

DOI: 10.5846/stxb202001160137

王娟, 张华兵, 刘玉卿, 韩爽, 徐雅, 张亚楠. 盐城滨海湿地植物群落种间格局与竞争的关系研究. 生态学报, 2020, 40(24): 8966-8973.

Wang J, Zhang H B, Liu Y Q, Han S, Xu Y, Zhang Y N. Interspecific pattern and competitive relationship of plant community in Yancheng coastal wetland. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(24): 8966-8973.

## 盐城滨海湿地植物群落种间格局与竞争的关系研究

王娟<sup>1,2,3</sup>, 张华兵<sup>2,3,\*</sup>, 刘玉卿<sup>2</sup>, 韩爽<sup>2</sup>, 徐雅<sup>2</sup>, 张亚楠<sup>3</sup>

1 江苏省盐土生物资源研究重点实验室, 盐城 224007

2 盐城师范学院 地理系, 盐城 224007

3 中国黄海盐城海滨湿地生态环境监测中心, 盐城 224057

**摘要:**盐城滨海湿地植物群落种间格局与竞争关系发生变化,导致湿地景观结构与格局发生变化。以江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区为典型研究区,利用 1992、1997、2000、2011、2017 年 TM 影像作为数据源,结合 GIS 技术,运用景观生态学方法分析了滨海湿地植物群落种间格局与竞争关系的时空变化特征。结果表明:①1992—2017 年,植物群落结构变化呈现出芦苇群落和互花米草群落持续扩张的特征,其面积百分比到 2017 年分别达到 37.06% 和 34.50%;碱蓬群落整体上呈现持续萎缩的特征,到 2017 年仅占 5.09%。②1992—2017 年,香农多样性指数(SHDI)和边缘密度(ED)值分别先上升至 1.482 和 14.391,再逐渐下降至 1.283 和 11.967,最大斑块指数(LPI)和聚集度指数(AI)先增大再减小,均反映了植物群落竞争关系从单一化走向多元化再到单一化的趋势。③1992—2017 年,芦苇-碱蓬群落之间竞争的空间位置先向海方向推进,后向陆方面后退;碱蓬-互花米草群落竞争的位置先向海、再向陆方向、再向海方面演进;芦苇-碱蓬-互花米草群落种间竞争的位置由区域的南部向中部演进。研究可为进一步认识滨海湿地植物群落的基本结构和种间格局的动态变化,为生物多样性保护和修复提供科学参考。

**关键词:**植物群落;种间格局;竞争关系;时空变化;盐城滨海湿地

## Interspecific pattern and competitive relationship of plant community in Yancheng coastal wetland

WANG Juan<sup>1,2,3</sup>, ZHANG Huabing<sup>2,3,\*</sup>, LIU Yuqing<sup>2</sup>, HAN Shuang<sup>2</sup>, XU Ya<sup>2</sup>, ZHANG Yanan<sup>3</sup>

1 Jiangsu Key Laboratory for Bioresources of Saline Soils, Yancheng 224007, China

2 Department of Geography, Yancheng Teachers University, Yancheng 224007, China

3 Ecological and Environmental Monitoring Centre for Yancheng Coastal Wetland, Yancheng 224057, China

**Abstract:** Interspecific pattern and competitive relationship of plant community has changed in Yancheng coastal wetland, resulting in the change of wetland landscape structure and pattern. Using TM images of long time series with the help of GIS technology, the spatio-temporal change characteristics of plant community pattern and competitive relationship were analyzed by landscape ecology method from 1992 to 2017, in the core area of the Yancheng National Nature Reserve (YNNR) in Jiangsu Province. The results were as follows. ① From 1992 to 2017, the *Phragmites* community and *Spartina* community expanded continuously, with the area percentage reaching 37.06% and 34.50% respectively by 2017. The *Suaeda* community showed the characteristics of continuous shrinkage as a whole, with only 5.09% by 2017. ② From 1992 to 2017, the values of SHDI (Shannon's Diversity Index) and ED (Edge Density) first increased to 1.482 and 14.391, and then decreased to 1.283 and 11.967 respectively, which reflected the trend of interspecific competition from simplification to

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41771199);江苏省自然科学基金项目(BK20171277);江苏省高等“青蓝工程”资助项目(2019);江苏省盐土生物资源重点实验室开放课题资助项目(JKLBS2019013)

收稿日期:2020-01-16; 网络出版日期:2020-11-05

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jszhibing@163.com

diversification and then to simplification. ③ From 1992 to 2017, the spatial position of interspecific competition of *Phragmites-Suaeda* community firstly advanced to the ocean and then retreated to the land. The position of interspecific competition of *Suaeda-Spartina* community firstly evolved to the sea, then the land and then to the sea. The position of interspecific competition of *Phragmites-Suaeda-Spartina* community evolved from the south to the middle part of the region. This study can be used to further understand the basic structure and dynamic trend of plant community in coastal wetland. It provides scientific reference for biodiversity conservation and restoration.

**Key Words:** plant community; interspecific pattern; competitive relationship; temporal and spatial changes; Yancheng coastal wetland

滨海湿地是介于陆地和海洋生态系统间的过渡地带,是生物多样性最丰富、生产力最高、最具有保护价值的湿地生态系统之一<sup>[1-2]</sup>,具有不可替代的作用<sup>[3]</sup>,同时,是脆弱的边缘地带和高度动态的生态敏感区<sup>[4]</sup>。然而,由于自然和人为的作用,滨海湿地生态过程发生改变,导致湿地景观变化频繁,这在盐城滨海湿地中表现尤为明显,引起了众多生态学、地理学和景观生态学等领域的专家的关注。他们对湿地景观结构的演变<sup>[5-7]</sup>、驱动因素<sup>[8-9]</sup>、生态功能的退化<sup>[10-11]</sup>、互花米草(*Spartina alterniflora*)的生态学特征与扩张<sup>[12-13]</sup>及其对生物多样性的影响等方面开展了广泛研究。研究普遍认为,湿地植被是连接土壤、大气和水分的“自然纽带”,在维持湿地生态系统稳定方面发挥重要作用,其状况是反映区域生态环境的重要参数,互花米草的入侵是盐城滨海湿地景观结构演变的重要驱动力。互花米草因具有较强的保滩促淤能力而人为引入盐城滨海湿地,适宜的气候、水文、土壤条件为互花米草定居与扩张创造了十分有利的环境与条件。强大的竞争能力促使其与本土植物碱蓬(*Suaeda salsa*)、芦苇(*Phragmites communis*)产生了不同程度的生态竞争,1987—2012年盐城滨海湿地互花米草面积从仅0.49 km<sup>2</sup>剧增到158.30 km<sup>2</sup><sup>[6-7]</sup>。自2000年后,互花米草替代碱蓬成为滨海湿地的先锋物种并呈现出了平行于海岸线的条带状分布,其群落占据了潮间带的中下部,导致碱蓬沼泽与光滩完全分隔。至2006年,盐城保护区核心区的互花米草面积达到33.81 km<sup>2</sup>、平均宽度为1780 m、最大宽度为2900 m<sup>[8]</sup>。研究表明,2011—2015年间,互花米草群落扩张的主要方向由向海转为向陆侵占碱蓬为主,并表现出边缘式扩张、外部隔离式扩张和潮沟引领式扩张等3种入侵碱蓬的模式<sup>[13]</sup>,从而形成了特定的互花米草-碱蓬种群交错格局。

在一定的环境条件下,种群会呈现出的特定空间分布格局会随时间而发生变化。植物的种群空间格局变化是其在群落中地位与生存能力的外在表现<sup>[14]</sup>,反映了植物对空间资源的利用状况及与其他种群的关系。空间格局是植物种群的基本特征,研究植物种群的空间格局有助于认识它们的生态过程以及与生境的相互关系。伴随着自然条件的变化以及群落演替进程的深入,物种间的竞争关系将变得复杂和激烈。盐城滨海湿地植被带状分布特征明显,但由于生态过程的变化,互花米草群落的形状变得愈加复杂,相对应地,碱蓬群落和芦苇群落的形状也随之变得复杂,呈现出高度变化的景观格局。但目前研究侧重于互花米草和碱蓬群落交错带的生态研究,忽略了生态幅宽广的芦苇种群与碱蓬、互花米草交错带格局的研究,而且从植物群落种间竞争关系的角度研究盐城滨海湿地景观格局的文献几乎缺乏,这不失为研究盐城滨海湿地景观时空变化的一个新的视角。以盐城滨海湿地典型区域为研究区,借助TM遥感影像,以互花米草种群、碱蓬种群、芦苇种群等典型的盐城滨海湿地植物为研究对象,利用景观指数分析1992年盐城保护区升级为国家级自然保护区以来的核心区内植物群落结构及空间结构变化、交错带中竞争关系的时空变化,有助于正确认识滨海湿地植物群落的基本结构和动态趋势,以期进一步认识植物群落之间竞争关系变化的驱动力和揭示滨海湿地生态功能的退化机理,为申遗成功后的盐城滨海湿地生物多样性的保护和修复提供科学依据。

## 1 研究区概况

江苏盐城国家级珍禽自然保护区,成立于1983年,1992年升格为国家级自然保护区,已列入国际重要湿

地名录。江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区,总面积  $1.92 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,北至新洋港河,南至斗龙港河,西至海堤公路,为典型的淤长型潮滩湿地。核心区内,以中路港为界,将核心区分为南北两部分,北部实行了人工恢复芦苇沼泽工程,称为人工管理区,面积约  $0.52 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。南部,受人类活动影响微弱,景观格局演变主要受气候、地形、水文、土壤、植被等自然因素影响,成为典型的自然条件区,面积约  $1.11 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ;西南部为人工养殖区,面积约  $0.29 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。本研究选择自然条件区为研究对象,区内互花米草发育典型,群落类型从陆地向海洋依次为芦苇、碱蓬、互花米草,以及植被带外围的光滩(图 1)。

## 2 数据来源与方法

### 2.1 数据来源与处理

以 1992 年、1997 年、2000 年、2011 年、2017 年的 TM/ETM+遥感影像为数据源。Landsat 7 ETM+机载扫描行校正器发生故障,导致 2003 年 5 月 21 日以后的 ETM+影像数据条带丢失,影响了遥感影像的质量;因此首先对 2011 年和 2017 年的遥感影像进行去条件处理。其次,在 ENVI 5.0 中,选择 FLASH 模块对遥感影像进行大气校正。进一步,通过野外 GPS 定位,对遥感图像进行几何校正,使校正精度小于 0.5 个像元。在 ENVI 5.0 中,运用 Principal Components 模块进行主成分分析,既能包括尽量多的信息,也能减少数据的维数。对预处理后的图像,选择 B1—B5 和 B7,建立一个新的多波段文件,进行主成分分析,结果表明前三个主成分的累积贡献率都超过了 99%。在此基础上,进行 RGB 彩色合成,采用非监督分类和决策树分类相结合的方法,并运用野外调查数据做验证,进行遥感图像解译,解译精度达到 95%。在 ArcGIS 10.0 中制作完成研究区景观类型系列图。

### 2.2 研究区主要植物群落特征

江苏盐城国家级珍禽自然保护区核心区内植被类型较多,主要植物群落类型,从陆到海依次为芦苇、碱蓬、互花米草(表 1),不同植物群落致使研究区种间竞争关系类型多元化。芦苇位于潮上带,受到潮浸的频率小,已转变为淡水植物群落,植株高大,是盐沼发育后期的产物。碱蓬是滨海湿地土著先锋物种,是区域生物多样性的的重要组成部分;主要靠种子传播扩展,由于其植株矮小。互花米草是外来物种,处在植被带的最东缘,植株高大,扩张能力强,已发展为区域的先锋物种。

表 1 盐城滨海湿地植物群落特征

Table 1 Characteristic of plant community in Yancheng coastal wetland

群落名称 Community name	位置 Location	特征 Characteristic
芦苇 <i>Phragmites communis</i>	小潮高潮位以上	多年生草本植物,高度 1—3 m,盖度 85% 以上,生物量大,有白茅、三棱蔗草共生
碱蓬 <i>Suaeda salsa</i>	大潮高潮位与平均高潮位之间	一年生草本植物,高度在 1 m 以下,植被碱蓬盖度 50%—80%,生物量低
互花米草 <i>Spartina alterniflora</i>	平均高潮位与小潮高潮位之间	多年生草本植物,高度 1.5—3.5 m,盖度达 100%,生物量大,底栖生物丰富

### 2.3 景观指数选择

景观指数是指能够高度浓缩景观格局信息,反映其结构组成和空间配置某些方面特征的简单定量指标,

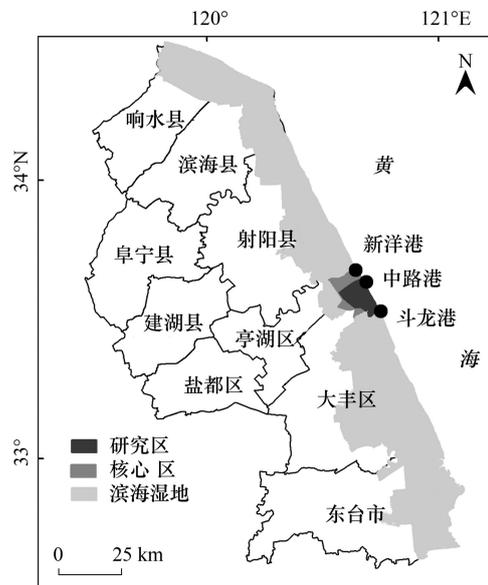


图 1 研究位置

Fig.1 The location of the study area

可以定量地描述和监测景观结构和格局随时间的变化特征,是目前使用最广泛的一种定量研究方法。在 Fragstats 4.2 从类型和景观两个水平选取类型面积百分比(PLAND)、香农多样性指数(SHDI)、聚集度指数(AI)、最大斑块指数(LPI)和边缘密度(ED)等 5 个指数表征群落结构与格局变化。其中,PLAND 可以反映区域群落结构动态变化特征;LPI 可以表征群落的发展趋势,其值的大小可以反映区域的优势种、内部种的丰度等;AI 和 SHDI 可以表征群落空间异质性;ED 可以表征某一群落与其他群落的种间竞争的程度,也可以从整体上反映区域种间竞争水平。栅格分辨率设置为 100 m×100 m。

### 3 结果分析

#### 3.1 植物群落结构与空间格局变化

通过对图 2 的对比分析,研究区群落结构变化呈现出芦苇群落、互花米草群落的面积百分比在持续增加、碱蓬群落的面积百分比呈先增加后减少的特征。具体看:1992—2017 年,芦苇群落的面积百分比从 0 迅速增加到 37.06%,发展成为区域的优势群落。1992—2000 年,碱蓬群落的面积百分从 30.13%增加至 36.58%;至 2017 年,迅速下降至 5.09%,只剩下 1992 年的 16.88%。1992—2011 年,互花米草群落的面积百分比迅速从 3.09%增加至 34.44%,面积扩张了 10 倍多,至 2017 年略有下降,降至 34.50%。LPI 指数可以反映群落内部种的丰度,群落类型的 LPI 变化与群落面积变化表现出高度一致性。芦苇群落的 LPI 从 1997 年的 6.89 上升至 2017 年的 37.06,说明芦苇群落的持续扩张。互花米草群落的 LPI 从 1992 年 1.08 上升至 2011 年的 33.57,至 2017 年下降至 31.50,反映了互花米草的扩张态势。碱蓬群落的 LPI 从 1992 年的 29.67 上升至 2000 年的 36.58,至 2017 年迅速降低至 1.22,体现了碱蓬群落先增加后减少的动态特征。

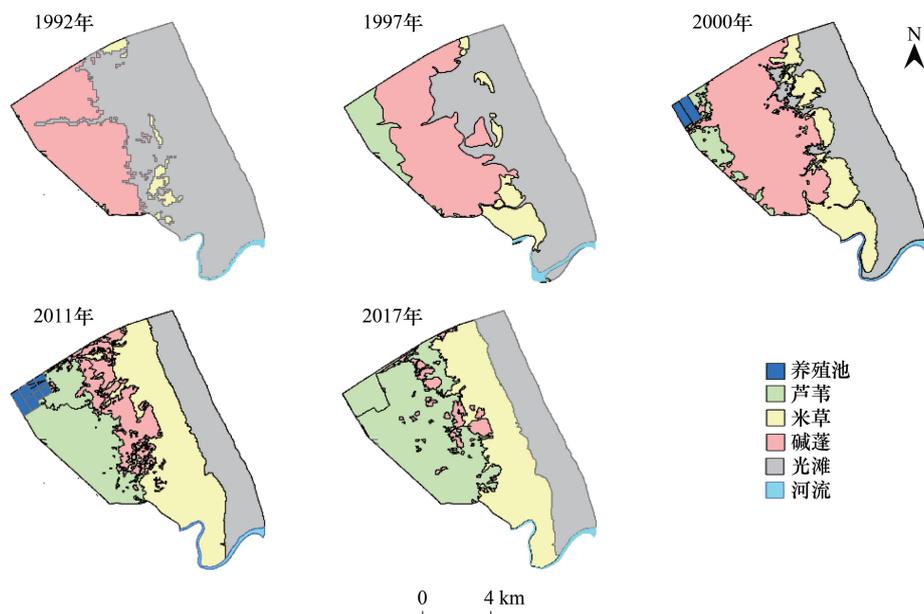


图 2 滨海湿地植被类型图

Fig.2 Plant type in Yancheng coastal wetland from 1992 to 2017

群落在空间格局上呈现了沿海岸延伸、沿海陆交替的带状分布格局。1992 年,研究区以碱蓬为单一群落类型,占据绝对优势;到 1997 年以发展为芦苇、碱蓬 2 个群落带;至 2000 年发展为芦苇、碱蓬和米草 3 个群落带,至 2011 年 3 个群落的在空间组合上更趋均匀,优势度下降;至 2017 年,碱蓬群落带萎缩,又出现了芦苇、互花米草 2 个群落带的格局。伴随着群落的发展,区域景观格局指数呈现相应的变化(表 2),SHDI 从 1992 年的 0.810 上升至 2014 年 1.48,说明景观多样性在上升,优势度在下降,不同的植物群落在区域的面积比重区域均衡;至 2017 年又下降至 1.28,说明均匀度被打破,某些群落逐渐成为区域的主导。LPI 的变化也反映

了与 SHDI 相同的结论,1992—2011 年,LPI 指数从 65.43 下降至 33.57,说明区域的优势种的面积比在下降;而 2017 年又上升至 37.06,说明优势种的面积比又开始上升。AI 反映植物群落的空间聚集度,是异质性的一个重要表现,1992—2011 年,AI 指数从 96.14 下降至 93.35,说明空间聚集度在下降,区域种群组合趋向均衡,而 2017 年又上升至 94.37,说明聚集度在上升,区域种群有向单一化发展的趋势。

表 2 盐城滨海湿地景观格局指数变化

Table 2 Changes of landscape pattern index in Yancheng coastal wetland

年 Year	最大斑块指数 (LPI) Largest patch index	边缘密度 (ED) Edge density	香农多样性指数 (SHDI) Shannon's diversity index	聚集度指数 (AI) Aggregation index
1992	65.43	8.44	0.81	96.14
1997	47.96	8.75	1.17	95.70
2000	37.68	13.89	1.31	93.49
2011	33.57	14.39	1.48	93.35
2017	37.06	11.97	1.28	94.37

### 3.2 植物群落之间竞争关系的时间变化

研究区内植物群落之间的竞争经历了从无到二元竞争、到三元竞争再到二元竞争的变化。类型变化从 1997 年碱蓬-芦苇群落的单一竞争,到 2000 年碱蓬芦苇群落竞争、碱蓬-米草群落竞争二者共存,到 2011 年出现碱蓬-芦苇-米草群落竞争,到 2017 年以芦苇-米草群落竞争为主。1992 年保护区刚刚升格为国家级自然保护区,这个时候的区内以碱蓬群落为主,及其零星的分布着一些斑块状的互花米草群落,两个群落之间并未形成交错带,群落之间并未产生直接的竞争。1997 年,研究区内以芦苇和碱蓬群落之间的竞争为主,互花米草群落与碱蓬群落开始在局部产生种间竞争。2000 年,研究区内形成了非常典型二元竞争格局,出现了芦苇与碱蓬群落、互花米草与碱蓬群落两种竞争的模式。2011 年,仍然以芦苇与碱蓬群落、互花米草与碱蓬群落两种种间竞争模式为主,开始出现了芦苇与互花米草群落的竞争。至 2017 年,研究区内种间竞争以芦苇与互花米草为主,芦苇与碱蓬群落、互花米草与碱蓬群落两种种间竞争模式走向了没落。边缘密度 (ED) 能够有效的反映种间竞争的强度,1992—2011 年,研究区的 ED 值从 8.44 上升至 14.39,说明这个阶段整体种间竞争水平是在上升的;但是至 2017 年 ED 值下降至 11.97,表明研究区种间竞争开始下降。

从群落类型看,反映出同样的变化特征(表 3)。碱蓬群落在 1992—2011 年,ED 从 4.80 上升至 10.59,说明这阶段碱蓬群落面临的种间竞争在增加;至 2017 年,碱蓬群落的 ED 下降至 7.09,说明碱蓬群落面临的竞争在减弱(碱蓬群落面积在急剧减少)。芦苇群落在 1997—2017 年,ED 值从 1.31 上升至 7.77,说明芦苇群落与其他群落的竞争在持续增加。互花米草沼泽在 1992—2011 年,ED 值从 2.98 增加至 9.23,说明这阶段互花米草群落的种间竞争是在持续上升;而至 2017 年下降至 2.98。

表 3 1992—2017 年不同群落类型的边缘密度 (ED) 值

Table 3 Edge density (ED) values of different community types in 1992—2017

年份 Year	芦苇群落 <i>Phragmites</i> community	碱蓬群落 <i>Suaeda</i> community	互花米草群落 <i>Spartina</i> community
1992	1.31	4.80	2.98
2011	4.79	10.59	9.23
2017	7.77	7.09	2.98

### 3.3 植物群落种间竞争空间变化

通过对群落交错带的位置分析,可以看出群落种间竞争空间变化明显(图 3)。1997—2011 年,芦苇和碱蓬群落的竞争位置在向海洋方向推进,至 2017 年又向陆地方面后退。互花米草与碱蓬竞争的位置先向海、再向陆地方向、再向海洋方面演进;1992—1997 表现出明显的向海洋方向演进;1997—2011 年,向陆地方向演进



通常可以识别出植物群落种间竞争能力的强弱,在以(120.610°E,33.553°N)为中心的区域,现阶段形成了以芦苇、互花米草二者竞争为主而碱蓬在镶嵌其中的格局。互花米草的广阔蔓延威胁和破坏了本地种的生存空间,本土碱蓬竞争力远不及互花米草和芦苇,野外调查中在碱蓬基质中芦苇种群与互花米草种群接壤也说明了碱蓬的低竞争力。另外,植物种群分布格局受水文、土壤营养、地形、种间关系等多种因素共同的影响<sup>[28-29]</sup>。种群空间格局在一定程度上反映了湿地的生态过程,能对湿地生态过程做出及时的响应<sup>[30]</sup>。盐城自然保护区核心区内的植物群落种间竞争关系经历了从无到二元竞争、到三元竞争再到二元竞争的频繁变化,这与滨海湿地复杂的生态过程相关,而复杂的生态过程与互花米草的引入不无关系。研究区为盐城自然保护区核心区,自然条件下,随着土壤的脱盐进程,植被也从无到有,在景观上形成了碱蓬沼泽→芦苇(白茅)沼泽的演替序列<sup>[31]</sup>。而引入广生态幅物种互花米草后,其在引种地呈爆发式生长,迅速在南北方向上延伸成带,在东西方向上拓宽。同时,大量的泥沙使互花米草滩面的年淤高速度可达0.056 m,形成一道天然堤坝,严重影响潮汐及其携带物质进入碱蓬与芦苇沼泽的频率和范围<sup>[30]</sup>。随着潮滩的淤高,土壤常年的脱盐作用,土壤含盐量逐步降低,导致芦苇的种间竞争力逐渐增强。原有的湿地景观演变在空间上表现为互花米草沼泽→碱蓬沼泽→芦苇沼泽的条带状景观格局,互花米草与碱蓬、芦苇与碱蓬种间竞争的格局一致持续至2012年左右。近几年来,潮水很难到达碱蓬滩和芦苇滩,而芦苇和互花米草蚕食碱蓬的态势越来越强,在某些区域形成了互花米草、碱蓬、芦苇三者同时竞争的格局。

鉴于上述分析,建议对研究区进行生态恢复。生态恢复需要“以野外样地为基础,坚持开展长期生态观测”,不仅要关注植物群落种间竞争的机理,还要关注水文条件、土壤及生物的恢复,可以借鉴欧美国家的基底修复技术、水动力修复技术、植被恢复技术和土壤恢复技术等<sup>[32]</sup>。对于研究区,首要任务是保护好现有的碱蓬群落,刈割生长在碱蓬生境中以外部隔离式扩张的大量的互花米草和芦苇斑块并可以覆盖厚地膜抑制繁殖,同时,改变互花米草群落前缘高程,增加碱蓬群落潮浸频率,促进碱蓬群落的生长而抑制芦苇和互花米草的进一步扩张,并在碱蓬适宜生境中进行恢复性栽培,以期逐渐恢复本地种群落,维持生物多样性。

#### 参考文献 (References):

- [1] Isbell F, Calcagno V, Hector A, Connolly J, Harpole W S, Reich P B, Scherer-Lorenzen M, Schmid B, Tilman D, Van Ruijven J, Weigelt A, Wilsey B J, Zavaleta E S, Loreau M. High plant diversity is needed to maintain ecosystem services. *Nature*, 2011, 477(7363): 199-202.
- [2] Mitsch W J, Gosselink J G. *Wetlands*. 5th ed. New York: Wiley & Sons Inc, 2015: 269-320.
- [3] 刘红玉, 林振山, 王文卿. 湿地资源研究进展与发展方向. *自然资源学报*, 2009, 24(12): 2204-2212.
- [4] 杜国云, 王庆, 王秋贤, 金秉福, 仲少云, 曹艳英, 高光辰, 毛爱华. 莱州湾东岸海岸带陆海相互作用研究进展. *海洋科学*, 2007, 31(3): 66-71.
- [5] 孙小祥. 江苏盐城滨海湿地景观格局变化与模拟[D]. 南京: 南京农业大学, 2010.
- [6] 左平, 李云, 赵书河, 周鑫, 滕厚锋, 陈浩. 1976年以来江苏盐城滨海湿地景观变化及驱动力分析. *海洋学报*, 2012, 34(1): 101-108.
- [7] 金宇, 高吉喜, 周可新, 穆少杰. 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. *地理研究*, 2017, 36(8): 1478-1488.
- [8] 张华兵, 刘红玉, 侯明行. 人工管理和自然驱动下盐城滨海湿地互花米草沼泽演变及空间差异. *生态学报*, 2013, 33(15): 4767-4775.
- [9] 张东方, 杜嘉, 陈智文, 马学垚. 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. *湿地科学*, 2018, 16(3): 313-321.
- [10] 谷东起, 付军, 闫文文, 丛柏林. 盐城滨海湿地退化评估及分区诊断. *湿地科学*, 2012, 10(1): 1-7.
- [11] 王聪, 刘红玉. 江苏淤泥质滩涂湿地互花米草扩张对湿地景观的影响. *资源科学*, 2014, 36(11): 2413-2422.
- [12] 张华兵, 甄艳, 张云峰. 1997年以来4个时期盐城互花米草盐沼的格局及变化. *湿地科学*, 2018, 16(5): 582-586.
- [13] 王娟, 刘红玉, 李玉凤, 刘伶, 谢富斌. 入侵种互花米草空间扩张模式识别与景观变化模拟. *生态学报*, 2018, 38(15): 5413-5422.
- [14] 赵成章, 姚强, 郝青, 董小刚. 东祁连山地次生林演替过程中种群格局动态. *山地学报*, 2010, 28(2): 234-239.
- [15] 陈宜瑜, 刘焕章. 生物地理学的新进展. *生物学通报*, 1995, 30(6): 1-4.
- [16] Moor H, Hylander K, Norberg J. Predicting climate change effects on wetland ecosystem services using species distribution modeling and plant functional traits. *AMBIO*, 2015, 44(S1): S113-S126.
- [17] Bertness M D, Wise C, Ellison A M. Consumer pressure and seed set in a salt marsh perennial plant community. *Oecologia*, 1987, 71(2): 190-200.

- [18] Emery N C, Ewanchuk P J, Bertness M D. Competition and salt-marsh plant zonation; stress tolerators may be dominant competitors. *Ecology*, 2001, 82(9): 2471-2485.
- [19] 王宇, 武亚楠, 鄢郭馨, 张振明. 黄河三角洲滨海湿地芦苇、碱蓬混生群落空间点格局分析. *生态科学*, 2020, 39(1): 51-59.
- [20] 郑禹君, 时连强, 徐岱璐, 蒋祖荫, 郭俊丽. 近 30a 来盐城沿海盐沼时空分布演变规律及影响因素分析. *海洋学研究*, 2018, 36(3): 57-66.
- [21] 张亚楠, 赵永强, 陈浩, 吕士成, 左平. 1983—2017 年间丹顶鹤在盐城越冬地的种群变化分析. *四川环境*, 2018, 37(6): 154-159.
- [22] Sun C, Liu Y X, Jin S, Wang Y X, Wei X L. Using time-series HSI mapping to determine ecological processes and driving forces of red-crowned crane (*Grus japonensis*) habitat in the Yancheng Biosphere Reserve (China). *Journal of Coastal Research*, 2019, 35(2): 322-334.
- [23] 侯明行, 刘红玉, 张华兵, 王聪, 谭清梅. 地形因子对盐城滨海湿地景观分布与演变的影响. *生态学报*, 2013, 33(12): 3765-3773.
- [24] 曹铭昌, 刘威, 刘彬, 孙孝平. 盐城滨海湿地及水鸟栖息地保护. *环境生态学*, 2019, 1(1): 74-79.
- [25] 左雪燕, 窦志国, 蔡杨, 崔丽娟, 胡宇坤, 严睿, 李伟. 江苏盐城滨海湿地优势植物功能性状分析. *湿地科学与管理*, 2019, 15(3): 59-62.
- [26] 徐伟伟, 王国祥, 刘金娥, 陈正勇, 杭子清, 王会. 苏北海滨湿地互花米草种群繁殖方式. *生态学报*, 2014, 34(14): 3839-3847.
- [27] 陈正勇, 王国祥, 刘金娥, 徐伟伟, 王刚. 苏北海滨湿地互花米草两种繁殖体与本地种竞争能力分析. *海洋科学进展*, 2012, 30(3): 380-389.
- [28] 何彦龙. 中低潮滩盐沼植被分异的形成机制研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2014.
- [29] 任珩, 赵成章. 高寒退化草地狼毒与赖草种群空间格局及竞争关系. *生态学报*, 2013, 33(2): 435-442.
- [30] 潘宇, 李德志, 袁月, 徐洁, 高锦瑾, 吕媛媛. 崇明东滩湿地芦苇和互花米草种群的分布格局及其与生境的相关性. *植物资源与环境学报*, 2012, 21(4): 1-9.
- [31] 杨桂山, 施雅风, 张琛. 江苏滨海潮滩湿地对潮位变化的生态响应. *地理学报*, 2002, 57(3): 325-332.
- [32] 陈雪初, 高如峰, 黄晓琛, 唐剑武. 欧美国家盐沼湿地生态恢复的基本观点、技术手段与工程实践进展. *海洋环境科学*, 2016, 35(3): 467-472.