

崇明东滩越冬白头鹤及其栖息地的 变化

完成人

崔焱琳

指导小组成员

马志军 教授

目 录

摘要.....	I
Abstract.....	II
一、前言.....	1
二、材料与方法.....	3
2.1 研究区域概况.....	3
2.2 研究方法.....	3
2.2.1 白头鹤种群调查.....	3
2.2.2 海三棱藨草地下球茎调查.....	4
2.3 数据处理.....	5
2.3.1 白头鹤种群数量及分布.....	5
2.3.2 海三棱藨草地下球茎.....	5
2.3.3 盐沼植被变化.....	6
三、研究结果.....	7
3.1 越冬白头鹤种群动态.....	7
3.1.1 2021-2022 年越冬白头鹤数量和分布	7
3.1.2 越冬白头鹤数量和分布在 20 年间的变化.....	8
3.2 海三棱藨草地下球茎变化.....	11
3.2.1 2021-2022 年海三棱藨草球茎的分布	11
3.2.2 海三棱藨草球茎在 20 年间的变化.....	11
3.3 盐沼植被的变化.....	12
四、讨论.....	15

4.1 食物资源与白头鹤的栖息地利用.....	15
4.2 海三棱蔗草地下球茎变化的原因.....	16
4.3 崇明东滩盐沼植被变化.....	17
4.4 崇明东滩越冬白头鹤的保护和管理建议.....	17
参考文献.....	19
致谢.....	22

摘 要

越冬栖息地对越冬水鸟种群而言非常重要，其质量关系到候鸟种群的维持。白头鹤（*Grus monacha*）是 ICUN 易危物种，崇明东滩是白头鹤在中国唯一的自然滩涂湿地类型的越冬地。最近 20 年，崇明东滩越冬白头鹤栖息地质量已经发生了较大改变，但目前尚缺乏在较长时间尺度上对白头鹤种群及其栖息地动态的研究。为了了解崇明东滩越冬白头鹤种群及其栖息地在 20 年间的变化，本研究调查了 2021-2022 年冬季崇明东滩越冬白头鹤种群及白头鹤主要食物海三棱藨草地下球茎的数量和重量，并整合了 2000-2021 年崇明东滩越冬白头鹤的种群数量和分布、海三棱藨草地下球茎的数量和重量，并用遥感影像结合植被分类算法分析了崇明东滩盐沼植被的分布。研究结果表明：2021-2022 年有 99 只白头鹤在崇明东滩越冬，主要觅食地为中部和北部滩涂。2000-2021 年崇明东滩越冬白头鹤种群基本稳定，但觅食区域有所变化。海三棱藨草地下球茎的分布变化可能导致了白头鹤活动区域变化。入侵植物的扩张和生态修复工程的实施是滩涂盐沼植被分布变化的关键因素，并影响着白头鹤的食物资源。针对目前越冬白头鹤在滩涂上自然食物资源紧张，而在农田生境觅食又受到较大的人为干扰的现象，本文建议加快恢复滩涂海三棱藨草群落并减少人为干扰以保护崇明东滩的越冬白头鹤。

关键词：白头鹤，崇明东滩，海三棱藨草

Abstract

Wintering habitats are of vital importance for waterbird populations, and their qualities are related to the maintenance of migratory bird populations. The hooded crane (*Grus monachal*) is an IUCN vulnerable species. Chongming Dongtan is the only natural tidal flat wetland wintering habitat for Hooded Cranes in China. During the past 20 years, the habitat quality of the wintering hooded cranes in Chongming Dongtan has witnessed huge changes. However, there is still a lack of understanding of hooded cranes' population and habitat dynamics on a longer time scale. To understand the changes of the wintering hooded crane population and their habitat in Chongming Dongtan during the past 20 years, this study investigated the wintering hooded crane population in Chongming Dongtan in the winter of 2021-2022, along with the number and weight of the underground corms of *Scirpus mariquter*, the main food resources of hooded cranes in Chongming Dongtan. This study also integrated the population size and distribution of wintering hooded cranes in Chongming Dongtan, as well as the number and weight of the underground corms of *S. mariquter* from 2000 to 2021. The distribution of salt marsh vegetation in Chongming Dongtan was also analyzed by using remote sensing images combined with a vegetation classification algorithm. The results of this study show that there were 99 hooded cranes wintered in Chongming Dongtan during the winter of 2021 to 2022, and the main foraging areas are the central and northern tidal flats. From 2000 to 2021, the wintering hooded crane population in Chongming Dongtan was stable, but the foraging area has changed. The distribution change of the corms of *Scirpus mariquter* is the likely reason for the change of the hooded crane foraging area. The expansion of invasive plants and the implementation of ecological restoration projects are the key factors for the changes in the vegetation distribution of the salt marshes, affecting the food resources of hooded cranes. This study proposes to speed up the restoration of the *S. mariquter* community in the tidal flat and reduce human disturbance to protect the wintering hooded cranes in Chongming Dongtan.

Key words: Hooded Crane, Chongming Dongtan, *Scirpus mariqueter*

一、前言

栖息地是野生动物赖以生存的场所，栖息地质量是影响动物适合度的关键因素^[1]。对于候鸟而言，栖息地包括其在不同生活阶段所占有和利用的环境，包括繁殖地、迁徙停歇地和越冬地，其中任何一种栖息地的破坏都可能对候鸟种群带来威胁^[2]。越冬地对越冬水鸟种群而言非常重要，其质量会影响候鸟个体的身体状况、迁徙时间及其繁殖成功率，进而影响种群的分布和数量，从而关系到候鸟种群的发展^[3]。而食物资源则是决定越冬栖息地质量的关键因素^[4]，越冬候鸟在迁徙过程中消耗了大量的能量，须在抵达越冬地后快速摄入大量的食物，以恢复在迁徙过程中的体能消耗^[5]并为前往繁殖地的春迁积累能量。

白头鹤（*Grus monacha*）是我国一级保护动物，被 IUCN 列为易危物种，目前全球白头鹤种群估计约为 11600 只^[6]。作为迁徙候鸟，白头鹤的主要越冬地位于日本鹿儿岛、韩国顺天湾以及我国长江中下游地区如鄱阳湖、升金湖、菜子湖及上海崇明东滩^[错误!未定义书签。]。其中，在每年在崇明东滩越冬的白头鹤个体在 100 左右，约占在中国越冬的白头鹤的 9%。

崇明东滩位于长江入海口，是国际重要河口滩涂湿地，是白头鹤重要的越冬地^[7]。在崇明东滩越冬的白头鹤主要以海三棱藨草（*Scirpus mariqueter*）的地下球茎及根茎为食^{[8][9]}。海三棱藨草是崇明东滩的本土植物，适应中低潮滩的环境，是潮滩的先锋物种，曾经是崇明东滩面积较大的自然植被^[10]，其地下球茎和种子能为白头鹤等冬候鸟提供丰富食物^[错误!未定义书签。]^[11]。但互花米草（*Spartina alterniflora*）的入侵改变了崇明东滩盐沼植被的原有格局^[12]，加之滩涂围垦破坏了东滩的淤涨平衡，自然滩涂面积减少^[13]，导致海三棱藨草分布面积锐减，严重影响了包括白头鹤在内的湿地依赖性鸟类的生存^[14]。2013 年崇明东滩开始实施互花米草生态修复工程，对崇明东滩的互花米草进行治理，该工程可能改变崇明东滩盐沼植被类型和分布和潮滩地貌等自然生境^[15]，进而改变崇明东滩越冬白头鹤的栖息地质量。

了解白头鹤在崇明东滩越冬种群的动态和栖息地情况，是制定崇明东滩越冬白头鹤种群保护措施的基础，对白头鹤的保护具有重要意义。对崇明东滩为鸟类提供的食物资源以及盐沼植被变化的调查，可以评估崇明东滩作为白头鹤

等候鸟的越冬栖息地质量，并为长期监测积累数据。本文通过研究和分析崇明东滩越冬的白头鹤种群、白头鹤在崇明东滩主要食物——海三棱藨草地下球茎以及崇明东滩盐沼植被分布在 20 年间的变化，探究崇明东滩白头鹤越冬栖息地质量的变化，并为崇明东滩越冬白头鹤的保护和管理提供科学建议。



二、材料与方法

2.1 研究区域概况

崇明东滩 ($31^{\circ}25' \sim 31^{\circ}28' \text{N}$, $121^{\circ}50' \sim 122^{\circ}05' \text{E}$) 位于崇明岛东端, 是由长江径流带来的泥沙在海陆作用下沉积而成的滩涂, 是长江口规模最大、发育最完善的河口型潮汐滩涂湿地^[16]。崇明东滩受非正规半日潮影响, 每日有两次潮汐作用^[17], 潮汐不仅影响着滩涂的地形和地貌, 还影响着滩涂上的植被的生长和分布^[18]。

崇明东滩的主要盐沼植被包括: 芦苇 (*Phragmites australis*)、互花米草和海三棱藨草^[19]。其中, 芦苇和海三棱藨草是崇明东滩本土植物, 在 20 世纪之前是崇明东滩最主要的盐沼植被^[20], 海三棱藨草作为先锋物种分布在低潮滩, 芦苇分布在中高潮滩。受到潮汐冲刷的影响, 海三棱藨草在滩涂上可根据滩涂高程和种群生长状况分为外带、中带和内带, 其中外带远离堤坝, 受海浪冲刷影响大, 植被稀疏, 地下球茎发达; 内带靠近堤坝, 海三棱藨草常年生长, 仅被大潮淹没, 地下球茎退化; 中带位于外带和内带之间, 中潮位时被水淹没, 球茎略退化但发育良好^[错误!未定义书签。8]。1995 年互花米草第一次被发现在崇明东滩出现; 2001 年为了促淤, 崇明东滩人工种植了一批互花米草, 此后互花米草在崇明东滩快速扩散, 逐渐成为崇明东滩盐沼植被的优势物种^[21], 外来物种互花米草的入侵改变了崇明东滩植物群落的原有格局^{[13][错误!未定义书签。]}。此外, 上世纪 90 年代期间, 崇明东滩经历了大面积的滩涂围垦^[13], 这改变了东滩的淤涨动态^[错误!未定义书签。], 导致自然滩涂面积减少。在互花米草的入侵和滩涂围垦共同作用下, 崇明东滩海三棱藨草分布面积锐减。2013 年, 为了治理互花米草在崇明东滩的快速扩张, 崇明东滩实施了生态修复工程, 对东滩中北部的互花米草优势生长区域进行围堤治理, 该工程的建设也影响了崇明东滩盐沼植被和潮滩地貌^[15]。

崇明东滩的自然滩涂是白头鹤的主要觅食地, 因此本研究选择崇明东滩 98 大堤和生态修复工程大堤以外的自然滩涂区域作为主要研究区域。

2.2 研究方法

2.2.1 白头鹤种群调查

2021 年 10 月 24 日至 2021 年 11 月 28 日，从白头鹤抵达崇明东滩开始，每周进行一次白头鹤调查，直至越冬白头鹤种群数量稳定；2021 年 12 月 12 日至 2022 年 2 月 25 日，崇明东滩越冬白头鹤种群数量较稳定，约每半个月进行一次白头鹤调查；2022 年 3 月起，白头鹤陆续离开崇明东滩，每周进行一次白头鹤种群调查。

调查选择在无大风、降雨、大雾的天气进行。由于白头鹤体型较大，易于辨识和计数，因此调查时选择大堤上的固定监测点和小南港气象站楼顶用单筒望远镜搜寻，记录越冬白头鹤的数量，并记录鹤群与观测点之间的方位角和距离，以确定白头鹤的活动位置。

2.2.2 海三棱藨草地下球茎调查

2021 年 12 月初，当越冬白头鹤基本全部抵达崇明东滩时，在前期白头鹤种群调查所得到的白头鹤活动区域的滩涂北部、中部和南部各设置一条样线，分别为 6 号桥样线、小南港样线和团结沙样线，进行海三棱藨草地下球茎的采样（图 1）。

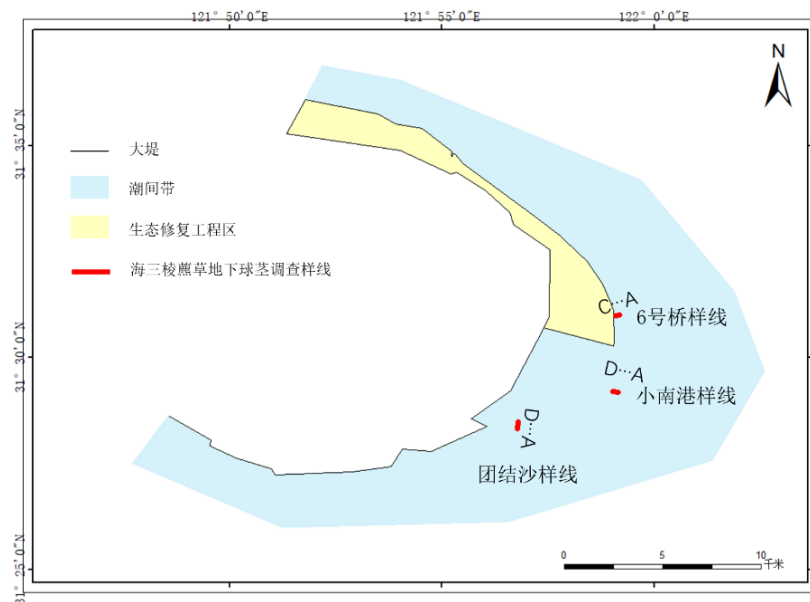


图 1 海三棱藨草地下球茎调查样线示意图

每条样线从滩涂的海三棱藨草带最外侧有海三棱藨草生长的区域开始向内

侧靠近堤坝的方向设置样点，沿潮沟向堤坝方向每隔 50 米平行设置 2 个样地，直到海三棱藨草带结束。每组样地由外向内分别编号为 A、B、C、D（图 1），其中 6 号桥样线因海三棱藨草带较窄仅设置 3 组样地。每个样地内设置 2-3 个大小为 15cm × 15cm 的样方。采集样方中滩涂表层约 15cm 的土层，筛取土层中海三棱藨草的球茎，带回实验室洗净、计数，称量其鲜重，再将采集的地下球茎放入 60 摄氏度烘箱中烘至恒重，称量其干重。

2.3 数据处理

2.3.1 白头鹤种群数量及分布

2.3.1.1 2021-2022 年白头鹤种群数量及分布

统计各次调查所记录的白头鹤数量，制作 2021-2022 年崇明东滩白头鹤越冬种群数量变化图，获取白头鹤的迁徙动态以及最大种群数量。

将各次调查所记录的白头鹤活动坐标录入 ArcMap 中，制作 2021-2022 年冬季崇明东滩越冬白头鹤在越冬前期和中后期的核密度分布图。

2.3.1.2 越冬白头鹤数量和分布在 20 年间的变化

将本研究野外调查的获得的白头鹤种群数据和 2000-2020 年崇明东滩越冬白头鹤每年的最大种群数的对比（历史数据来源于保护区资源监测报告、水鸟同步调查以及 CLP 崇明东滩白头鹤保护项目的调查数据，不同来源的数据以每年的最大数量为准），做出 20 年间崇明东滩越冬白头鹤种群数量动态图。

将本次调查以及 2000 年^[8]和 2009 年^[22]调查获得的白头鹤活动区域坐标录入 Acrmap，使用核密度分析，制作在 2000 年和 2009 年崇明东滩越冬白头鹤的分布图，并设置半径 2km 的缓冲区，比较 3 个年份间崇明东滩越冬白头鹤的活动区域的变化。

2.3.2 海三棱藨草地下球茎

2.3.2.1 2021-2022 年海三棱藨草球茎的分布

将每一处样方中海三棱藨草球茎的数量、总干重和总鲜重除以样方面积转换为单位面积的球茎数量（个/m²）、总干重（g/m²）和总鲜重（g/m²）；将一处样方中海三棱藨草球茎的总干重和鲜重除以数量，得到样方中平均每个单个球

茎的干重和鲜重 (g)。

使用 one-way ANOVA 比较北部、中部和南部三条样线两两之间的海三棱藨草地下球茎的数量、总干重、总鲜重以及单个球茎的重量。

在每条样线内部, 将个样地由外带向内带分别记为 A、B、C、D, 统计三条样线中同一位置的样地的地下球茎数量和重量; 采用方差分析比较北部样线和中部样线上处于同一位置的海三棱藨草球茎的数量和重量。

2.3.2.2 海三棱藨草球茎在 20 年间的变化

将本次调查的 3 条样线所获得的海三棱藨草地下球茎的球茎总数量和重量 (球茎总鲜重和单个球茎鲜重) 与 2000 年的调查结果^[23]用 t 检验比较, 分析崇明东滩海三棱藨草球茎总体的数量和重量以及球茎大小的变化。

2.3.3 盐沼植被变化

崇明东滩盐沼植被分类是通过基于 landsat5/7/8 遥感影像结合植被分类算法进行划定。划定潮间带作为潜在分布区, 通过人工目视解译和高空间分辨率谷歌图像进行手动数字化来描绘海岸线, 构建潮间带缓冲区排除内陆地区。依照以下公式, 识别盐沼植被区的范围:

$$\text{Vegetation} = \text{NDVI} \geq 0.2 \cap \text{EVI} \geq 0.1 \cap \text{LSWI} > 0 \quad (1)$$

$$VF = \frac{N_{\text{Vegetation}}}{N_{\text{Good}}} \quad (2)$$

其中, NDVI 为归一化植被指数, EVI 为增强植被指数, LSWI 为地表水指数, VF 是一年中每个像素的绿色植被频率, 范围 0-1, $N_{\text{Vegetation}}$ 是一年中被识别为绿色植被的观测数量, N_{Good} 是一年中优质观测的数量。频率阈值 0.5 用于将像素分类为沿海植被区 ($VF \geq 0.05$) 或潮滩等非植被区 ($VF < 0.05$)^[24]。第三步, 在识别的沿海盐沼植被范围的基础上, 通过基于像素和物候构建植被分类算法^[25], 分离出不同的盐沼植被类型, 然后将不同盐沼植被分类结果图融合为一张盐沼植被分类结果图。根据不同盐沼植被类型物候期的差异性, 确定不同植被最佳分离窗口期和分离阈值^[26]。本文所使用的植被分类算法如下:

$$\text{互花米草} = \text{LSWI}_{\text{mean}(4-5 \text{ 月})} < 0 \cap \text{VF}_{(12-1 \text{ 月})} > 0 \quad (3)$$

$$\text{芦苇} = \text{NDVI}_{\text{mean}(4-5 \text{ 月})} > 0.20 \cap \text{EVI}_{\text{mean}(5-6 \text{ 月})} \geq 0.30 \quad (4)$$

$$\text{海三棱藨草/藨草} = \text{LSWI}_{\text{mean}(9-10 \text{ 月})} < -0.05 \quad (5)$$

三、研究结果

3.1 越冬白头鹤种群动态

3.1.1 2021-2022 年越冬白头鹤数量和分布

2021-2022 年冬季崇明东滩白头鹤越冬种群最大数量为 99 只。崇明东滩的白头鹤于 2021 年 10 月中旬开始陆续抵达越冬地，种群数量逐渐增加；2021 年 11 月下旬开始白头鹤越冬种群数量逐渐稳定，直到 1 月白头鹤越冬种群到达最大值 99 只，2 月期间滩涂上的白头鹤数量略有下降，3 月初滩涂上的白头鹤数量再次回到 99 只，此后一直到 3 月中旬白头鹤种群数量均稳定在 99 只左右（图 2）。

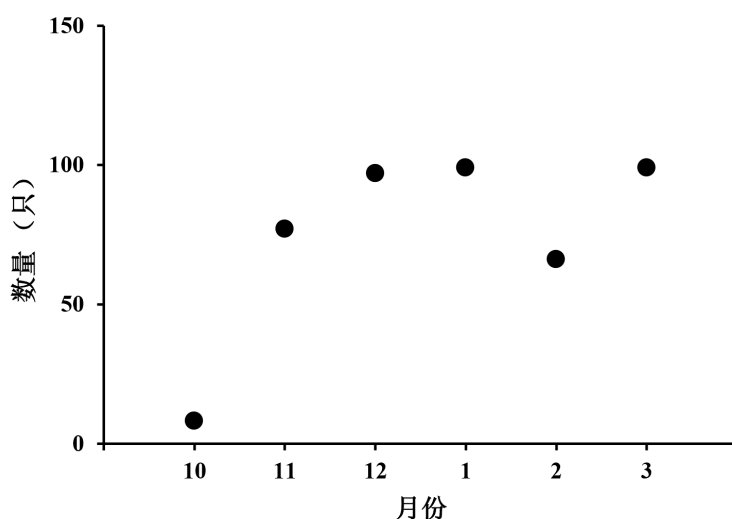


图 2 2021-2022 年冬季崇明东滩白头鹤的越冬种群数量变化

2021-2022 年崇明东滩越冬白头鹤的觅食地主要位于崇明东滩大堤东部外的滩涂上，即 6 号桥样线和小南港样线之间。越冬早期（10 月至 11 月下旬），滩涂东南部（小南港样线和团结沙样线之间的区域）也偶见少量家庭群觅食（图 3, (a)）；而到了越冬的中后期（12 月至次年 3 月期间）白头鹤的分布范围向北移动，几乎只在优化区大堤外的东部滩涂上觅食，白头鹤不再利用东南部的滩涂（图 3, (b)）。

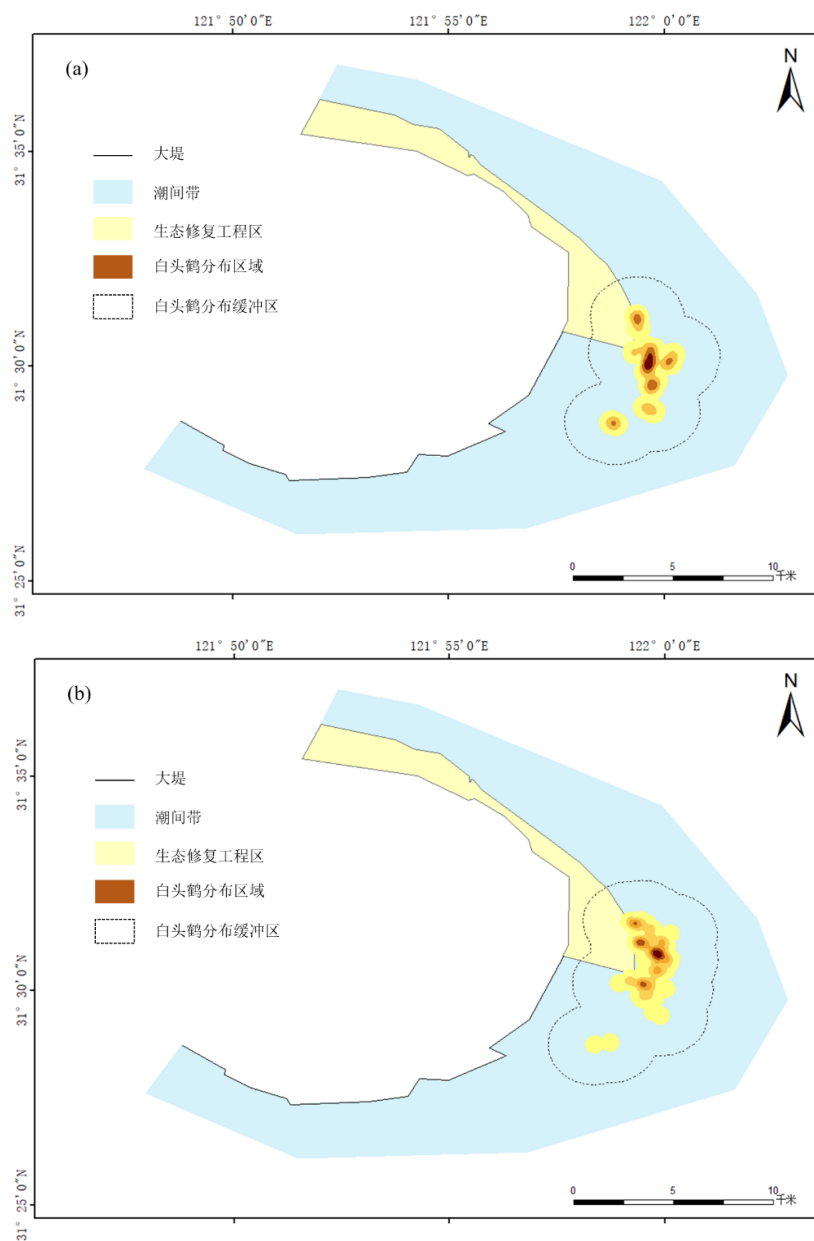


图 3 2021-2022 年崇明东滩白头鹤的越冬种群的分布

注：（a）为白头鹤越冬早期的分布，（b）为白头鹤越冬中后期的分布

另据观鸟中心的记录，部分白头鹤在越冬中后期短暂地利用了农田生境。在 2022 年 1 月至 2 月期间，有部分白头鹤（约 20-30 只）频繁进入保护区外的农田内觅食，2 月底后白头鹤再次全部回到滩涂上觅食，几乎不再利用农田生境。

3.1.2 越冬白头鹤数量和分布在 20 年间的变化

2000 年至 2021 年崇明东滩越冬白头鹤的数量在 100 只左右，各年份之间有一定波动。2000-2011 年崇明东滩越冬白头鹤种群数量总体在 100 只以上，2011 年后在崇明越冬地白头鹤种群略有下降，数量不足 100 只。2021-2022 年白头鹤越冬种群最大数量为 99 只，与近些年种群数量相比略有增加。总体而言，崇明东滩越冬的白头鹤数量较为稳定（图 4）。

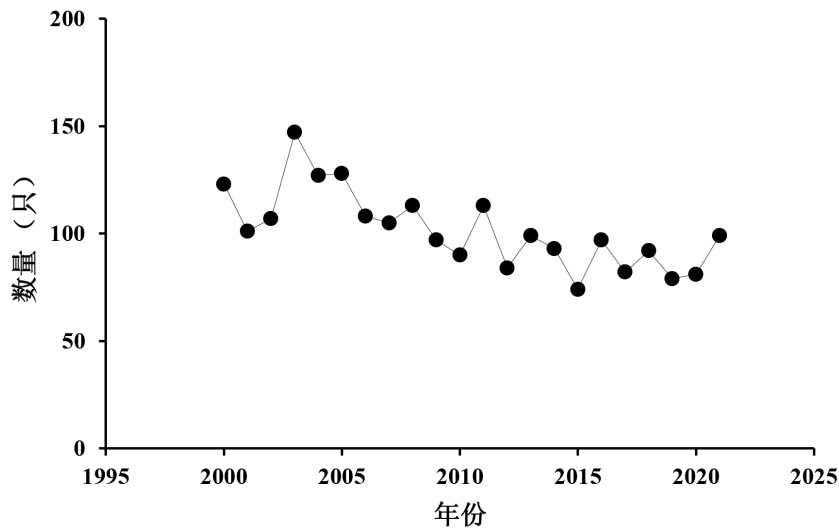


图 4 2000-2021 年崇明东滩白头鹤的越冬种群数量变化

2021-2022 年在崇明东滩越冬的白头鹤的活动区域和历史记录相比有一定差异（图 5）。2000 年崇明东滩越冬白头鹤主要利用滩涂生境，其觅食地主要分布在堤外滩涂的东南部^[错误!未定义书签。]，即东旺沙和团结沙之间（图 5, (a)）；2007-2008 及 2008-2009 年崇明东滩越冬的白头鹤利用农田生境^[27]，其觅食地主要为海堤内的农田（图 5, (b)）；2021-2022 年崇明东滩越冬的白头鹤主要利用滩涂生境，觅食地也主要为滩涂，但有少部分个体在越冬中后期短暂利用农田生境，且白头鹤堤外滩涂的觅食地也较先前向北转移，主要分布在 6 号桥和小南港之间（图 5, (c)）。

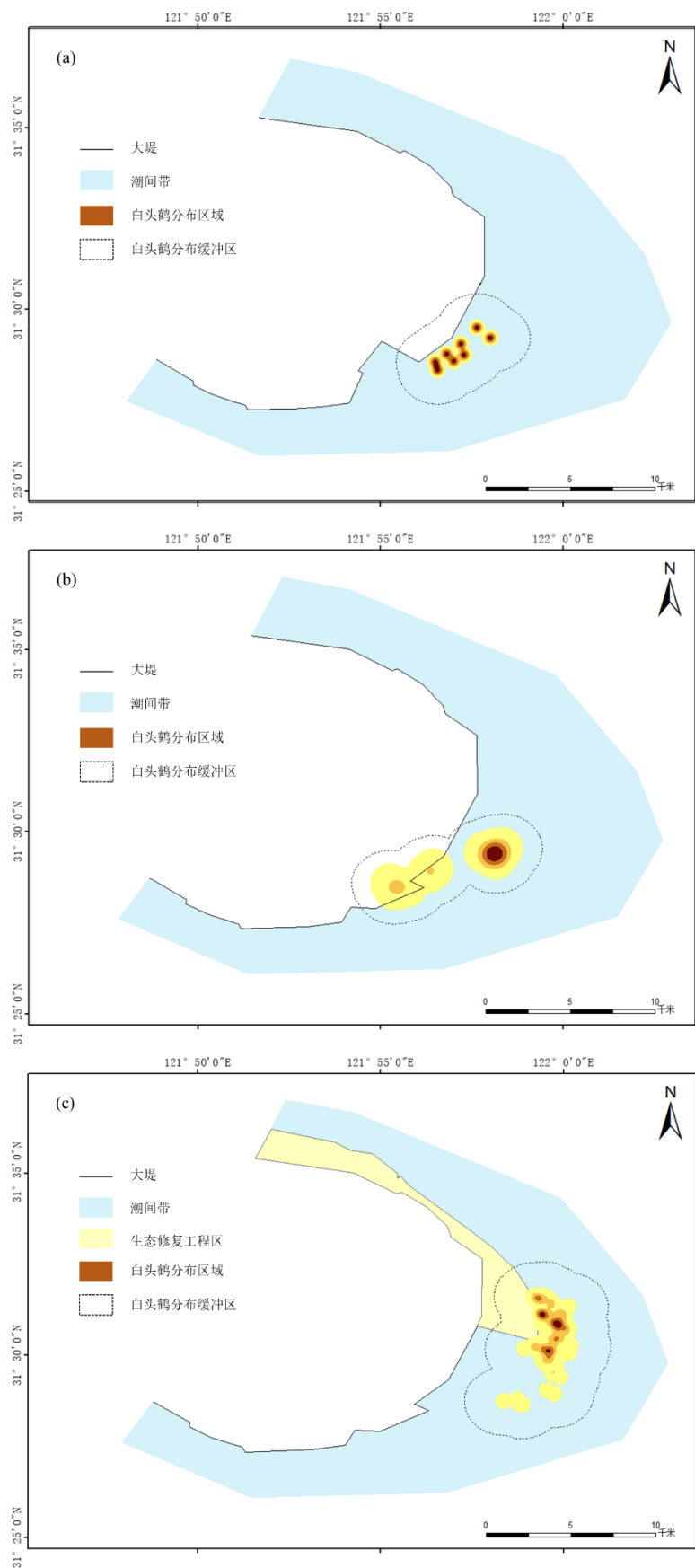


图 5 2000 年、2009 年和 2021 年崇明东滩白头鹤的越冬种群的分布

注：图(a)-(c)分别为 2000 年、2009 年和 2021 年

3.2 海三棱藨草地下球茎变化

3.2.1 2021-2022 年海三棱藨草球茎的分布

2021-2022 年崇明东滩白头鹤的主要食物资源——海三棱藨草的地下球茎的数量和重量（球茎的总鲜重和干重）以及球茎的大小（单个球茎的鲜重和干重）均显示出由北向南减少的趋势（表 1）。位于最北部的样线（LHQ）的海三棱藨草地下球茎的数量、重量以及球茎的大小均为 3 条样线中最高的；中部样线（XNG）的地下球茎的数量、重量以及球茎的大小略低于北部样线，但和北部样线的差异并不显著；而位于最南部的样线（TJS），除了在最外侧的样地采集到少量的地下球茎外，内侧的样地均没有采集到球茎。南部样线的地下球茎的数量、重量以及球茎的大小显著低于中部和北部样线。

表 1 2021-2022 年海三棱藨草地下球茎的数量和重量

	北部样线 (LHQ)	中部样线 (XNG)	南部样线 (TJS)
球茎数量 (个/m ²)	1770.370±424.296	1538.889±842.377	12.963±37.360
球茎总鲜重 (g/m ²)	232.519±97.164	157.27±93.606	1.559±5.263
球茎总干重 (g/m ²)	68.948±31.598	60.065±36.154	0.351±1.300
单个球茎鲜重 (g)	0.129±0.037	0.099±0.023	0.102±0.053
单个球茎干重 (g)	0.038±0.014	0.038±0.011	0.020±0.012

3.2.2 海三棱藨草球茎在 20 年间的变化

崇明东滩海三棱藨草地下球茎的数量和重量以及分布情况在 20 年间前发生了较大变化。与 2000 年相比，2021-2022 年海三棱藨草的球茎数量显著增加，而单个球茎的重量显著减少，球茎的总重量没有显著差异（表 2）。

在地下球茎分布的南北差异上，2003-2004 年崇明东滩的海三棱藨草地下球茎呈现出南多北少的趋势，无论在球茎数量还是球茎总重量上，南部样线均显著高于北部样线；而 2021-2022 年崇明东滩的海三棱藨草地下球茎呈现出由南向北递增的趋势，且南部的海三棱藨草的地下球茎极少，中部和北部的球茎数

量和重量均远远高于南部。

表 2 2000 年和 2021 年海三棱藨草地下球茎的数量和重量

	2000 年	2021 年	P
球茎数量 (个*m ⁻²)	504.8±36.9	1358.2±880.1	<0.001
球茎总鲜量 (g*m ⁻²)	139.3±20.8	157.2±116.2	0.4094
单个球茎鲜量 (g)	0.276±0.034	0.104±0.044	<0.001

3.3 盐沼植被的变化

芦苇、互花米草以及海三棱藨草/藨草是崇明东滩主要的盐沼植物，2000 至 2020 年的 20 年间，崇明东滩的盐沼植被的面积、组成和分布有较大的变化（图 6）。

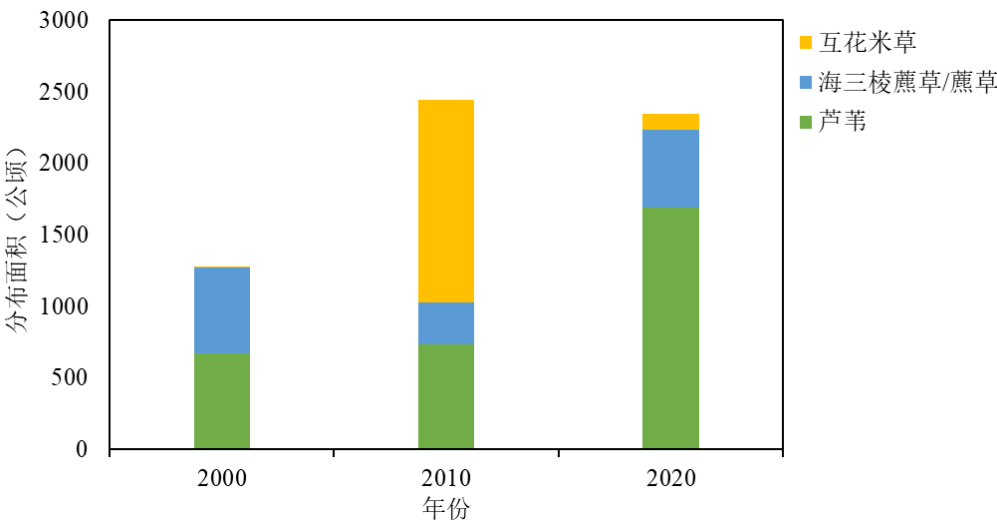
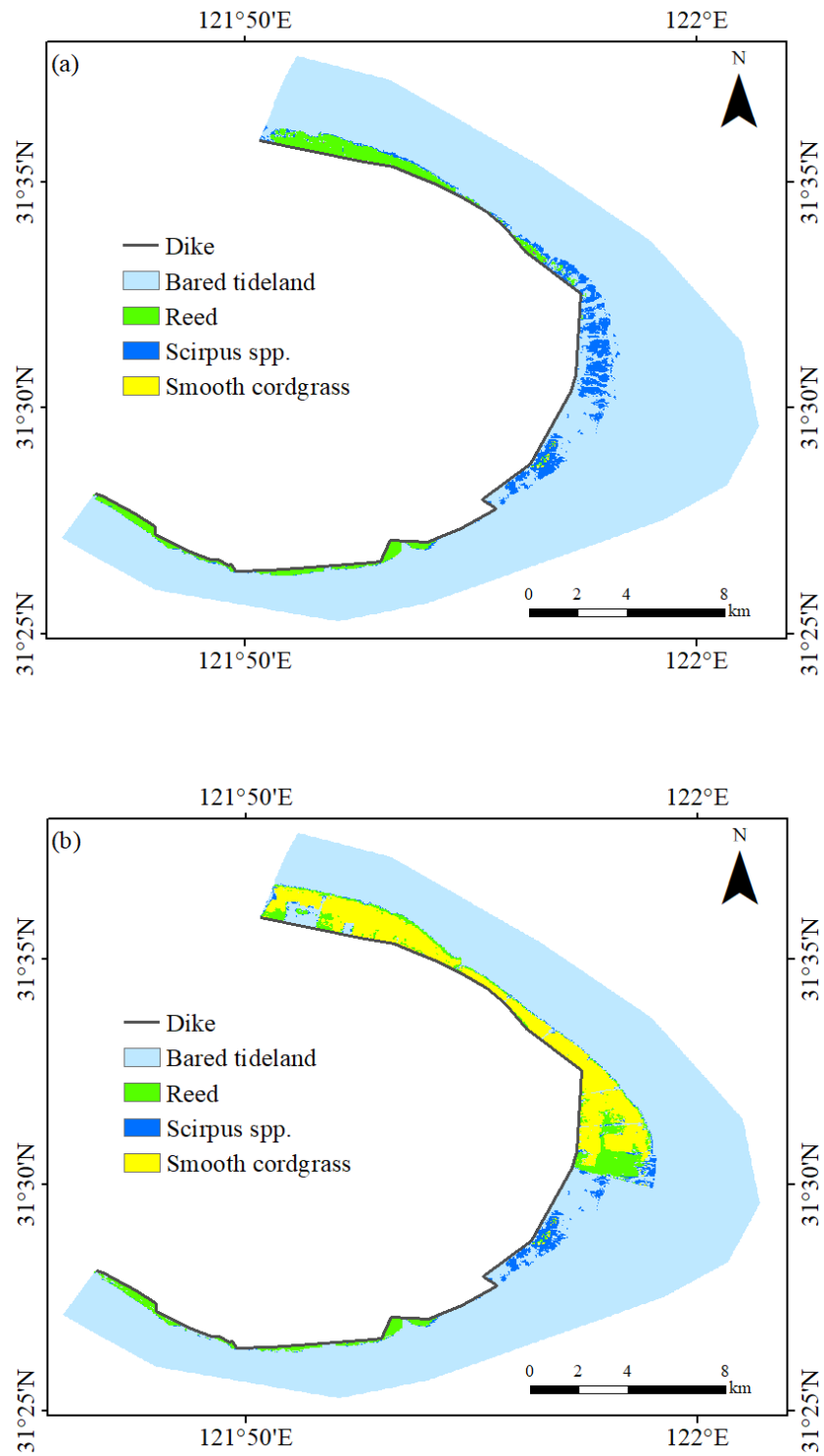


图 6 2000、2010、2020 年崇明东滩盐沼植被分布面积

2000 年，崇明东滩盐沼植被总面积为 1281.2 公顷，其中芦苇和海三棱藨草/藨草是崇明东滩的主要的盐沼植被，分别占盐沼植被总面积的 52.7%和 46.5%，互花米草仅仅占盐沼植被总面积的 0.8%，在滩涂零星分布（图 7，(a)）。2010 年，崇明东滩盐沼植被面积增至 2443.8 公顷，互花米草成为崇明东滩最主要的盐沼植被，占盐沼植被总面积的 58%，芦苇占 30%，而海三棱藨草/藨草的分布面积下降至 293.7 公顷，仅占盐沼植被总面积的 12%（图 7，(b)）。2020 年，崇明东滩盐沼植被面积为 2345.3 公顷，较 2010 年略有下降，芦苇再

次成为崇明东滩最主要盐沼植被，占盐沼植被总面积的 72.1%，海三棱藨草/藨草分布面积增长至 541.1 公顷，占总面积的 23.1%，而互花米草分布面积迅速下降，仅占盐沼植被总面积的 4.8%（图 7，(c)）。



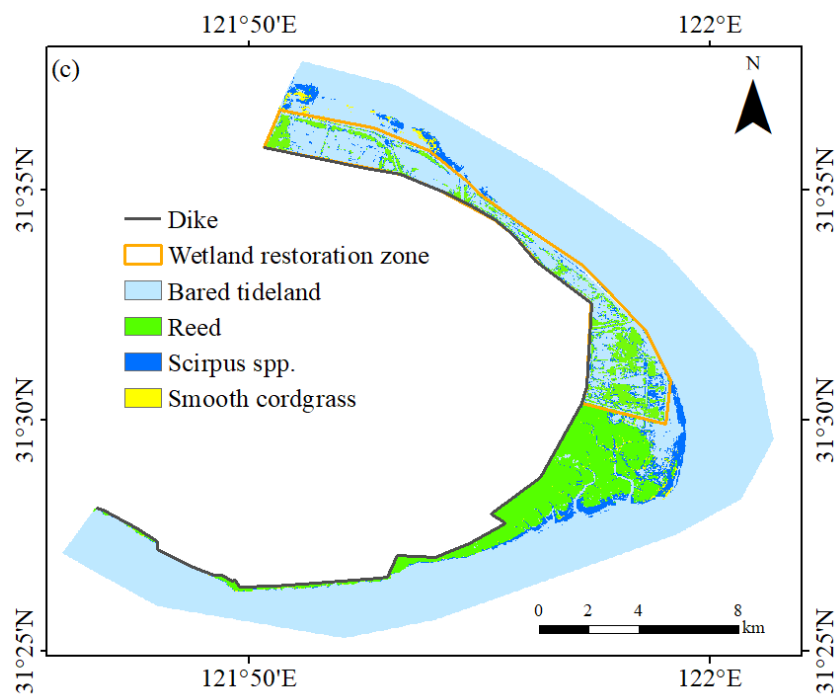


图 7 2000 年、2010 年和 2020 年崇明东滩盐沼植被分类图

注：图(a)-(c)分别为 2000 年、2010 年和 2020 年

四、讨论

4.1 食物资源与白头鹤的栖息地利用

食物资源是影响白头鹤在越冬地的栖息地利用的主要因素^[错误!未定义书签。]，崇明东滩越冬白头鹤活动区域的变化与其食物资源的丰富程度和可获得性有关。

崇明东滩白头鹤的主要食物资源——海三棱藨草地下球茎的分布格局在 20 年间发生了较大变化：由 2000 年的南部滩涂食物资源丰富，北部滩涂食物资源稀少^[28]；转变为 2021 年的北部和中部滩涂食物资源丰富，南部滩涂食物资源极其稀少。

白头鹤食物资源的可获得性与海三棱藨草地下球茎埋藏深度和滩涂的硬度有关，一般而言崇明东滩的白头鹤可以取食埋藏深度在 7cm 以内的地下球茎^[错误!未定义书签。]。崇明东滩的海三棱藨草地下球茎的埋藏深度的格局在 20 年间发生了较大的变化：2000 年北部滩涂的球茎埋藏较深，南部滩涂球茎埋藏较浅且有部分球茎在潮汐的冲刷下暴露于滩涂表面^[28]；而 2021-2022 年冬季无论在北部、中部还是南部滩涂均很少见暴露在滩涂表面的球茎，但由于北部滩涂的土壤硬度较低，埋藏在北部滩涂的地下球茎可能更易被白头鹤获得。

2021-2022 年崇明东滩越冬白头鹤主要的活动区域和历史记录相比，有着明显向北移动的趋势，主要觅食地由南部滩涂区域变为中部和北部滩涂，南部滩涂仅在越冬早期有少量家庭群活动，这和白头鹤食物资源的变化相符合。

此外，在 2022 年 1 月至 2 月期间，有部分白头鹤（约 20-30 只，占越冬种群的 1/4）进入保护区外的农田内觅食，直到 2 月底白头鹤才再次全部回到滩涂上觅食。这可能是因为保护区外的农田于 1 月开始播种小麦，1 月至 2 月期间农田中有较多暴露的小麦种子以及萌发后的麦芽，此时白头鹤在农田中以小麦种子和萌发不久的麦芽为食。随着麦苗的生长，2 月底后的麦苗不再适合白头鹤食用，因此白头鹤返回滩涂继续以海三棱藨草地下球茎为食。白头鹤对小麦种子和麦苗的觅食，也引起了一定的人-鹤矛盾。白头鹤进入农田觅食后，出现了当地人使用鞭炮对鹤进行驱逐的现象，然而在经历鞭炮等人为干扰后部分白头鹤还是继续在农田中觅食，这可能暗示了自然条件下崇明东滩的白头鹤食物资源较为紧张。白头鹤对农田生境的利用也支持食物资源是影响白头鹤在越冬

地的栖息地利用的主导因素。

4.2 海三棱蔗草地下球茎变化的原因

崇明东滩的海三棱蔗草地下球茎的分布在南北格局在 20 年间出现了巨大变化：由 2000 年左右滩涂南部的地下球茎数量和重量均显著高于北部滩涂^[28]，变为 2021 年南部滩涂几乎没有海三棱蔗草地下球茎，北部和中部地下球茎资源丰富，且呈现由北向南递减的趋势。

海三棱蔗草地下球茎的南北分布格局的变化，与崇明东滩的滩涂淤涨动态有着密切的联系。受长江径流以及潮汐等因素的共同影响，曾经的崇明东滩北部滩涂的淤长速度较快，而南部滩涂的淤长速度缓慢^[29]。但 2000 年后，入侵物种互花米草在崇明东滩快速扩张，由于互花米草具有很强的促淤和固沙作用^[错误!未定义书签。]，互花米草的入侵加速了崇明东滩滩涂淤积，改变了滩涂的淤涨动态。并且为了控制互花米草的扩张，崇明东滩于 2013 年实施了互花米草生态治理工程，对崇明东滩北部的东望沙区域进行了近 25 平方公里的围堤，该工程改变了崇明东滩滩涂的水文条件，并使南部滩涂快速淤积。南部滩涂过厚的泥沙淤积不利于海三棱蔗草种子和球茎的萌发^[15]，这可能是导致 2020 年崇明东滩南部滩涂的海三棱蔗草生长不佳、白头鹤的食物资源稀少的原因。而中部和北部滩涂则处于冲淤基本稳定或侵蚀的状态，这有利于海三棱蔗草种子和球茎的萌发，且在潮汐冲刷作用下海三棱蔗草植株倾向于对无性繁殖部分（如地下球茎）分配更多资源，并减少对有性繁殖部分的资源分配^[30]，这可能是 2021 年崇明东滩中部和北部滩涂海三棱蔗草地下球茎数量和重量较高的原因。

此外，海三棱蔗草球茎由外带到内带的分布格局也发生了改变。2003 年崇明东滩海三棱蔗草球茎的数量和重量显示出由外带到内带递减的趋势^[错误!未定义书签。]，而 2021 年海三棱蔗草地下球茎在内带和外带之间没有显示出明显的变化规律。这可能是因为 2000 年左右崇明东滩的海三棱蔗草带较宽，在潮汐作用下呈现出球茎数量和重量由外向内递减的趋势；而 2021 年由于滩涂地貌的变化，南部滩涂淤积速度过快，海三棱蔗草生长不佳，仅在最外侧的样点采集到海三棱蔗草；北部滩涂由于侵蚀作用强烈，海三棱蔗草带狭窄，未能显示出内外带的差异；而中部滩涂虽具有较宽的海三棱蔗草带，但是可能因为采样点之间距

离较近，未能显示球茎由外至内的变化趋势。

4.3 崇明东滩盐沼植被变化

2000 年，崇明东滩主要的盐沼植物为本土物种芦苇、海三棱藨草，其中海三棱藨草作为定植的先锋物种广泛分布在滩涂外带；此时互花米草仅仅占盐沼植被总面积的 0.8%。之后的 10 年内入侵植物互花米草在崇明东滩快速扩散，到 2010 年已成为崇明东滩最主要的盐沼植被。互花米草可以适应高盐度和缺氧^{[31][32]}的环境，逐渐挤占海三棱藨草的生态位，成为潮滩的先锋物种^[33]，海三棱藨草/藨草的分布面积骤减，北部滩涂的海三棱藨草/藨草大多被互花米草所取代。同时，互花米草发达的根系具有较强的促淤固沙能力^[错误!未定义书签。]，这也使得 2000-2010 年阶段崇明东滩的滩涂面积迅速增加。

自从 2013 年崇明东滩开始实施生态修复工程后，互花米草的分布面积迅速减少，与此同时芦苇分布面积增加。到 2020 年，芦苇已占崇明东滩滩涂盐沼植被总面积的 72.1%，海三棱藨草/藨草的分布面积也有所回升，然而由于潮滩的沉积环境的改变，以及芦苇的扩张挤占海三棱藨草的生存范围等因素，海三棱藨草/藨草的分布面积仍小于 20 年前的分布面积。此外，由于使用的算法无法准确区分海三棱藨草和藨草，因而在统计和分析时植被分布将海三棱藨草和藨草合并记作海三棱藨草/藨草，而海三棱藨草/藨草的分布范围可能不能准确代表海三棱藨草的实际分布范围：如在 2021-2022 年的调查发现中发现南部滩涂的海三棱藨草/藨草带内分布的多为藨草，中部滩涂实际上的海三棱藨草带也较海三棱藨草/藨草带更为狭窄。

此外，2020 年崇明东滩的生态修复区内也有 244.2 公顷人工种植的海三棱藨草/藨草分布，但是由于生态修复区位于围坝内，不受潮汐冲刷作用影响，且冬季修复区海三棱藨草的水淹深度普遍较深，修复区内海三棱藨草球茎难以直接被白头鹤取食，观察也显示崇明东滩越冬的白头鹤不进入修复区内觅食。虽然生态修复区内的海三棱藨草不能直接为白头鹤提供食物，但可以作为在崇明东滩越冬的雁鸭类的食物，减少其与白头鹤对食物资源竞争^[34]。

4.4 崇明东滩越冬白头鹤的保护和管理建议

食物资源是影响崇明东滩越冬白头鹤栖息地利用的重要因素，海三棱藨草的球茎是崇明东滩越冬白头鹤在自然状态下的主要食物，但目前滩涂上海三棱藨草带仍较为狭窄、海三棱藨草地下球茎资源有限，因此建议通过人工种植加快滩涂上海三棱藨草群落的恢复。针对东南部滩涂由于淤积过快不利于海三棱藨草种子和球茎萌发的情况，建议在东南部滩涂外带人工移栽培育的海三棱藨草幼苗，或使用麻袋来辅助播种海三棱藨草种子，以减少泥沙掩埋对海三棱藨草种子和幼苗发芽率的影响，增加海三棱藨草的分布面积。

对于白头鹤在越冬后期进入农田觅食，并受到较强人为干扰的情况，建议加强与保护区附近农民的交流与合作，如通过宣传和教育，劝阻当地农民使用鞭炮等惊鸟设备驱逐在农田觅食的白头鹤，并补偿农民因白头鹤觅食带来的损失；还可以在白头鹤进入农田觅食期间组织科学、有序的观鹤活动，避免因不文明观鸟行为对白头鹤带来的额外干扰，获得的收益也可以用于弥补农民的损失，以缓解因鹤群进入农田觅食带来的人-鹤矛盾。

此外，还建议对崇明东滩越冬白头鹤种群以及海三棱藨草地下球茎和滩涂盐沼植被分布，进行长期有效的监测，以了解白头鹤及其栖息地在更长的时间尺度变化，并根据最新的情况及时制定和调整相应的保护措施。

参考文献

- [1] Block W M, Brennan L A. The Habitat Concept in Ornithology[J]. Current Ornithology, 1993, 11:35-91.
- [2] 马志军. 栖息地保护对鸟类保护的重要性[J].生物学通报, 2017, 52(11):6-8.
- [3] Johnson M D, Sherry T W, Holmes R T, Marra P P. Assessing Habitat Quality for a Migratory Songbird Wintering in Natural and Agricultural Habitats[J]. Conservation Biology, 2006, 20(5):1433-1444.
- [4] Ling Y, Zhou L, Song A Y. The effects of food abundance and disturbance on foraging flock patterns of the wintering Hooded Crane (*Grus monacha*)[J]. Avian Research, 2015, 6(003):178-185
- [5] Myers J P, Morrison R I G, Antas P Z, Harrington B A, Lovejoy T E, Sallaberry M, et al. Conservation Strategy for Migratory Species[J]. American Scientist, 1987, 75(1):19-26.
- [6] BirdLife International. Species factsheet: *Grus monacha*[EB/OL]. <http://www.birdlife.org>, 2021-09-25.
- [7] 田波, 周云轩, 张利权, 马志军, 杨波, 汤臣栋. 遥感与 GIS 支持下的崇明东滩迁徙鸟类生境适宜性分析[J].生态学报, 2008(07):3049-3059.
- [8] 敬凯, 唐仕敏, 陈家宽, 马志军. 崇明东滩白头鹤的越冬生态[J].动物学杂志, 2002(06):29-34.
- [9] 赵雨云, 马志军, 陈家宽. 崇明东滩越冬白头鹤食性的研究[J].复旦学报: 自然科学版, 2002, 41(6):5.
- [10] 闫芊, 陆健健, 何文珊. 崇明东滩湿地高等植被演替特征[J].应用生态学报, 2007, 18(5):1097-1101.
- [11] 虞快, 唐仕华, 王会志. 崇明东滩越冬鸭类的食性研究[J].上海师范大学学报(自然科学版), 1995(03):69-74.
- [12] Chen H, Li B, Hu J, Chen J, Wu J. Effects of *Spartina alterniflora* invasion on benthic nematode communities in the Yangtze Estuary. Marine Ecology Progress Series, 2007,336:99-110.
- [13] Li S, Dong B, Gao X, Xu H, Ren C, Liu Y, et al. Study on spatio-temporal evolution of habitat quality based on land-use change in Chongming Dongtan, China[J]. Environmental Earth Sciences, 2022, 81(7):1-12.
- [14] Gan X, Cai Y, Choi C, Ma Z, Chen J, Li B. Potential impacts of invasive *Spartina alterniflora* on spring bird communities at Chongming Dongtan, a Chinese

- wetland of international importance[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2009, 83(2): 211-218.
- [15] 丁文慧. 互花米草生态治理工程对崇明东滩白头鹤潮滩生境的影响[D].上海: 华东师范大学, 2016.
- [16] 曹牧, 薛建辉. 崇明东滩湿地生态系统服务功能与价值评估研究述评[J]. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 2016, 40(05):163-169.
- [17] 徐宏发, 赵云龙. 上海市崇明东滩鸟类自然保护区科学考察集[M].北京: 科学出版社, 2005.
- [18] Ma Z, Li B, Jing K, Zhao B, Tang S, Chen J. Effects of tidewater on the feeding ecology of hooded crane (*Grus monacha*) and conservation of their wintering habitats at Chongming Dongtan, China[J]. *Ecological research*, 2003, 18(3):321-329.
- [19] Gao Z G, Zhang LQ. Multi-seasonal spectral characteristics analysis of coastal salt marsh vegetation in Shanghai, China[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2006, 69(1-2):217-224.
- [20] 韩震, 刘瑜, 恽才兴, 郑金海. 基于遥感和 GIS 技术的崇明东滩植被群落时空动态变化研究[A].见: 第十四届中国海洋(岸)工程学术讨论会论文集(下册) [C].北京: 海洋出版社, 2009:280-284.
- [21] 王卿. 互花米草在上海崇明东滩的入侵历史、分布现状和扩张趋势的预测[J]. *长江流域资源与环境*, 2011, 20(06):690-696.
- [22] Choi C Y. Wintering ecology of hooded crane at Chongming Dongtan, China[EB/OL]. <https://www.conservationleadershipprogramme.org/project/wintering-ecology-hooded-crane-china/>, 2022-5-14.
- [23] 敬凯, 唐仕敏, 陈家宽, 马志军. 崇明东滩越冬白头鹤觅食地特征的初步研究[J]. *动物学研究*, 2002(01):84-88.
- [24] Wang X, Xiao X, Zou Z, Hou L, Qin Y, Dong J, et al. Mapping coastal wetlands of China using time series Landsat images in 2018 and Google Earth Engine[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2020, 163:312-326.
- [25] Wang X, Xiao X, Zou Z, Chen B, Ma J, Dong J, et al. Tracking annual changes of coastal tidal flats in China during 1986–2016 through analyses of Landsat images with Google Earth Engine[J]. *Remote sensing of environment*, 2020, 238:110987.
- [26] Zhang X, Xiao X, Wang X, Xu X, Chen B, Wang J, et al. Quantifying expansion and removal of *Spartina alterniflora* on Chongming island, China, using time series Landsat images during 1995–2018[J]. *Remote sensing of environment*,

2020, 247:111916.

- [27] 马强. 中国东部沿海湿地越冬白头鹤栖息地选择和行为时间分配[J]. 湿地科学与管理, 2017, 4(13):50-54.
- [28] 马志军, 郭晓雨, 敬凯, 汤臣栋. 崇明东滩白头鹤的主要食物: 海三棱藨草球茎的分布[J]. 动物学杂志, 2005(06): 29-34.
- [29] 贾海林, 刘苍宇, 杨欧. 长江口北支沉积动力环境分析[J]. 华东师范大学学报, 2001, (1): 90-96.
- [30] 雍学葵, 张利权. 海三棱藨草种群的繁殖生态学研究[J]. 华东师范大学学报(自然科学版), 1992(04):94-99.
- [31] Takahashi D, Sim S W, Park E J. Colonial population dynamics of *Spartina alterniflora*[J]. Ecological Modelling, 2019, 395:45-50.
- [32] Macy A, Sharma S, Sparks E, Goff J, Heck K, Johnson M W, et al. Tropicalization of the barrier islands of the northern Gulf of Mexico: A comparison of herbivory and decomposition rates between smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) and black mangrove (*Avicennia germinans*)[J]. Plos One, 2019, 14(1).
- [33] 王卿, 安树青, 马志军, 赵斌, 陈家宽, 李博. 入侵植物互花米草——生物学、生态学及管理[J]. 植物分类学报, 2006(05):559-588.
- [34] Zhao F, Zhou L, Xu W. Habitat utilization and resource partitioning of wintering Hooded Cranes and three goose species at Shengjin Lake[J]. Avian Research, 2013, 4(4): 281-290

致谢

我终于完成了毕业论文。从去年 6 月准备开题，到今年 5 月终于完成毕业论文定稿，这期间有着太多帮助过我的人。

首先要感谢我的导师马志军老师，没有他就没有这篇毕业论文。衷心感谢马老师对我毕业论文的选题、实验方法无微不至的指导，甚至在 12 月亲自带着我去滩上采样，以及对我论文初稿不厌其烦地修改。每当在撰写论文过程中遇到问题和困难时，马老师总会耐心地予以解答，我每次都会被他的渊博的学识和人格魅力所折服。马老师的指导和帮助，不仅让我顺利地完成了毕业论文的撰写，还点燃了我对科研的兴趣。

还要感谢杨森师兄对野外采样的帮助，感谢汤亚男师姐对盐沼植被分类的帮助。他们为这篇文章的完成提供了莫大的帮助，也让我收获颇多。

感谢崇明东滩保护区让我开展科研工作，感谢保护区工作人员对我科研工作的支持和帮助。

感谢参与了白头鹤种群调查的张卓锦、高少羽、姚成捷、李骥玄、金子琛、周睿哲、欧阳姝琪、魏湛淇、徐思捷、肖扬帆等同学。冬季的海风仿佛有着能够穿透一切的衣物的威力，很多同学是第一次来到东滩，又是被我以去保护区一起看鹤为由“诓骗”而来，但他们依旧坚持在大堤上、在气象站上顶着刺骨的冷风完成调查。

感谢我的室友张卓锦、任星玥和肖乐遥，在校园封闭管理期间，她们在寝室里营造了良好写作氛围，相互督促并不断 push 我完成论文的写作。感谢她们的陪伴，为我这段枯燥的闭关写论文的日子带来了无尽的欢声笑语。

还要感谢所有在我这 5 年学习生活中帮助过我的老师、同学和朋友。

感谢我的家人们，感谢他们无条件支持我的每个选择，让我顺利且快乐地度过大学生涯。