

# 盐城海岸带景观格局时空变化与生态保护研究

王 娟<sup>1,2</sup>, 丁晶晶<sup>3,4\*</sup>

(1. 盐城师范学院苏北农业农村现代化研究院, 江苏 盐城 224007; 2. 盐城师范学院地理系, 江苏 盐城 224007;  
3. 江苏省林业科学研究院, 江苏 南京 211153; 4. 江苏盐城滨海湿地生态系统国家定位观测研究站, 江苏 盐城 224000)

**摘要:**盐城海岸带是东亚—澳大利西亚候鸟迁飞路线上最重要的潮间带栖息地,其生态系统极为敏感。受自然和人为等因素影响,1999—2017年的近20 a间,自然湿地占比下降了10.58%,人工湿地和非湿地占比分别上升了4.44%和6.14%,其中,碱蓬沼泽的面积变化最为显著,到2017年其占比仅为0.96%。人工湿地中的养殖塘和盐田面积变化极为明显,到2017年养殖塘的面积增至1 065.02 km<sup>2</sup>,盐田的面积则减少为47.98 km<sup>2</sup>。同时,AWMSI的值由6.508 0增加至8.369 9,SHDI从1.596 5逐渐降低到1.378 3,景观复杂度不断增加,各斑块类型呈非均衡化趋势分布,景观破碎化程度较严重。基于景观格局演变的影响因素分析,从提高遗产地鸟类栖息功能的角度,提出湿地保护与管理建议,以期为促进生物多样性的可持续发展提供参考。

**关键词:**景观格局;时空变化;生态保护;海岸带;盐城

**中图分类号:**P737.1;P748;X144

**文献标志码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1001-7380.2022.04.007

在2019年第43届世界遗产大会上,中国黄(渤)海候鸟栖息地(第1期)项目成功列入《世界遗产名录》,成为我国首个滨海湿地类世界自然遗产和全球第2个潮间带湿地遗产<sup>[1]</sup>。作为重要的生态功能区,盐城海岸带地理位置最重要,是多种生态学过程的交汇区域,对黄(渤)海生态系统具有全局影响<sup>[2]</sup>;同时,它是东亚—澳大利西亚候鸟迁飞路线上最重要的自然栖息地,也是易危物种丹顶鹤在我国的最大越冬栖息地、国家保护鸟类黑嘴鸥的重要繁殖地,以及每年30万—40万只候鸟的迁徙停歇地。从科学和保护角度看,盐城海岸带湿地是具有突出普遍价值的濒危物种栖息地,在国际生物多样性保护中具有十分重要的地位与作用<sup>[3]</sup>,其生态系统的景观组成与结构变化一直受到许多学者的广泛关注<sup>[4-6]</sup>。

基于景观生态角度的相关研究表明,从20世纪80年代至今,约443万人生活在盐城从北到南的海岸带上<sup>[3]</sup>。40 a来,盐城海岸带多于50%的原始自

然湿地已经丧失或转换为其他土地用途,剩余的湿地越来越受到土地利用和水管理活动的影响。区域土地利用变化会对湿地景观格局产生显著影响。在20世纪90年代,人类活动改变并影响了盐城海岸带原先的湿地景观<sup>[5]</sup>,适合水鸟栖息的生境类型和面积均在减少,碱蓬沼泽大面积萎缩与生物多样性有着密切联系。2001—2011年以来,人类活动已逐步威胁本地的物种多样性,景观格局整体破碎化程度较高,较适宜、不适宜生境的面积不断增大已经成为影响水鸟越冬数量变化的重要因素,湿地生态系统服务功能不断削弱。基于上述的研究现状,一些学者对盐城海岸带保护管理现状进行分析,并提出了实施生态修复、健全生态补偿、建立预警机制等发展对策<sup>[7-8]</sup>。但对于后申遗时代,基于如何平衡人与自然的关系、发展与保护关系的研究还不够广泛。有鉴于此,本研究以盐城海岸带为研究区,选择1999,2007,2017年的景观类型数据,综合运用遥感、GIS和景观生态学方法,分析近20 a来研

收稿日期:2022-06-03;修回日期:2022-06-27

**基金项目:**江苏高校哲学社会科学项目“世界自然遗产地盐城滨海湿地生物多样性保护差异化管理对策研究”(2020SJA1888);江苏省盐土生物资源重点实验室开放课题项目“互花米草入侵对丹顶鹤越冬生境质量的影响研究”(JKLBS2019013);江苏省林业科技创新与推广项目“江苏省森林、湿地定位监测长期科研基地”(LYKJ[2020]21)

**作者简介:**王 娟(1981—),女,江苏盐城人,讲师,博士。从事滨海湿地生态研究。E-mail: wangjysctu@163.com

**\*通信作者:**丁晶晶(1982—),女,江苏盐城人,副研究员,博士。从事生物多样性监测与保护研究。E-mail: sunshinedjj@163.com

究区内的景观格局时空变化特征,结合世界遗产地鸟类栖息地的服务功能,科学合理地提出湿地保护建议,对于促进生物多样性的可持续发展、提升世界遗产地的管理水平具有重要的意义。

## 1 研究区概况

本研究选取盐城海岸带作为研究区域,南至盐城与南通交界的北凌河,北至苏北灌溉总渠,西至老海堤公路(S226 省道),东至 -3 m 等深线。盐城海岸带位于江苏沿海中部地区黄海生态区,有太平洋西岸、亚洲大陆边缘面积最大的湿地分布区( $32^{\circ}34'—34^{\circ}28'N$ ,  $119^{\circ}27'—121^{\circ}16'E$ ),于近 40—50 a 来逐渐淤涨形成,现存湿地滩面宽度平均为 6 km 左右,海岸线长达 582 km,海岸带总面积为  $24.72 \times 10^4 \text{ hm}^2$ ,分属于响水县、滨海县、射阳县、大丰区和东台市 5 县市(区)。区内土地利用类型包括旱田、水田、居民地、水库、盐沼、光滩、建设用地和围垦用地等,主要的优势盐沼植物为互花米草沼泽、碱蓬沼泽和芦苇沼泽。

## 2 数据来源与方法

### 2.1 景观数据来源与处理

采用的 1999, 2007, 2017 年共 3 期盐城海岸带土地利用类型矢量数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn>)。参照 GB/T 21010—2017《土地利用现状分类》和 GB/T 24708—2009《湿地分类》<sup>[9-10]</sup>,将研究区域的景观类型分为自然湿地、人工湿地和非湿地 3 大类,其中自然湿地包括光滩、互花米草沼泽、碱蓬沼泽和芦苇沼泽等 4 种类型;人工湿地包括养殖塘、盐田、水田、围垦湿地和沟渠等;非湿地主要为旱地、道路(堤)、建设用地(居民地、工矿建设用地、港口)等。通过对 1999, 2007, 2017 年的 Landsat 卫星遥感影像进行大气校正、几何校正、决策树分类等步骤,结合人工判读和野外调查校正,采用统一的坐标系统和投影,制作 3 期盐城海岸带的景观类型图。

### 2.2 研究方法

2.2.1 景观指数选择 景观指数是景观生态学中使用最广泛的一种定量研究方法,可以反映不同时期景观的结构组成及格局变化<sup>[11]</sup>。根据实际需要,选择斑块密度(PD,反映景观斑块空间分布的均匀程度)、面积加权平均形状指数(AWMSI,当值增大时说明斑块形状更复杂、更不规则)、香农多样性指

数(SHDI,该指标能反映不同景观或同一景观不同时期的多样性与异质性变化,其值越大,说明斑块类型中增加或各斑块类型在景观中呈均衡化趋势分布)、聚集度(AI,表明景观斑块间聚合的程度,其值越大表示同类斑块的聚集度越高)和平均斑块分维数(MPFD,在一定程度上反映了人类活动对景观格局的影响,受人为干扰程度越大,其值越低)等景观指数来反映盐城海岸带景观结构与格局变化。景观指数的计算由 Fragstats 4.2 软件完成,栅格分辨率设置为  $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 。

2.2.2 景观转移矩阵 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。景观转移矩阵可以直观定量地描述 2 个时期各湿地类型之间的流失方向与补充来源转移情况。首先基于 Arc GIS 10.2 软件,处理景观信息矢量图并进行计算,再结合 Excel 进行统计,得到各景观类型的面积转移关系矩阵  $P$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 海岸带景观动态变化

3.1.1 景观结构变化 从海岸带景观结构变化看,1999 年自然湿地、人工湿地和非湿地占比分别是 31.74%, 23.37% 和 44.89%, 2007 年各比重分别为 25.85%, 23.05% 和 51.10%, 2017 年各占比分别是 21.16%, 27.81% 和 51.03%。从 1999 年到 2017 年,自然湿地比重缩减了约 10%,人工湿地的比重变化不大,而非湿地的面积呈现出增加的状态。

近 20 a 来,盐城滨海湿地中自然湿地的景观结构也发生了变化。由海向陆依次看,光滩的比重先减小后增大,到 2017 年达 72%;互花米草沼泽的占比从 1999 年的 10.50% 增加到 2007 年的 17.44%,再到 2017 年减少到 12.62%,基本维持原来的比重;碱蓬沼泽的面积变化最为显著,从  $133.72 \text{ km}^2$  剧减至  $23.79 \text{ km}^2$ ,后又萎缩至  $9.41 \text{ km}^2$ ,到 2017 年其占比仅为 0.96%;芦苇沼泽的比重均维持在 13%—17% 之间。除光滩外,1999 年自然湿地中的互花米草、碱蓬和芦苇比例均衡,芦苇最高,为 13.04%;而 2007 年,互花米草和芦苇的比重约为碱蓬的 8 倍,碱蓬比重仅为 2.10%,自然湿地以互花米草和芦苇沼泽为主;到 2017 年,碱蓬沼泽持续被侵占,互花米草和芦苇的面积尽管均在减少,但其比重已经高达碱蓬沼泽的 13—14 倍,如图 1 所示。

3.1.2 景观转移变化 在景观结构分析的基础上,

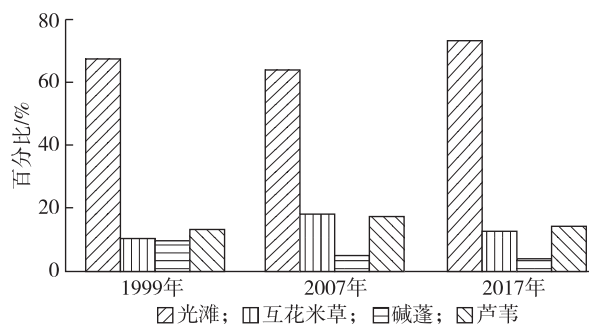


图1 1999—2017年自然湿地各类型占比

分析了1999—2017年盐城海岸带的景观转移变化,如图2所示。整体来看,在1999—2017年,由于自然因素和人类活动,养殖塘、盐田和碱蓬沼泽的面积变化极为明显。具体来看,从1999年到2007年,分别有45.53,46.23 km<sup>2</sup>的碱蓬沼泽转变为芦苇沼泽和养殖塘,各占近35%;分别有55.41,59.09 km<sup>2</sup>的芦苇沼泽转变为养殖塘和非湿地,各占约30%;另外,15.52%的光滩转变为互花米草沼泽,30.37%的互花米草沼泽转变为养殖塘,38.88%的盐田转变为养殖塘,近30%的养殖塘转化为非湿地。2007—2017年,碱蓬沼泽萎缩更为显著,包括59.27%和17.65%的碱蓬分别转为芦苇沼泽和互花米草沼泽,芦苇和互花米草成为盐城潮滩湿地的优势种群落;同时,69.86%的盐田、42.85%的互花米草沼泽和18.81%的芦苇均转为养殖塘,养殖塘成为面积最大的人工湿地;盐田只剩下20.51%,位于响水县;另外,15.64%的米草沼泽、23.37%的芦苇沼泽和21.54%的养殖塘也用于建设用地上和田。

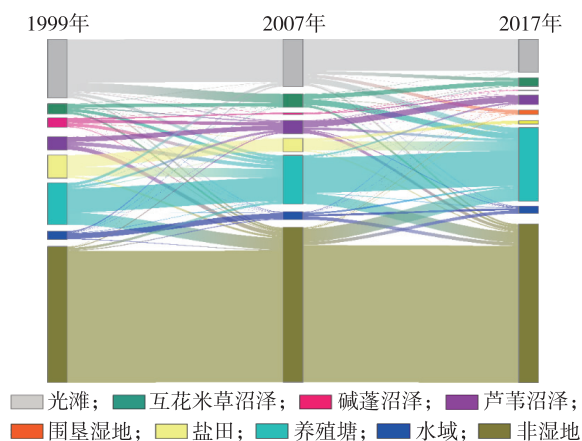


图2 1999—2017年盐城海岸带景观转移矩阵桑基图

3.1.3 景观格局变化 近20 a来研究区内的景观格局变化明显,如表1所示。1999—2017年, $PD$ 从

0.928 6上升到1.429 9,后又下降到0.560 9。由前文的结构变化和景观转移变化可知,在2007—2017年间,自然湿地萎缩严重,大多被转为人工湿地和非湿地,这可能是导致2017年斑块密度减小的主要原因。 $AWMSI$ 从1999年的6.508 0逐渐上升到2007年的8.542 7,说明了湿地景观斑块形状的日趋复杂性和不规则性。 $SHDI$ 从1.596 5逐渐降低到1.378 3,表明20 a来各斑块类型在景观中呈非均衡化趋势分布。从聚集度指数看, $AI$ 值呈现出先下降后又上升的趋势,表明在1999—2007年间,研究区内的小斑块较多,景观呈严重的破碎化状态,而在2007—2017年间,研究区内的斑块数减少,大斑块较多, $AI$ 值增大,这和 $PD$ 的变化一致。其景观平均分维数 $MPFD$ 变化不大,说明研究区受人类干扰程度整体上相差不大,在2017年人类干扰程度最高。

表1 1999—2017年景观格局指数变化

年度	$PD$	$AWMSI$	$SHDI$	$AI/\%$	$MPFD$
1999年	0.928 6	6.508 0	1.596 5	92.537 4	1.455 7
2007年	1.429 9	8.542 7	1.468 1	90.152 6	1.491 7
2017年	0.560 9	8.369 9	1.378 3	93.695 1	1.412 5

### 3.2 影响因素

海岸带是人类活动和各种自然过程最密集的地区之一,诸多因素共同决定了盐城海岸带的景观格局演变。盐城海岸带以典型的淤泥质潮滩湿地为主,其生态系统更为敏感,主要受到了包括全球气候变化因素、互花米草扩张、滩涂围垦和港口建设等因素在内的自然和人类活动的双重影响。

受全球气候变化影响,1993—2016年,中国平均海平面上升速率为4.1 mm/a,高于全球平均水平3.4 mm/a,未来50 a,江苏海平面上升速率达4.2 mm/a<sup>[12]</sup>。湿地由于其适应能力有限,被认为是最易受到气候变化影响的陆地生态系统<sup>[13]</sup>。全球气候的变化,导致海平面上升,从而改变了水循环过程,对湿地的地貌、水文、盐度和生态过程等产生影响,在一定程度上加快了湿地景观格局的演变。同时,全球气候变暖,会带来气象要素在中小尺度上的时空分配状态变化及局地气候特征的改变,如小区域内降水和风暴的频率,也会加剧沿海潮间带湿地生态系统的退化。

互花米草于1979年12月从美国引入我国沿海地区,具有保滩促淤能力和强大的繁殖能力,是全

球海岸盐沼湿地最成功的入侵植物之一。盐城海岸带潮间带是受互花米草的影响最为显著的区域,1999 年扩张成一定宽度的条状带,到 2007 年互花米草的面积达 198 km<sup>2</sup>。形成的条带植被阻断了海洋向潮间带上部的水分、盐分、营养物质输送,加上极强的种间竞争能力,本地种植物的生存空间不断被侵占,原有湿地景观特征和结构发生巨大改变,对潮间带地形地貌和潮汐过程产生严重影响,并直接威胁区域生物多样性保护和生态平衡<sup>[14]</sup>。

湿地围垦和基建占用也是导致盐城海岸带景观格局变化的重要因素。自实施开发 6.7 万 hm<sup>2</sup> 滩涂的决策后,南部新淤积的滩涂湿地随之进入了快速开发阶段。滩涂围垦对湿地类型影响十分严重,通过围垦,把水鸟利用的自然滩涂和浅海转化成人工湿地或者非湿地,导致自然湿地面积减少和丧失,湿地类型多样性发生变化<sup>[15]</sup>。1999—2017 年的近 20 a 间,盐城海岸带的自然湿地面积缩减了 47.04%。其中,在 1999—2017 年,约 60% 的芦苇沼泽分别转变为养殖塘和非湿地,30.37% 的互花米草沼泽转变为养殖塘,近 30% 的养殖塘转化为非湿地;2007—2017 年,养殖塘成为面积最大的人工湿地,盐田只剩下 20.51%,还有约 15% 的米草沼泽、25% 的芦苇沼泽和 22% 的养殖塘也变成建设用地和农田。伴随滩涂围垦,人工建设的堤坝、沟渠网络和道路网络建设迅速发展起来,这是景观格局发生变化的原因之一。

另外,航道、导堤、港口建设等一系列硬化工程,一方面能促进淤涨,另一方面隔绝了陆海之间的物质交换,对景观格局变化产生影响,导致自然湿地严重丧失。

## 4 保护与管理建议

通过上述对盐城海岸带景观格局的变化分析,可以看出研究区内景观格局破碎化程度和复杂程度不断严重等问题。本研究从提高遗产地鸟类栖息功能的角度,提出抑制互花米草扩张、构建适宜栖息地和基于 NbS 理念的湿地修复等生态保护与管理建议。

### 4.1 抑制互花米草扩张

根据景观转移变化可知,1999—2007 年,15.52% 和 3.15% 的光滩和碱蓬沼泽转变为互花米草沼泽;2007—2017 年,7.11% 和 17.65% 的光滩和碱蓬转为互花米草沼泽。由此可见,自然条件下,

具有强大竞争力的互花米草不断向海侵占光滩,向陆侵占碱蓬。互花米草能促进淤固滩,对潮流有强烈的阻挡作用,抑制了本地植被的演替,对原生湿地生态系统造成威胁。强大的向海向陆侵占能力,使得原先的自然湿地萎缩,加上其自身的高覆盖度和密度,压缩了鸟类的生存空间和种群规模,对水鸟栖息和觅食也会造成较大威胁。海岸带的生态保护亟需先抑制互花米草扩张,保护好本地种植物群落<sup>[16]</sup>。去除本地植物群落中的互花米草斑块和潮沟中的互花米草,既能减少互花米草侵占面积又能减小破碎化程度,并可以结合覆盖厚地膜抑制繁殖,控制互花米草群落的进一步扩张。同时,可以借鉴东滩湿地互花米草生态控制经验,对于未呈斑块零散发生的新定植苗进行人工拔除、挖掘;对于已形成斑块状的互花米草群落可以采取刈割治理后种植替代植物;对于较大面积的已形成片状或带状群落的,则可以通过人工围堰、放水淹地或晒地灭活等方式,阻断其扩张途径等。

### 4.2 构建适宜水鸟栖息地

水鸟类是湿地生态系统中的关键物种,且水鸟对自然湿地的依赖程度较高<sup>[17]</sup>。近 20 a 来,盐城海岸带的自然湿地面积缩减了一半;整体上,AWMSI 上升,SHDI 逐渐降低,湿地景观斑块形状日趋复杂,呈非均衡化趋势分布;AI 值均为 90 以上,景观呈严重的破碎化状态,斑块间的功能联系断裂或连接性减少,越来越不利于水鸟觅食栖息。1999—2017 年湿地面积变化和转移方向,也表征了适宜水鸟生存的自然栖息地越来越少,人工湿地可以作为水鸟生存的补充栖息地。盐城海岸带因其突出普遍价值和在东亚—澳大利西亚候鸟迁徙路线中的极端重要地位而列入《世界遗产名录》,保护水鸟生境面积,提升水鸟生境质量,是该世界自然遗产地的基本要求。基于此,需要逐步提高自然湿地的保护率,同时可以根据鸟类的觅食特点、繁殖特点或越冬特点等,构建增加大面积适宜鸟类栖息地,守护候鸟迁徙的关键枢纽。

### 4.3 加强基于 NbS 理念的湿地修复

NbS(Nature-based Solution)即“基于自然的解决方案”,以保护、可持续管理和恢复生态系统为首要任务,以保护生物多样性为重要目标,主要应用于减缓气候变化、修复生态系统等问题,该理念与我国生态文明理念高度契合<sup>[18]</sup>。研究区内基于 NbS 的生态修复极为重要,以生态自然修复为主,人

工适度干预为辅,关注水文连通性,从覆盖度、高度、密度方面考虑湿地植物的选择,可通过适当的生态、生物技术手段,逐步恢复生态系统的结构、功能、生物多样性等,最终达到原生湿地生态系统的自我维持状态。例如,在盐城海岸带最南段的东台条子泥湿地生态保护区,把原本用来围垦养殖的48 hm<sup>2</sup>鱼塘,经过生态修复和改造,该地区候鸟种群数量不降反升,打造出国内首块能够满足各种候鸟个性化需求的固定高潮位候鸟栖息地。在响水光伏发电项目生态补偿区,通过构建鸟类避险区、游禽觅食区、涉禽觅食区、鱼类避险区和生态缓冲区5个功能区进行生态修复,鸟类多样性显著提升,实现了人与自然和谐共生。这些基于NbS理念的湿地修复或恢复的成功案例,使得湿地生态系统服务功能得以维持,为湿地鸟类提供了丰富的食物资源和栖息地。

#### 参考文献:

- [1] 丁瑶瑶.盐城黄海湿地跻身“世遗”[J].环境经济,2019(14): 28-30.
- [2] 曹铭昌,刘威,刘彬.盐城滨海湿地及水鸟栖息地保护[J].环境生态学,2019,1(1):74-79.
- [3] 刘红玉,周奕,郭紫茹,等.盐沼湿地大规模恢复的概念生态模型——以盐城为例[J].生态学杂志,2021,40(1): 278-291.
- [4] 周鑫,左平,滕厚峰,等.基于土地利用变化的生态系统服务价值核算——以江苏盐城滨海湿地为例[J].海洋通报,2011,30(6):656-661.
- [5] 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):93-99.
- [6] 欧维新,甘玉婷婷.耦合种群动态的生境格局变化分析粒度与景观因子选择——以盐城越冬丹顶鹤及其生境的变化为例[J].生态学报,2016,36(10):2996-3004.
- [7] MA Z J, DAVID S M, LIU J G, et al. Rethinking China's new great wall: Massive seawall construction in coastal wetlands threatens biodiversity[J]. Science, 2014,346: 912-914.
- [8] 陈娟,田伟.盐城市湿地资源现状与原生态保护探索[J].湿地科学与管理,2021,17(2): 65-67.
- [9] 国土资源部.土地利用现状分类:GB/T 21010-2017[S].北京:中国质量标准出版社,2017.
- [10] 国家林业局.湿地分类:GB/T 24708-2009[S].北京:中国标准出版社,2009.
- [11] 邬建国.景观生态学:格局、过程、尺度与等级[M].2版.北京:高等教育出版社,2000.
- [12] 孙艳伟,李莹.1993—2018年中国沿海海平面异常升高的时空格局特征及潜在社会经济风险估计[J].自然资源学报,2022,37(4):1073-1088.
- [13] 吴金华,房世峰,刘宝军,等.乌裕尔河-双阳河流域湿地景观格局演变及其驱动机制[J].生态学报,2020,40(13):4279-4290.
- [14] WANG J, LIU H Y, LI Y F, et al. Effects of *Spartina alterniflora* invasion on quality of the red-crowned crane (*Grus japonensis*) wintering habitat[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2019,26(21):21546-21555.
- [15] WANG G, WANG C, GUO Z R, et al. A multiscale approach to identifying spatiotemporal pattern of habitat selection for red-crowned cranes[J]. Science of the Total Environment, 2020, 739:139980.
- [16] 何冬梅,江浩,祝亚云.盐城滨海湿地植被恢复原则与技术概述[J].江苏林业科技,2021,48(1):53-57.
- [17] XIAO H, CHADES I, HILL N, et al. Conserving migratory species while safeguarding ecosystem services[J]. Ecological Modelling, 2021,442:109442.
- [18] 朱正杰,张轩波,忻飞,等.基于NbS的滨海湿地修复:以盐城湿地生态补偿区为例[J].湿地科学与管理,2022,18(3): 47-50.