

山西芦芽山褐马鸡越冬栖息地选择的多尺度研究

张国钢^{1,2}, 郑光美^{1*}, 张正旺¹, 郭建荣³, 王建平³, 宫树龙³

(1. 北京师范大学生物多样性与生态工程教育部重点实验室, 北京 100875; 2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091; 3. 山西省芦芽山自然保护区, 山西 036007)

摘要:1998~2000 年在山西芦芽山自然保护区对褐马鸡的越冬栖息地选择进行了研究。采用 4 种空间尺度(10m、100m、300m 和距离尺度), 对影响褐马鸡越冬栖息地选择的主要因子进行了深入分析, 并建立了褐马鸡越冬栖息地选择的逻辑斯谛回归模型。在 300m 尺度上, 活动点和非活动点的生境类型有针叶林、针阔混交林、灌木林和草丛等。活动点周围针叶林面积显著高于非活动点($F=-3.116, P=0.002$), 虽然针阔混交林在两者中的面积比例都较小, 但活动点周围针阔混交林的面积明显地低于非活动点($F=-2.255, P=0.024$), 在灌木林和草丛的面积上两者无显著差异。这表明褐马鸡在 300m 尺度上喜欢活动于针叶林较多的地域, 由于冬季针阔混交林不如针叶林能提供很好的隐蔽条件, 褐马鸡避免选择针阔混交林; 在 100m 尺度上, 活动点和非活动点的生境类型有针叶林、针阔混交林和草丛, 无灌木林生境, 活动点的针叶林面积明显地高于非活动点($F=-2.931, P=0.003$)。这表明褐马鸡在 100m 尺度上虽然倾向于选择针叶林, 但对其它类型的生境如针阔混交林和草丛是可以利用的, 这可能与其广泛取食活动有关。褐马鸡大尺度上的隐蔽条件满足以后, 在小尺度上主要是为了获取更为丰富的食物。在距离尺度上活动点距居民点的距离、距道路的距离显著大于非活动点($F=15.621; 6.048, P=0.000; 0.018$)。通过逐步逻辑斯谛回归分析, 发现距灌草丛的距离、距居民点的距离、100m 范围内针叶林的面积、树高以及食物的丰盛度是冬季褐马鸡栖息地选择的重要因子。以另外一个研究地收集的数据对所建立的栖息地选择模型的可靠程度进行了检验, 结果表明该模型能有效地对褐马鸡的越冬栖息地进行预测。

关键词:褐马鸡; 栖息地; 越冬期; 尺度; 逻辑斯谛回归

文章编号:1000-0933(2005)05-0952-06 **中图分类号:**Q143, Q958.1 **文献标识码:**A

Scale-dependent wintering habitat selection by brown-eared pheasant in Luyashan Nature Reserve of Shanxi, China

ZHANG Guo-Gang^{1,2}, ZHENG Guang-Mei^{1*}, ZHANG Zheng-Wang¹, GUO Jian-Rong³, WANG Jian-Ping³, GONG Shu-Long³ (1. Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity and Ecological Engineering, College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China; 3. Luyashan National Nature Reserve, Shanxi 036007, China). *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25 (5): 952~957.

Abstract: The selection of different spatial scales is critical when investigating ecological processes, because different patterns emerge in spatial data at different scales. The wintering habitat selection of Brown-eared Pheasant *Crossoptilon mantchuricum* was studied on four spatial scales (10m, 100m, 300m and distance scale) in Luyashan Nature Reserve of Shanxi from 1998 to 2000. At the 300m scale, the area of coniferous forests around selected sites was larger than that of unselected sites ($F=-3.116, P=0.002$), and the area of coniferous-deciduous mixed forests was less than that of unselected sites ($F=-2.255, P=0.024$), though the percent area of mixed forests was lower around the two kinds of sites. In addition, there was no

基金项目:国家自然科学基金重点资助项目(30330050)

收稿日期:2004-04-18; **修订日期:**2005-03-10

作者简介:张国钢(1973~), 男, 山西人, 博士, 助理研究员, 主要从事鸟类生态学研究。E-mail: zm7672@caf.ac.cn

* 通讯作者 Author for correspondence. E-mail: zhenggm@bnu.edu.cn

Foundation item: the Key Program of National Science Foundation of China(No. 30330050)

Received date: 2004-04-18; **Accepted date:** 2005-03-10

Biography: ZHANG Guo-Gang, Ph. D., mainly engaged in ornithology ecology. E-mail: zm7672@caf.ac.cn

difference for shrubs and grass. The results at the 300m scale show that the pheasants prefer to use coniferous forests rather than use mixed forests that cannot supply better shield in winter. At the 100m scale, there were no shrubs, and the area of conifer forests around the selected sites was also larger than that of unselected sites ($F = -2.931, P = 0.003$), but for mixed forests and grass, there was no difference between the two kinds of sites. The results suggest that the pheasants occur in coniferous forests, and also freely use mixed forests and grass at the 100m scale. So it is concluded that after the better shields are satisfied on larger scale, Brown-eared Pheasant can take more food by using all available habitats on smaller scale. The distance scale applied showed some variables, such as the distance to villages and roads, had significant differences between the selected and unselected sites ($F = 15.621; 6.048, P = 0.000; 0.018$). Furthermore, the model based on data collected at four different spatial scales was developed by stepwise logistic regression. Presence of Brown-eared Pheasant was best predicted by the distance to shrubs, distance to villages, area of coniferous forests of 100m around the selected sites, height of trees and food richness. We tested the model's ability to predict the presence of Brown-eared Pheasant by an independent data set collected at another study area in this nature reserve. In general, the model has a good ability to predict the presence of Brown-eared Pheasant.

Key words: brown-eared pheasant; habitat; wintering; scales; logistic regression

褐马鸡(*Crossoptilon mantchuricum*)是世界易危鸟类之一(IUCN, 2000),被我国列为濒危物种^[1]。它是栖息于山地森林、以植物性食物为主的地栖性鸟类。由于地理屏障(黄河)以及自然植被(太行山植被)的破坏,其分布区已被严重分割成 3 个区域,分别形成 3 个亚种群:山西吕梁山脉的中部种群;河北与北京地区的东部种群和陕西的西部种群^[2]。近些年来,对于该物种的生物学和生态学已进行过许多的报道^[3,4]。但关于其栖息地选择的研究还不够充分,尤其缺乏对越冬期间栖息地选择的研究。随着研究尺度的变化,对栖息地特征的分析可产生不同的结果^[5,6]。而通过在多个尺度上对栖息地进行深入研究,所得到的结果可以更好地应用于对濒危物种的保护和栖息地管理之中^[7~9]。为此,于 1998~2000 年的冬季在山西省芦芽山保护区采用多种空间尺度对褐马鸡越冬栖息地的特征进行了研究,建立越冬栖息地模型,并对模型的可信度进行了检验,希望研究结果对该保护区的管理提供科学依据。

1 研究地点

芦芽山国家级自然保护区位于吕梁山脉的北端,地理坐标为 $111^{\circ}50' \sim 112^{\circ}5'E, 38^{\circ}35' \sim 38^{\circ}45'N$ 。保护区总面积 214.53 km^2 ,其中核心区 55.67 km^2 ,缓冲区 158.86 km^2 。海拔 $1346 \sim 2787 \text{ m}$,相对高差 1441 m 。年降水量 $500 \sim 600 \text{ mm}$,全年无霜期 $90 \sim 120 \text{ d}$ 。华北落叶松(*Larix principis-rpprechtii*)和油松(*Pinus tabulaeformis*)为本区的优势树种。

在保护区内选择了两个研究地:(1)车道沟村周围的森林。植被以油松为主,约占林地面积的 60%,间有零星分布的辽东栎(*Quercus liaotungensis*)、山杨(*Populus davidiana*)、红桦(*Betula koraiensis*)和白桦(*B. platyphylla*)林。林缘植被多为沙棘(*Hippophae rhamnoides*)灌丛。野外调查时间从 1998~2000 年,连续 3 年的冬季。(2)梅洞村以东的森林。以油松为主要的优势种,约占林地面积的 53%,阔叶林的面积也较大,成片分布,主要为辽东栎和杨桦林。野外调查时间为 2000 年的冬季。

2 研究方法

2.1 褐马鸡活动位点的调查

采取样带法(Line transect method)对野生褐马鸡的活动位点进行调查。在研究区内共选取不重叠的样带 16 条,其中车道沟 9 条,梅洞 7 条。由于冬季视野范围较为开阔,据野外经验,将样带单侧宽度设为 100m,这基本上是调查人员肉眼可以看到的较远距离。根据褐马鸡的活动习性,将野外调查时间选定为 $8:00 \sim 10:00$ 和 $16:00 \sim 18:00$ 。褐马鸡的活动点是指遇见褐马鸡实体或其活动痕迹(如新鲜粪便、取食痕迹较密集的地方)的位点。由于冬季褐马鸡主要取食松子和草根^[3]。在调查过程中,会发现局部的地面上有大量的取食痕迹和新鲜的粪便,而且粪便形状和大小与同域分布的环颈雉有明显区别,这些区域确定为活动位点。由于在越冬期,褐马鸡的活动范围比较稳定^[3],在 3a 的调查过程中发现,在一些区域既没有发现褐马鸡的实体,也没有见到任何活动痕迹的地方,这些区域判定为非活动点。对活动点和非活动点均利用 GPS 进行定位。此外,在雪后还根据褐马鸡的足迹链确定了一些活动位点。

2.2 栖息地变量的选取

选取 4 个空间尺度来研究褐马鸡越冬期的栖息地特征,对活动点和非活动点变量的测量是相同的。分别选择了 10m、100m 和 300m 研究尺度。10m 尺度,是对褐马鸡活动点的微生境特征进行研究。100m 和 300m 尺度是针对活动点周围的生境特征进行研究。在进行褐马鸡活动位点调查时,样带单侧宽度设为 100m。刘焕金等^[3]曾报道褐马鸡栖宿地与日间最远的觅食地相距约 300m,这可能是褐马鸡日活动的最远距离,因此选择了 300m 作为对褐马鸡周围生境特征测量另一研究尺度。

以 GPS 定位点为中心,分别在 100m 和 300m 为半径的圆形区域内,研究褐马鸡所选择的栖息地特征。

(1)10m 尺度 在 10m 样方内获取海拔(ALT,利用海拔表量测)、坡度(SLO,利用指北针上的坡度仪量测)、坡向(ASP,利用指北针量测)、胸径(DBH,指样方内胸径大于 4cm 乔木的平均胸径)、树高(HIG)(指样方内胸径大于 4cm 乔木高度的平均值)、高层盖度(C,指树冠的覆盖度,估测值,用百分比表示)、低层盖度(C0,指 50cm 以下的覆盖度,估测值,用百分比表示)、食物丰盛度(FOOD,估测值,分两个等级,即多=1;少或无=0)。

(2)100m 尺度 以定位点为中心,100 m 半径范围内针叶林的面积(ZY1)、针阔混交林的面积(ZK1)和草丛的面积(GC1)。

(3)300m 尺度 以定位点为中心,300m 半径范围内针叶林的面积(ZY3)、针阔混交林的面积(ZK3)、灌木林的面积(GM3)和草丛的面积(GC3)。

(4)空间距离尺度 包括 4 个变量,即活动点或非活动点距灌草丛的最近距离(D1)、距居民点的距离(D2)、距道路的距离(D3)和距所在森林中心点的距离(D4)。

(2)和(3)中各变量的数值是将研究地区的植被图数字化后通过 MapInfo GIS 软件直接获取的。

2.3 数据处理

采用 MapInfo GIS 软件将 2 个研究地的植被图(1:10000)进行地理配准、矢量数字化,生境类型包括针叶林、阔叶林、灌木林、草丛、农田。将 GPS 的定位点(包括活动点和非活动点)经纬度坐标导入植被图中,进行叠置分析。

对以 100m 和 300m 为半径的缓冲区内各栖息地类型的面积、距灌草丛的距离(D1)、距居民点的距离(D2)、距道路的距离(D3)和距所在森林中心点的距离(D4)进行单因素的方差分析(One-way ANOVA),比较活动点与非活动点的生境特征在上述各变量上差异的显著性水平。在车道沟研究地共抽取活动点样方 68 个,非活动点样方 23 个。采用逐步逻辑斯谛回归(Stepwise Logistic Regression)方法,确定褐马鸡栖息地选择的主要影响因子。变量进入回归模型的显著水平设定为 $P=0.05$ 。

利用梅洞褐马鸡种群的分布数据对模型的预测能力进行检验,用于检验的数据包括活动位点和非活动位点两组数据。梅洞植被图见图 1。在梅洞共抽取活动点样方 31 个,非活动点样方 30 个。选取栖息地的适宜性 $P=0.5$ 作为褐马鸡存在与否的分割点,当 $P>0.5$ 时,表明栖息地适宜,有褐马鸡分布; $P<0.5$ 时,表明栖息地不适宜,没有褐马鸡分布。采用 Michael 等^[10] Somer's D 指数,作为反映模型预测能力的指标:

$$D = (nc - nd)/t$$

式中, nc 为预测和实际分布相一致的位点的配对数; nd 为预测和实际分布不一致的位点的配对数; t 为总配对数。 D 值在 -1 和 1 之间, D 值越大,表明模型的预测能力越强。数据的统计分析是在 SPSS11.0 软件上完成的。

2.4 梅洞栖息地适宜性分析

根据逻辑斯谛回归得出的影响褐马鸡栖息地主要越冬因子,在 MapInfo 软件中分别对梅洞栖息地建立各因子的图层,每个图层按 3 个水平划分,分别为 0.1、0.15 和 0.2。然后将各图层进行叠置,对梅洞栖息地进行适宜性分析。

3 研究结果

3.1 活动点与非活动点生境特征的比较

在 100m 尺度上,活动点和非活动点的生境类型有针叶林、针阔混交林和草丛,无灌木林生境,活动点的针叶林面积明显地高于非活动点($F=-2.931, P=0.003$)。针阔混交林和草丛的面积无显著差异。在 300m 尺度上,活动点和非活动点的生境类型有针叶林、针阔混交林、灌木林和草丛等。活动点针叶林面积明显地高于非活动点($F=-3.116, P=0.002$),虽然针阔混交林在两者中的面积比例都较小,但活动点周围针阔混交林的面积明显地低于非活动点($F=-2.255, P=0.024$),而在灌木林和草丛的面积上两者无显著差异(见图 2、图 3)。

活动点距居民点的距离、距道路的距离均显著高于非活动点($D2: F=15.62, P=0.000; D3: F=16.048, P=0.018$),但在距灌草丛的最近距离和距森林中心点的距离上两者差异不明显(见图 4)。

3.2 越冬栖息地选择因子及其模型的建立

3.2.1 影响栖息地选择的因子 逻辑斯谛回归筛选的变量、回归系数 B 值及其标准误和显著性见表 1。

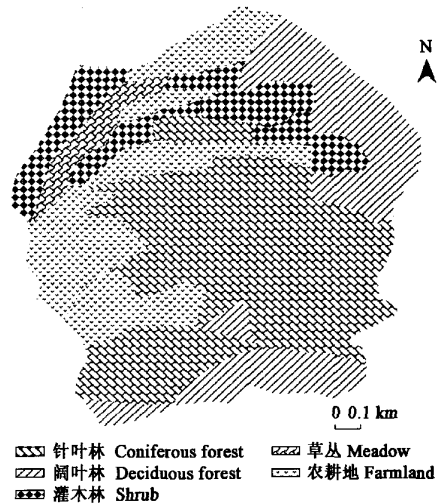


图 1 梅洞栖息地植被图

Fig.1 Vegetation map of Meidong habitats

300m 尺度上的因子均未进入回归模型,表明该尺度对褐马鸡越冬栖息地选择的影响较小;100m 尺度上,针叶林的面积是唯一进入模型的变量,是该尺度上对褐马鸡栖息地选择起最大作用的一个变量;10m 尺度上,树高和食物的丰盛度是两个重要的变量。此外,距灌草丛的距离和距居民点的距离也是决定褐马鸡越冬栖息地选择的重要变量。通过逐步逻辑斯谛回归分析,建立了褐马鸡越冬栖息地选择的模型:

$$\text{Logit}(P)=\ln(P/1-P)=-30.3801-14.8621D1+29.4490D2+9.0782ZY1+1.4035\text{HIG}-6.3882\text{FOOD}$$

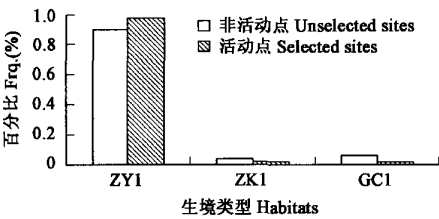


图2 100m 尺度上褐马鸡活动位点与非活动点生境空间组成比较
ZY1、ZK1 和 GC1 分别表示 100m 范围内针叶林、针阔混交林和草丛的面积
Fig. 2 Comparison of the spatial components between the selected and unselected sites on 100m scale
ZY1, ZK1 and GC1 indicates the area of coniferous forests, coniferous-deciduous mixed forests and grass of 100m around sites

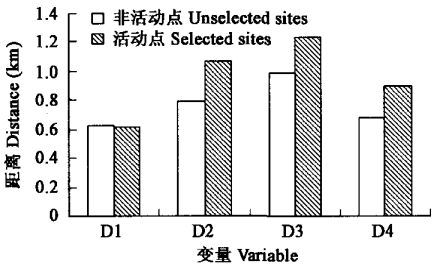


图4 褐马鸡活动点与非活动点在距离变量上的比较
D1 表示距灌草丛的最近距离、D2 表示距居民点的距离、D3 表示距道路的距离和 D4 表示距所在森林中心点的距离
Fig. 4 Comparison of the distance variables between the selected and unselected sites
D1 indicates the distance from shrubs and grass, D2 indicates the distance from villagers, D3 indicates the distance from road and D4 indicates the distance from forests center

3.2.2 对逻辑斯谛回归模型的检验 利用另一研究地——梅洞的野外调查数据,对所建立的褐马鸡越冬栖息地选择模型进行了检验,结果见表2。可以看出,该模型的预测能力较好,预测结果也与实际观察基本一致,并且模型对活动点的预测能力(Somer'D=0.87)高于非活动点(Somer'D=0.40)。

3.3 梅洞栖息地适宜性分析

褐马鸡越冬栖息地的影响因子为距灌草丛的距离、距居民点的距离、100m 范围内针叶林的面积、树高和食物丰富度。保护区内针叶林主要是华北落叶松和油松,与落叶阔叶林和灌木林相比,针叶林的树木较高;越冬期褐马鸡的主要的食物是针叶林的松子和灌木浆果^[3],因此以生境类型来划分树高和食物的丰富度这两个变量。距灌草丛的距离、距居民点的距离、100m 范围

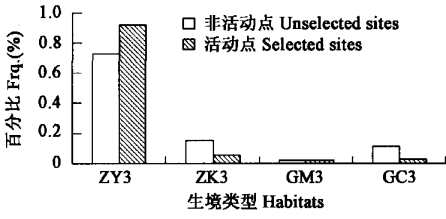


图3 300m 尺度上褐马鸡活动位点与非活动点生境空间组成比较
ZY3、ZK3、GM3 和 GC3 分别表示 300m 范围内针叶林、针阔混交林、灌木林和草丛的面积
Fig. 3 Comparison of the spatial components between the selected and unselected sites on 300m scale
ZY3, ZK3, GM3 and GC3 indicates the area of coniferous forests, coniferous-deciduous mixed forests, shrubs and grass of 300m around sites

表1 逐步逻辑斯谛回归变量与显著性
Table 1 Variables selected from Logistic Regression and its significance

变量 Variable	回归系数 Regr. coefficient	标准误 S. E.	Wald χ^2	显著性 Sig.
D1	-14.8621	7.3856	4.0494	0.0442
D2	29.4490	14.5806	4.0794	0.0434
ZY1	9.0782	6.0998	2.2149	0.0367
HIG	1.4035	0.8800	2.5439	0.0107
FOOD	-6.3882	3.2740	3.2740	0.0070
Constant	-30.3801	17.2923	3.0865	0.0079

表2 模型对梅洞研究地褐马鸡栖息地选择的预测结果
Table 2 Fit(Somer's D)of model for predicting presence of Brown-eared Pheasant at Meidong

概率 P	非活动点 Unselected sites	活动点 Selected sites
<0.1	19	0
0.1~0.2	1	0
0.2~0.3	1	0
0.3~0.4	0	0
0.4~0.5	0	2
0.5~0.6	0	0
0.6~0.7	0	0
0.7~0.8	0	2
0.8~0.9	3	1
0.9~1	6	26
t	30	31
nc	21	29
nd	9	2
Somer'D	0.40	0.87

内针叶林的面积是根据实际测量的结果进行分类。

在 MapInfo 中分别建立上述 5 个因子的不同等级(0.1、0.15、0.2)的图层,具体划分标准见表 3。将各影响因子不同等级的图层进行叠置分析。图 5 直观反映了褐马鸡梅洞越冬栖息地适宜性状况。

表 3 褐马鸡栖息地影响因子的等级和划分标准

Table 3 The rank and its standard of some factors determining wintering habitat selection of Brown-eared Pheasant

影响因子 Factors	定义 Definition	划分等级 Ranks
D1	0.1	>300m
	0.15	100~300m
	0.2	<100m
D2	0.1	<1500m
	0.15	1500~2000m
	0.2	>2000m
ZY1	0.1	0~0.01km ²
	0.15	0.01~0.02 km ²
	0.2	0.02~0.03 km ²
HIG	0.1	灌、草丛及农田 Shrubs, grass and farmland
	0.15	阔叶林 Deciduous forests
	0.2	针叶林 Coniferous forests
FOOD	0.1	针叶林及灌木林 Shrubs, grass and farmland
	0.15	阔叶林 Deciduous forests
	0.2	草丛及农田 Coniferous forests

* D1、D2、ZY1、HIG 和 FOOD 分别表示距灌草丛的距离、距居民点的距离、100 m 半径范围内针叶林的面积、树高和食物丰盛度
D1、D2、ZY1、HIG and FOOD indicates distance to shrub habitats, distance to village, area of coniferous forests of 100m around the selected sites, height of trees and food richness

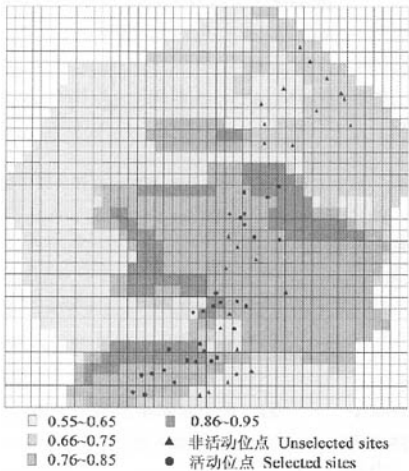


图 5 梅洞栖息地适宜性分析
Fig. 5 The map of habitat suitability of Meidong

点和非活动点间存在着显著差异。

从对模型的预测能力的检验结果来看,模型的预测能力是较好的。因为从车道沟褐马鸡种群建立的模型能较好地预测梅洞的种群。对褐马鸡活动位点的预测结果比非活动点好,原因可能有以下两点:(1)野外判断可能有偏差。有些栖息地可能适宜褐马鸡分布,但由于褐马鸡利用时留下的活动痕迹较隐蔽,而未能发现;(2)一些适宜的栖息地尚未被褐马鸡利用。假若梅洞褐马

4 讨论

由于栖息地的结构特征随着尺度的不同而有变化,因此应选择适宜的空间尺度对物种生态过程进行研究,尤其对“存在一缺失”与栖息地特征间的关系进行研究选择适宜尺度十分重要^[5,6]。通过活动点与非活动点周围生境类型的比较,发现褐马鸡在不同尺度上对周围生境类型的选择是不同的。在 300m 尺度上,褐马鸡喜欢在针叶林较多的地域活动,而不选择在大面积针阔混交林中活动,这表明在 300m 的范围内,针阔混交林不如针叶林能提供很好的隐蔽条件,褐马鸡避免选择针阔混交林;褐马鸡在 100m 尺度上虽然倾向于选择针叶林,但对其它类型的生境是可以利用的,这可能与其广泛取食活动有关。作者认为褐马鸡大尺度上的隐蔽条件满足以后,在小尺度上主要是为了获取更为丰富的食物。

Meyer 等^[11]在俄勒冈的西部对西点林鸮(*Strix occidentalis*) 栖息地选择研究时,选取了 800m、1 600m、2 400m 和 3 400m 等 4 个空间尺度,以确定应优先保护哪种尺度的栖息地。结果表明在 800m 尺度上,栖息地的特征对西点林鸮的影响最大。根据进入模型的变量,褐马鸡栖息地选择主要是 100m 和 10m 尺度下的综合作用的结果。在 100m 的尺度下,针叶林的面积对褐马鸡影响最大,在活动点与非活动点间存在着显著的差异。100m 范围内针叶林的面积越大,它在取食或进行其它活动时越不容易被天敌发现,即使被发现,也可以很快地逃遁。在 10m 尺度上,树高和食物的丰盛度是两个最重要的变量,这与野外观察结果非常吻合。越冬期褐马鸡经常在高大的树木(主要指油松林)下取食,这里松子分布较多,通过 10cm×10cm 的小样方调查,高大油松下松子数目在 5 个左右,最多的可达 10 个,也经常看见这些油松基部有大量的取食痕迹,大多成片分布。从显著性检验的结果来看,树高在活动点与非活动点间存在着显著的差异。

距灌草丛的距离(D1)和距居民点的距离也进入了模型。在越冬期,褐马鸡并非选择森林中心位置作为良好的栖息场所,而是在偏离中心位置的地域活动,活动点距森林边缘灌草丛的距离与非活动点相比,虽无显著差异,但较非活动点小(活动点:D1=611m,非活动点:D1=617m)。从活动点与非活动点距所在森林中心点的距离(D4)的比较中也证实了这一点,虽然两者的差异不显著,但活动点的 D4 高于非活动点(活动点:D4=970m,非活动点:D4=670m)。距居民点的距离越小,表明干扰(如放牧、盗木等)程度越大,对褐马鸡活动的影响也越大。从显著性检验的结果来看,距居民点的距离在活动

鸡种群密度增加以后,这些适宜的生境就可能会有褐马鸡出现。

References:

- [1] Zheng G M, Wang Q S. Brown-eared Pheasant. In: Wang S ed. *China red data book of endangered animals*. Beijing: Science Press, 1998. 242~243.
- [2] Zhang Z W, Zheng G M, Zhang G G, et al. *Distribution and Population Status of Brown-eared Pheasant in China*. UK: World Pheasant Association, 2002. 91~96.
- [3] Liu H J, Su H L, Ren J Q. *The Chinese Phasianids—Brown-eared Pheasant*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1991.
- [4] Zhang G G, Zhang Z W, Zheng G M, et al. Studies on spatial pattern and habitat selection of Brown-eared Pheasant in Wulushan Nature Reserve of Shanxi Province. *Biodiversity Science*, 2003, (4): 303~308.
- [5] McLean S A, Rumble M A, King R M, et al. Evaluation of resource selection methods with different definition of availability. *Journal of Wildlife Management*, 1998, **62**:793~801.
- [6] Garshelis D L. Delusions in habitat evaluation. In: Boitani L, Fuller T K, eds. *Research techniques in animal ecology*. New York: Columbia University Press, 2000. 111~164.
- [7] Lord J M, Norton D A. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conservation Biology*, 1990, **4**:197~202.
- [8] Hanski I. Single-species metapopulation dynamics: concepts, models and observations. *Biol. J. Linn. Soc.*, 1991, **42**: 17~38.
- [9] Collins S L, Glenn S M. Effects of organismal and distance scaling on analysis of species distribution and abundance. *Ecological Applications*, 1997, **7**(2): 543~551.
- [10] Michael S M, Richard A L, John A G. Using Landscape-level data to predict the distribution of birds on a managed forest effects of scale. *Ecological Application*, 2001, **11**(6):1692~1708.
- [11] Meyer J S, Irwin L L, Boyce M S. Influence of habitat abundance and fragmentation on northern spotted owls in western Oregon. *Wildlife Monographs*, 1998, **139**:50~51.

参考文献:

- [1] 郑光美,王岐山. 褐马鸡. 见:汪松主编. 中国濒危物种红皮书(鸟类). 北京:科学出版社, 1998. 242~243.
- [3] 刘焕金,苏化龙,任建强. 中国雉类——褐马鸡. 北京:中国林业出版社, 1991.
- [4] 张国钢,张正旺,郑光美,等. 山西五鹿山褐马鸡不同季节的空间分布与栖息地选择研究. 生物多样性, 2003,(4):303~308.