朱 (*Nipponia nippon*) 栖息地 质量的初步评价^{*}

李欣海¹ 李典谟¹ 丁长青¹ 曹永汉² 卢西荣² 傅文凯²

1 (中国科学院动物研究所, 北京 100080)

2 (陕西省林业厅, 西安 710082)

马志军³ 路宝忠⁴ 翟天庆⁴

3 (北京师范大学, 北京 100875)

4 (陕西省朱 保护观察站, 洋县 723300)

摘要 本文应用地理信息系统,分析了朱 (*Nipponia nippon*) 栖息地洋县的地形、植被、水域和人为干扰的地理特征,根据朱 的喜好将这4种景观因子对朱 的适宜度进行量化,并把这4个图层叠加,得到栖息地对朱 的综合适宜度。对比朱 的实际分布,发现朱 集中分布在适宜度较高的区域内,由此证明这4种景观因子对朱 的重要性。另外,在部分高适宜度区域内从未发现朱 ,所以可能有其它因素影响朱 的分布。

关键词 朱 ,栖息地质量,地理信息系统,保护生物学

A preliminary evaluation of the habitat quality of the Crested ibis (*Nipponia nippon*) / LI Xin Hai¹⁾, LI Di-an-Mo¹⁾, DING Chang-Qing¹⁾, CAO Yong-Han²⁾, LU Xi-Rong²⁾, FU Wen-Kai²⁾, MA Zhi-Jun³⁾, LU Bao-Zhong⁴⁾, ZHAI Tian-Qing⁴⁾

Abstract The habitat quality of the Crested ibis was evaluated. First, we digitized the topographic map, vegetation map, river map, road map, and village map by geographical information system, and gave each map the suitability values according to the favorite degree of the Crested ibis. Then we overlaid these maps to obtain an integrated map of habitat quality. Compared with the actual distribution of the Crested ibis, we found that it always inhabited at the sites of high quality. This indicated that the factors we chose were very important for the Crested ibis. However, we also found that the Crested ibis never inhabited at some sites of high quality. We speculated, therefore, some other factors restricted the distribution of the Crested ibis.

Key words *Nipponia nippon*, habitat quality, geographical information system, conservation biology

Author's address 1) Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

2) Shaanxi Forestry Bureau, Xi'an 710082

3) Beijing Normal University, Beijing 100875

4) The Conservation and Observation Station of the Crested Ibis, Yang County 723300

朱 (*Nipponia nippon*) 是世界上最濒危的鸟类之一。为了研究和保护朱 ,人们在朱 的生态习性^[1,2]、研究史和衰亡过程^[3,4]、生境^[5~7]、分布和数量^[8]、生活习性^[9]、繁殖行为^[10,11]、发育^[12]、卵壳结构^[13,14]、核型分析^[15]、寄生虫^[16]、种群生态^[17~19]、人工保护^[20,21]、人工繁殖^[22~25]和种群生存力分析^[26]等方面作了许多研究。近年来,随着现代信息技术的应用,人们对野生动物的研究由定性描述阶段上升到定量分析阶段。在国外,地理信息系统已经应用于动物的分布和数量调查^[27]、野生动物管理^[28]、栖息地的利用^[29]、生境变化的影响^[30]、

* 收稿日期:1998-11-26;修改稿收到日期:1999-02-23

* 中国科学院重大项目 KZ951-A1-105 资助

空间精确性种群动态的模拟^[31,32]等领域。在我国,类似的研究还很少。欧阳志云应用地理信息系统研究了卧龙大熊猫的分布与生境的关系^[33]。本文利用地理信息系统分析朱 的栖息地质量,探索了利用量化指标进行空间精确性生境评价的方法,从而为朱 的保护提供参考。

1 朱 栖息地的景观特征

1.1 位置和地形

洋县北依秦岭,南靠巴山,秦巴山系在东部相迎,汉江自西向东横贯全县,形成三面环山、一面迎川的地势。洋县在地形上属于汉中盆地的一部分,其地貌特点是以汉江为起点向南北呈台阶式上升。最低海拔在黄金峡乡的白沙渡,为 389.7 m;最高海拔在秦岭主峰太白山东南的活人坪梁,为 3071 m。秦岭山系主要岩石有花岗岩和片麻花岗岩。河流受岩性和地质构造的影响,峡谷与宽沟交替出现,山高沟深,坡陡石露,并有许多山间断陷盆地。巴山北沿地带由砂岩和页岩组成,河谷开阔,山坡缓和。全县山地占 72.2%,丘陵占 21.2%,平原占 6.6%。

目前朱 的野生种群长年生活在 E 107°17'~107°44'、N 33°8'~33°35' 之间,位于秦岭的南坡,包括洋县的大部分和城固的一部分地区,面积 3000 km² 左右。根据朱 的活动规律和栖息地的特点,可把栖息地分为繁殖区、游荡区和越冬区。

繁殖区位于秦岭南坡的中低山区,海拔 840~1200 m。山峰的相对高度多在 500 m 左右,坡度多在 40°以上。沟谷深切,气候较为寒冷,种植业受到限制,作物一年只能一熟。人口密度较小,交通闭塞,环境幽静。森林覆盖率在 60%以上,优势种为栎、松类。沟内河边有一定面积的冬水田,环境基本未受污染。游荡区位于汉江支流两岸的丘陵平坝区,占栖息地总面积的 95%以上,海拔为 450~840 m。丘陵区有呈块状分布的次生林,河流水库密布,有大面积的水田、旱地和草坡,是朱 游荡期主要的夜宿地和觅食地。平坝地区为农业区,有大片的水田,水库、池塘、沟渠和溪流众多。越冬区位于繁殖区和游荡区之间,是朱 从游荡活动进入繁殖区的过渡地带。

2 栖息地的数字化和对朱 的适宜度

我们购买了军事地形图(1:100000)和植被图,选择植被、地形、河流、道路和乡镇这些对朱 有明显生物学意义的生境因子,将其用地理信息系统 Arc/Info 数字化,形成不同的矢量图层(coverage),然后转换为 GRID 模块下的栅格图层,构成朱 栖息地的底图。这个底图包括洋县的植被图(17种植被类型,1995年绘)、地形图(200 m至2600 m,每200 m一条等高线)、河流(1700余条干、支流)、水库(70余个)、公路(482 km)、铁路(20 km)和乡镇(县城和47个乡镇)。朱 的生活史在一年内分为繁殖期、游荡期和越冬期,在不同时期植被和地形对朱 的适宜度是不同的。我们参照生境评价的综合评价法,根据朱 在不同生境中出现的频率,确定生境斑块的适宜度,其中最优生境适宜度为1,最差生境适宜度为0。

为了便于叠加运算,我们把洋县划分为13192个大小为500×500 m²的网格,假定网格内生境是均一的,每个网格有一个适宜度,不同网格的适宜度可能相同或不同。

2.1 植被的数字化和适宜度的转化

洋县地处山区,植被类型比较复杂(图1)。不同的植被类型、同一植被类型在不同时期对朱 都有着不同的适宜程度(表1)。农田(主要指稻田)是朱 的主要觅食地。在朱 的游荡期初期因水稻长高,朱 无法进入,在游荡期的后期因轮作油菜等旱地作物,使它的适宜度下

图 1 不同植被类型不同时期对朱 的适宜度
Fig. 1 The suitability of different vegetation types in different seasons
生境斑块的适宜度由深色到浅色分别为 1、0.75、0.5、0.25 和 0.15
The suitability of the patches are 1, 0.75, 0.5, 0.25 and 0.15, respectively, according to the colors from dark to light

表 1 不同植被类型对朱 的适宜度

Table 1 The suitability to the *Nipponia nippon* of different vegetation types

植被类型 Vegetation type	时 期 Season	适宜度 Suitability
马尾松林 <i>Pinus massoniama</i> forest		1
栎桦林 <i>Quercus-Betula</i> forest		1
针阔混交林 Conifer-broadleaf forest		0.75
柏树林 <i>Cypressus funebris</i> forest		0.5
油松林 <i>Pinus tabulaeformis</i> forest		0.5
农田 Cropland	繁殖期 Breeding season	1
	游荡期 Wandering season	0.25
	越冬期 Wintering season	0.5
荒山荒地 Derelict land		0.15
薪炭林 Fuel forest		0.25
灌木林 Shrubland		0.25
沙滩 Sand		0.15
经济林 Economic forest		0.25
冷杉林 <i>Abies fabri</i> forest		0.25

降。现在朱 的巢树为栓皮栎和马尾松 ,因此栎桦林和马尾松林对朱 有较高的适宜度。朱 在柏树林和油松林中出现的频率较低 ,故其对朱 的适宜度较低。

2.2 地形的数字化和适宜度的转化

朱 的栖息地处于秦岭的南坡 ,地形比较复杂。不同海拔高度、同一海拔高度在不同时期对朱 的适宜度也不同(表 2 和图 2)。

表 2 不同海拔高度对朱 的适宜度

Table 2 The suitability of different altitudes for the *Nipponia nippon* in Yang County

时间 Time	海拔(米) Altitude (m)	适宜度 Suitability
繁殖期 Breeding season	200 ~ 600 ,1800 ~ 2800	0.15
	600 ~ 800 , 1400 ~ 1800	0.25
	800 ~ 1400	1
游荡期 Wandering season	1400 ~ 2800	0.15
	200 ~ 400 , 800 ~ 1400	0.25
	400 ~ 800	1
越冬期 Wintering season	200 ~ 400 ,1600 ~ 2800	0.15
	400 ~ 600 ,1200 ~ 1600	0.25
	600 ~ 1200	1

图 2 不同海拔高度在不同季节对朱 的适宜度
Fig.2 The suitability of different altitudes in different seasons
白色、灰色和黑色的区域的适宜度分别为 0.15、0.25 和 1
The white , gray and black area indicate the suitability of 0.15 , 0.25 and 1 , respectively

2.3 道路、乡镇和河流的数字化及其适宜度的转化

朱 对人类的活动十分敏感,距离乡镇和道路越近,其出现频率越低。所以我们根据距人类活动的远近而设定了核心区(道路两侧各 500 m,乡镇中心外围 1000 m)和边缘区(道路核心区外围 500 m,乡镇核心区外围 1000 m),不同区域对朱 的适宜度不同。由于道路和乡镇都表示人为干扰对朱 的影响,所以把二者合并,表示人为干扰对适宜度的综合作用(表 3 和图 3)。

由于朱 是涉禽,河流、水库等湿地是其典型的适宜生境,湿地(河流、水库及其外围 250 m)和其它地区也意味着不同的适宜程度(表 3 和图 4)。

表 3 河流、道路和乡镇区域对朱 的适宜度
Table 3 The suitability of river , road and village for *Nipponia nippon* in Yang County

景观类型 Landscape types	区域 Zones	适宜度 Suitability
道路 Road	核心区 Core	0.15
	边缘区 Buffer	0.25
	其他 Others	0.5
乡镇 Village	核心区 Core	0.15
	边缘区 Buffer	0.25
	其他 Others	0.5
河流 River	核心区 Core	1
	其他 Others	0.5

图 3 洋县人为活动区的核心区、缓冲区和其它地区的适宜度
Fig. 3 The suitability of core , buffer of human affected area and other areas in Yang County
白色、灰色和黑色区域的适宜度分别为 0.15、0.25 和 1
The white , gray and black areas indicate the suitability of 0.15 , 0.25 and 1 , respectively

图 4 洋县境内的湿地
Fig.4 The wetland in Yang County
湿地的适宜度为 1,其他区域的适宜度为 0.5
The suitability of wetland is 1 , the suitability of other area is 0.5

2.4 朱 生境的总适宜度

最后,把不同季节的图 1、2、3 和 4 这 4 个图层的适宜度叠加起来,形成总的适宜度(图 5)。

图5 不同时期朱 生境的综合适宜度

Fig. 5 The integrated suitability of the habitat of *Nipponia nippon* in different seasons

生境斑块的适宜度由浅到深色分别为 0~0.2、0.2~0.4、0.4~0.6、0.6~0.8 和 0.8~1

The suitability of the patches are 0~0.2, 0.2~0.4, 0.4~0.6, 0.6~0.8 and 0.8~1, 0.75, 0.5, 0.25 and 0.15, respectively, according to their colors from light to dark

2.5 对朱 栖息地质量的评价

洋县境内朱 栖息地适宜度从0至1的5个等级中,处于0.2~0.6的中等水平的占62.2%。而且栖息地破碎化比较严重(图5),没有大面积的各方面都较好的生境。与邻县相比,佛坪县植被条件较好,人口密度也比洋县低,但适宜朱 觅食的湿地不多;城固县水网密布,适宜朱 觅食的湿地很多,但人口密集。总体而言,洋县栖息地质量处于中等水平,比周围区域的栖息地质量好。

对照朱 生境的适宜度(图5)和它的实际分布(图6),我们发现朱 仅分布在高适宜度(大于0.6)的区域。所以,上述4种景观因子对朱 的限制作用非常明显。另外,有部分高适宜度区域从未有朱 分布,例如汉江南岸的部分地区。这些区域离朱 分布区并不太远(约10~50 km),朱 很容易飞到。因此有可能有其它因素影响朱 的栖息地选择。

如果朱 只栖息在适宜度大于0.6的生境中,那么洋县境内只有717 km²的适宜生境。如果朱 在繁殖区的领域面积为6 km²,那么在洋县朱 的环境容纳量为120对朱 组成的有效种群。

表 4 朱 生境中不同适宜度斑块的面积 (每个网格面积为 0.25 km²)
Table 4 The area of patches of different suitabilities for the *Nipponia nippon* (the area of each grid is 0.25 km²)

适宜度 Suitability index	繁殖期 Breeding season	游荡期 Wandering season	越冬期 Wintering season	百分率 Proportion
0 ~ 0.2	527	831	754	16.00 %
0.2 ~ 0.4	1575	1850	1513	37.40 %
0.4 ~ 0.6	1149	1139	985	24.80 %
0.6 ~ 0.8	907	485	905	17.40 %
0.8 ~ 1	239	93	240	4.30 %

图 6 朱 在 1998 年的繁殖期、1997 年的游荡期和 1997 年的越冬期的分布图
(符号大小表示种群大小)
Fig. 6 The distribution of *Nipponia nippon* in breeding season in 1998 , in wandering season in 1997 and in wintering season in 1997 (Dots indicate the relative population sizes)

3 讨论

动物的生境选择问题十分复杂,至今还没有一个统一的结论^[34]。一般地,动物对生境的选择遵循“经济原则”,即以最小的代价(能量消耗、被捕食的风险等)获取最多的收益(食物、配偶等)^[35]。另外,在有一定社群结构的动物种群中,不同个体的生境选择是相互影响的,等级最高的个体占据最优生境,其它个体占据周围较差的生境^[36]。所以,生境对动物的优劣取决于生境的食物丰富度、安全性、竞争物种、种间关系和理化条件等诸多因素。

进行动物生境评价的方法很多,主要有挑选法、排列法、定级法、综合评分法、判别排序法和生境模糊综合评价法等^[37,38]*。本文应用的方法类似综合评分法,该方法易于分析和评价,但是有一定的主观性;而且,本文假设 4 种生境因子对朱 适宜度影响的权重相等。进一步的研究需要积累大量数据,包括朱 生境各项生境因子的指标和朱 出现的频率,然后统计分析出现频率和生境因子之间的关系,确定不同生境因子对朱 适宜度的权重和适宜度。

本文没有直接考虑生境的食物丰富度。因为这个数据难以准确获得,而且它每年变化较

* 马志军. 盐城生物圈保护区丹顶鹤越冬生境演变及生境选择. 博士学位论文. 北京:中国科学院生态环境研究中心,1998, 109 ~ 114

大。文中植被类型和湿地的适宜度在很大程度上反映了食物的丰富度。本文没有考虑气候因素的作用。实际上,在朱 的栖息地中,海拔和气候有明显的相关性。在洋县,只有县气象局有一个观测点,缺乏栖息地内每个网格的气候资料,因此这里用海拔代表局部气候,来表示朱 对生境中水、热等条件的要求。

由于缺乏邻近县市的资料,无法把洋县的栖息地质量同周围地区进行比较研究。总体上看,邻近县市中地势低缓的大多河流众多,食物丰富,但人为干扰较为严重,如城固县;地势较高的缺乏浅水、稻田等觅食地,如佛坪县。所以邻县生境的综合条件比洋县差。

应用地理信息系统进行栖息地质量评价,能够方便地计算出每个斑块的数量值,而且具有空间精确性,可以为具体的保护区规划和管理提供有意义的参考。

朱 栖息地的综合状况为:1)繁殖区交通闭塞,人口稀少,没有工业,农业粗放。朱 在繁殖期间遭受的人为干扰相对较少,但仍有几方面需要改善:一是冬水田面积较少,不能充分满足朱 越冬期和繁殖期对食物的要求;二是当地农民为了烧柴、种植香菇或木耳、烧炭、开荒等而毁林;三是外地人流入繁殖区从事养蜂、收购中药等副业,干扰了朱 的栖息与繁衍;四是繁殖区仍偶有偷施农药、化肥的现象。针对这些问题,朱 站的工作人员在广泛宣传的同时加强了管理。由于繁殖区面积不大,管理工作效果明显。另外,由于生存资源所限,繁殖区的人口增长缓慢,而且许多山区的人口向城里搬迁,使那里的人口逐渐减少。因此,从长远来看,朱

在繁殖区的生存环境可望逐步改善。2)朱 游荡区最优栖息地(适宜度大于0.6)面积比繁殖区(26%)和越冬区(26%)少,仅为13%。该区人口稠密,交通方便,工农业较发达,对朱 生存构成威胁的因素很多:一是人们日常生产和生活活动对朱 的干扰很大,人类活动也改变了适宜朱 生存的景观;二是厂矿企业的部分职工喜欢狩猎,猎杀朱 的事件随时都可能发生;三是工厂集中,公路四通八达,排放的各种废物对大气、水和食物造成一定程度的污染;四是耕作制度改变,单季水稻变为稻、麦或稻、油菜等双季作物,减少了水田,再加上因江河岸边的滩地被改造为农田或取土烧砖等使湿地减少,导致觅食区的面积和食物量大大减少;五是游荡区大量施用农药和化肥,使环境和食物受到污染。近年来,随着人口的增加和社会、经济的发展,朱 游荡区的环境恶化程度不断加剧,威胁朱 安全的因素越来越多。而且,朱 游荡区人口多,面积大,管理工作的难度很大。因此,从长远来看,朱 在游荡期的安全是非常令人担忧的。如果能在合适的地方建立人工湿地和树林,吸引朱 前来觅食和夜宿,比朱 四处游荡遇到危险的可能性要小得多。县城北面的纸坊乡周家坎村是朱 饲养场的所在地,环境比较安静,有成片的树林,饲养的朱 在那里安详地生活,野生的朱 经常在那里落脚,甚至在笼舍上休息和走动。饲养场前面稻田的地势低平,旁边有一条小河,是较为理想的建立湿地的地方。洋县境内类似的地方还有不少,目前面临的主要是征地所需的经费问题。3)朱 的越冬区位于繁殖区和游荡区之间,兼有两区的特点。朱 在越冬区停留的时间相对较短。

参 考 文 献

- 1 刘荫增. 朱 在秦岭的重新发现. 动物学报, 1981, 27(3): 273
- 2 刘荫增. 濒危和主要经济动物介绍: 朱 . 动物学杂志, 1987, 22(1): 41 ~ 43, 13
- 3 史东仇, 于晓平, 许树华等. 朱 的研究史略. 西北大学学报(增刊), 1991, 21: 1 ~ 14, 36
- 4 史东仇, 于晓平, 范传道等. 朱 衰亡过程之叙述. 西北大学学报(增刊), 1991, 21: 25 ~ 30
- 5 王中裕, 李晓华, 郑晓斌等. 朱 觅食地的生态观察. 生态学杂志, 1985, (2): 10 ~ 12
- 6 王中裕, 张宏杰, 翟天庆. 朱 的分布和栖息环境. 汉中师院学报(自然科学版), 1993, 11(1): 63 ~ 67
- 7 史东仇, 于晓平, 路宝中等. 朱 的食性资料和游荡期的食物丰度. 西北大学学报(增刊), 1991, 21: 37 ~

- 8 翟天庆,路宝忠. 陕西省洋县朱 的分布和数量. 汉中师院学报,1991,(1):72~74
- 9 王中裕,张宏杰,翟天庆. 朱 年活动规律研究. 汉中师院学报(自然科学版),1993,11(2):59~63
- 10 史东仇,于晓平,常秀云等. 朱 的繁殖习性. 动物学研究,1989,10:327~331
- 11 翟天庆,王中裕,张宏杰. 两岁朱 繁殖生态的研究. 生态学报,1994,14:99~101
- 12 史东仇,于晓平,路宝中等. 朱 雏鸟的生长发育与行为的研究. 西北大学学报(增刊),1991,21:15~24
- 13 李福来,秦在贤,滕怀妹. 朱 卵壳的微观结构和成分研究. 动物学研究,1990,11:173~176
- 14 史东仇,于晓平,曹永汉等. 朱 卵壳超微结构和成分的对比研究. 西北大学学报(增刊),1991,21:31~36
- 15 刘凌云,王宝贵,郭学聪等. 朱 的染色体性别鉴定及核型分析. 北京师范大学学报(自然科学版),199,28:554~557
- 16 邱兆祉,刘世修,曹永汉. 从朱 感染的蠕虫病看濒危动物衰败的一个重要原因. 见:中国科学院生物多样性委员会等编,生物多样性与人类未来(第二届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文摘要汇编),北京,1996,32~33
- 17 史东仇,于晓平,路宝中等. 朱 的繁殖成功率统计. 西北大学学报(增刊),1991,21:43~48,159
- 18 王中裕,翟天庆,张宏杰等. 朱 的环志情况及其生命表的分析研究. 西北大学学报,1994,24(1):1~5
- 19 王中裕,翟天庆,张宏杰等. 1981~1994年朱 繁殖数量及其动态的研究. 汉中师范学院学报(自然科学),1995,13(1):54~59
- 20 路宝忠. 朱 的人工投食. 野生动物,1989(5):23~24,33
- 21 曹永汉,卢西荣. 中国朱 保护现状与对策. 中国林业,1994(1):28~29
- 22 李福来,黄世强. 关于朱 繁殖习性的调查. 生物学通报,1986(12):6~8
- 23 李福来,高熙敬. 朱 稚后换羽研究. 野生动物,1989(5):21~22
- 24 李福来,刘斌,史森明等. 朱 迁地保护研究. 生物多样性,1994,2(1):24~28
- 25 Li F, Liu B, Shi S et al. . First captive breeding of oriental crested ibis (*Nipponia nippon*). *Colonial Water birds*, 1995 18(1):23~29
- 26 李欣海,李典谟,路宝忠等. 朱 种群生存力分析. 生物多样性,1996,4(2):69~77
- 27 Butler W I Jr, Stehn R A, Balogh G R. GIS for mapping waterfowl density and distribution from aerial surveys. *Wildlife Society Bulletin*, 1995, 23(2):140~147
- 28 Lewis D M. Importance of GIS to community based management of wildlife: lessons from Zambia. *Ecological Applications*, 1995, 5(4):861~871
- 29 Hutchinson B, Duchesne C, Schryver H. GIS analysis of habitat use by massasauga rattlesnakes in Bruce Peninsula National Park. In: Johnson B, Menzies V (eds). *International Symposium and Workshop on the Conservation of the Eastern Massasauga Rattlesnake *Sistrurus catenatus catenatus*: Proceedings of a Symposium and Workshop Sponsored by the Metropolitan Toronto Zoo*, 1993:45~47
- 30 Tietje W, Bremer W, Craig T et al. Use of GIS in determining development effects on wildlife in oak woodlands. *Transactions of the Western Section of the Wildlife Society*, 1995, 31:7~11
- 31 Liu J, Dunning J B Jr, Pulliam H R. Potential effects of a forest management plan on Bachman's sparrows (*Aimophila aestivalis*): linking a spatially explicit model with GIS. *Conservation Biology*, 1995, 9(1):62~75
- 32 Harris L K, Gimblett R H, Shaw W W. Multiple use management: using a GIS model to understand conflicts between recreationists and sensitive wildlife. *Society Natural Resources*, 1995, 8(6):559~572
- 33 欧阳志云,张和民,谭迎春等. 地理信息系统在卧龙自然保护区大熊猫生境评价中的应用研究. 中国生物圈保护区,1995(3):13~18
- 34 Rosenzweig M L. Some theoretical aspects of habitat selection. In: Cody M L (ed.), *Habitat Selection in Birds*, New York: Academic Press, 1985
- 35 Drickamer L C, Vessey S H, Meikle D. Animal Behavior. London: W M. C. Brown, 1994, 257~273
- 36 Fretwell S D. Population in Seasonal Environment. Princeton NJ: Princeton University Press, 1972
- 37 陈华豪,高中信,袁述. 用综合评分法和判别排序法对丹顶鹤繁殖生境进行评价分析. 见:黑龙江省林业厅主编,国际鹤类保护与研究,北京:中国林业出版社,1990,61~65
- 38 高中信,陈华豪,陈化鹏等. 动物生态学实验与实习方法. 哈尔滨:东北林业大学出版社,1992,1~280