇、米草的转变, 芦苇向碱蓬、养殖区的转变。其中, 海水向光滩的转变主要分布在东部靠海区域; 碱蓬向芦苇、米草的转变主要分布在西部和中部区域; 芦苇向碱蓬、养殖区的转变主要分布在中部、西北部区域。海水覆盖面积减少了 1 195.84 hm², 光滩覆盖面积增加了 1 331.03 hm², 河流覆盖面积减少了 39.98 hm², 米草覆盖面积增加了 480.81 hm², 碱蓬覆盖面积减少了 1 172.70 hm², 芦苇覆盖面积减少了 646.57 hm², 养殖区覆盖面积增加了 1 243.26 hm²。其中, 米草转变了 394.16 hm²,

转变率为 9.91%, 有 179.51 hm²(4.51%)转变为光滩, 45.09 hm²(1.13%)转变为河流, 120.98 hm²(3.05%)转变为碱蓬, 1.26 hm²(0.03%)转变为芦苇, 47.33 hm²(1.19%)转变为养殖区。

盐城保护区核心区土地覆盖在 1973—2018 年期间变化显著, 其中光滩面积减少最大, 依次是茅草、碱蓬, 而米草、养殖区、芦苇面积显著增加。在 1973—2013 年, 光滩持续减少 8 156.99 hm²; 而在 2013—2018 年, 增加了 1 331.03 hm², 整体上光滩减少了 6 825.96 hm²。在 1973—1985 年, 茅草增加了 777.91 hm², 而从 1985 年开始持续减少, 直至 2008 年全部消失, 整体上茅草减少了 2 429.77 hm²。在 1973—1985 年, 碱蓬增加了 1 540.27 hm², 而在 1985—2018 年持续减少, 整体上碱蓬减少了 1 775.64 hm²。在 1973—2018 年, 米草增加了 4 459.71 hm²。在 1985—2018 年, 养殖区增加了 4 425.32 hm²。在 1973—2008 年, 芦苇持续增加了 3 334.08 hm², 而在 2008—2018 年持续减少了 1 229.26 hm², 整体上芦苇增加了 2 104.82 hm²。

3 结论与讨论

1) 基于长时间序列的遥感影像数据采用面向对象方法对盐城保护区核心区土地覆盖类型进行分类, 并利用土地利用转移矩阵得到土地覆盖变化特征信息。研究表明, 1973—2018 年, 盐城保护区核心区土地覆盖变化总体上表现为光滩大面积减少, 转变方式是光滩→碱蓬群落→米草群落; 茅草群落完全消失, 转变方式是茅草群落→芦苇群落→养殖区; 碱蓬群落明显减少, 集中在研究区中部地区, 西部靠近海堤的主要演替是碱蓬群落→芦苇群落, 东部靠近滩涂的主要演替是碱蓬群落→米草群落; 养殖区

大面积增加,集中在研究区西南部地区;芦苇群落明显增加,集中在研究区西部和西北部地区。

2) 1973—2013年,植物群落的扩张导致光滩面积的减少;2013—2018年,由于海岸滩涂的淤蚀,光滩面积增加,海水面积减少。米草群落和芦苇群落的扩张,导致碱蓬群落减少;芦苇群落和人工养殖区的扩张,导致茅草群落消失。因此,盐城保护区核心区土地覆盖类型变化的主要原因包括自然因素和人为干扰两个方面。自然因素包括海岸滩涂的侵蚀和淤积以及滨海湿地的自然演替;人为干扰包括为开发滨海地区资源的相关政策和措施相继出台和实施以及引种外来物种米草常年不断的快速扩张。

针对1973—2018年对盐城保护区核心区土地覆盖变化特征的研究表明:米草群落的持续扩张导致盐城保护区核心区的先锋碱蓬植被群落的退化,应实施科学有效的管理,防止米草过度繁殖,恢复碱蓬群落。人工养殖区覆盖面积的持续增加给生态系统带来了一定压力,应采取措施防止人工湿地(养殖区)不断向自然湿地方向延伸,尽量减少人为干扰对核心区的影响,维持核心区湿地生态系统的安全与稳定,实现盐城滨海湿地的可持续发展,达到人与自然和谐共存的目的。

参考文献:

- [1] Finlayson C M. Coastal wetlands and climate change: The role of governance and science[J]. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 1999, 9(6): 621-626.
- [2] 曲向荣, 贾宏宇, 李秀珍, 等. 辽东湾芦苇湿地对陆源营养物质净化作用的初步研究[J]. *应用生态学报*, 2000, 11(2): 270-272.
Qu Xiangrong, Jia Hongyu, Li Xiuzhen, et al. Preliminary study on the purification of terrestrial nutrients by reed wetland in Liaodong Bay[J]. *Journal of Applied Ecology*, 2000, 11 (2): 270-272.
- [3] 孙广友. 中国湿地科学的进展与展望[J]. *地球科学进展*, 2000, 15(6): 666-672.
Sun Guangyou. Progress and prospect of wetland science in China[J]. *Progress of Geosciences*, 2000, 15(6): 666-672.
- [4] 王国祥. 盐城沿海湿地: 江苏盐城湿地珍禽国家级自然保护区综合科学考察报告[M]. 北京: 科学出版社, 2017: 1-14.
Wang Guoxiang. Comprehensive Scientific Investigation Report on Yancheng Coastal Wetland-Jiangsu Yancheng Wetland Rare Bird National Nature Reserve[M]. Beijing: Science Press, 2017: 1-14.
- [5] 张学勤. 江苏盐城沿海湿地演变与自然保护区建设模式探讨[M]. 济南: 山东人民出版社, 2013: 31-40.
Zhang Xueqin. Study on the Evolution of Coastal Wetlands and the Construction Model of Nature Reserves in Yancheng, Jiangsu[M]. Jinan: Shandong People's Publishing House, 2013: 31-40.
- [6] 宗玮. 上海海岸带土地利用/覆盖格局变化及驱动机制研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2012.
Zong Wei. Study on land use/coverage pattern change and driving mechanism in Shanghai coastal zone[D]. Shanghai: East China Normal University, 2012.
- [7] 左平, 李云, 赵书河, 等. 1976年以来江苏盐城滨海湿地景观变化及驱动力分析[J]. *海洋学报*, 2012, 34(1): 101-108.
Zuo Ping, Li Yun, Zhao Shuhe, et al. Landscape changes and driving forces of coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province, since 1976[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2012, 34 (1): 101-108.
- [8] 贺秋华. 江苏滨海土地利用/覆盖变化及其生态环境效应研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2011.
He Qiu-hua. Land use/cover change and its eco-environmental effects in coastal areas of Jiangsu Province[D]. Nanjing: Nanjing Normal University, 2011.
- [9] 张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异[J]. *生态学报*, 2012, 32(1): 101-110.
Zhang Huabing, Liu Hongyu, Hao Jingfeng, et al. Evolution characteristics and spatial differences of landscape pattern of Yancheng coastal wetland driven by natural and artificial management[J]. *Journal of Ecology*, 2012, 32(1): 101-110.
- [10] 王凯, 高媛赟, 温小荣, 等. 近10年盐城国家级珍禽自然保护区核心区湿地动态变化分析[J]. *森林工程*, 2015, 31(1): 17-21.
Wang Kai, Gao Yuanyun, Wen Xiaorong, et al. Dynamic changes of wetlands in the core area of Yancheng National Precious Poultry Nature Reserve in recent 10 years[J]. *Forest Engineering*, 2015, 31 (1): 17-21.
- [11] 郝敬锋, 刘红玉, 李玉凤, 等. 基于转移矩阵模型的江苏海滨湿地资源时空演变特征及驱动机制分析[J]. *自然资源学报*, 2011, 25(11): 1918-1928.
Hao Jingfeng, Liu Hongyu, Li Yufeng, et al. Spatio-temporal evolution characteristics and driving mechanism analysis of Jiangsu coastal wetland resources based on transfer matrix model[J]. *Journal of Natural Resources*, 2011, 25 (11): 1918-1928.
- [12] 杜培军, 陈宇, 谭琨. 湿地景观格局与生态安全遥感监测分析: 以江苏滨海湿地为例[J]. *国土资源遥感*, 2014, 26(1): 158-166.
Du Peijun, Chen Yu, Tan Kun. Remote sensing monitoring analysis of wetland landscape pattern and ecological safety: a case study of Jiangsu coastal wetland[J]. *Journal of Geomatics Science and Technology*, 2014, 26(1): 158-166.

- toring and analysis of wetland landscape pattern and ecological security: A case study of Jiangsu coastal wetland[J]. *Remote Sensing of Land and Resources*, 2014, 26 (1): 158-166.
- [13] 张东菊, 左平, 邹欣庆. 基于加权 Ripley's K-function 的多尺度景观格局分析: 以江苏盐城滨海湿地为例[J]. *生态学报*, 2015, 35(8): 2703-2711.
Zhang Dongju, Zuo Ping, Zou Xinqing. Multi-scale landscape pattern analysis based on weighted Ripley's K-function: Yancheng coastal wetland in Jiangsu Province as an example[J]. *Journal of Ecology*, 2015, 35 (8): 2703-2711.
- [14] 张晓祥, 唐彦君, 严长清, 等. 近 30 年来江苏海岸带土地利用/覆被变化研究[J]. *海洋科学*, 2014, 38(9): 90-95.
Zhang Xiaoxiang, Tang Yanjun, Yan Changqing, et al. Research on land use/cover change in Jiangsu coastal zone in recent 30 years[J]. *Marine Sciences*, 2014, 38(9): 90-95.
- [15] 丁晶晶, 王磊, 季永华, 等. 江苏省盐城海岸带湿地景观格局变化研究[J]. *湿地科学*, 2009, 7(3): 202-207.
Ding Jingjing, Wang Lei, Ji Yonghua, et al. Landscape pattern change of coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province[J]. *Wetland Science*, 2009, 7(3): 202-207.
- [16] 肖锦成, 欧维新, 符海月. 基于 BP 神经网络与 ETM+ 遥感数据的盐城滨海自然湿地覆被分类[J]. *生态学报*, 2013, 33(23): 7496-7504.
Xiao Jincheng, Ou Weixin, Fu Haiyue. Classification of coastal wetland cover in Yancheng based on BP neural network and ETM + remote sensing data[J]. *Journal of Ecology*, 2013, 33 (23): 7496-7504.
- [17] 张濛, 濮励杰. 近 30 年来江苏省滨海湿地变化过程及其受围垦活动的影响[J]. *湿地科学与管理*, 2017, 13(3): 56-60.
Zhang Meng, Pu Lijie. Changes of coastal wetlands in Jiangsu Province and their impacts on reclamation activities in recent 30 years[J]. *Wetland Science and Management*, 2017, 13 (3): 56-60.
- [18] 张东方, 杜嘉, 陈智文, 等. 20 世纪 60 年代以来 6 个时期盐城滨海湿地变化及其驱动因素研究[J]. *湿地科学*, 2018, 16(3): 313-321.
Zhang Dongfang, Du Jia, Chen Zhiwen, et al. Study on the change and driving factors of Yancheng coastal wetland in six periods since the 1960s[J]. *Wetland Science*, 2018, 16 (3): 313-321.
- [19] 牟晓杰, 刘兴土, 阎百兴, 等. 中国滨海湿地分类系统[J]. *湿地科学*, 2015, 13(1): 19-26.
Mou Xiaojie, Liu Xingtu, Yan Baixing, et al. China coastal wetland classification system[J]. *Wetland Science*, 2015, 13 (1): 19-26.
- [20] 翟可, 刘茂松, 徐驰, 等. 盐城滨海湿地的土地利用/覆盖变化[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(6): 1081-1086.
Zhai Ke, Liu Maosong, Xu Chi, et al. Land use/cover change of Yancheng coastal wetland[J]. *Journal of Ecology*, 2009, 28 (6): 1081-1086.
- [21] 刘力维, 张银龙, 汪辉, 等. 1983~2013 年江苏盐城滨海湿地景观格局变化特征[J]. *海洋环境科学*, 2015, 34(1): 93-100.
Liu Liwei, Zhang Yinlong, Wang Hui, et al. Landscape pattern change characteristics of coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province from 1983 to 2013[J]. *Marine Environmental Science*, 2015, 34 (1): 93-100.
- [22] 王彩艳, 王瑗玲, 王介勇, 等. 基于面向对象的海岸带土地利用信息提取研究[J]. *自然资源学报*, 2014, 29(9): 1589-1597.
Wang Caiyan, Wang Ailing, Wang Jieyong, et al. Research on land use information extraction based on object-oriented coastal zone[J]. *Journal of Natural Resources*, 2014, 29 (9): 1589-1597.
- [23] 邓书斌. ENVI 遥感图像处理方法[M]. 北京: 科学出版社, 2010.
Deng Shubin. *ENVI Remote Sensing Image Processing Method*[M]. Beijing: Science Press, 2010.
- [24] 张策, 臧淑英, 金竺, 等. 基于支持向量机的扎龙湿地遥感分类研究[J]. *湿地科学*, 2011, 99(3): 263-269.
Zhang Ce, Zang Shuying, Jin Zhu, et al. Remote sensing classification of Zhalong wetland based on support vector machine[J]. *Wetland Science*, 2011, 99 (3): 263-269.
- [25] 马宇龙, 林志奎. 基于面向对象和 CART 决策树方法的遥感影像湿地变化检测研究: 以龙祥岛地区为例[J]. *福建师范大学学报(自然科学版)*, 2017, 33(6): 69-80.
Ma Yulong, Lin Zhilei. Research on wetland change detection based on object-oriented and CART decision tree method in remote sensing image: Taking Longxiangdao area as an example[J]. *Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition)*, 2017, 33(6): 69-80.
- [26] 刘翔, 刘会玉, 林振山, 等. 基于 Landsat OLI 影像的盐城滨海湿地分类方法对比研究[J]. *湿地科学*, 2017, 15(5): 689-696.
Liu Xiang, Liu Huiyu, Lin Zhenshan, et al. Comparative study on classification methods of Yancheng coastal wetlands based on Landsat OLI images[J]. *Wetland Science*, 2017, 15 (5): 689-696.

Object-oriented classification and change monitoring of coastal wetland land covers

SHAO Ya-ting, LU Xia, YE Hui, ZHANG Sen, SUN Min, LIN Ya-li, ZHAO Qian
(Jiangsu Ocean University, Lianyungang 222005, China)

Received: Jul. 4, 2019

Key words: object-oriented; land cover; change detection; Yancheng, Jiangsu Province; coastal wetland

Abstract: Based on six remote sensing images from 1973 to 2018, land cover classification of core areas of the Rare Bird National Nature Reserve in Yancheng coastal wetland, Jiangsu Province, was retrieved by an object-oriented classification method. Subsequently, a land transfer matrix was used to analyze the characteristics of land cover change in the core areas of the Yancheng nature reserve over the past 45 years. The results showed that from 1973 to 2018, the land cover types from sea to land were seawater, mudflat, river, *Spartina*, *Suaeda salsa*, *Thatch grass*, bulrush, and aquaculture. The qualitative characteristics of land cover changes were as follows. Mudflat decreased on a large scale, and the change pattern was from mudflat to the *Suaeda salsa* community and then to the *Spartina* community, mainly concentrated in the central part of the study area. The *Thatch grass* community disappeared in 2008, and the change pattern was from the *Thatch grass* community to the bulrush community and then to aquaculture areas, mainly concentrated in the southwest and northwest of the study area. The *Suaeda salsa* community considerably decreased transforming mainly into reed and *Spartina* communities that were concentrated in the central part of the study area. The change type near the seawall in the west was from the *Suaeda salsa* community to the bulrush community, while the change type near the beach in the east was from the *Suaeda salsa* community to the *Spartina* community. A large area of aquaculture was concentrated in the southwestern part of the study area, and the bulrush communities considerably increased in the western and northwestern regions of the study area. The results also indicated that the land cover types in the core areas of the Yancheng nature reserve had considerably changed over the past 45 years, especially the spatial distribution of the aquaculture areas (had considerably increased), which may have had an adverse impact on the health and sustainable development of the coastal wetland ecosystem. Therefore, changing how land resources in the core areas of the Yangchen nature reserve are developed and utilized is necessary, and this must be done as soon as possible.

(本文编辑: 刘珊珊)