

宋怀荣, 苏国辉, 孙记红, 等. 基于随机森林的盐城湿地近 20 年景观格局变化[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(12): 75-82.

基于随机森林的盐城湿地近 20 年景观格局变化

宋怀荣^{1,2}, 苏国辉^{1,2}, 孙记红^{1,2}, 魏合龙^{1,2}, 林文荣^{1,2}

(1 中国地质调查局青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 2 中国地质调查局滨海湿地生物地质重点实验室, 青岛 266071)

摘要:掌握湿地景观分类及其动态变化能够有效监测湿地生态系统格局变化。选取江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区湿地, 采用最大似然、CART 决策树和随机森林的方法分别对该核心区进行信息提取, 分析发现, 随机森林方法的精确度最高(总体分类精度达 91.02%, Kappa 系数为 0.89)。进而采用该方法针对整个江苏盐城滨海湿地进行景观信息提取, 得到了 1995、2006、2016 年度的江苏盐城湿地景观分类(共分为 6 种类型), 并通过转移矩阵分析了各类型的每年度变化情况, 结果发现, 江苏盐城湿地面积总体呈增长趋势, 主要表现在水产养殖区向浅海区不断扩张, 1995—2006 年期间植被、建筑区和农作物面积都有所增长, 2006—2016 年期间基本保持稳定。

关键词:随机森林; 决策树; 景观分类; 滨海湿地

中图分类号: P76

文献标识码: A

DOI: 10.16028/j.1009-2722.2021.073

0 引言

湿地是世界上独一无二的生物多样性丰富的生态系统, 它不仅拥有丰富的动植物资源, 而且具有巨大的环境调控功能, 如延缓洪水、节约用水、防止水土流失、调节气候、净化环境等, 可以改善人类的生存环境, 更特别的是湿地可以保护全球许多珍稀濒危动植物, 是一个天然的物种基因库。此外, 湿地所提供的高生物生产力及和谐的环境也为人类的可持续发展和休闲旅游创造了良好的条件^[1]。受研究区实际情况、数据源、分类算法和地物类型波谱特性等诸多因素的影响, 滨海湿地信息自动化和智能化提取及解译精度仍缺少有效的数据融合和数据挖掘算法^[2]。利用长时间序列的遥感影像数据, 进行湿地景观分类, 开展湿地景观格局的演化研究, 对于准确掌握湿地生态健康监测和评价具有重要的研究意义。

基于遥感影像数据解译土地利用和覆被分类是研究湿地演变的主要手段之一, 最大似然、基于 CART 决策树、随机森林方法被用于湿地景观分类中。王聪等^[3]用基于像元的决策树方法, 以 2010

年 TM 影像为数据源, 开展江苏盐城滨海湿地景观分类研究, 其参数设置与不同年份不同区域的限制, 需要进一步调参。蒋佳文等^[4]利用 CART 决策树方法, 对 10 年间盐城滨海湿地类型动态变化进行分析, 针对研究区(盐城滨海的一段区域)的芦苇、米草、碱蓬的空间分布格局变化进行分析, 总体分类精度高达 91.1%, Kappa 系数高达 0.88, 分类效果良好, 起到一定的参考意义。张东方等^[5]利用湿地动态度, 计算研究区土地资源数量的变化程度, 对盐城滨海湿地 1980—2015 年度期间的遥感影像进行解译, 其研究区范围较大, 涵盖整个盐城滨海区域, 包括养殖池、工业用地、旱地、水田、林地、沟渠、盐化草甸等 18 种类型, 其分类精度的 Kappa 系数仍 > 0.8, 但是智能化有待提高。刘力维等^[6]野外实际调查与遥感卫片对照, 配合地物的几何形状、颜色特征、纹理特征和空间分布情况, 确定各类植被类型和土地利用解译标志, 对研究区进行目视解译, 对专家识别的要求较高。卢霞等^[7]基于面向对象的方法, 利用 eCognition 软件对 3 期影像进行多尺度分割, 利用决策树(CART)分类算法提取研究区土地利用信息, 提取江苏盐城大丰麋鹿国家级自然保护区第 3 核心区的土地利用/覆盖信息, 其分类精度较可靠。刘翔等^[8]利用 Landsat OLI 影像数据对盐城滨海湿地进行了分类研究, 对比监督分类、决策树分类和面向对象方法指出, 对于监督分类方法, 决策树分类方法取得了更好的分类效果, 但由

收稿日期: 2021-03-31

资助项目: 中国地质调查局项目(DD20190214, DD20191008)

作者简介: 宋怀荣(1985—), 女, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋地质、海岸带生态信息化等方面的研究工作。E-mail: songhr2010@126.com

于知识规则阈值的确定主要依靠人工寻找,其操作过程比较复杂;对比监督分类和决策树分类方法,面向对象方法具有较大优势,适合用于盐城滨海湿地分类,但分辨率(30 m)相对较低影像的湿地分类中,面向对象方法在使用的时候,会增加选择合理的分割尺度的难度和分类工作量,在一定程度上影响该方法优势。张健等^[9]建立了滨海湿地景观3级分类系统,将景观划分了13类,融合Landsat数据和HJ/CCD数据,对其进行波段组合后,利用最大似然法分类提取江苏盐城滨海湿地信息,研究滨海地区的湿地信息、动态变化并对驱动因子进行分析。金宇等^[10]基于Landsat数据,运用监督分类及人工目视解译相结合的方式对影像进行解译,得到不同时期下研究区的主要土地利用/覆被类型。任武阳等^[11]采用面向对象的分类方法对高分二号遥感影像提取江苏盐城湿地植被生境类型。唐江浪等^[12]以1973、1990、2000年以及2016年共4期Landsat遥感影像数据,结合地形数据,利用人机交互方法解译研究区4时相的海岸线。黄静等^[13]基于Landsat影像数据,采用多种分类方法实现地物分类并提取海岸线,首先,利用缨帽变换对预处理后的影像进行增强处理,其次,利用IsoData非监督分类法对地物预分类,粗略区分高、中潮滩,然后在非监督分类的基础上,结合目视解译选取训练样区,采用最大似然分类法将地物进一步归类,精确区分海洋、陆地及高、中潮滩。肖锦成^[14]构建了基于BP神经网络的滨海湿地覆被分类模型,并将其应用于江苏盐城沿海湿地珍禽国家级自然保护区的核心区的自然湿地覆被分类研究中,输入了10个节点数,划分的8种覆被类型,分类Kappa系数为

0.83。综上发现,目前,针对江苏盐城滨海湿地景观分类,基本采用Landsat数据,常用的方法是目视解译^[15-17]、基于向量机^[18]、基于像元的决策树、基于CART决策树、监督分类、面向对象方法、BP神经网络等,但是使用随机森林方法对江苏盐城滨海湿地进行景观分类的讨论较少。

因此,本文探讨目前最常用且分类效果良好的最大似然、基于CART决策树、随机森林方法分别对江苏盐城滨海核心区湿地进行景观分类,并选择随机森林方法对盐城整个海岸带湿地进行景观分类。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

本文选取研究区主要涉及响水县、滨海市、射阳、大丰以及东台5个县(市)的潮间带滩涂、港口、部分潮下带以及由堤内的耕作农田向堤外滩涂过渡区的苇鱼塘、林地盐场、撂荒地等^[19],面积约3 100 km²,如图1左图所示。该地区位于江苏东部,地处长江、淮河和沂沭泗河流域最下游,经纬度在31°41′–35°07′N, 119°06′–121°56′E之间,属北亚热带向暖温带过渡地带气候,以海洋性、季风性为气候特征,降水丰沛,年均降水量为895~1 000 mm,多年气温平均值为13~15℃,受海水长期侵蚀的影响,湿地主要土壤类型为滨海盐土,主要植被类型为盐地碱蓬、芦苇和花米草^[9]。江苏滨海湿地是国际上重要的湿地之一,生物资源种类多样,特别是一些珍稀野生动物的重要栖息地。

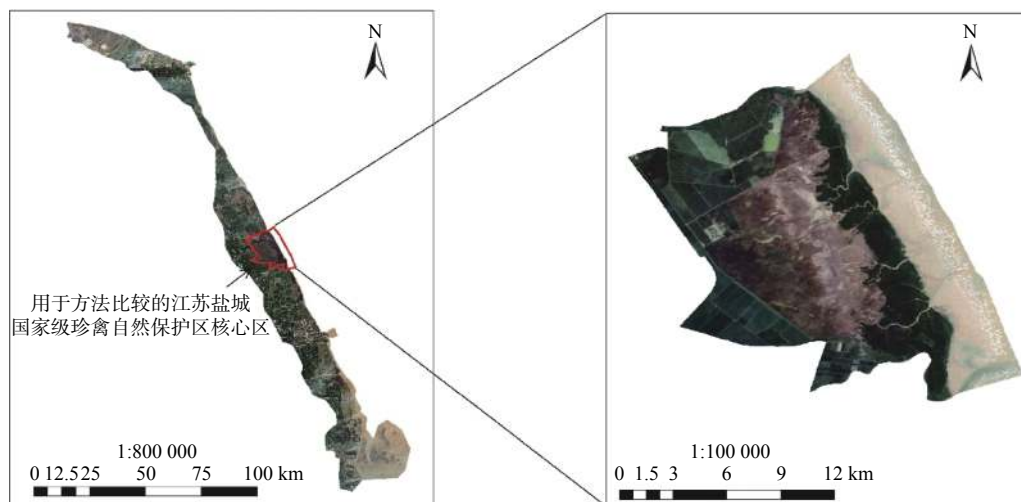


图1 本文研究区遥感影像

Fig.1 Study area of the article

江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区湿地为粉砂淤泥质潮滩海滨湿地类型, 主要位于 33°25'0"—33°39'04"N, 120°26'40"—120°44'40"E, 面积约 1.91 km², 湿地植被类型丰富, 保留着较完整的潮滩植被演替序列, 植被类型由陆向海主要分为芦苇带、碱蓬带、米草带和潮间带光泥滩^[3]。

1.2 数据来源

本文资料来源于地理空间数据云(<http://www.dsac.cn>), 包括 landsat8 OLI、Landsat5 TM 数据, 如表 1。由于存在云的影像, 每一年的研究区域存在非同一天景象的事实, 但选择植被生长状态相似的月份, 即 4—10 月份, 基本消除了存在的差异性影响。对本研究所用的数据源为 8 景 Landsat5 TM、4 景 Landsat8 OLI, 其空间分辨率均为 30 m。

表 1 研究区遥感影像信息

Table 1 Remote sensing image information of the study area

成像载体	传感器	成像时间	景数	空间分辨率/m	备注
Landsat5	TM	1995-05-22	2景	30	
Landsat5	TM	1995-08-03	1景	30	含江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区
Landsat5	TM	1995-10-22	1景	30	
Landsat5	TM	2006-09-09	2景	30	
Landsat5	TM	2006-09-18	2景	30	含江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区
Landsat8	OLI	2016-04-22	2景	30	含江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区
Landsat8	OLI	2016-04-29	2景	30	

1.3 数据处理

对下载的 2016、2006、1995 年度的遥感影像进行辐射校正、大气校正、裁剪等预处理。遥感影像

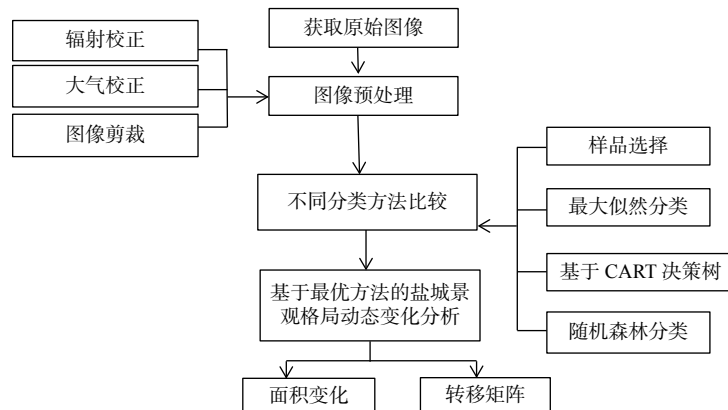


图 2 技术路线

Fig.2 Technical flowchart

信息提取与分类, 主要包括分类系统的确定、样本的选择、进行分类等过程, 具体技术路线如图 2 所示。

湿地分类是湿地研究的基础, 根据研究目的、研究区的特点、土地利用/覆被的特点不同, 湿地系统的分类有所不同。样本选择时参考原始影像和野外验证点等, 样本数量如表 2 所示。1995 年度的样本 107 个, 2006 年度的样本 190 个, 2016 年度的样本 293 个。

表 2 每个年度的样本数量统计

Table 2 Statistics of samples for each year

	1995年	2006年	2016年
植被(米草等)	14	29	58
盐场/水产养殖区	23	38	56
农作物	36	48	66
河流	11	12	36
建筑区(含居民区)	18	40	67
浅海区	5	23	10
合计	107	190	293

1.4 分类方法和精度评价

本文采用总体分类精度和 Kappa 系数指标来验证分类精确度。其中, 总体分类精度是指被正确分类的类别像元数与总的类别个数的比值; Kappa 系数是一种比例, 代表着分类与完全随机的分类产生错误减少的比例, Kappa(k) 系数的计算公式如下:

$$k = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e} \quad (1)$$

式中: p_0 为总体分类精度, 是每一类正确分类的样本数量之和除以总样本数;

p_e 是一种能够惩罚模型的“偏向性”的指标。

根据 k 系数的计算公式, 越不平衡的混淆矩阵,

p_e 越高, k 值就越低, 正好能够给“偏向性”强的模型打低分。

假设每一类的真实样本个数分别为 a_1, a_2, \dots, a_c , 而预测出来的每一类的样本个数分别为 b_1, b_2, \dots, b_c , 总样本个数为 n , 则有:

$$p_e = \frac{a_1 \times b_1 + a_2 \times b_2 + \dots + a_c \times b_c}{n \times n} \quad (2)$$

为了验证分类方法的分类效果, 本文选取江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区湿地, 针对该区域提取景观信息。采用最大似然、基于 CART 决策树和随机森林的方法分别对核心区进行景观提取, 利用 ENVI5.3 软件(并安装基于 CART 决策树和随

机森林分类器^[20]扩展小程序)实现分类, 通过 ArcGIS10.7 进行制图。为了检验 3 种方法对 2006 年度的解译图像的精确度, 参考原始影像和蒋佳文^[4]及刘翔^[8]的分类结果及野外考察点, 选择合计验证点 232 个, 如图 3 所示, 其中红色星号是野外验证点。3 种方法分类结果如图 3 所示, 其总体分类精度和 Kappa 系数如下表 3 所示。由此看出, 基于 CART 的决策树、最大似然分类方法和随机森林方法得到的分类精度都不错。针对整个盐城滨海湿地景观分类, 本文采用随机森林的方法(总体分类精度达 91.02%, Kappa 系数为 0.89)进行信息提取。

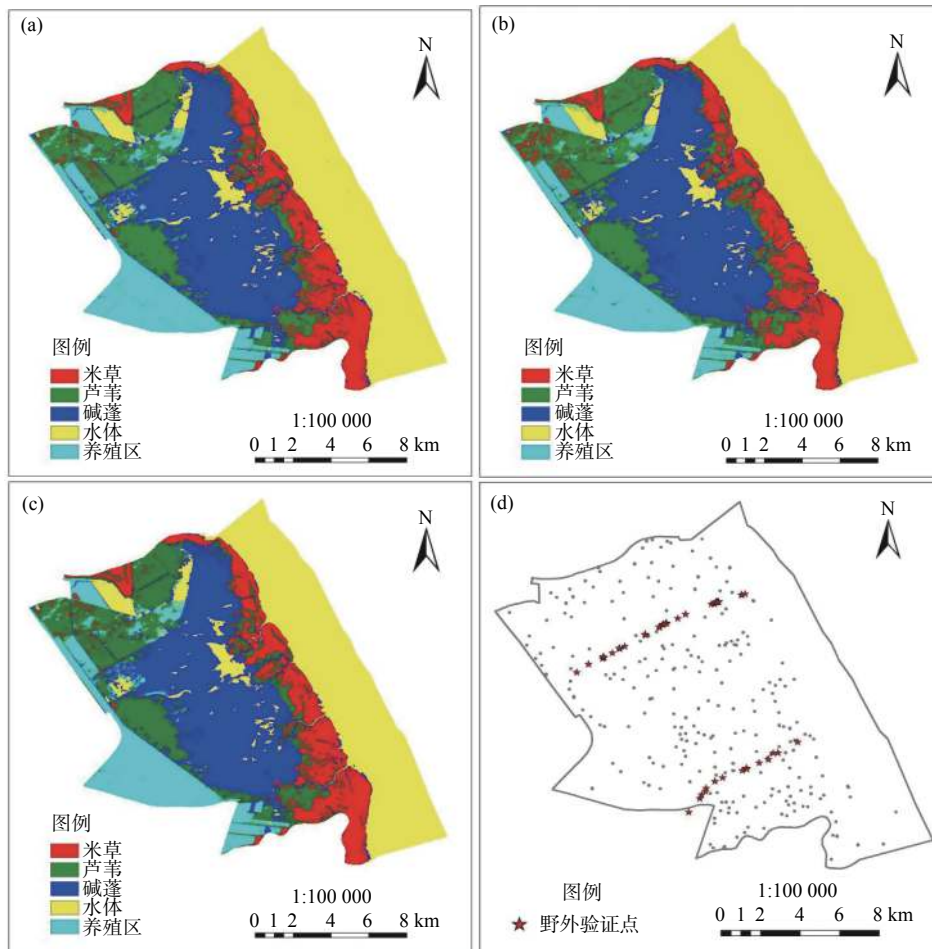


图 3 针对 2006 年影像 3 种分类方法解译结果和验证点

Fig.3 Interpretation results and verification points for the three classification methods of images in 2006

表 3 针对 2006 年度的解译图像的精确度对比表

Table 3 Comparison of the accuracy of images interpretation in 2006

方法	总体分类精度/%	Kappa系数	效果排序
随机森林	91.02	0.89	1
基于CART的决策树	90.23	0.88	2
最大似然	89.06	0.86	3

2 结果分析

基于随机森林方法提取 1995、2006 和 2016 年度盐城滨海湿地景观信息, 分类结果如图 4、5 所示, 3 个年度各类型区域的面积变化情况如图 6 所示。从图 4~6 中不难看出江苏滨海湿地逐年往海域扩

张, 盐场分布逐年减少。

2.1 景观面积动态变化分析

本文的分类体系中植被主要是指芦苇、碱蓬、米草、林地等植物, 建筑区包括城镇居住区和其他建筑用地。由图 5 可以看出, 以 10 年为一节点, 水产养殖区逐年往浅海区(主要是指被潮汐淹没的沙滩和泥滩)大面积扩张, 1995—2006 年, 其面积由

624.91 km² 增长到 1 096.14 km², 涨了 471.23 km², 涨幅为 75.4%; 而至 2016 年期间, 水产养殖区面积达到 1 774.14 km², 比 2006 年的面积增长了 678 km², 涨幅为 61.9%。同时, 米草、芦苇、碱蓬等植被在 1995—2006 年大面积增长, 从 218.74 km² 增长到 403.73 km², 但是在 2006—2016 年面积有所减少, 截至到 2016 年, 二者的面积分别减少为 178.57 km²。不难发现, 浅海区面积逐年减少, 正好与养殖区呈

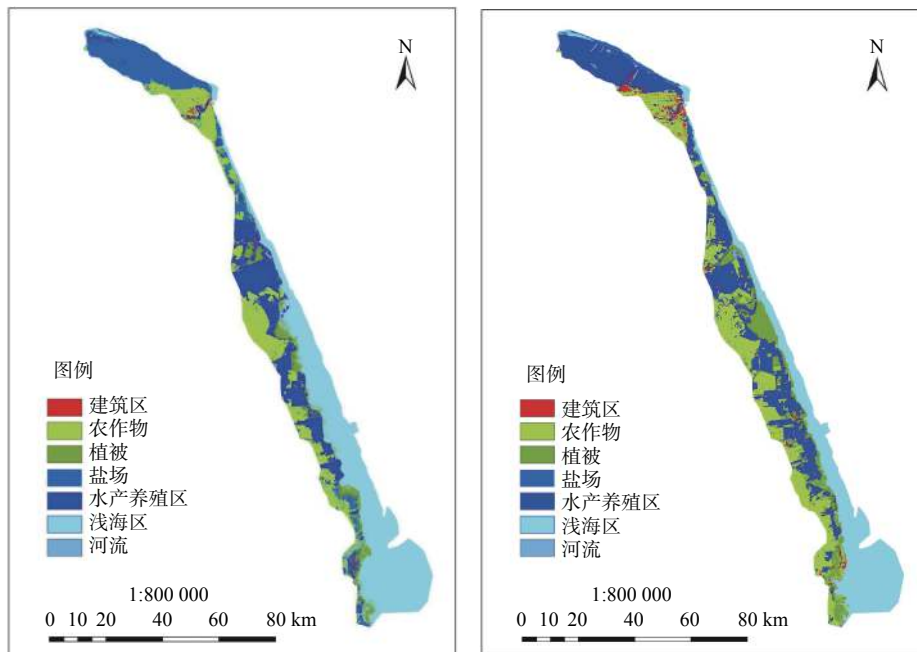


图 4 江苏盐城滨海湿地 1995、2006 年度景观分布

Fig.4 Landscape distribution map of coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province in 1995 and 2006

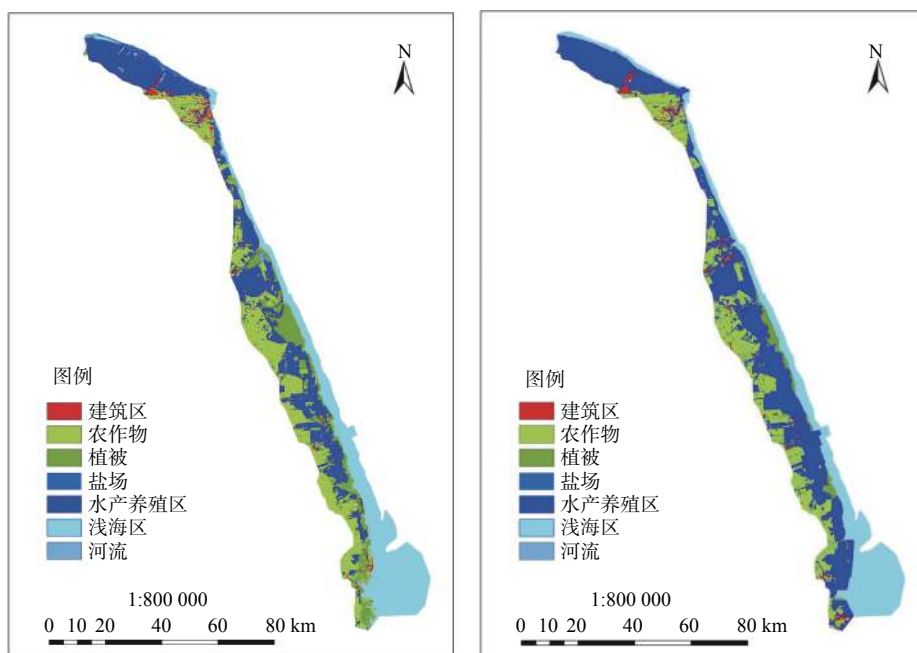


图 5 江苏盐城滨海湿地 2006、2016 年度景观分布

Fig.5 Landscape distribution map of coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province in 2006 and 2016

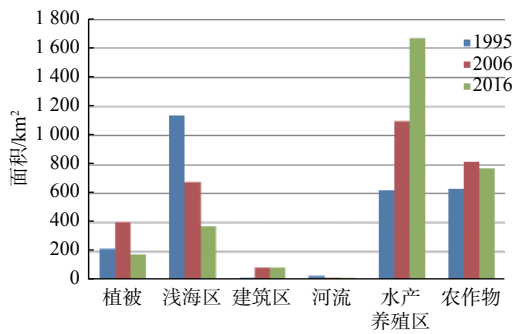


图 6 江苏盐城滨海湿地 1995、2006、2016 年度景观面积变化

Fig.6 Changes in landscape area of coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province in 1995, 2006 and 2016

现相反的变化趋势。建筑区在 1995 年期间的面积约 20.47 km²,随着人口的增加,在 2006 年面积增长为 76.89 km²,而在 2006—2016 年期间,面积增长较少。河流在 1995—2006 年期间,流量逐年微弱减少,但在 2006—2016 年期间,河水流量基本保持均衡。本文的分类体系中农作物用地主要是水稻和玉米等农用地,在 1995—2006 年期间,农用地面积有较大涨幅,由 631.83 km² 增长至 812 km²,但 2006—2016 年,农用地面积有所减少。

总之,在 1995—2006 年期间,江苏盐城滨海湿地地区的农用地、植被区、水产养殖区面积都明显增长,建筑用地面积也随之增长,但是浅海区和河流面积有所减少。在 2006—2016 年期间,水产养殖区依然以强劲的速度增长,而植被区、农用地、浅海区明显较少,建筑用地与河流基本持平。

2.2 转移特征分析

通过转移矩阵分析 1995—2006 年和 2006—2016 年期间的景观类型转化。1995—2006 年期间,植被区、水产养殖区、农用地、建筑区的面积得以增长;2006—2016 年期间,养殖区面积依然大幅度增长。

如表 4 所示,浅海区由于淤泥的累积,生长了大面积的米草、碱蓬等植被,特别是生态保护区的建立,保护和促进了植被的增长,一些水产养殖区也生长了茂密的芦苇、草甸等植被;由于人类活动,将植被区、废弃的水产养殖区、浅海区开垦为水稻田等,增长了大面积农作物;一些农用地改建了一些建筑物,而浅海区修建了人工码头等;水产养殖区由之前的盐场转化而来,且在浅海区开发了更多的养殖区,一方面说明水产养殖行业的兴起盐场的没落。

如表 5 所示,2006—2016 年期间,浅海区开发了更多的水产养殖池,转化面积高达 261.45 km²,而且约 158.35 km² 的水稻田等农作物区域转成了水产养殖区;同时,有约 227.21 km² 的植被区域被开发为养殖区。浅海区淤泥的持续累积,生长了米草、碱蓬等植被,而养殖区也生长了大量的芦苇等植被。在水产养殖区和农作物区域修建了些许梯台和厂房等建筑物。河流和水产养殖区有重合,在河流的一定区段修建了养殖区,因此河流的面积基本不变。在部分废弃的建筑区开垦了玉米等农作物,在部分水产养殖区和米草芦苇区开发了水稻田等。

表 4 1995—2006 年的景观转移面积

Table 4 Landscape transfer area from 1995 to 2006

	/km ²					
	植被	浅海区	建筑区	河流	水产养殖区	农作物
植被	73.77	230.7	0.81	1.86	67.84	21.45
浅海区	3.86	682.7	0.58	1.1	2.76	4.36
建筑区	2.87	11.2	5.59	0.37	6.96	49.9
河流	2.77	1.54	0.08	7.91	4.92	0.37
水产养殖区	95.71	172.23	4.3	10.24	379.16	69.57
农作物	39.76	37.16	9.11	13.76	163.27	486.18

注:竖向的总和是1995年不同景观面积,横向的总和是2006年不同景观面积。每个单元格是不同景观类型的面积转移(1995—2006年)。

表 5 2006—2016 年的景观转移面积

Table 5 Landscape transfer area from 2006 to 2016

	/km ²					
	植被	浅海区	建筑区	河流	水产养殖区	农作物
植被	117.84	34.42	0.31	1.1	18.19	6.71
浅海区	3.14	368.16	0.06	0	3.43	0.13
建筑区	9.61	4.23	31.24	0.11	17.54	26.85
河流	0.24	5.55	0.05	5.68	6.95	0.36
水产养殖区	227.21	261.45	29.44	13.93	983.76	158.35
农作物	45.69	4.25	26.68	0.5	68.27	627.59

注:竖向的总和是2006年不同景观面积,横向的总和是2016年不同景观面积。每个单元格是不同景观类型的面积转移(2006—2016年)。

3 讨论

本文选取盐城盐城国家级珍禽自然保护区核心区湿地,采用最大似然、基于 CART 决策树和随机森林的方法分别对该核心区进行景观提取,选择合计验证点 232 个,探讨 3 种方法分类结果精确度,结果发现,虽然 3 种方法的分类效果都挺好,但随机森林方法的精确度最高,总体分类精度达 91.02%,Kappa 系数为 0.89;基于 CART 决策树分类结果,总体分类精度为 90.23%,Kappa 系数为 0.88;最大似然分类结果,总体分类精度为 89.06%,Kappa 系

数为 0.86。

基于以上分析,针对整个盐城滨海湿地景观分类,本文采用随机森林的方法进行信息提取。1995—2016 年,水产养殖区面积逐年增大,一方面水产养殖区由之前的盐场和水稻田等农作物转化而来,另一方面水产养殖区逐年往浅海区不断扩张;1995—2006 年,浅海区由于淤泥的累积,生长了大面积的米草、碱蓬等植被;一些水产养殖区也生长了茂密的芦苇、草甸等植被;一些农作物领域改建了一些建筑物,而浅海区修建了人工码头等,同时,一些废弃的盐场和水产养殖区域种上经济农作物,例如水稻田;其中,浅海区的范围包括海岸带光滩和近海水体,纵观 20 年来,该海域不断被养殖区扩张,而且粉砂淤泥质潮滩的特性,随着淤泥的累积,米草类植被得以入侵该区域。

但本文在分类的过程中,有一些农作物和草甸类的植被不易区分,因此,将米草、碱蓬、芦苇和草甸归为植被类,而没有进一步细分;将居民区、道路、防护堤及无建筑和无草甸区域归为建筑用地,虽然从土地利用类型上以上分类没有问题,都属于自然湿地或非湿地,但是仍然在技术上需要有待突破。

4 结论

本文参考已有的湿地分类系统,综合考虑江苏盐城湿地特点,建立了江苏盐城滨海湿地景观二级分类系统,利用 1995、2006、2016 年度 3 个时相的 Landsat 遥感影像,提取景观信息和景观动态变化信息,定量分析了湿地变化特征,结果如下:

(1) 对比 3 种景观分类方法,随机森林分类效果最优,针对盐城国家级珍禽自然保护区核心区湿地的分类结果经验证点验证,总体分类精度为 91.02%,Kappa 系数为 0.89,分类数据可以用于景观动态演化分析。

(2) 本文得到了 1995、2006、2016 年度的江苏盐城湿地景观分类,并分析了 6 种分类类型每年度的变化情况,通过长时间序列的数据分析结果发现,江苏盐城湿地面积总体呈增长趋势,向浅海区不断扩张,主要表现在水产养殖区的扩建,虽然在 1995—2006 年期间植被、建筑区和农作物面积都有所增长,但是 2006—2016 年期间,基本保持稳定,特别是自然保护区的面积基本持平,这与当地政府推行的环境保护政策的推行密不可分。

(3) 由于本文使用的数据是 30 m 的分辨率数据,存在一定的解译误差,且仍然存在异物同谱的问题,例如盐田和水产养殖区存在部分混淆的现象,分类方法有待深入挖掘,但是对江苏盐城滨海湿地总体的湿地分类系统变化趋势有一定的参考意义,为江苏盐城滨海湿地生态系统的监测提供一定的参考。

参考文献:

- [1] LV X G, WANG R F. Study on wetland biodiversity in china[J]. Chinese Geographical Science, 1996, 6(1): 15-23.
- [2] 刘润红, 梁士楚, 赵红艳, 等. 中国滨海湿地遥感研究进展[J]. 遥感技术与应用, 2017, 32(6): 998-1011.
- [3] 王聪, 刘红玉, 侯明行, 等. 淤泥质潮滩湿地类型遥感识别分类方法与应用[J]. 地球信息科学学报, 2013, 15(4): 590-596.
- [4] 蒋佳文, 温小荣, 王海龙, 等. 10年间盐城滨海湿地类型信息提取及动态变化分析[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(3): 167-173, 184.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 卢霞, 赵倩, 林雅丽, 等. 大丰麋鹿自然保护区土地利用/覆盖变化监测研究[J]. 淮海工学院学报(自然科学版), 2018, 27(3): 74-81.
- [8] 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.
- [9] 张健, 何祺胜, 崔同, 等. 基于遥感和GIS的江苏滨海地区湿地信息提取及动态变化分析[J]. 长江科学院院报, 2017, 34(4): 144-150.
- [10] 金宇, 高吉喜, 周可新, 等. 围垦及米草入侵下江苏中部滨海湿地土地利用/覆被类型动态变化[J]. 地理研究, 2017, 36(8): 1478-1488.
- [11] 任武阳, 王成, 刘红玉, 等. 基于鸟类生境需求的植被景观覆盖度多样性: 以江苏盐城滨海湿地为例[J]. 生态学杂志, 2019, 38(12): 3870-3877.
- [12] 唐江浪, 李涛, 李刚, 等. 厦门及其邻域近40年海岸线变迁[J]. 海洋地质前沿, 2020, 36(5): 14-21.
- [13] 黄静, 赵庚星. 基于遥感和GIS的黄河口最近20年淤蚀时空动态及水沙影响[J]. 海洋地质前沿, 2021, 37(3): 16-21.
- [14] 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.
- [15] 王华, 王建华, 潘玉雯, 等. 东台市滨海湿地围垦影响的定量评估[J]. 江苏林业科技, 2018, 45(5): 39-43.
- [16] 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.
- [17] 廖华军, 李国胜, 王少华, 等. 近30年苏北滨海滩涂湿地演变特征与空间格局[J]. 地理科学进展, 2014, 33(9): 1209-1217.

- [18] 杜培军, 陈宇, 谭琨. 江苏滨海湿地土地利用/覆盖变化与地表温度响应遥感监测[J]. 国土资源遥感, 2014, 26(2): 112-120.
- [19] 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(中文版), 2012, 34(1): 101-108.
- [20] LINDEN S V D, RABE A, HELD M, et al. The EnMAP-Box: a toolbox and application programming interface for EnMAP data processing. Remote Sense, 2015, 7(9), 11249-11266.

LANDSCAPE CHANGES OF THE YANCHENG WETLAND IN THE PAST 20 YEARS: EVIDENCE FROM RANDOM FOREST

SONG Huairong^{1,2}, SU Guohui^{1,2}, SUN Jihong^{1,2}, WEI Helong^{1,2}, LIN Wenrong^{1,2}

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, China Geological Survey, Qingdao 266071, China;

2 Key Laboratory of Coastal Wetland Biogeosciences, China Geological Survey, Qingdao 266071, China)

Abstract: To study wetland landscape and its dynamic changes can effectively monitor the changes in wetland ecosystem. In this paper, we selected the core wetland of the Yancheng National Rare Birds Nature Reserve in Jiangsu Province as a research focus, and used the methods of maximum likelihood, CART decision tree and random forest to extract information from the core area of the wetland. Our results suggest that the method of random forest has the highest accuracy. The overall classification accuracy is 91.02% with a Kappa coefficient up to 0.89. The method of random forest is adopted as the mean to extract landscape information from the entire coastal wetland of Yancheng and obtained are the six landscape categories of wetland in 1995, 2006, and 2016 respectively. The annual changes of the six types of landscapes are analyzed by transfer matrix. The results show that the area of Yancheng wetland is increasing in an overall trend and the aquaculture areas is continuously expanding to shallow waters. Although the vegetation, construction areas and crop areas were all increased during the period of 1995—2006, they had basically remained stable during the latter period of 2006—2016, especially the areas of nature reserves were kept unchanged.

Key words: random forest; decision tree; landscape classification; coastal wetland