

冬季水鸟对崇明东滩水产养殖塘的利用

华 宁¹, 马志军^{1,*}, 马 强², 宋国贤², 汤臣栋², 李 博¹, 陈家宽¹

(1. 复旦大学生物多样性科学研究所, 生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 长江河口湿地生态系统野外科学观测研究站, 上海 200433;

2. 崇明东滩鸟类国家级自然保护区, 上海崇明 202183)

摘要: 自然湿地的丧失和退化给依赖湿地生存的水鸟带来了严重威胁, 人工湿地作为水鸟栖息地的功能日益受到关注。水产养殖塘是人工湿地的重要类型之一。通过研究崇明东滩水产养殖塘冬季水鸟群落组成及其栖息地特征, 发现大面积养殖塘比小面积养殖塘吸引更多种类和更高密度的水鸟。养殖塘在放水前水位较高时吸引更多游禽栖息, 而在放水后水位较低时吸引更多涉禽; 在放水过程中, 养殖塘中水鸟的种类最多, 密度最大。另外, 在放水的不同时期, 不同的环境因子对水鸟群落的影响不同: 放水之前, 养殖塘水面面积和平均水深是水鸟种类和数量的主要影响因子, 其中游禽种类和数量受水面面积影响较大, 涉禽种类和数量受平均水深影响较大; 放水过程中, 裸地面积、芦苇面积、干扰程度、平均水深和水深变异对水鸟、游禽和涉禽的种类和数量起主要作用; 放水之后, 水深变异对水鸟种类和数量的影响较大, 而影响游禽种类和数量的主要因子是水面面积, 影响涉禽种类和数量的主要因子是水深变异。研究表明, 通过对影响水鸟栖息地利用的主要因子的有效管理, 养殖塘在提供经济效益的同时也能为水鸟提供适宜的栖息地。

关键词: 水产养殖塘; 人工湿地; 栖息地利用; 崇明东滩; 水鸟

文章编号: 1000-0933(2009)12-6342-09 中图分类号: Q149 文献标识码: A

Waterbird use of aquacultural ponds in winter at Chongming Dongtan

HUA Ning¹, MA Zhi-Jun^{1,*}, MA Qiang², SONG Guo-Xian², TANG Chen-Dong², LI Bo¹, CHEN Jia-Kuan¹

1 Coastal Ecosystems Research Station of Yangtze River Estuary, Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai 200433, China

2 Shanghai Chongming Dongtan National Nature Reserve, Chongming, Shanghai 202183, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6342 ~ 6350.

Abstract: With increasing loss and degradation of natural wetlands on which waterbirds depend, artificial wetlands as alternative habitats for waterbirds receive more and more attention. Aquacultural ponds are one of the types of artificial wetlands. In this study, we investigated waterbirds and habitat properties of aquacultural ponds at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary. Our results indicated that large ponds supported a greater number of species and higher bird density than the small ones. More natatores were found in ponds before drawdown when the water level was high. In contrast, more grallatores were recorded in ponds after drawdown when the water level was low. Waterbird species number and individual density in ponds were higher during drawdown than those before and after drawdown. Importance of different habitat variables to waterbird communities varied among different phases of management. Before drawdown, area of water body and average water depth of the ponds had significant effects on the species number and abundance of all waterbirds; and the species number and abundance of natatores and grallatores were affected respectively by the area of water body and the average water depth. During drawdown, area of substrate and of reeds, human disturbance, average water depth and variation of water depth had significant effects on the species number and abundance of all waterbirds, natatores and

基金项目: 上海市科学技术委员会重大资助项目(07DZ12038); 上海市绿化管理局资助项目

收稿日期: 2008-09-24; **修订日期:** 2008-11-28

致谢: 唐仕敏、向余劲攻、干晓静、蔡志扬和惠鑫在野外工作及论文撰写过程中给予帮助, 崇明东滩鸟类国家级自然保护区对野外工作给予大力协助, 特此致谢。

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhijunm@fudan.edu.cn

grallatores. After drawdown, variation of water depth had significant effects on the species number and abundance of all waterbirds and grallatores, while natatores were greatly affected by the area of water body. Our results suggest that with effective management of these habitat variables, aquacultural ponds can not only provide economic benefits for the locals but also serve as the habitats for waterbirds.

Key Words: aquacultural ponds; artificial wetlands; Chongming Dongtan; habitat use; waterbirds

全球自然湿地的丧失和退化给依赖湿地生存的水鸟带来严重威胁^[1~3]。近年来的研究表明,尽管人工湿地不具有自然湿地全部的生态功能,但通过有效的管理,水稻田、水产养殖塘、盐田、水库等人工湿地能够为水鸟提供适宜的栖息地,从而减轻自然湿地丧失对水鸟的不利影响^[4~8]。由于自然湿地丧失和退化的现象在未来一段时间内很难有所改善,人工湿地对水鸟的栖息将起到越来越重要的作用。如何为水鸟提供较适宜的栖息地,也将成为人工湿地管理中面临的紧迫课题。

水鸟的栖息地利用受到许多因素影响。湿地的水深、地形特征、食物资源及其可获得程度、植被特征、栖息地面积、人类活动干扰以及相邻栖息地的最小距离等都可能影响水鸟的栖息地利用^[9~14]。尽管已有大量研究揭示了这些因子对水鸟栖息地利用的影响,但由于不同研究地点在环境条件以及水鸟群落时空组成上的差异,不同因子对水鸟栖息地利用的影响程度通常表现出地区性的差异^[15]。因此,根据当地的实际情况开展研究才能为水鸟及其栖息地的保护提供依据。

近 20 年来,随着水产养殖业的发展,我国东部沿海地区的很多滩涂湿地在围垦后被开发为水产养殖塘^[8, 16],水产养殖塘成为我国沿海地区人工湿地的重要类型之一。研究表明,水产养殖塘在冬季可为大量水鸟提供栖息地^[17, 18]。在本文中,对位于长江口崇明东滩的水产养殖塘的水鸟群落及其栖息地特征开展研究,分析影响水鸟栖息地利用的生态因子,为水产养殖塘的生产活动和水鸟栖息地保护的协调提出建议。同时,研究结果对于受损湿地的修复和重建也具有指导意义。

1 研究地点

崇明岛位于中国东海岸的长江河口,为长江径流夹带的泥沙在河口区域不断淤积而形成的冲积岛。崇明东滩(31°25'~31°38'N, 121°50'~122°05'E)位于崇明岛东部,是崇明岛泥沙淤积最快的区域之一。通过修筑堤坝将潮上带和高潮滩的滩涂围垦,可使土地免受潮水的影响,便于进一步利用。自建国以来,崇明东滩围垦的土地面积超过 150km²^[19];其中自 20 世纪 90 年代以来围垦的滩涂面积达 90km²^[20]。围垦区域的主要土地利用类型为水产养殖塘、农田、菜地等。

崇明东滩是东亚-澳大利西亚迁徙路线上候鸟的重要迁徙停歇地,也是许多水鸟的越冬场所。越冬水鸟一般在 10 月底至 11 月初迁到,翌年 3 月中旬开始迁离。主要水鸟类群为雁鸭类和鸻鹬类,优势种类主要有斑嘴鸭(*Anas poecilorhyncha*)、针尾鸭(*Anas acuta*)、绿头鸭(*Anas platyrhynchos*)、绿翅鸭(*Anas crecca*)、黑腹滨鹬(*Calidris alpina*)等^[20]。根据近年调查,围垦区域内的水产养殖塘在冬季有大量雁鸭类栖息,常集结成几千只的大群^[21];一些鸟类如黑水鸡(*Gallinula chloropus*)、小鸕鹚(*Tachybaptus ruficollis*)、普通鸬鹚(*Phalacrocorax carbo*)等主要在围垦区域内的水产养殖塘、河道等人工湿地活动^[20]。2002 年,崇明东滩由于在水鸟保护方面的重要性被列入国际重要湿地名录。

研究地点位于崇明东滩 1990 年和 1998 年修筑的大堤之间,该区域的水产养殖塘主要用于养殖鱼类和蟹类,总面积约 2631 hm²。所有养殖塘的管理模式基本相同:一般于每年初春向塘中注水,投放鱼苗和蟹苗,并投入饵料进行为期半年多的养殖;直到冬季 11~12 月份各养殖塘陆续开始放水,而后进行水产品收获、芦苇收割以及修塘、晒塘等活动;翌年 3~4 月份重新注水进行新一轮的养殖。养殖塘底部的地形基本相似,中间较为平坦,四周有一圈闭合的深沟。部分塘的中部有不规则的浅沟,可能是围垦前滩涂上潮沟的遗留形态。在放水过程中,养殖塘的中间部分首先暴露出来,这样养殖的水产品集中到塘边的深沟中,便于捕捞。根据水

位变化,养殖塘在整个冬季可分为放水前、放水过程中及放水后 3 个阶段:放水前养殖塘内保持较高的水位,水面所占面积比例大;放水过程中养殖塘的水位持续下降,一些区域的塘底逐渐暴露出来;放水后养殖塘内的沟中仍能保持较低的水位,其余区域的塘底则完全暴露出来。之后由于蒸发或降雨水位会出现小的波动,但大部分区域逐渐干涸。另外,一些小塘用作水产品收获后的暂养池,其放水、注水时间不规律。芦苇(*Phragmites australis*)是养殖塘中的主要植被类型。所有的大塘中都生长有芦苇,而部分小塘没有植被生长,其余则分布有芦苇、喜旱莲子草(*Alternanthera philoxeroides*)等植物。另外,一些养殖塘的水体中有藻类生长。

2 研究方法

2.1 养殖塘栖息地特征调查和水鸟调查

根据 GPS 记录的该区域明显标记物(交叉路口等)的地理坐标,用 Mapinfo 4.0 软件将该区域的航片(2005 年)数字化,计算每个养殖塘的面积,并通过实地调查对每个养殖塘的面积进行核对。根据养殖塘的位置和面积大小,采用分层抽样法^[22]选择了 27 个塘作为研究对象。27 个塘的总面积为 586.5 hm²,占该区域养殖塘总面积的 22%。平均每个养殖塘的面积为(21.1 ± 24.6) hm²,其中最小塘的面积为 0.3 hm²,最大塘的面积为 72.5 hm²。由于该区域的养殖塘只有面积超过 20hm² 的大型塘和面积小于 2hm² 的小型塘,将养殖塘分为大塘和小塘两类,其中大塘 13 个,平均面积(43.2 ± 16.9) hm²,小塘 14 个,平均面积(0.5 ± 0.3) hm²。所选择的塘的数量可保证调查人员在 1~2d 内完成调查,从而减少一次调查时间过长而造成的误差。对选择的 27 个养殖塘进行编号,并在每个塘的较低位置插设了 2m 长的 PVC 管,在管上标记以厘米为单位的刻度,以便记录塘中的水位变化。

2006 年 11 月至 2007 年 3 月期间共进行了 10 次调查。每次调查时 2~3 人同行,对各个塘分别绕行一周,借助双筒望远镜(10×)和单筒望远镜(20×~60×),记录水鸟的种类、数量和所在塘的编号。记录的水鸟只包含在调查区域内取食和休憩的水鸟,以及由于调查者接近而惊飞的水鸟,不包括其它在空中盘旋或飞过的鸟类。同时,记录每个养殖塘预设 PVC 管所示的水位高度、养殖塘植被类型,并估测每个塘的植被面积、水面面积和裸地面积分别占养殖塘总面积的比例、水体中大型藻类的分布面积比例,以及人类活动的类型(引水、放水、修塘、捕捞、收割芦苇、投放饲料等)及干扰程度(分为 0~5 个等级,其中 0 为无干扰,5 为干扰程度最强)。每次调查在 1~2d 内完成。

在养殖塘放水过程中,对养殖塘的地形进行测量。根据养殖塘的大小,沿塘的两条对角线位置等距离各设 5~7 个点,测量每个点的水面高度。由于每个塘中的水面高度处于水平状态,将测量点的水面高度与预设 PVC 管上测得的水面高度相比较,可以确定每个点与预设 PVC 管处的地面高度差。这样,在每次调查时,只需记录预设 PVC 管处的水深,就可以根据该数据计算出塘内所设各点的水深。用调查时每个塘各点水深的平均值作为养殖塘在该次调查时的平均水深,其标准差代表养殖塘该次调查时的水深变异程度。

除养殖塘的总面积外,由于放水和芦苇收割,其他变量在每次调查时均发生变化。第 1 次调查时养殖塘的平均水深为(54.3 ± 26.8) cm,在最后一次调查时为(20.1 ± 15.0) cm。养殖塘的平均水深变异在第 1 次调查时为(26.0 ± 12.1) cm,在最后一次调查时为(21.4 ± 11.3) cm。养殖塘芦苇的平均面积在第 1 次调查时为(8.7 ± 14.1) hm²;在最后一次调查时为(2.6 ± 6.3) hm²。第 1 次调查时养殖塘的人类活动干扰程度为(3.1 ± 1.1),在最后一次调查时为(3.4 ± 0.9)。每个养殖塘的特征见表 1。

2.2 数据分析

将每次调查所记录到的水鸟种类和数量按照养殖塘的编号进行汇总,并根据每个塘的面积计算水鸟的个体密度。通过非参数检验比较大塘和小塘中水鸟的种数和个体密度,了解养殖塘面积对水鸟栖息地利用的影响。

将记录的水鸟分为游禽(鸬鹚类、雁鸭类和鸬鹚类)和涉禽(鹭类、琵鹭类、秧鸡类和鸨鹬类)两大类;鸬鹚类由于生态习性既似游禽又似涉禽,且调查中记录的种类和数量较少(仅黑尾鸥 *Larus crassirostris* 和银鸥 *Larus argentatus* 两种,数量小于总数量 5%),故不作进一步分析。在调查过程中,每个养殖塘都经历了放水前、放

表 1 27 个养殖塘的栖息地特征

Table 1 Habitat characteristics of the total 27 aquacultural ponds

塘号 Pond number	总面积 (hm ²) Total area	水面面积(hm ²) Area of water body	芦苇面积(hm ²) Area of reeds	裸地面积(hm ²) Area of substrate	水藻面积(hm ²) Area of algae	平均水深(cm) Average water depth	水深变异(cm) Water depth variation	干扰程度 Disturbance level
1	24.7	13.1(0.5~24.4)	1.1(0.0~2.5)	10.5(0.2~23.7)	0.0	19.8(6.5~39.6)	14.2(12.7~14.5)	4.1(4~5)
2	24.4	11.6(1.2~23.4)	0.8(0.0~2.4)	12.1(0.2~23.2)	0.0	33.1(7.8~73.6)	23.7(17.4~25.1)	3.1(3~4)
3	24.8	7.4(0.2~23.3)	0.4(0.0~1.2)	17.0(0.2~24.5)	0.0	55.1(8.7~100.5)	19.3(16.5~19.8)	2
4	30.7	27.4(0.9~30.4)	0.0	3.3(0.3~29.8)	0.0	45.1(0.0~59.4)	2.1(0.0~2.30)	2.2(2~4)
5	0.4	0.2(0.0~0.3)	0.0(0.0~0.1)	0.1(0.0~0.2)	0.0	53.2(8.4~82.4)	17.4(9.2~19.8)	4
6	1.2	0.7(0.4~0.9)	0.3(0.0~0.4)	0.2(0.1~0.5)	0.0	37.5(21.3~55.8)	35.2(28.3~40.1)	4
7	0.3	0.3	0.0	0.0	0.0	51.9(15.9~69.8)	18.8(16.9~19.0)	5
8	0.3	0.3(0.2~0.3)	0.0	0.0	0.0	75.5(20.4~100.6)	27.7(22.6~28.2)	5
9	0.3	0.2(0.2~0.3)	0.0	0.0	0.0	68.3(15.8~88.9)	16.5(16.1~16.6)	5
10	72.5	13.3(7.2~29.0)	21.7	37.4(21.7~43.5)	0.0	31.7(22.9~37.9)	34.1(27.5~38.9)	3.2(3~4)
11	0.5	0.5	0.0	0.0(0.0~0.1)	0.0	55.2(11.8~93.0)	11.8(10.8~11.9)	4
12	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	48.3(32.4~62.3)	25.5(24.6~25.6)	4
13	0.4	0.2(0.0~0.4)	0.0	0.2(0.0~0.3)	0.0	37.5(10.0~92.6)	19.7(17.8~23.7)	4
14	64.9	6.1(3.2~13.0)	14.2(0.0~19.5)	43.8(32.5~61.7)	0.0	30.5(3.2~59.0)	25.6(4.6~35.4)	2.9(2~4)
15	0.8	0.3(0.2~0.4)	0.5(0.3~0.6)	0.1	0.0	40.0(18.9~76.6)	27.9(25.0~28.9)	3
16	0.3	0.0	0.1(0.0~0.2)	0.1(0.0~0.2)	0.0	7.9(6.1~12.1)	17.7(13.6~27.1)	3
17	0.4	0.3(0.3~0.4)	0.1(0.0~0.1)	0.0	0.1(0.0~0.4)	38.0(3.1~53.1)	1.9	3
18	0.8	0.5(0~0.7)	0.1(0.0~0.2)	0.0	0.3(0.0~0.8)	35.8(31.0~41.0)	6.6	2
19	43.6	10.3(2.2~21.8)	16.2(0.0~30.5)	17.1(0.0~41.4)	4.4(0.0~17.5)	37.2(30.2~54.6)	38.9(36.6~42.7)	2.5(2~4)
20	36.8	6.8(1.8~25.8)	10.3(0.0~25.8)	19.7(0.0~35.0)	0.0	28.3(24.8~37.3)	32.1(31.1~34.2)	3.2(3~4)
21	32.4	7.3(1.6~25.9)	6.0(0.0~9.7)	19.1(0.0~25.9)	0.0	30.3(10.6~72.1)	23.0(21.0~23.8)	2.2(2~3)
22	49.8	5.5(2.5~12.5)	26.0(15.0~34.9)	18.3(10.0~32.4)	0.0	16.4(12.3~21.4)	33.3(27.5~39.0)	2.2(2~3)
23	44.3	11.7(4.4~17.7)	21.2(8.9~26.6)	11.4(0.0~22.1)	0.0	17.3(14.2~23.8)	37.5(31.8~45.5)	2.6(2~4)
24	69.9	14.3(0.7~41.9)	36.1(21.0~41.9)	19.4(7.0~34.2)	0.0	31.6(23.6~38.9)	36.4(30.8~41.8)	1.9(1~3)
25	0.3	0.3(0.2~0.3)	0.0	0.0(0.0~0.1)	0.0	80.3(12.0~101.6)	29.2(16.5~31.7)	4
26	0.3	0.3(0.2~0.3)	0.0	0.0(0.0~0.2)	0.0	64.7(13.2~84.5)	27.4(17.7~29.3)	4
27	43.1	9.7(4.3~25.8)	15.1(0~17.2)	18.3(0.0~38.8)	0.0	13.8(6.2~26.0)	27.2(13.9~46.4)	2.7(2~5)

数据以 10 次调查的平均值(最小值-最大值)表示; 由于放水和收割芦苇等活动的影响,除总面积以外的其他变量在每次调查时都会发生变化 Data are listed as average (minimum-maximum) of ten surveys; The values of these variables (except the total area) changed among surveys due to drawdown and reed harvest

水过程中和放水后 3 个阶段。对 3 个阶段记录的所有水鸟种类和数量、游禽种类和数量以及涉禽种类和数量分别进行汇总,通过方差分析比较各个阶段每个养殖塘平均记录到的各类群水鸟的种数和数量,从而比较水位变化对水鸟栖息地利用的影响。

根据每个养殖塘的面积以及每次调查记录的各个塘的植被、水面和裸地的面积比例以及水藻分布的面积比例计算出每次调查时每个养殖塘的水面面积、裸地面积、芦苇覆盖面积和水藻覆盖面积。将以上因子以及养殖塘的平均水深、水深变异程度、人类活动干扰强度共 7 个因子作为自变量,分别以放水前、放水过程中和放水后 3 个时期的水鸟种数、数量,涉禽种数、数量以及游禽种数和数量作为因变量,进行逐步回归分析,确定在不同时期影响不同类型水鸟栖息地利用的主要因子。

由于小塘中记录到的水鸟种类和数量都很少,后两项分析只涉及大塘的调查数据。统计分析使用 SPSS 12.0 软件。非正态分布的数据采用对数转换,转换后仍不符合正态分布的数据采用非参数检验进行分析。

3 结果

3.1 水鸟群落特征

10 次调查共记录到水鸟 34 种 21032 只,隶属于 6 目 11 科。其中涉禽 17 种 6702 只,游禽 15 种 13375 只。数量最多的五种水鸟为斑嘴鸭(6793 只,占总数量的 32.3%)、黑腹滨鹬(2855 只,占总数量的 13.6%)、绿头鸭(1979 只,占总数量的 9.4%)、绿翅鸭(1942 只,占总数量的 9.2%)和小白鹭(*Egretta garzetta*) (1583 只,占总数量的 7.5%)。这 5 种鸟类的数量占总数量的 72%。

13 个大塘中共记录到水鸟 34 种 20885 只,14 个小塘中共记录到 7 种 174 只。其中大塘中水鸟的平均个体密度为 (40.8 ± 31.6) ind./hm²,小塘中水鸟的平均个体密度为 (16.3 ± 38.9) ind./hm²。大塘中水鸟的种数和个体密度都显著高于小塘中的水鸟种数和个体密度(非参数检验,水鸟种数 $P < 0.001$,个体密度 $P = 0.002$)。

方差分析表明,各类群水鸟在 3 个放水阶段的种数和数量都具有显著差异。其中放水过程中所有水鸟的种数显著高于放水前($P = 0.03$)和放水后($P = 0.008$)时期,而放水前和放水后的水鸟种数没有显著差异($P = 0.63$);放水前和放水过程中水鸟的总数量没有显著差异($P = 0.40$),但都显著高于放水后(分别为 $P = 0.04$, $P = 0.005$)。对于游禽来说,放水前和放水过程中的种类显著多于放水后(分别为 $P = 0.03$, $P = 0.02$),而放水前和放水过程中则没有显著差异($P = 0.78$);放水前和放水过程中的游禽数量也显著多于放水后(分别为 $P = 0.01$, $P = 0.02$),而放水前和放水过程中也没有显著差异($P = 0.93$)。对于涉禽而言,放水前的种数和数量显著高于放水过程中($P = 0.02$, $P = 0.01$)和放水后($P = 0.03$, $P = 0.03$),而后两者之间的种数和数量则无显著差异($P = 0.93$, $P = 0.68$) (表 2)。

3.2 影响水鸟群落特征的主要因子

逐步回归分析表明,在放水的不同阶段,影响养殖塘水鸟群落特征的主要因子各不相同。在养殖塘放水之前,影响水鸟种类变化的主要因子为养殖塘水面面积和平均水深,面积越大,平均水深越浅,塘中水鸟的种类越多。影响水鸟数量的主要因子是养殖塘的水面面积和人类活动干扰程度,面积越大,人类活动干扰强度越小,水鸟的数量越多。影响游禽种类和数量的主要因子均为养殖塘的水面面积,面积越大,游禽的种类越多,数量越大。影响涉禽种类和数量的主要因子均为养殖塘的平均水深,水深越浅,涉禽种类越多,数量越大(表 3)。

在养殖塘放水过程中,影响水鸟种类变化的主要因子为裸地面积,裸地面积越大,塘中水鸟的种类越多。影响水鸟数量的主要因子是人类活动干扰程度,干扰程度越小,水鸟的数量越多。影响游禽种类的主要因子为养殖塘的芦苇面积和裸地面积,芦苇面积越大,裸地面积越小,游禽的种类越多。影响游禽数量的主要因子为人类活动干扰强度,人类活动干扰强度越小,游禽的数量越多。影响涉禽种类和数量的主要因子均为养殖塘的平均水深和芦苇面积,平均水深越浅,芦苇面积越小,涉禽的种类越多,数量越大(表 3)。

表 2 各类群水鸟在放水前、放水过程中和放水后的种数和数量(平均值±标准差)

Table 2 Species richness and individual abundance (mean ± SD) of different waterbird groups before, during and after drawdown in aquacultural ponds

类群 Group	放水阶段 Drawdown phase	水鸟种数 Species richness	$F_{2, 32}$	水鸟数量 Waterbird abundance	$F_{2, 32}$
所有水鸟 Waterbirds	放水前 Before drawdown	5.6 ± 1.9 ^a	4.5 *	408.7 ± 541.4 ^a	4.8 *
	放水过程中 During drawdown	8.7 ± 3.7 ^b		488.3 ± 430.5 ^a	
	放水后 After drawdown	5.0 ± 3.3 ^a		108.4 ± 122.3 ^b	
游禽 Natatores	放水前 Before drawdown	2.8 ± 1.5 ^a	3.8 *	338.6 ± 558.5 ^a	4.5 *
	放水过程中 During drawdown	3.6 ± 3.5 ^a		319.2 ± 456.8 ^a	
	放水后 After drawdown	1.8 ± 2.8 ^b		298.2 ± 869.6 ^b	
涉禽 Grallatores	放水前 Before drawdown	2.9 ± 1.5 ^a	3.9 *	78.8 ± 126.8 ^a	4.2 *
	放水过程中 During drawdown	4.4 ± 1.2 ^b		174.1 ± 193.9 ^b	
	放水后 After drawdown	4.4 ± 1.7 ^b		182.6 ± 276.4 ^b	

* : $P < 0.05$; 标有不同的上标字母表示两组数据间有显著差异,相同的上标字母表示两组数据间没有显著差异 $P < 0.05$; Data with significant difference are marked by different superscripts and data without significant difference by the same superscript

表 3 放水前、放水过程中和放水后影响水鸟栖息地利用的主要因子

Table 3 Significant factors affecting habitat use of waterbirds before, during and after drawdown in aquacultural ponds

放水阶段 Management phases	因变量 Dependent variables	自变量 Independent variables	R^2
放水前 Before drawdown	水鸟种数 Waterbird species richness	水面面积 area of water body ** (+)	0.56
		平均水深 average water depth ** (-)	
	水鸟数量 Waterbird individual abundance	水面面积 area of water body ** (+)	0.46
		干扰程度 disturbance level ** (-)	
	游禽种数 Natatore species richness	水面面积 area of water body * (+)	0.48
	游禽数量 Natatore individual abundance	水面面积 area of water body ** (+)	0.47
	涉禽种数 Grallatore species richness	平均水深 average water depth ** (-)	0.46
	涉禽数量 Grallatore individual abundance	平均水深 average water depth ** (-)	0.63
放水过程中 During drawdown	水鸟种数 Waterbird species richness	裸地面积 area of substrate ** (+)	0.43
	水鸟数量 Waterbird individual abundance	干扰程度 disturbance level ** (-)	0.57
		芦苇面积 area of reeds ** (+)	0.71
	游禽种数 Natatore species richness	裸地面积 area of substrate ** (-)	
		干扰程度 disturbance level ** (-)	0.62
	涉禽种数 Grallatore species richness	水深变异 water depth variation ** (+)	0.58
	涉禽数量 Grallatore individual abundance	平均水深 average water depth ** (-)	0.64
		芦苇面积 area of reeds ** (-)	
放水后 After drawdown	水鸟种数 Waterbird species richness	水深变异 water depth variation * (+)	0.39
	水鸟数量 Waterbird individual abundance	水深变异 water depth variation ** (+)	0.40
		水面面积 area of water body ** (+)	0.53
	游禽种数 Natatore species richness	水面面积 area of water body * (+)	0.49
	涉禽种数 Grallatore species richness	水深变异 water depth variation ** (+)	0.58
	涉禽数量 Grallatore individual abundance	水深变异 water depth variation ** (+)	0.84
		裸地面积 area of substrate * (+)	

+ :因变量与自变量呈正相关, - :因变量与自变量呈负相关 + : positive correlation between the dependent and independent variables; - : negative correlation between the dependent and independent variables; * $P < 0.05$, * * $P < 0.01$

在养殖塘放水后,影响水鸟种类和数量变化的主要因子均为水深的变异程度,水深变化较大的塘中水鸟的种类多,数量大。影响游禽种类和数量的主要因子均为水面面积,水面面积越大,游禽的种类越多,数量越大。影响涉禽种类的主要因子为水深的变异程度,水深变异越大,涉禽的种类越多。影响涉禽数量的主要因

子为水深变异程度和裸地面积,水深变异越大,裸地面积越大,涉禽的数量越多(表3)。

4 讨论

本研究表明:在冬季,崇明东滩的水产养殖塘是水鸟的重要栖息地;大面积的养殖塘比小面积的养殖塘能够吸引更多种类和更高密度的水鸟;养殖塘在放水前和放水过程中较放水后吸引更多水鸟,且在放水前吸引更多的游禽,而放水后则吸引更多的涉禽;在放水前、放水过程中、放水后3个阶段,影响水鸟、游禽和涉禽栖息地利用的主要因子也各不相同。

4.1 面积对水鸟栖息地利用的影响

研究表明,崇明东滩大面积的养殖塘中水鸟的种类和个体密度都高于小面积的养殖塘。面积大小对水鸟栖息地利用的影响表现在多个方面。首先,大塘对水鸟的容纳量大于小塘。其次,水鸟对栖息地的选择具有水平方向上的空间梯度,从而表现出“嵌套模式(nested pattern)”:选择近岸或远岸生境的普适种(generalists)能够同时利用小塘和大塘,而选择距岸较远的中央区域的专性种(specialists)则只能在大塘中活动,当塘的面积缩小时,专性种首先消失^[14, 23]。因此面积大的养殖塘能够同时容纳普适种和专性种,而面积小的养殖塘只能容纳普适种。第三,不同种类的水鸟对于微生境有不同的偏好。大的养殖塘往往同时具有一定面积的潮湿裸地、浅水区域和深水区域,能够为水鸟提供多样的生境类型,从而能够满足不同类群鸟类的要求。第四,面积大小还影响到栖息地的受干扰程度,面积较大有利于缓冲干扰。在崇明东滩的水产养殖区,除收获水产和收割芦苇外,养殖塘周围道路上的行人和车辆都会对水鸟造成干扰,而且对小塘的干扰要大于大塘,这也可能导致水鸟减少对小塘的利用。此外,植被情况也可能是大塘和小塘水鸟群落差异的原因之一。所有的大塘都有芦苇生长,最高盖度达到70%;小塘则往往植被盖度较低,其中8个小塘完全没有挺水植物。芦苇为一些鸭类、鵞类和秧鸡类等提供隐蔽的场所,便于它们休憩或受惊后躲藏,并能够降低周围环境的干扰程度,有助于吸引更多水鸟栖息。

4.2 水深对水鸟栖息地利用的影响

大量研究表明,水深是影响水鸟栖息地利用的最主要因子^[4, 7, 15]。对不同水鸟而言,水深决定了湿地的可利用性。对于涉禽来说,跗蹠较长的鸟类可以在较深的水中活动^[10, 24],而滨鹬类等小型涉禽则偏好在水深小于4cm的浅水区域或潮湿的泥滩活动^[24, 25];游禽偏好具有一定深度的水域,溅水类游禽多在水深20cm左右的水域取食,潜水类游禽则适应更深的水深,但它们的取食深度仍受到取食方式和颈长、体长等的限制^[11]。而且形体较大、取食方式多样的鸟类可能适应更广泛的水深范围^[10, 11]。因此在本研究中,游禽的种数和数量在放水前和放水过程中都显著大于放水后,涉禽的种数和数量则在放水过程中和放水后显著大于放水前。放水之前和放水过程中养殖塘较深的水深对涉禽有显著的负面影响,对游禽的限制则不明显;而在放水后,养殖塘内浅水区域和潮湿裸地增加,水深对涉禽的限制也不显著。对于总的水鸟而言,放水过程中的种数和数量显著大于放水后;但放水前和放水过程中种数虽有显著差异,数量却没有显著变化,这是因为调查记录到该区域在放水前和放水过程中游禽的数量(占水鸟总数的65%)超过涉禽数量的两倍(占水鸟总数的30%),因此总的水鸟数量受游禽数量的影响较大。

4.3 水深变异程度对水鸟栖息地利用的影响

水深变异与养殖塘的地形密切相关,地形变异大的养殖塘水深变异程度较大。因此,地形变异通过水深变异间接作用于水鸟的种类和数量^[7, 15]。在放水过程中,养殖塘的水深变异与涉禽种数显著正相关;而在放水后,养殖塘的水深变异与水鸟的种类和数量以及涉禽的种类和数量都显著正相关。涉禽受到水深变异的影响更大,可能是因为其中的鵞鹬类一般要求较浅的水位或者湿润的裸地^[24, 25],当平均水深不能满足它们的需求时,变异较大的地形能够在部分区域为它们提供适宜的栖息条件。在放水之前,整个养殖塘的塘底被较深的水体(第1次调查时大塘的平均水深为49cm)所淹没,地形的变异难以对水鸟产生明显影响;而随着养殖塘水位逐渐下降,地形变异对水鸟栖息地利用的影响变得更为明显。这表明,栖息地水深条件的异质性可以增加栖息地微生境的多样性,使之能容纳不同生态位的水鸟。

4.4 水面面积对水鸟栖息地利用的影响

水面面积对水鸟尤其是游禽的栖息地利用具有很大的影响。对于偏好在水域活动的游禽而言,水面面积越大,其可利用的栖息地面积越大。因此在放水前和放水后这两个时期,水面面积与游禽种数和数量成正相关;在放水过程中,芦苇由于生长在水中且提供隐蔽条件,其面积实际上并未影响水面面积,而相对的,裸地面积增大则意味着水面面积减小,因此游禽种数与芦苇面积呈正相关,与裸地面积呈负相关。

4.5 裸地面积对水鸟栖息地利用的影响

潮湿的裸地是鸕鹚类等涉禽(特别是小型滨鹚类)的重要栖息地^[26]。野外调查表明,在养殖塘放水后形成的潮湿裸地上常可记录到大量的黑腹滨鹚。因此,放水后养殖塘中的涉禽数量与裸地面积呈正相关。但在经过一段时间之后,随着养殖塘的裸地逐渐干涸,涉禽的数量也逐渐减少,这可能是由于涉禽在干涸的裸地上无法觅食的缘故。

4.6 人类活动干扰对水鸟栖息地利用的影响

人类活动所带来的干扰是人工湿地的重要特征之一。人类活动的干扰对水鸟群落特征具有显著影响。在放水之前,干扰程度越大,水鸟的总数量越少;在放水过程中,随着干扰程度的增加,水鸟的总数量和游禽数量都减少。由于在放水过程中,捕鱼、收割芦苇等活动相继开展,养殖塘和附近区域的人类活动频繁,对这个时期水鸟的影响程度也最大。据野外观察,游禽比涉禽对人类活动的干扰更为敏感,因此人类活动干扰对游禽的影响更大。养殖塘放水之后,由于水产品已收获完毕,塘中的人类活动减少,因此这个时期人类活动的干扰对水鸟的栖息地利用没有显著影响。

5 管理建议

近 20a 来,我国东部沿海地区大面积的滩涂湿地被围垦并开发为水产养殖塘,这使得水鸟栖息的自然湿地面积急剧减少^[8,16]。为了使水产养殖塘能够为更多的水鸟提供栖息地,根据研究结果,提出如下管理建议:(1)构建大面积的水产养殖塘,以增加养殖塘的水鸟容纳量,并为水鸟提供多样化的栖息条件;(2)构建底部地形变异较大的养殖塘,以便在塘中的不同区域形成不同的水深环境。在塘中修建一些土埂、人工岛等也能够吸引更多水鸟栖息。(3)在放水收获过程中,对养殖塘进行分区作业,非作业区既可以保持一定水位,也可以保持较低的干扰程度,有利于水鸟的栖息。(4)虽然在水产养殖期间,养殖活动需要在塘中保持较深的水位,但在水产品收获后,可以重新引水并保持一定的水位为水鸟提供适宜的栖息条件。根据前人的研究,平均水深 15~20cm 的栖息地容纳的水鸟种类和数量最多^[4,7]。总之,通过对水鸟栖息地利用的主要影响因子的有效管理,养殖塘能够在发挥经济效益的同时进一步发挥其生态功能。

References:

- [1] Goss-Custard J D, Caldow R W G, Clarke R T, *et al.* Consequences of habitat loss and change to populations of wintering migratory birds: predicting the local and global effects from studies of individuals. *Ibis*, 1995, 137(s1): S56—S66.
- [2] Weber T P, Houston A I, Ens B J. Consequences of habitat loss at migratory stopover sites: a theoretical investigation. *Journal of Avian Biology*, 1999, 30(4): 416—426.
- [3] Masero J A. Assessing alternative anthropogenic habitats for conserving waterbirds: salinas as buffer areas against the impact of natural habitat loss for shorebirds. *Biodiversity and Conservation*, 2003, 12(6): 1157—1173.
- [4] Elphick C S, Oring L W. Winter management of Californian rice fields for waterbirds. *Journal of Applied Ecology*, 1998, 35(1): 95—108.
- [5] Gordon D H, Gray B T, Kaminski R M. Dabbling duck-habitat associations during winter in coastal South Carolina. *Journal of Wildlife Management*, 1998, 62(2): 569—580.
- [6] Fujioka M, Armacost Jr J W, Yoshida H, *et al.* Value of fallow farmlands as summer habitats for waterbirds in a Japanese rural area. *Ecological Research*, 2001, 16(3): 555—567.
- [7] Taft O W, Colwell M A, Isola C R, *et al.* Waterbird response to experimental drawdown: implications for the multispecies management of wetland mosaics. *Journal of Applied Ecology*, 2002, 39(6): 987—1001.
- [8] Ma Z J, Li B, Zhao B, *et al.* Are artificial wetlands good alternatives to natural wetlands for waterbirds? A case study on Chongming Island,

- China. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13(2): 333—350.
- [9] Evans P R, Goss-Custard J D, Hale W G. Coastal waders and wildfowl in winter. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.
- [10] Baker M C. Morphological correlates of habitat selection in a community of shorebirds (Charadriiformes). *Oikos*, 1979, 33(1): 121—126.
- [11] Pöysö H. Resource utilization pattern and guild structure in a waterfowl community. *Oikos*, 1983, 409(2): 295—307.
- [12] Greer R D, Cordes C L, Anderson S H. Habitat relationships of island nesting seabirds along coastal Louisiana. *Colonial Waterbirds*, 1988, 11(2): 181—188.
- [13] Rosa S, Palmeirim J M, Moreira F. Factors affecting waterbird abundance and species richness in an increasingly urbanized area of the Tagus Estuary in Portugal. *Waterbirds*, 2003, 26(2): 226—232.
- [14] Paracuellos M, Telleria J L. Factors affecting the distribution of a waterbird community: the role of habitat configuration and bird abundance. *Waterbirds*, 2004, 17(4): 446—453.
- [15] Colwell M A, Taft O W. Waterbird communities in managed wetlands of varying water depth. *Waterbirds*, 2000, 23(1): 45—55.
- [16] Ma Z J, Li B, Li W J, *et al.* Conflicts between biodiversity conservation and development in a biosphere reserve. *Journal of Applied Ecology*, 2009, 46: 527—535.
- [17] Wan S W, Qin P, Zhu H G, *et al.* Evaluation of two artificial wetlands in Yancheng Natural Reserve, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 759—765.
- [18] Jiang S, Ge Z M, Pei E L, *et al.* Waterfowl nocturnal behavior at the artificial wetlands behind the Chongming Dongtan seawall in winter. *Chinese Journal of Zoology*, 2007, 42(6): 21—27.
- [19] Ma Y A, Ma Z J. Chongming Dongtan International Important Wetland. Beijing: Chinese Forestry Publishing House, 2006. 20—31.
- [20] Xu H F, Zhao Y L. Scientific survey on Chongming Dongtan Migratory Birds Nature Reserve of Shanghai. Beijing: China Forestry Publishing House, 2005. 137—178.
- [21] Barter M, Lei G, Cao L. Waterbird survey of the middle and lower Yangtze River floodplain (February 2005). Beijing: China Forestry Publishing House, 2006. 45—49.
- [22] Gregory R D, Gibbons D W, Donald P F. Bird census and survey techniques. In: Sutherland W J ed. *Bird Ecology and Conservation: a Handbook of Techniques*. New York: Oxford University Press Inc, 2004. 17—55.
- [23] Paracuellos M. How can habitat selection affect the use of a wetland complex by waterbirds? *Biodiversity and Conservation*, 2006, 15(14): 4569—4582.
- [24] Collazo J A, O'Hara D A, Kelly C A. Accessible habitat for shorebirds: factors influencing its availability and conservation implications. *Waterbirds*, 2002, 25 (Special Publication 2): 13—24.
- [25] Davis C A, Smith L M. Ecology and management of migrant shorebirds in the Playa lakes region of Texas. *Wildlife Monographs*, 1998, 140: 1—45.
- [26] Warnock N, Page G W, Ruhlen, *et al.* Management and conservation of San Francisco Bay salt ponds: effects of pond salinity, area, tide, and season on Pacific Flyway waterbirds. *Waterbirds*, 2002, 25(Special Publication 2): 79—92.

参考文献:

- [17] 万树文, 钦佩, 朱洪光, 等. 盐城自然保护区两种人工湿地模式评价. *生态学报*, 2000, 20(5): 759—765.
- [18] 姜姗, 葛振鸣, 裴恩乐, 等. 崇明东滩堤内次生人工湿地冬季水鸟的夜间行为. *动物学杂志*, 2007, 42(6): 21—27.
- [19] 马云安, 马志军. 崇明东滩国际重要湿地. 北京: 中国林业出版社, 2006. 20—31.
- [20] 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. 北京: 中国林业出版社, 2005. 137—178.
- [21] 马克·巴特, 雷刚, 曹垒. 长江中下游水鸟调查报告(2005年2月). 北京: 中国林业出版社, 2006. 45—49.