

江苏盐城国家级珍禽自然保护区丹顶鹤的承载力

董 科^{1,2,3}, 吕士成⁴, Terry Healy⁵

(1. 中国科学院 水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 南京大学 城市与资源学系、海岸与海岛开发教育部重点实验室, 南京 210093; 4. 江苏盐城国家级珍禽自然保护区,
射阳县新洋港, 盐城 224333; 5. 新西兰 怀卡托大学 地球科学系海岸海洋研究组, 哈密尔顿 3105)

摘要: 江苏盐城沿海滩涂地区是世界上最大的丹顶鹤(*Grus japonensis*)越冬地。如今全球的丹顶鹤仅约 2700 只, 而每年在此越冬的丹顶鹤接近世界野生个体总数的一半。因此, 盐城滩涂的环境状况对于保护该物种的意义不言而喻。该地区能够容纳承养多少丹顶鹤? 这是一个关键性的问题。此前尚无人就盐城滩涂对丹顶鹤的承载力作过详细分析。处于保护下的野生动物应按照“生态承载力”来分析其容纳量。由于滩涂上水源较充足, 食物和隐蔽物就是丹顶鹤对生境的主要两方面需求, 也即限制因子。根据 2004~2005 年越冬期统计的鹤数及其分布, 运用 Neu 方法分析丹顶鹤对盐城 8 种不同栖息地的选择性, 结果显示它们最偏爱的生境是稻田和草滩, 可以栖息在芦苇(*Phragmites communis*)地、淡水养殖塘或大米草滩, 而回避的生境是泥滩、盐田、盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)滩。之后, 作者用“热量法”计算了射阳基地圈养丹顶鹤的饲料成分, 基本符合营养定额标准; 而人工投放的玉米饲料难以保障野生鹤的生存。又按“重量法”, 以丹顶鹤对各生境的利用程度为权重, 估算得盐城保护区可利用的食物总量远远大于鹤群一个越冬期所需量, 表明食物并非生境的决定性因子。此外, 作者分析了丹顶鹤对各种主要食物的选择性, 发现植物在食物总量中占比例极小, 但其喜爱的食物却是植物性的稻谷和人工的玉米饲料。总而言之, 其种群喜爱居留于淤长型海岸带及食物量大、距道路(人类活动)远、盐度小的栖息地。核心生境丹顶鹤的分布密度约 0.8~2.5 只/km², 则 1000km² 最适宜生境的容纳量为 800~2500 只; 实际上, 近 10a 来 80%~90% 的鹤群分布收缩在核心区与缓冲区(面积共 641km²), 则整个保护区容纳量为 570~2004 只。结合这两方面考虑, 作者预测盐城保护区的丹顶鹤承载力为 2000~2500 只, 目前其数量未达饱和, 种群还将增长。

关键词: 丹顶鹤; 承载力; 越冬生境选择; 食物选择性; 盐城保护区
文章编号: 1000-0933(2005)10-2608-08 中图分类号: P94, Q16, Q958.1 文献标识码: A

Carrying capacity of red-crowned cranes in the national Yancheng rare birds Nature Reserve, Jiangsu Province, China

DONG Ke^{1,2,3}, LÜ Shi-Cheng⁴, Terry Healy⁵ (1. Chengdu Institute of Mountain Hazards and Environment, of the CAS and Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China; ; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Key Laboratory for Coast and Island Development of Ministry of Education; Department of Urban and Resources, Nanjing University, Nanjing 210093, China; 4. The National Yancheng Rare Birds Nature Reserve, Xinyanggang, Sheyang County, Yancheng 224333, China; 5. Coastal Marine Group, Department of Earth Sciences, The University of Waikato, Private Bag 3105, Hamilton, New Zealand.). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(10): 2608~2615.

Abstract: The coastal-zone wetland in Yancheng, Jiangsu Province is the largest winter habitat of the Red-crowned Crane (*Grus japonensis*) in the world. At present, about 2700 Red-crowned Cranes live over the globe. Each year, nearly half of the Red-crowned Crane population fly to Yancheng to spend the winter. Accordingly, the environmental condition of the wetland for protection of this species is of highest significance. The essential question is: How many Cranes can be accommodated there? The carrying capacity of this habitat for the Red-crowned Crane has not previously been studied. Protected wildlife may be

收稿日期: 2004-07-15; 修订日期: 2005-04-11
作者简介: 董科(1978~), 男, 四川成都人, 博士生, 主要从事生态承载力研究. E-mail: dongke78@163.com
致谢: 感谢南京大学王颖院士给予的指导与帮助; 在盐城保护区调查期间, 得到王会、陈浩、成海等工作人员的大力帮助; 复旦大学马志军博士、原南京大学朱洪光博士为本文提供了资料及图片; 钟祥浩、刘淑珍研究员对本文的写作给予帮助, 特此致谢
Received date: 2004-07-15; Accepted date: 2005-04-11
Biography: DONG Ke, Ph. D., candidate, mainly engaged in ecological carrying capacity. E-mail: dongke78@163.com

analyzed according to the protocol of “ecological carrying capacity”. Since water is ample in the salt marsh, the two vital limiting factors for the Crane habitat are food and shelter.

In this statistical study, based on Crane numbers and their distribution during winter of 2004~2005, the authors adopt the “Neu technique” to analyze habitat selection of Red-crowned Cranes to 8 kinds of tidal flats in Yancheng. The results reveal (i) that the Cranes preferentially select paddy fields and grasslands; (ii) they are less likely to inhabit reed beds, aquiculture ponds and Common Cordgrass (*Spartina anglica*) fields; and (iii) they tend to avoid mud flats, salt fields and Saline Seepweed (*Suaeda salsa*) flats. Subsequently, applying the “heat quantity method”, we calculate nutrient content in foodstuff ingredients of Cranes fed at Sheyang Base, and discover that nutrition achieves quota level in the main; but corn feed distributed by the staff cannot support survival of wild Cranes. Then using the “gravimetric method”, with the Crane utilization of each habitat as weighting, we estimate that total food supply in the Nature Reserve is far greater than required by the Crane population in one wintering season. This indicates that food supply is not a determinant factor for this habitat selection. Moreover, by analysis of food selectivity of the Cranes, we find their favorite foods are vegetal paddy chaff and artificial corn feed, with natural vegetation occupying only a small proportion of their total food consumption. The spatial distribution of Cranes is between 0.8~2.5 individuals per km², so that an optimum habitat of 1000 km² may contain 800~2500 Cranes. Actually Crane distribution has shrunk toward a core area and buffer area in the past 10 years (641km² in all), so the entire Nature Reserve could support 570~2004 Cranes. In overview we predict that the carrying capacity of the Yancheng Nature Reserve is 2000~2500 Red-crowned Cranes. Their present population has not achieved saturation capacity and has the potential to increase in the future. In summary, it appears that Red-crowned Cranes prefer to roost in a coastal habitat of lower salinity where food supply is plentiful, and which is distant from human disturbance.

Key words: Red-crowned Crane (*Grus japonensis*); carrying capacity; winter habitat selection; food selectivity; Yancheng Nature Reserve

江苏盐城国家级珍禽自然保护区是我国第一个也是最大的海岸带湿地类型的保护区,其主要保护对象为丹顶鹤(*Grus japonensis*)等珍稀鸟类和潮滩(tidal flat)湿地。湿地是世界上生物多样性最丰富的生态系统,被誉为“地球之肾”;而鹤类是湿地的标志性鸟类,是湿地生态环境变化的指示物种(indicator species)。世界上有 15 种鹤,中国有 8 种,是鹤类种数最多的国家。丹顶鹤为东亚特有种、国家一级保护动物,也是最受国人喜爱的一种鹤,有学者推荐它作为国鸟^[1]。丹顶鹤是涉禽,主要在湿地生活,目前全球野生个体共约 2700 只,中国 1500 多只,大部分是候鸟。其繁殖地在东北亚,每年 10 月至 11 月迁飞到朝鲜半岛或中国东部海岸滩涂和长江中下游的湖泊沼泽越冬,次年 2 月至 3 月返回繁殖地。盐城海滩的气候和环境很适合它们栖息,来此越冬已有上百年历史。自从 1983 年盐城自然保护区成立以来,丹顶鹤数量逐渐上升,近几年在 800~1100 只范围内波动。1999~2000 年越冬期鹤群数量达 1128 只,是该保护区成立迄今最多的一年^[2]。江苏全省约有海涂 6524km²,其中盐城有 3293km²,是江苏面积最大的后备土地资源^[3]。人类对盐城滩涂的不断围垦开发,加剧了自然生境的破碎化,威胁到丹顶鹤的生存。因此研究这片滩涂的生态承载力很有必要。

1 研究区域

盐城保护区由隶属盐城市的响水、滨海、射阳、大丰、东台 5 个沿海县(市)的滩涂组成,呈西北-东南向的狭长地带,北起响水的灌河,南至东台的新港闸,西起黄海公路(陈家港-李堡),东到海水-3m 等深线。它位于中国海岸线中段、苏北平原东部,东临黄海,在北纬 32°20′~34°37′、东经 119°29′~121°16′ 之间(图 1)。保护区的标准海岸线长度约 582km,总面积约 4530km²,核心区、缓冲区和实验区的面积分别为 174km²、467km² 和 3889km²。核心区西以“建国堤”向东 100m 为界,其内紧靠此堤东侧有 36km² 的生态工程示范区^[4](图 2)。核心区是典型的淤泥质平原原生湿地,处于绝对保护之下,无居民居住。缓冲区和实验区内居住有 150 多万人口。建国堤建于 1956 年,从灌河口至新港闸,

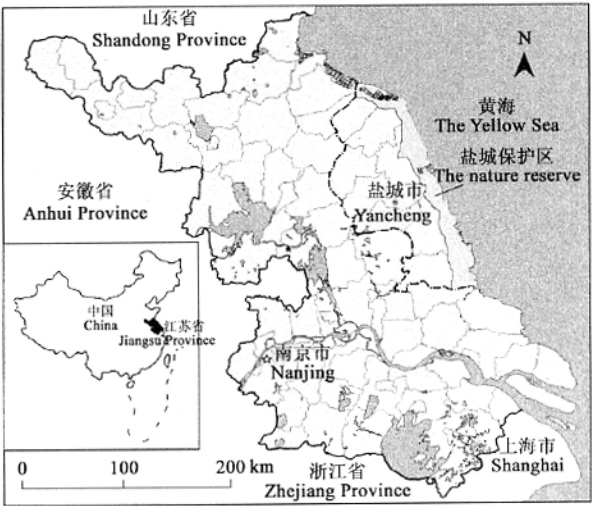


图 1 盐城自然保护区在江苏省的区位图

Fig. 1 The location of Yancheng Nature Reserve within Jiangsu Province

在此间是距海最近的南北连贯的海堤。此堤以东的保护区范围约 2800 多 km²。保护区的科研和旅游基地(鹤场)座落在射阳县新洋港以南,紧邻建国堤。作者曾于 2002 年 11~12 月份对此保护区做了 1 个月的野外实地调查。

“承载力(carrying capacity)”即容纳量或负荷量(通常用 K 表示),是指生境能够饲养某一特定质量的动物的数量,同时又能使动物对生境资源的破坏保持在一定的水准上不加重,是种群与环境达到的平衡点(equilibrium)。Bailey 将承载力分为经济承载力和生态承载力^[5],盐城保护区的丹顶鹤不允许狩猎,应该用后者来分析。生态容纳量又可分为存在密度(Subsistence density)、容忍密度(Tolerance density)和安全密度(Security density)3类,其限制因子分别是食物资源、空间有限性、藏身地格局。容忍密度对有领域的占区动物特别适用,丹顶鹤越冬期则不能用此概念分析。安全密度的主要决定因子为隐蔽物的数量和分布形式,当空间是限制因子时,安全密度即是容忍密度^[6~9]。

野生动物对生境的需求(habitat requirement)包括营养和结构两方面,食物、水分、隐蔽物(结构资源)是生境资源的三大因子。盐城保护区的几个鹤群各有一处夜栖地,每天在“食物—水源—隐蔽物”构成的生活三角区中往返活动,满足生理需求。环境中的诸多利害因子中,有一种或几种是制约动物生存和种群数量的关键要素,即限制因子(limiting factors),它们是整个生境的薄弱环节,也是问题的本质所在^[5]。由于滩涂上水源较广布,加上丹顶鹤能飞远距离去饮水,水对它们的限制性较小(除非特别干旱)。

2 研究方法 with 结果

盐城保护区内主要为滨海盐土植被,丹顶鹤的栖息生境类型可以有不同的划分方法。参照马志军等^[10]按滩涂植被及人类开发情况进行分类:(1)盐地碱蓬滩,是滩涂的主要组成部分,盐地碱蓬(*Suaeda salsa*)呈暗红色,低矮而贴近地面,大部分生长在保护区中部和南部的海堤外侧。由于其土壤盐分含量高,不便开垦而未被困垦。底栖动物的优势物种为蟹、螺,底栖动物量 378g/m²。(2)草滩(Grassland)。这是原生湿地盐土植物群落演替的顶极,物种的种类和数量都十分丰富。在干燥的草滩,优势植物物种为獐毛(*Aeluropus littoralis* var. *sinensis*)和白茅(*Imperata cylindrica* var. *major*)。草滩是丹顶鹤最重要的栖息地,但受到人类活动的干扰不小。底栖的优势物种也为蟹、螺,其中白茅草滩面积 139.89km²,底栖动物量 362g/m²;獐毛草滩面积 90.48km²,底栖动物量 404g/m²。(3)芦苇地(Reed beds)。包括自然生长的芦苇(*Phragmites communis*)群落和人工种植的芦苇基地。自然生长的稀疏芦苇高度约 1~2m,是丹顶鹤良好的隐蔽物;但过高过密的芦苇丛反而会阻挡它们的视线,不利于安全,不会吸引它们到其中停留。当地居民冬季收割芦苇之后,滩面暴露出来,方便了丹顶鹤的觅食活动。底栖的优势物种为蟹,底栖动物量 379g/m²。(4)盐田(Salt field)。属于人工湿地,大部分位于保护区北部,面积很大,水深小于 1.5m,人类活动对其中的干扰较小。冬季盐场停业,丹顶鹤便在其中栖息。底栖优势物种为沙蚕、螺,底栖动物量 241g/m²。(5)水产养殖塘(Aquaculture pond)。其深沟处养鱼虾,周围浅滩处栽种芦苇,因而又称苇鱼塘。丹顶鹤一般不去深水鱼塘,但冬季渔民将塘中的水放浅以捕捞,无形中为水鸟取食水生生物带来了便利。在干早期,养殖塘为它们提供水源。底栖优势物种为鱼、虾,底栖动物量 194g/m²(不含塘中养殖的水生生物量)。(6)农田(Farmland)。位于缓冲区与实验区,在海堤内外都有分布,种植有棉花、水稻、小麦、大麦、大豆、油菜等作物。丹顶鹤更倾向于去稻田(水田),而非麦田(旱田)。秋天收割后残留的稻谷成为食物,有为数不少的鹤在其中觅食。农田总面积约为 287.32km²。

丹顶鹤在上述几种生境均有分布,此外还有潮间带泥滩(mud flat)、大米草(*Spartina anglica*)滩、水域(water area)、荒地等,几乎包括了每种主要的土地类型,不仅有原生湿地(盐地碱蓬滩、草滩),也有人工湿地。人类的开发活动,使原生湿地的组成结构发生了巨大的变化,土地利用和植被覆盖的变化又引起了丹顶鹤对生境选择的改变。

2.1 丹顶鹤的生境选择性

“Neu 方法”是确定野生动物对生境选择性的一种统计方法^[11],通过比较丹顶鹤对某种栖息地的利用程度(utilization)与可获得程度(availability),判断它们是否偏爱这种生境。吕士成等人 2005 年 1 月中旬调查 2004~2005 年越冬期盐城保护区总鹤数为 967 只,根据每种觅食栖息地分布的鹤数,采用 Neu 方法分析计算其生境选择性,结果见表 1。因为缺乏最新的生境面积数

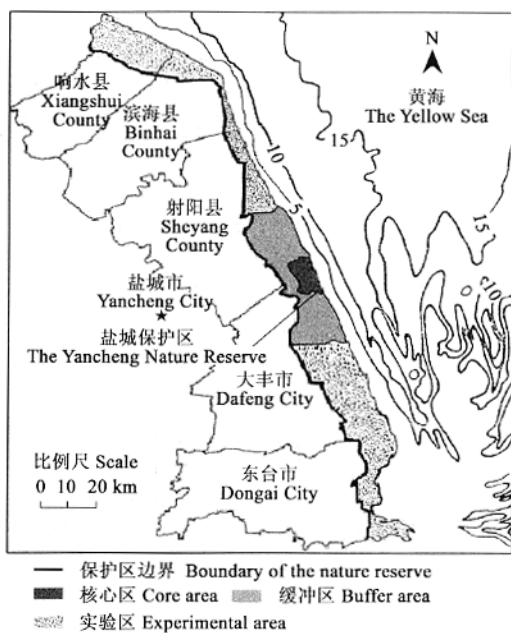


图 2 盐城自然保护区的土地利用功能区划图

Fig. 2 Landuse functions in the Yancheng Nature Reserve

据,表中大米草滩的面积来自陈才俊^[12],其它各生境的面积数据来自马志军^[10],面积总和与实际面积之间有误差。

“利用程度”指一种生境中鹤数占总鹤数的百分比,“可获得程度”指该生境的面积占生境总面积的百分比。丹顶鹤对某一生境的利用程度大于、等于或小于该生境的可获得程度,分别表示它们对这种生境的正选择性、无选择性或负选择性。动物对某生境的利用程度值比可获得程度值越大,说明它越偏爱该生境;反之,利用程度比可获得程度越小,说明它越不愿意选择该生境。由于丹顶鹤在越冬期无领域,活动范围较大,并非固定停留于某栖息地,调查者在某一时间某一生境观察到的鹤可能在另一时间飞到另一类生境中。所以 Neu 方法用于此有缺陷和漏洞,只能大致表示它们对各类生境的偏爱性。

Table 1 Red-crowned Cranes' Habitat Selectivity in Winter of 2004~2005						
生境类型 Habitat type	生境面积(km ²) Habitat dimensions	可获得程度(%) Availability	丹顶鹤数量 Cranes amount	利用程度(%) Utilization	生境选择性 Habitat selectivity	利用程度/可获得程度 Utilization/availability
草滩 Grassland	230.37	5.29	351	36.30	+	6.86
盐地碱蓬滩 Saline seepweed field	175.53	4.03	17	1.76	—	0.44
泥滩 Mud flat	3176.36	72.97	37	3.83	—	0.05
芦苇地 Reed beds	107.04	2.46	136	14.06	+	5.72
水产养殖塘 Aquiculture pond	251.17	5.77	236	24.41	+	4.23
盐田 Salt field	324.51	7.45	16	1.65	—	0.22
稻田 Paddy field	6.67	0.15	140	14.48	+	96.53
大米草滩 Common cordgrass field	81.54	1.87	34	3.52	—	1.88
总计 Total	4353.19	100	967	100		1

表中草滩包括白茅草滩、獐茅草滩、苇草地;泥滩指潮间带泥滩、荒地等其它类型的生境;淡水养殖塘包括渔塘、水库、水面等 Annotation: In this table, grasslands include Lalang Grass lands, Chinese Aeluropus grasslands and reed grasslands; Mud flats refer to mud flats of intertidal zone, waste lands and other types of habitats; Fresh water aquiculture ponds include fish ponds, reservoirs, water surface etc

从上表看出,丹顶鹤最偏爱的生境是稻田和草滩,不愿选择的是泥滩、盐田、盐地碱蓬滩,对芦苇地、养殖塘和大米草滩的选择性居中。从绝对数量讲,草滩中鹤数最多,其次是淡水养殖区。草滩以仅占总面积 5%的区域栖息着超过 1/3 的丹顶鹤个体,正选择性突出,利用程度值与可获得程度的比值大(仅次于稻田)。往年的调查也表明,草滩一直是它们的主要栖息地。芦苇地的水源丰富,而且隐蔽条件好,在其中可避风寒,丹顶鹤对其偏好程度也较大,但由于面积小,鹤数的绝对值较小。在自然湿地中,草滩和芦苇地的单位面积食物量都丰富,表明食物是决定其生境选择的重要因子。1995 年前没有丹顶鹤在农田中活动的纪录,而最近几年其对稻田的利用程度明显增加,这或许说明它们对人类的警惕感放松了^[13]。泥滩所占面积最大,但鹤数很少,是它们最回避的生境。

2.2 丹顶鹤的食性分析

许多学者提出过生境容纳量的估算模型,大都假定其量只与生境的营养供应量有关。如 Hobbs 的模型公式,用主要食物可利用量的营养含量总和除以动物个体所需营养总量^[14]。丹顶鹤的消化器官体积小,贮存食物有限,消化代谢率高,因而需不断采食。能量是丹顶鹤营养需求的首要指标,可用热量法或重量法分析。2002 年在盐城鹤场调查知,共圈养 37 只成年丹顶鹤,平均每星期喂养约 100kg 颗粒饲料和 70kg 鱼。则是每天投放 14.286kg 颗粒饲料,平均每只鹤 386.10g;每天投放 10kg 鱼,平均每只鹤 270.27g。根据国内相关的研究^[15],计算了丹顶鹤的颗粒饲料及鱼饲料营养成分含量(表 2)。从结果看,鹤场圈养的每只鹤每天约可获 4706kJ 代谢能,大于繁殖期成年鹤所需的 4258kJ;但可消化蛋白质获取量仅约 83g,不足繁殖期要求的 112~122g;而钙、磷含量也超过定额(每昼夜约需钙 3.26g,需磷 2.26g)。因而圈养鹤的营养摄入量基本达到了需求标准。

Boerte 认为同种类的野生动物比圈养动物的能耗支出多 20%。圈养的丹顶鹤无需自己觅食即有充足的食物,所以营养状况优于野生鹤,体型比野鹤胖一些。从体型和能量消耗来说,野生鹤所需食物该更多,但它们在野外常吃不饱。丹顶鹤属恒温动物,冬季气温过低时它们需摄取更多食物以保持体温,但此时偏偏不易觅食,这成为了一对矛盾,鹤场工作人员不得不投放食物给野生鹤补充营养。玉米是重要的能量饲料。据了解,每年冬季工作人员在核心区边缘投放纯玉米饲料约 5000kg,附近约 300 只丹顶鹤来此觅食。若按 100d 计,每只鹤每天可吃 166.67g 纯玉米饲料,相当于有 1780kJ 代谢能,10.83g 可消化蛋白质,0.0367g 钙,0.5167g 磷,这些营养含量均远远不能满足其一昼夜的需要。这说明,野生鹤仅靠人工玉米饲料还无法维持生存。

表 2 丹顶鹤的饲料营养成分

Table 2 The components of nutrition of Red-crowned Crane's forage						
饲料配方 Forage prescription (g)		干物质(g) Dry material	可消化蛋白质(g) Digestible protein	钙(g) Calcium	磷(g) Phosphorus	代谢能 (kJ) Metabolizable energy
颗粒饲料 Granule forage 100g	玉米面 Corn meal 50	43	3. 25	0. 011	0. 155	534
	大麦粉 Barley meal 8	7. 048	0. 84	0. 0034	0. 032	109. 52
	小麦麸 Wheat bran 13	11. 336	0. 806	0. 0014	0. 0018	57. 2
	豆饼粉 Bean cake meal 12	10. 356	3. 144	0. 0324	0. 0756	125. 64
	鱼粉 Fish meal 5	4. 25	2. 25	0. 3853	0. 1491	57. 55
	苜蓿粉 Clover meal 10	9. 01	1. 52	0. 143	0. 024	115. 1
	贝壳粉 Shell meal 1			0. 38		
	骨粉 Bone meal 0. 6			0. 156	0. 0756	
	食盐 Salt 0. 2					
	维生素 Vitamin 0. 2					
合计 Sum		85	11. 81	1. 1125	0. 5131	999. 01
每鹤每天(386. 1 g 饲料)Forage of each Crane per day		328. 185	45. 6	4. 2954	1. 9811	3857. 18
每鹤每天淡水杂鱼 270. 3g Fish of each Crane per day		48. 654	37. 301	0. 1379	0. 4163	848. 742
总计 Total		376. 839	82. 9014	4. 4333	2. 3974	4705. 922

另外用重量法分析,每只圈养的丹顶鹤 1d 共需饲料和鱼约 656. 37g,再加上 20%量,得野生鹤 1d 需 787. 64g 食物。若按 1000 只鹤在盐城越冬停留 100~150d 计,共需食物约 78764. 5~118146. 7kg。2002 年 12 月初在新洋港北侧缓冲区内芦苇公司西端的稻田采样,测得稻谷量为 7. 5g/m²。芦苇公司共约 6. 67km² 稻田,除此之外保护区无稻田。则其它农用地面积为 280. 65km²,单位面积食物量为 60g/m²。泥滩的底栖动物量为 365g/m²[16]。用各类生境的面积乘以其单位面积食物量,求得各类生境的食物分量及占食物总量的比例,结果见表 3。盐城滩涂食物总量近 150×10⁷kg,远远大于上述所需量。从表 3 看,仍是泥滩、盐田、盐地碱蓬滩的鹤数利用程度小于其食物分量所占比例,为负选择性。

1999~2000 年越冬鹤数为最多的 1128 只,故以此为例分析具有代表性;草滩与盐地碱蓬滩共 431 只,泥滩 52 只,芦苇地 127 只,养殖塘 48 只,盐田 181 只,农田 263 只,大米草滩 10 只,人工投食点 16 只。该年农田鹤数包括稻田 248 只、麦田 15 只[17],则稻田的利用程度为 21. 99%(248/1128),其它农用地的利用程度为 1. 33%(15/1128)。以该年各生境的“利用程度”为权重将分量求和,初步估算整个滩涂可利用的食物总量;求得泥滩分量为 5. 345×10⁷kg,盐地碱蓬滩、白茅草滩、獐毛草滩分量之和为 5. 867×10⁷kg,芦苇地分量为 0. 457×10⁷kg,养殖塘分量为 0. 208×10⁷kg,盐田分量为 1. 255×10⁷kg,稻田分量为 10995kg,其它农用地分量为 223972kg,人工投食分量 71kg 加权值很小可忽略不计。加权求和得滩涂可利用食物总量约 13. 132×10⁷kg,仍远大于现有丹顶鹤种群一个冬季所需食物总量(即便除去负选择性的泥滩、盐田、盐地碱蓬滩的食物,依然过剩)。当然滩涂食物并非全由丹顶鹤取用,其它鸟类也会吃一部分,而且丹顶鹤要把这些食物全部找出也不容易。虽然食物量非常大,但恒温动物的能量代谢上限值限制了其觅食活动和耐寒能力,即使有无限多的食物,野生鹤种群也不可能无限增加数量或扩大地理分布[18]。

丹顶鹤是大型杂食性(omnivores)鸟类,取食无脊椎动物为主,主要有钉螺(*Oncomclania* spp.)、沼螺(*Parafossarulus*)、泥螺(*Bullacta exarata*)等。“主要食物”是指某种动物摄取量最大的食物,但不一定是它偏爱的或愿意选择的食物,往往后者在该动物总食量中占比例很小。各食物条目(entry)在动物的食物总量中所占比例只表明主要食物和次要食物,并不表示此动物的喜食食物和不喜食食物。动物对某食物条目的利用量所占比例大于、小于、等于该食物条目的可利用量所占比例,分别代表动物对此食物有正、负、无选择性,Ivlev[19]、Petrides 等人曾提出有关公式。用类似方法计算了丹顶鹤对食物种类的选择性。

由于不知一类生境中各主要食物的数量比例,姑且将白茅草滩和芦苇地中的食物全部作为蟹,盐地碱蓬滩的食物全部作为螺,獐毛草滩的食物视作蟹、螺各占一半,盐田中的食物视作螺、沙蚕各占一半,养殖塘中的食物全部作为鱼虾。按此求得各食物条目的总量(可利用量)及其占总食物量的比例。用 1999~2000 年越冬期各生境的鹤数[17]表示各食物条目的实际利用量。对于獐毛草滩、盐田中的鹤数,对半平分给其两种食物条目。野生丹顶鹤最偏好的食物反倒是数量最少的稻谷和人工饲料,而不是其它自然生境中的动物性食物(表 3)。此结果似让人惊讶,仔细分析也不难理解:人工投饲点在小范围内集中了充足食物,省去了奔波觅食的辛劳,它们当然会抢先吃这些饲料;稻谷散落于地面,不需费力寻找,容易取食。另外,或许它们是预留滩涂上不易找到的底栖动物,以免过早吃完则越冬后期难以生存。因而,大力维护并恢复其原生生境,保留自然界的食物,才是丹顶鹤种群生存安全的根本保障。

表 3 丹顶鹤对食物的选择性
Table 3 Red-crowned Cranes' selectivity to food (kg)

生境类型 Habitat type	食物总量 Food amount (kg)	所占比例 Proportion (%)	蟹 Crab (×10 ⁷)	螺 Snail (×10 ⁷)	沙蚕 Clam worm (×10 ⁷)	鱼虾 Fish & Shrimp (×10 ⁷)	稻谷 Paddy	其它谷物 Other grain (×10 ⁷)	饲料 Corn feed
泥滩 Mud flats	115.937×10 ⁷	77.43							
盐地碱蓬滩 Saline seepweed fields	6.635×10 ⁷	4.43		6.635					
白茅草滩 Lalang grass flats	5.064×10 ⁷	3.38	5.064						
獐毛草滩 Chinese aeluropus flats	3.655×10 ⁷	2.44	1.8275	1.8275					
芦苇地 Reed beds	4.057×10 ⁷	2.71	4.057						
水产养殖塘 Aquiculture ponds	4.872×10 ⁷	3.25				4.872			
盐田 Salt fields	7.821×10 ⁷	5.22		3.9105	3.9105				
稻田 Paddy fields	50000	0.00					50000		
其它农用地 Other croplands	1.684×10 ⁷	1.12						1.684	
人工投食点 Feed site	5000	0.00							5000
总计 Total	149.7305×10 ⁷	100							
食物可利用量 Food availability (kg)			10.9485	12.373	3.9105	4.872	50000	1.684	5000
所占比例 Proportion (%)			32.40	36.61	11.57	14.42	0.02	4.98	0.00
食物利用量(鹤数)Food utilization (Cranes' number)			343	306	90	48	248	15	16
所占比例 Proportion (%)			32.18	28.71	8.44	4.50	23.26	1.41	1.50
食物选择性 Food selectivity			—	—	—	—	+	—	+

2.3 影响丹顶鹤栖息地选择的微观因素

前文说明食物不是唯一的决定因素,丹顶鹤的承载力分析不能仅看存在密度,还须考虑安全密度。这里的藏身地不仅用于隐蔽,还涉及它们生活中的诸多需求方面。表 1 是分析宏生境(macro-habitat)的选择性,此外它们对每一处停留地的微观生态因素也有所选择。根据李文军建立的数学模型,借用 Neu 方法思路,按照栅格数来统计分析丹顶鹤对镶嵌小生境(patch)中每类因素的选择性,结果见表 4。此模型中单个栅格大小为 60m×60m,“活动栅格”是指有鹤出现的栅格地,“非活动栅格”指无鹤出现的栅格地。活动栅格共 37529 个,非活动栅格共 730664 个,栅格总数为 768193。按此计算栅格总面积为 2765.4948km²,活动栅格总面积为 135.1044km²。为简化起见,将非活动栅格南北向每 8 个合并为 1 个,东西向每 2 个合并为 1 个,这样非活动栅格减少为 45909 个,总栅格数减为 83438^[20]。

出现频率=(每类特征地的)活动栅格数÷栅格数

当具有某类特征的活动栅格数占活动栅格总数的比例大于该类特征地栅格数所占栅格总数比例时,视作丹顶鹤对此类特征地有正选择性;反之,则认为它们对此类特征地有负选择性。某类特征栅格的出现频率大于(小于)栅格总出现频率即表示正(负)选择性。从表 4 看,食物量越大、距道路(人类活动)越远、盐度越小的栅格地,丹顶鹤的选择性越大。侵蚀型海岸带的出现频率和活动栅格数明显小于淤长型海岸带,这与前文的论述是一致的。表 4 中具有正选择性的土地有 3 种;出现频率最大的依次是芦苇地、草滩、水产养殖塘,这与表 1 的结果有所不同,显示出了数学模型与实际观察之间的差异。

植被是栖息地中最重要的环境因子。植被作为隐蔽物,其高度决定丹顶鹤的安全,过低的植被不利于隐藏;而过高的植被使它们视野不够开阔,不利于警戒。成年鹤身高 1m 多,高度约 0.5~1.3m 的植被最利于隐蔽。植被盖度决定它们取食是否方便,覆盖过密的土地本身就无丹顶鹤的立足地,也不易发现食物,它们喜欢选择植被较稀疏的生境^[16]。据实地观察,鹤群在开阔的人工湿地中觅食,这片湿地四周被人工水渠环绕,水渠外侧是土埂路,路外有芦苇或茅草丛作为隐蔽,水渠阻挡了人和其它动物随意进入。也有少数家族鹤在四周隐蔽物稀少的盐蒿滩取食,似乎并不太在意周围是否有危险。

栖息地的底栖动物是丹顶鹤的主要食物来源,底栖食物量的多寡直接影响其选择性,它们多选择食物量大于 400g/m² 的生境。土壤盐度是另一影响因子,它们爱选择小于 15mg/L 的土地。人为干扰也是影响鹤群分布的重要限制因子,距人类活动的距离是其微生境选择的决定性因素之一,它们一般在距道路 1200m 以上的地方栖身。但也可见到有鹤群在小路旁仅 100、200 m 甚至更近处觅食,说明生境影响因子只在总体上起作用,具体到每一处栖息地都有该地具体的决定因子,要“具体问题具体分析”,不能一概而论。

表 4 丹顶鹤对微观生境影响因子的选择性

Table 4 Red-crowned Cranes' selectivity to influencing factors of Micro-habitat							
影响因素 Influencing factor	特征类型 Character type	栅格数 Grids number	所占比例 Proportion (%)	活动栅格数 Active grids number	所占比例 Proportion (%)	出现频率 Appearance frequency	选择性 Selectivity
盐度 Salinity (mg/L)	0~15	62117	74. 45	32603	86. 87	0. 525	+
	15~30	19384	23. 23	4634	12. 35	0. 239	—
	>30	1937	2. 32	292	0. 78	0. 151	—
食物量 Food quantity (g/m ²)	0~200	11085	13. 29	4283	11. 41	0. 382	—
	200~400	48689	58. 35	19902	53. 03	0. 409	—
	>400	23664	28. 36	13344	35. 56	0. 564	+
距道路的距离 Distance from roads (m)	0~600	12299	14. 74	3692	9. 84	0. 300	—
	600~1200	12096	14. 50	5303	14. 13	0. 438	—
	>1200	59043	70. 76	28534	76. 03	0. 483	+
海岸带类型 Type of coast	侵蚀型 Erosion	17723	21. 24	4636	12. 35	0. 262	—
	淤长型 Accumulation	65715	78. 76	32893	87. 65	0. 501	+
土地利用与覆盖类型 Type of land use and cover type	水域 Water area	6440	7. 72	112	0. 30	0. 017	—
	泥滩 Mud flat	1124	1. 35	0	0	0	—
	大米草滩 Common cordgrass field	3632	4. 35	44	0. 12	0. 012	—
	盐地碱蓬滩 Saline seepweed field	9625	11. 54	2368	6. 31	0. 246	—
	水产养殖塘 Aquiculture Pond	13611	16. 31	6208	16. 54	0. 456	+
	盐田 Salt field	9283	11. 13	4142	11. 04	0. 446	—
	草滩 Grassland	18657	22. 36	12361	32. 94	0. 663	+
	芦苇地 Reed beds	15285	18. 32	11444	30. 49	0. 749	+
	农田 Farmland	5781	6. 93	850	2. 26	0. 147	—
总计 Total		83438	100	37529	100	0. 450	

3 结论

盐城保护区内的建国堤全长 361km^[21],按此路东侧有 1200m 的“生态隔离带”计算,东侧约 433. 2km² 的范围内一般不会出现丹顶鹤。这样建国堤以东可能有鹤分布的区域仅约 2400km²。另据研究,核心区的丹顶鹤平均分布密度约 0. 8~2. 5 只/km²,即每只鹤需空间约 0. 4~1. 25km²^[22]。按此鹤群密度计算:① 1990 年吕士成^[23]即提出,核心区、缓冲区及其周边最适宜栖息的滩涂已不足 1000km²(现今此面积可能更小),按 1000km² 计,保护区的最宜承载力为 800~2500 只丹顶鹤;② 目前 70%左右的丹顶鹤在核心区及附近约 200km² 的范围内活动^[13],这样 160~500 只鹤可容纳在此范围内,整个保护区容纳量约为 229~714 只;③ 近几年,约 80%~90%的鹤集中在核心区与缓冲区,面积共 641km²,这两个区可容纳约 513~1603 只丹顶鹤,则整个保护区最大容纳量约为 570~2004 只。综合以上考虑,得出盐城保护区的承载力为 2000~2500 只丹顶鹤。

曾有人研究了丹顶鹤繁殖生境的巢区领域的容量^[24、25]。本文着眼于越冬生境和限制因子,从栖息地选择、食物的营养量和重量、小生境的影响因素等方面的分析,有一定的难度。本文的主要结论有:① 根据最新的鹤数分布统计,运用 Neu 方法分析各类栖息地,得知丹顶鹤偏爱选择的生境是稻田和草滩,回避的是泥滩、盐田、盐地碱蓬滩,对芦苇地、养殖塘和大米草滩的选择性居中。② 食物和藏身地是丹顶鹤对生境最重要的两方面需求,也即限制因子。估算整个滩涂可利用的食物总量远大于鹤群一个越冬期所需量,说明食物量并非其生境的唯一决定性因素。③ 虽然丹顶鹤摄食量最多的是动物性食物,但笔者对比滩涂各种食物的可利用量与实际利用量之比例,发现其喜食食物反而是食量最小的稻谷和人工玉米饲料,并非其它自然生境中的食物。④ 引用栅格数学模型,引申 Neu 方法的思路,证明丹顶鹤喜爱在淤长型海岸带及食物量大、距道路(人类活动)远、盐度小的地方栖息。⑤ 经初步估算,整个盐城保护区在空间上对丹顶鹤的承载力为 2000~2500 只。目前其数量未达饱和,种群还将增长。食物等“非密度制约因素”是利导因子,而栖息地空间大小等“密度制约因素”是限制因子。在这两类因子的共同作用下,鹤群数量会在波动中上升。

References:

[1] Ma Y Q, Yang G T. The recommendation on the native bird. *Wild Life*, 2004, **25**(2):8~9.
[2] Liu X P, Chen H, Lü S C, *et al.* *Red-crowned Crane*. Shanghai:Shanghai Science and Technology Press, 2000. 53~59.
[3] Chen J, Lu L Y. Study on exploitation of standby land resource at coastal shallows in Jiangsu. *Marine Science*, 1994, **25**(10):23~25.

[4] Wang K. *National Nature Reserves in China* (2nd Volume). Hefei:Anhui Science and Technology Press, 2003. 369~377.

[5] Bailey J A. Translated by Fan Z Y, Song Y L. *The Principles of Wild Animal Management*. Beijing:Chinese Forestry Publishing House, 1991. 321~333.

[6] Errington P L. Factors limiting higher vertebrate populations. *Science*, 1956, **124**:304~307.

[7] Houston D B. Ecosystems of national parks. *Science*, 1971, **172**:648~651.

[8] King R T. The essentials of a wildlife range. *J. For.*, 1938, **36**:457~464.

[9] Leopold A. *Game management*. Charles Scribner's Sons, N. Y., 1933. 481.

[10] Ma Z J, Li W J, Wang Z J, *et al.* The variations of Red-crowned Cranes' habitats in Yancheng Biosphere Reserve and their adaptability. *China's Biosphere Reserves*, 1998, (2):5~8.

[11] Neu C W, Byers C R, Peek J M. A technique for analysis of utilization-availability data. *J. Wildl. Manage.*, 1974, **38**(3):541~545.

[12] Chen C J. The effects of siltation promoting and shore protection by Common Cordgrass fields on tidal flats in Jiangsu. *Bulletin on Oceanography*, 1994, **13**(2): 55~61.

[13] Ma Z J, Qian F W, Wang H. The present situation of Red-crowned Cranes and their habitats in Yancheng Nature Reserve. *China's Ornithology Research*. Beijing:Chinese Forestry Publishing House, 2000. 180~185.

[14] Hobbs N T, Baker D L, Ellis J E, *et al.* Energy- and nitrogen-based estimates of elk winter-range carrying capacity. *J. Wildl. Manage.*, 1982, **46**(1):12~21.

[15] Ma Y Q, Li X M. *Study of Red-crowned Crane*. Shanghai:Shanghai Science, Technology and Education Press, 2002. 183~213.

[16] Ma Z J, Li W J, Wang Z J. *The Natural Conservation of Red-crowned Crane*. Beijing:Tsinghua University Press, 2000. 92~93.

[17] Wang H, Chu G Z, Qian F W, *et al.* A investigation report of Red-crowned Cranes' wintering in National Yancheng Nature Reserve of Jiangsu in year 1999-2000. *China's Ornithology Research*. Beijing:Chinese Forestry Publishing House, 2000. 186~189.

[18] Root T. Energy constraints on avian distribution and abundance. *Ecology*, 1988, **69**:330~339.

[19] Ivlev V S. *Experimental ecology of the feeding of fishes*. New Haven:Yale University Press, 1961.

[20] Li W J, Wang Z J. The establishment of mathematical model of Red-crowned Cranes' wintering habitats. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2000, **11**(6):839~842.

[21] Wu X G, Wang A J, Zhang J X. Study on exploitation and utilization of coastal shallows resource in Sheyang County. *Economic Geography*, 2004, **24**(2):268~271.

[22] Liang H T. The characteristics of coast-zone wetlands in Jiangsu and the conservation of rare birds. *Journal of Nanjing Forestry University*, 1996, **20**(3):44~47.

[23] Lü S C, Zhou S E. A probing of the tendency of Red-crowned Cranes' distribution in Yancheng littoral area. *Nature Magazine*, 1990, **13**(2):101~103.

[24] Hu Y M, Shu Y, Li X Z, *et al.* Change of Red-crowned Crane breeding habitat and the analysis of breeding capacity in Shuangtaihekou National Nature Reserve. *Chinese Journal of Ecology*, 2004, **23**(5):7~12.

[25] Zhang Y H, Liu Z L, Deng W, *et al.* The simulation of water level for crane habitat optimization in Xianghai National Nature Reserve. *Acta Geographica Sinica*, 2003, **58**(2):263~270.

参考文献:

[1] 马逸清,杨广涛. 关于国鸟的建议. 野生动物, 2004, **25**(2):8~9.

[2] 刘希平,陈浩,吕士成,等. 丹顶鹤(中国名鸟丛书). 上海:上海科学技术出版社, 2000. 53~59.

[3] 陈君,陆丽云. 江苏沿海滩涂后备土地资源的开发研究. 海洋科学, 2001, **25**(10):23~25.

[4] 王恺. 中国国家级自然保护区(中册). 合肥:安徽科学技术出版社, 2003. 369~377.

[5] [美]J. A. 贝利. 范志勇,等译. 野生动物管理学原理. 北京:中国林业出版社, 1991. 321~333.

[10] 马志军,李文军,王子健,等. 盐城生物圈保护区丹顶鹤栖息地的变化及其适应性. 中国生物圈保护区, 1998, (2):5~8.

[12] 陈才俊. 江苏滩涂大米草促淤护岸效果. 海洋通报, 1994, **13**(2):55~61.

[13] 马志军,钱法文,王会,等. 盐城自然保护区丹顶鹤及其栖息地的现状. 见:中国鸟类学研究(第四届海峡两岸鸟类学术研讨会文集). 北京:中国林业出版社, 2000. 180~185.

[15] 马逸清,李晓民. 丹顶鹤研究. 上海:上海科技教育出版社, 2002. 183~213.

[16] 马志军,李文军,王子健. 丹顶鹤的自然保护. 北京:清华大学出版社, 2000. 92~93.

[17] 王会,楚国忠,钱法文,等. 江苏盐城国家级自然保护区 1999~2000 年丹顶鹤越冬调查报告. 见:中国鸟类学研究(第四届海峡两岸鸟类学术研讨会文集). 北京:中国林业出版社, 2000. 186~189.

[20] 李文军,王子健. 丹顶鹤越冬栖息地数学模型的建立. 应用生态学报, 2000, **11**(6):839~842.

[21] 吴小根,王爱军,张建新. 射阳县沿海滩涂资源的开发利用研究. 经济地理, 2004, **24**(2):268~271.

[22] 梁海棠. 江苏海岸湿地特征及珍禽保护. 南京林业大学学报, 1996, **20**(3):44~47.

[23] 吕士成,周世锬. 盐城沿海丹顶鹤分布趋势探讨. 自然杂志, 1990, **13**(2):101~103.

[24] 胡远满,舒莹,李秀珍,等. 辽宁双台河口自然保护区丹顶鹤繁殖生境变化及其繁殖容量分析. 生态学杂志, 2004, **23**(5):7~12.

[25] 张艳红,刘兆礼,邓伟,等. 向海自然保护区鹤类生境优化水位的模拟. 地理学报, 2003, **58**(2):263~270.