

1992 年以来盐城滨海湿地植被动态变化研究

张佳佳, 沈永明

(南京师范大学 地理科学学院, 江苏 南京 210023)

摘要: 基于 1992~2016 年 4 个时相的遥感数据, 对盐城滨海川东港至梁垛河口岸段进行景观分类, 分析湿地植被类型及分布, 借助转移矩阵法探究滨海湿地植被的时空演变。结果表明: 茅草、芦苇、碱蓬, 米草为川东港至梁垛河口段主要湿地植被类型。1992~2016 年植被总面积减少, 其中茅草几近消失殆尽; 芦苇、碱蓬面积持续缩减; 米草面积大幅增长。1992~2000 年植被面积快速缩减, 大面积的茅草碱蓬地被开发为耕地; 2000~2009 年养殖塘侵占湿地植被, 规模剧增。2009~2016 年, 米草向海方向扩张的同时靠陆侧转变为养殖塘。川东港至梁垛河口的植被演变是自然和人为共同作用的结果。一方面受淤积型海岸影响, 另一方面受政策引导下的各类滩涂开发活动, 及互花米草的引种所带来的快速扩散的影响。本文研究结果为盐城滨海湿地管理与可持续发展提供理论参考。

关键词: 植被变化; 滨海湿地; 转移矩阵; 盐城

中图分类号: K903 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2018)08-0014-08

DOI: 10.11759/hyxx20180121001

滨海湿地是介于陆地生态系统和海洋生态系统的综合地带, 是生物多样性最丰富、生产力最高、最具保护价值的湿地生态系统之一^[1]。植被作为连接土壤、大气和水分的“自然纽带”, 其状况是反映区域生态环境的重要参数^[2]。成方妍等^[3]以 NDVI 表征沿海区域植被状况, 分析 2000~2014 年广西沿海区域的植被动态, 及 NDVI 动态的主要驱动因素。基于群落样方调查, 张绪良等^[4]对黄河三角洲自然湿地植被进行了分类、分布及演化研究。盐城滨海湿地区域优越, 具有较高的资源开发价值和环境调节功能, 是江苏省重要的储蓄土地资源。近年来, 盐城滨海湿地进行了较大规模的开发活动, 植被覆被不断变化, 滨海生态环境压力加剧, 生境遭受不同程度的破坏。研究湿地植被的演替特征, 对认识滨海湿地的演变机理及趋势具有重要意义。针对盐城海滨湿地, 谭清梅等^[5]建立植被覆盖度估算模型, 计算了不同植被类型覆盖度及等级。金宇等^[6]基于遥感手段研究了滨海湿地的围垦及米草入侵的动态变化及二者影响下土地利用/覆被类型的演化过程。目前盐城滨海湿地的研究, 多是探讨整个盐城湿地景观的演变, 或是围绕互花米草展开的滨海湿地覆被变化。对于小尺度的, 滨海湿地植被在不同时段的演替的研究较少。本文借助遥感影像, 通过动态度、转移矩阵等指标, 分析盐城滨海湿地 24 年来的植被变化特征, 探究各

阶段各植被对自然和人为影响的反馈, 以期为当地滨海湿地开发和保护提供参考。

1 研究区概况

盐城滨海湿地位于江苏沿海中部, 区域地理坐标为 32°34'~34°28'N, 119° 27'~121°16'E。借鉴国内外多种滨海湿地定义, 结合盐城市滨海湿地现状, 本文研究区界定如下: 分别以川东港和梁垛河口为南北边界, 以 1992 年人工岸线为西边界, 向东以最大程度覆盖陆地区域的边界为东边界, 研究区总面积为 229.67 km²。研究区内是盐城典型的淤涨岸段, 且有大规模的围垦开发, 在自然环境和人为干扰的共同作用下, 植被覆被及时空变化显著。

研究区属中部盐城海积平原, 是海岸不断淤长形成的滨海平原。主要表现为季风气候, 属于暖温带向北亚热带过渡的地带, 受大陆性、海洋性气候双重影响。研究区川东港南部为盐城大丰区境内, 该区建有国家级大丰麋鹿保护区, 受人类活动干扰比较微

收稿日期: 2018-01-21; 修回日期: 2018-04-22

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(U1609203)

[Foundation: National Natural Science Foundation of China, No. U1609203]

作者简介: 张佳佳(1994-), 女, 江苏启东人, 硕士, 海洋地理学专业, 研究方向为湿地景观生态, 电话: 15062233395, E-mail: grace_ja_921@163.com; 沈永明(1970-), 通信作者, 男, 江苏灌南人, 博士, 硕士研究生导师, 主要从事海岸带资源开发及其环境效应, E-mail: yongmsh@163.com

弱,其景观格局与演变主要受气候、地形、水文、土壤、植被等自然因素影响^[7]。研究区北部属盐城东台市境内,先后受“粮棉经营”和1995年“海上苏东”等计划的影响,天然湿地逐渐转变为连片分布的垦区^[8]。互花米草引入之前,盐城滨海湿地植被分布及演替自海向陆依次为海岸盐沼先锋植物群落碱蓬、海岸潮上带及堤内滩地獐茅或白茅以及河口半咸水盐沼处的芦苇沼泽^[9]。1982年开始,互花米草在沿海试种,目前已取代碱蓬作为先锋植被在盐城滨海迅速扩散,成为优势种群。

2 研究方法 with 数据

2.1 数据来源与处理

从地理数据空间数据云平台,选取 Landsat TM5 (1992年、2000年、2009年)和 TM8(2016年)近20多年4幅影像作为数据源(表1)。影像的选择考虑滨海湿地植被的生长特性,成像时间多处植被生长季(6~10月),同时确保所选影像云量低(小于5%),便于分类解译。具体影像选择如下:

表1 影像数据
Tab.1 Image data

成像载体	传感器	行列号	成像时间	空间分辨率/m
Landsat 5	TM	119/37	1992年6月	30
Landsat 5	TM	119/37	2000年9月	30
Landsat 5	TM	119/37	2009年6月	30
Landsat 8	ETM	119/37	2016年8月	30

在图像分析和处理前,利用 ENVI5.1 对遥感的原始图像做预处理,主要包括:几何校正、图像镶嵌、图像裁切和图像增强。借助 Arcgis 对影像根据研究区范围进行掩膜提取。根据盐城海滨湿地植被分布的层次性,将研究区景观类型划分为光滩、互花米草、碱蓬、芦苇、茅草、水域、耕地以及养殖塘八类。通过野外考察结合遥感影像判读及参考历史文献,采用监督分类和目视解译相结合的方法,确定各种植被类型和土地利用的解译标志。利用误差矩阵进行精度验证,总体精度在85%以上。在 Arcmap 中将分类结果的数据融合,随后对融合后的数据进行叠置分析,再导出叠加后的数据,即为植被转移面积。

2.2 研究方法

2.2.1 植被动态度

动态度能够较好反映植被变化的速率,是指在

研究时段内研究区域内某植被类型数量变化的情况,可用年变化率来反映^[9]。表达式为

$$K = \frac{A_b - A_a}{A_a T} \times 100\%$$

式中, K 为某植被类型在研究时段内的动态度; A_a , A_b 分别为某植被类型在研究期初期和末期的面积; T 为研究期时间长度。

2.2.2 植被转移矩阵

转移矩阵可以量化地识别出各湿地植被类型在不同监测时点间的未变化部分、转移部分及其去向、新增部分及其来源,是一种常用的地物类型变化分析方法^[10]。其表达式为

$$P_{ij} = \begin{vmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nn} \end{vmatrix}$$

式中, A 为某一景观类型的面积; n 为研究区内景观类型数量; i, j 分别为研究期始末的研究区景观类型; A_{ij} 为 i 类型景观转变为 j 类型景观面积。

3 结果分析

3.1 湿地植被的面积变化

比较分类所得的四个时段植被情况,反映了20多年来盐城川东港至梁垛河口段湿地植被总体特征:盐城滨海植被类型主要有米草、碱蓬、芦苇和茅草。早期研究区内茅草生长最繁茂,而后各类植被面积日益缩减,仅米草面积大幅扩张,占主导地位。

统计可得(表2),研究区1992年湿地植被面积最大,高达8 836.63 ha,其中茅草占植被总面积一半以上。2000年湿地植被面积为3 392.28 ha,芦苇、碱蓬、米草分别占研究区植被总面积8.10%、29.28%、62.62%;2009年湿地植被面积为3 004.22 ha,其中米草面积最大,占78.40%,碱蓬次之;2016年川东港至梁垛河口段滨海湿地植被面积为2 638.78 ha,米草面积约2 087.33 ha,占植被总面积79.10%,居主导地位。

表2 研究区植被面积
Tab.2 The area of vegetation in the study area

植被	面积/ha			
	1992年	2000年	2009年	2016年
米草	241.03	2 124.24	2 355.41	2 087.33
芦苇	284.44	274.84	137.02	81.10
碱蓬	2 173.11	993.20	511.79	470.34
茅草	6 138.06	0	0	0
总和	8 836.63	3 392.28	3 004.22	2 638.78

整体上,自 1992 年以来,米草、碱蓬以及芦苇的总面积呈现持续减少的趋势,到 2016 年植被总面积为 2 638.78 ha, 缩减了近 2/3。植被总面积变小,不同植被类型的面积变化各异。茅草骤减几近消失,芦苇和碱蓬的面积都呈现持续减少的趋势,米草的面积则大幅增长至 2 087.33 ha。1992~2016 年,茅草、芦苇、碱蓬面积分别减少了 6 138.06, 203.33, 1 702.77 ha, 其中茅草面积缩减最大,且至 2000 年时绝大部分消亡。茅草、碱蓬面积的减少受盐城沿海地区开发的影响较大,大面积的茅草、碱蓬被开发为耕地、养殖场,滨海养殖业的规模日渐扩大。1992 年,川东港至梁垛河口岸段的研究区内受人为干扰小,并无人工景观的分布,湿地植被自然演替;至 2000 年,茅草、碱蓬等大面积演替为耕地,同时在川东港至东台河口岸段,养殖塘逐渐兴起;2009 年,研究区内养殖场均有分布,且有侵占米草向海扩张的趋势;2016 年,沿岸米草大面积演替为养殖场,养殖场成研究区最大景观类型。

滨海湿地植被在不同时段的变化速率也存在差异(表 3)。1992~2000 年研究区湿地植被变化显著。

表 3 研究区滨海湿地植被变化速度及动态度

Tab. 3 Changes in speed and dynamics of coastal wetland vegetation in the study area

时间段/年	变化速度/ha·a ⁻¹				K/%			
	米草	碱蓬	芦苇	茅草	米草	碱蓬	芦苇	茅草
1992~2000	235.40	-147.49	-1.20	-767.26	97.67	-6.79	-0.42	-12.50
2000~2009	25.69	-53.49	-15.31	-	1.21	-5.39	-5.57	-
2009~2016	-38.30	-5.920	-7.99	-	-1.63	-1.16	-5.83	-

注:“-”表示无此项数据,后同

3.2 湿地植被的空间变化

从分类结果直观可见(图 1),湿地植被受距海远近影响,由海向陆主要为互花米草-碱蓬-茅草的顺次演替,芦苇主要分布在滨海河口位置。川东港南面有盐城大丰麋鹿保护中心,沿岸人为干扰小,没有围垦开发活动,滨海植被多以自然生长为主。东台河口附近,养殖塘大肆侵占植被生境,部分区域一度向外扩张,以致养殖塘外无植被生存。1992 年研究区内植被大面积生长,尚无耕地、养殖塘等人工景观,处于自然演替状态。随后,离海稍远的植被逐渐被耕地、养殖塘等人工景观取代。到 2016 年,除川东港南侧大丰麋鹿保护区内存有大片米草、碱蓬地外,植被生境不断被侵占;保护区以北仅存米草沿海岸呈窄条带状分布。盐城淤涨岸段滨海湿地呈现由光滩

茅草地骤减消退,碱蓬的面积也以每年 147.49 ha 的速度缩减。与此同时,米草动态度最高,以每年 235.40 ha 的速度迅猛增长,可见米草作为外来物种在滨海适宜的盐沼环境下快速繁殖。2003 年互花米草被列入我国首批外来物种名单。2000~2009 年,米草以每年 25.68 ha 速度增加,增长速率变缓,芦苇和碱蓬均呈消退状态。这期间三类湿地植被变化速度:芦苇<米草<碱蓬,碱蓬速度最快;三者动态度:芦苇>碱蓬>米草,芦苇与碱蓬面积变化速率达 5%以上,变化显著。2009~2016 年,米草、碱蓬、芦苇均有消退,三类湿地植被变化速度:碱蓬<芦苇<米草,米草每年减少面积 38.30 ha,速度最快;三者动态度:芦苇>米草>碱蓬,芦苇面积急剧缩减,动态度为 -5.89%,变化速率大。在 1992 年以来的 24 年间,茅草面积急剧减少,以 2000 年前消退幅度最大;研究区内芦苇面积持续减少,以 2000~2009 年缩减幅度最大。后虽缩减面积少,但由于其总面积较小,故缩减面积比重较大;碱蓬面积稳定减少,且变化速率逐步减缓;米草在 2000 年前飞速增长,而后速度减缓,至 2016 年有小幅消退趋势。

向植被向人工景观演替的顺序。

川东港至梁垛河口段是盐城沿海典型淤积岸段的一部分,在大陆架环流的作用下,向南运输的悬浮的沉积物在潮滩中上部沉积,致使滩面不断地淤高,不断地向外侧延伸,使滩面的潮侵率和土壤盐度均降低,从而导致植被整体向海迁移^[11]。由于米草比许多盐沼植物更耐盐耐淹,对土壤的适应性较广,根系发达,因此能在盐沼植被的前沿抢先占据光滩,为滩涂植被类型的演替提供条件^[12]。1992 年,米草向海延伸最远处位于东台河口北侧,2000 年米草东边界向海扩张约 360 m,年均扩张 45 m;2000~2009 年东边界向海扩张 1 382 m,年均扩张 153.5 m;2009~2016 年东边界向海扩张 840 m,年均扩张 120 m。此外由互花米草自然演替而成的碱蓬和芦苇也呈向海迁移的趋势。

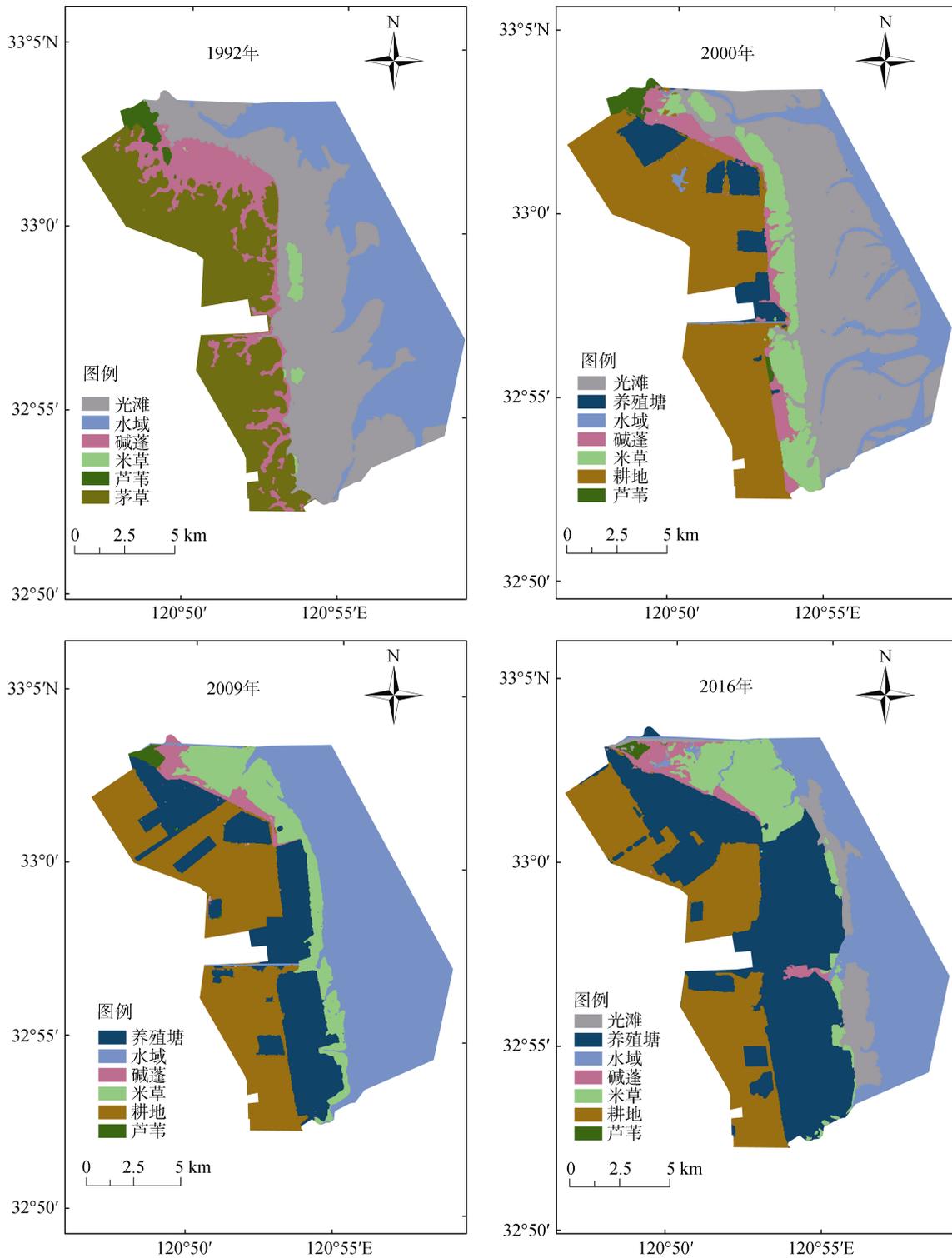


图1 1992~2016年盐城滨海湿地植被演变

Fig. 1 The Evolution of coastal wetland vegetation in Yancheng from 1992 to 2016

1992~2000年,在耕地政策下,茅草、碱蓬被大面积开发。保护区附近靠陆一侧,碱蓬部分被耕地侵占的同时也向北扩张约1080m。这时期米草规模剧增,其空间扩张特征表现为南北方向沿平行海岸方

向扩张;东西方向垂直海岸方向扩张。整体时段内,向陆入侵碱蓬地,向海入侵光滩湿地。2000~2009年养殖塘迅速兴起。研究区东台市境内大面积碱蓬和米草被开垦,沿岸碱蓬近乎消亡,互花米草呈条带

状分布。江苏滨海地区沿岸能形成长达数百公里互花米草的原因之一,是其能够越过沿海地区的水道以及潮沟而顺岸繁衍下去^[13]。该时期,米草向海抢占光滩面积,还向陆侵占碱蓬生境,使碱蓬质心向陆缩退 239 m。2009~2016 年随着《江苏沿海地区发展规划》上升至国家战略,盐城沿海围垦活动增强。除川东河口南部建有麋鹿保护区,保护区以南沿海米草地大面积缩减,部分岸段养殖塘外已无植被。东台境内养殖塘向外侵占米草生境,米草西边界右移约 1 140 m。

3.3 湿地植被的转移演替

如表 4 示,1992~2000 年,研究区湿地植被转移形式主要为茅草→耕地、碱蓬→耕地、碱蓬→养殖塘及芦苇地→养殖塘。在国家耕地红线保护制度和

农田占补平衡等政策下^[14],大面积的植被转变为耕地,茅草地和碱蓬地成为开发热点。该时期,茅草地转移面积最大,其中 92.44%开发为耕地,5.72%开发成养殖塘;芦苇中 59.05%的面积维持不变,31.89%的芦苇开发为养殖地;碱蓬主要向耕地及养殖塘转移,所转面积分别为 1 157.36, 698.33 ha;米草转出较少,主要表现为转入。到 2000 年,随着人类干扰力度加强,研究区内出现大面积耕地,其中茅草和碱蓬分别贡献 81.58%, 16.64%。在川东港至东台河口之间,养殖塘逐渐兴起,其来源主要是碱蓬、茅草。川东至梁垛河口岸段为淤积岸段,1992 年至 2000 年间,植被在自然演替下有向外生长的趋势,其中米草向海扩张占据光滩面积 1 847.20 ha,占其总面积 86.96%;碱蓬地中光滩贡献面积最大,为 687.55 ha;芦苇也有 26%的面积来自于光滩。

表 4 研究区 1992~2000 年植被面积转移矩阵

Tab. 4 The transfer matrix of vegetation types in the study area from 1992 to 2000

植被	植被面积/ha					
	米草	碱蓬	芦苇	茅草	光滩	水域
米草	220.09	10.51	-	2.91	1 847.20	43.53
碱蓬	8.82	246.40	4.44	45.99	687.55	-
芦苇	0.63	7.56	167.97	26.96	71.58	0.13
耕地	2.38	1 157.36	20.35	5 674.29	99.66	1.18
养殖塘	2.74	698.33	90.69	350.84	174.38	1.80
水域	0.07	42.43	-	35.62	492.45	2 050.17
光滩	6.30	10.51	0.99	1.44	4 498.66	4 162.06

表 5 研究区 2000~2009 年植被面积转移矩阵

Tab. 5 The transfer matrix of vegetation types in the study area from 2000 to 2009

植被	植被面积/ha						
	米草	碱蓬	芦苇	耕地	养殖塘	光滩	水域
米草	562.85	200.89	0.45	18.30	1.47	1 469.77	101.69
碱蓬	17.39	319.93	62.81	64.05	34.77	8.19	4.65
芦苇	-	1.48	119.98	12.41	1.98	1.08	0.09
耕地	5.82	59.04	16.33	5 781.10	223.27	9.43	46.14
养殖塘	1 535.92	406.10	62.46	1 071.78	1 052.08	746.27	13.81
水域	2.26	5.75	12.81	7.58	5.22	6 445.21	2 454.37

如表 5 示,2000~2009 年,川东港至梁垛河口岸段植被演替主要表现为米草→养殖塘、碱蓬→养殖塘,大面积植被被养殖塘取代,养殖场规模迅速变大。具体表现为:72.30%的米草转变为养殖塘;40.89%的碱蓬转变为养殖塘;22.73%的芦苇转变为养殖塘。这期间,米草、碱蓬及芦苇分别有 26.50%, 32.21%, 43.65%的面积保有率。到 2009 年,各类植

被除大面积转换为养殖塘外,也有其他小面积的转移。米草面积持续增长,其中光滩贡献 62.4%,米草持续的向海扩张同研究区属淤涨型岸段情况相符;芦苇面积转移较小,在 119.98 ha 未转移的面积上,又增加由耕地退耕转变而来的 12.41 ha,及 1.48 ha 的碱蓬自然演变;碱蓬中米草、芦苇分别贡献了 17.39, 62.81 ha。

表 6 研究区 2009~2016 年植被面积转移矩阵

Tab. 6 The transfer matrix of vegetation types in the study area from 2009 to 2016

植被	植被面积/ha					
	米草	碱蓬	芦苇	耕地	养殖塘	水域
米草	1 164.82	43.98	0.09	0.64	3.97	873.83
碱蓬	164.47	270.11	21.18	8.18	5.94	0.46
芦苇	0.80	22.03	54.69	0.27	2.87	0.45
耕地	2.61	10.97	12.33	4 957.63	173.25	0.19
养殖塘	921.16	123.70	15.08	1 172.02	4 702.35	1 497.30
水域	54.17	9.16	3.69	2.10	-	5 278.73
光滩	47.38	31.83	29.97	0.29	0.04	1 282.25

如表 6 示, 2009 年至 2016 年间川东港至梁垛河口口岸段植被演替主要为米草→养殖塘、米草→碱蓬、碱蓬→养殖塘的转移。具体表现为 39.11%的米草转变为养殖塘, 6.98%的米草转变为碱蓬, 24.17%的碱蓬转变为养殖塘。这段时期, 在人为干扰下养殖塘不断侵占植被生境, 其中侵占面积最多的是米草, 碱蓬次之, 芦苇最少。至 2016 年, 植被各类型间的自然演替较缓, 米草、碱蓬、芦苇分别有 49.45%, 52.78%及 39.91%的保有率。2009 年以来, 米草持续向海推进, 占据原水域面积 873.83 ha, 为现有米草面积的 41.86%; 碱蓬一边开发为养殖塘而面积减小, 一边又由米草转化而得到补充; 尽管芦苇面积持续减小, 仍有 22.03 ha 的碱蓬演替为芦苇地, 贡献面积最大, 占 27.16%。

4 结论

1) 川东至梁垛河口段湿地植被类型主要有茅草、芦苇、碱蓬, 米草四种。1992~2016 年植被总面积减少了 7 187.42 ha, 其中茅草消亡速度最快, 几近消失殆尽; 芦苇面积不断减少, 现仅在川东港口部分生存; 碱蓬面积持续缩减, 消退速率趋缓; 米草自 1992 年以来, 凭其对滨海土壤的强适应性, 迅速向海延伸且侵占原生植被生长空间, 面积大幅增长。

2) 1992~2016 年的 3 个时期内, 1992~2000 年植被缩减面积最大, 速率最快, 大面积的茅草碱蓬地被开发为耕地; 2000~2009 年养殖塘规模剧增, 米草、碱蓬、芦苇向养殖塘转化的面积分别为 1535.92, 406.10, 62.46 ha。2009~2016 年碱蓬和芦苇面积变化较小, 主要是米草向外繁殖扩张的同时, 大量转变为养殖塘。

3) 围垦开发是当前威胁川东港至梁垛河口段植被生境的主要因素。维持大丰麋鹿保护区内植被受良好保护自然演替外, 往后的开发中需考虑予以滨

海湿地植被适当的生存环境。米草形成的沿岸分布阻碍了碱蓬滩涂等盐生植被向光滩的扩张, 外来植被的入侵加速本土植被的衰落要引起重视。

4) 研究区内部分区域难以依靠遥感图像的目视解译进行类型划分, 需要结合野外调查来提高植被类型分类精度。由于实地考察工作难度稍大, 适用于数据量较小的区域, 在往后进一步的扩大区域研究中, 可更多的引入空间关系、地物纹理、形状指数等方面的特征值来辅助分类、提高遥感影像的分类精度。

参考文献:

- [1] 谷东起, 赵晓涛, 夏东兴. 中国海岸湿地退化压力因素的综合分析[J]. 海洋学报(中文版), 2003, 25(1): 78-85.
Gu Dongqi, Zhao Xiaotao, Xia Dongxing. Comprehensive analysis of degradation pressure factors of coastal wetlands in China[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2003, 25(1): 78-85.
- [2] 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.
Zuo Ping, Li Yun, Zhao Shuhe, et al. Landscape changes of Jiangsu Yancheng coastal wetlands and their driving forces since 1976[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2012, 34(1): 101-108.
- [3] 成方妍, 刘世梁, 尹艺洁, 等. 基于 MODIS NDVI 的广西沿海植被动态及其主要驱动因素[J]. 生态学报, 2017, 37(3): 788-797.
Cheng Fangyan, Liu Shiliang, Yin Yijie, et al. Dynamics of coastal vegetation in Guangxi based on MODIS NDVI and its main driving forces[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(3): 788-797.
- [4] 张绪良, 叶思源, 印萍, 等. 黄河三角洲自然湿地植被的特征及演化[J]. 生态环境学报, 2009, 18(1): 292-298.
Zhang Xuliang, Ye Siyuan, Yin Ping, et al. Characteris-

- tics and evolution of natural wetland vegetation in the Yellow River Delta[J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(1): 292-298.
- [5] 谭清梅, 刘红玉, 张华兵, 等. 基于遥感的江苏省滨海湿地景观植被覆盖度分级研究[J]. *遥感技术与应用*, 2013, 28(5): 934-940.
Tan Qingmei, Liu Hongyu, Zhang Huabing, et al. Study on grading of vegetation cover of coastal wetlands in Jiangsu Province based on remote sensing[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2013, 28(5): 934-940.
- [6] 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.
Jin Yu, Gao Jixi, Zhou Kexin, et al. Dynamic changes of land use / cover types in coastal wetland in central Jiangsu Province under reclamation and invasion of rice grass[J]. *Geographical Research*, 2017, 36(8): 1478-1488.
- [7] 张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等. 自然和人工管理驱动下盐城滨海湿地景观格局演变特征与空间差异[J]. *生态学报*, 2012(1): 0101-0110.
Zhang Huabing, Liu Hongyu, Hao Jingfeng, et al. Evolution characteristics and spatial differences of landscape pattern of coastal wetlands driven by natural and man-made management[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012(1): 0101-0110.
- [8] 方仁建, 沈永明. 围垦对海滨地区景观演变及其质心移动的影响——以盐城保护区部分区域为例[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(5): 772-783.
Fang Renjian, Shen Yongming. Effects of reclamation on landscape evolution and centroid movement in sea-side areas: a case study of some areas in Yancheng nature reserve[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(5): 772-783.
- [9] 张树清. 3S 支持下的中国典型沼泽湿地景观时空动态变化研究[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2008: 12-45.
Zhang Shuqing. Studies on the temporal and spatial dynamics of typical Chinese swamp wetlands landscape with the support of 3S[M]. Changchun: Jilin University Press, 2008: 12-45.
- [10] 刘红玉. 湿地景观变化与环境效应[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
Liu Hongyu. Wetland landscape changes and environmental effects[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [11] 沈洁瑜, 张娇, 陆大培, 等. 盐城自然保护区景观演变特征及驱动机制研究[J]. *资源与产业*, 2016, 18(2): 61-66.
Shen Jieyu, Zhang Jiao, Lu Dapei, et al. Landscape evolution characteristics and driving mechanism of Yancheng Nature Reserve[J]. *Resources & Industries*, 2016, 18(2): 61-66.
- [12] 左平, 吴其江. 江苏盐城滨海湿地生态系统与管理[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2014.
Zuo Ping, Wu Qijiang. Coastal wetland ecosystem and management in Yancheng, Jiangsu Province[M]. Beijing: China Environment Science Press, 2014.
- [13] 张忍顺, 沈永明, 陆丽云, 等. 江苏沿海互花米草 (*Spartina alterniflora*) 盐沼的形成过程[J]. *海洋与湖沼*, 2005, 36(4): 358-366.
Zhang Renshun, Shen Yongming, Lu Liyun, et al. Formation of *Spartina alterniflora* salt marsh in Jiangsu Province [J]. *Acta Ocena Sinica*, 2005, 36(4): 358-366.
- [14] 王智, 庄长伟, 徐网谷. 盐城海岸带自然景观时空变化及其影响因素[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2014, 38(5): 91-96.
Wang Zhi, Zhuang Changwei, Xu Wanggu. Temporal and spatial variations of natural landscape in Yancheng coastal zone and its influencing factors[J]. *Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences)*, 2014, 38(5): 91-96.

Dynamic changes of coastal wetland vegetation in Yancheng

ZHANG Jia-jia, SHEN Yong-ming

(College of Geography, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

Received: Jan. 21, 2018

Key words: vegetation evolution; coastal wetlands; transfer matrix; Yancheng

Abstract: The results of this study indicated the following: (1) The major wetland vegetation types in the estuary from the Chuandong Harbor to the Liangduo River mouth are couch grass, *Artemisia halodendron*, *Phragmites australis*, and *Spartina alterniflora*. The total area of vegetation decreased from 1992 to 2016, of which couch grass almost disappeared. The area comprising *A. halodendron* and *P. australis* continued to decrease, whereas the area comprising *S. alterniflora* increased sharply. (2) The area of vegetation was rapidly reduced from 1992 to 2000. Large areas comprising couch grass and *A. halodendron* were developed into cultivated lands. From 2000 to 2009, aquaculture ponds occupied wetland vegetation, and the scale of vegetation showed a rapid increase. During 2009–2016, although the area comprising *S. alterniflora* was expanding into the sea, it converted into a breeding pond on the land side. (3) The evolution of vegetation from the Chuandong Harbor to the Liangduo River mouth was influenced by natural and man-made interactions. On the one hand, it was affected by coastal silting, whereas on the other hand, policy-led development of various types of tidal flats and the rapid spread caused by the introduction of *S. alterniflora* influenced the evolution of vegetation.

(本文编辑: 刘珊珊)