



阔叶红松林中黑啄木鸟的取食生境偏好

于美辰¹, 陈俊达¹, 司雨蕙¹, 魏爽¹, 荆媛¹, 戎可^{1,2*}

- (1. 东北林业大学野生动物与自然保护地学院, 哈尔滨, 150040;
2. 国家林业和草原局野生动物保护生物学重点实验室, 哈尔滨, 150040)

稿件运行过程

收稿日期: 2023-03-26

修回日期: 2023-03-31



关键词: 黑啄木鸟;
取食生境偏好;
阔叶红松林;
资源选择函数

Key words: Black woodpecker (*Dryocopus martius*);
Foraging habitat preference;
Broad-leaved Korean pine forest;
Resource selection functions

中图分类号: Q958.1

文献标识码: A

文章编号:

2310-1490(2024)-02-0328-10

DOI: 10.12375/ysdwx.20240212

摘要

2020年冬季—2022年冬季,采用样线法和样方法对黑龙江省凉水国家级自然保护区中黑啄木鸟(*Dryocopus martius*)取食生境偏好进行调查研究,结果表明:在取食微生境尺度中,黑啄木鸟取食树种、取食树状态与对照样方具有显著差异($p < 0.05$),偏好在冷杉(*Abies fabri*, 47.71%)和半枯立木(73.86%)的树木主干(86.93%)中上部(43.14%)、上部(32.03%)取食,且偏好粗壮、高大的树木;在取食样方尺度中,黑啄木鸟偏好在有林窗(92.16%)的天然林(96.73%)中取食,偏好郁闭度较低、优势乔木均高较低、优势乔木平均胸径较大、样方中活立木较少、枯立木、倒木较多和距人为干扰更近的生境中取食,与对照样方呈显著差异($p < 0.05$)。资源选择函数结果表明,影响黑啄木鸟取食生境偏好的关键因子是取食树种,次关键因子是枯立木数量、优势乔木均高、取食树高度和倒木数量。

Foraging Habitat Preference of Black Woodpeckers in Broad-leaved Korean Pine Forests

YU Meichen¹, CHEN Junda¹, SI Yuhui¹,
WEI Shuang¹, JING Yuan¹, RONG Ke^{1,2*}

(1. College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin, 150040, China;

2. Key Laboratory of Conservation Biology, National Forestry and Grassland Administration, Harbin, 150040, China)

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(31970385)

第一作者简介: 于美辰(1998—),女,硕士研究生;主要从事野生动物保护研究。E-mail: 1106147511@qq.com

*通信作者: 戎可, E-mail: rongke@nefu.edu.cn

Abstract: From winter 2020 to winter 2022, the foraging habitat preference of black woodpeckers (*Dryocopus martius*) was investigated by using transect method and plot method in Liangshui National Nature Reserve of Heilongjiang Province. At the microhabitat scale, the species and state of feeding tree of black woodpecker were significantly different from that of the control plot ($p < 0.05$). Black woodpeckers preferred to forage on *Abies fabri* (47.71%) and selected semi-dead standing trees (73.86%) in most cases. Generally, this bird feed on the main trunk (86.93%) and preferred to forage on the middle upper part (43.14%) and upper part (32.03%) in terms of foraging site. In the square foraging scale, black woodpeckers preferred to forage in natural forests (96.73%) with canopy gap (92.16%), with preference to the foraging habitats with lower canopy density, lower average height of dominant trees, larger average diameter of dominant trees, less living standing trees in the plot, more dead standing trees and fallen trees, and short distance to human disturbance. The results of the resource selection function showed that the key factor affecting black woodpecker foraging habitat preference was foraging tree species and the secondary key factors were the number of dead standing trees, average height of dominant trees, height of foraging trees, and the number of fallen trees.

取食行为是指动物依靠外界食物获取供其生存所需的营养,包括搜寻食物、获取食物和处理食物等过程^[1]。行为生态学家在20世纪70年代初就用优化模型探究觅食策略,用最优化理论解释上述问题^[2]。鸟类的取食行为研究是进行鸟类生态学研究的重要内容之一,取食行为不仅在不同种之间存在差异,在性别甚至个体间也都有所差别,可以通过取食行为探寻鸟类与环境之间的关系,揭示鸟类生存的原理^[3]。

啄木鸟作为重要的森林物种,主要以栖息在树皮表面或亚表面的昆虫为食,在某些情况下,啄木鸟捕食树木害虫可使林分尺度中的蛀木昆虫减少98%^[4]。啄木鸟被认为是生态系统工程师和伞护种,它们在树上挖掘的巢穴,为多种鸟类、哺乳动物和无脊椎动物提供庇护所和繁殖地^[5-6],森林中多种植物、鸟类和哺乳动物的丰度也与啄木鸟的存在、物种丰富度呈正相关^[7-10]。黑啄木鸟(*Dryocopus martius*)作为大型初级凿洞者的关键物种,在森林生态系统中发挥着重要的生态作用^[11]。黑啄木鸟的种群数量与所在地区森林生态系统特征间具显著联系,森林结构对黑啄木鸟的分布也有影响^[12]。较大的体型使黑啄木鸟在取食、繁殖及栖息中需要依赖一定的林木尺度,然而目前国内对于黑啄木鸟取食生境偏好的研究较少。本研究于2020年冬季—2022年冬季在凉水国家级自然保护区的阔叶红松林中开展,利用样线法、样方法对黑啄木鸟取食生境进行野外调查,探究其取食

树微生境偏好及取食样方特征,为黑啄木鸟的保护和管理提供科学依据,对于理解森林生态系统的演替规律和制定森林生态系统的保护对策具有重要意义。

1 研究区概况

黑龙江省凉水国家级自然保护区位于伊春市带岭区(47°6′—47°16′ N, 128°47′—128°57′ E),行政区属伊春市大箐山县^[13],保护区总面积12 133 hm²,核心区面积3 740 hm²,其中原始红松(*Pinus koraiensis*)林面积约为2 375 hm²。保护区森林覆盖率达98%^[14],近年来林型正从原始林向过熟林演替,站杆数量逐渐增多,主要以白桦(*Betula platyphylla*)林、椴树(*Tilia* spp.)、红松林、红皮云杉(*Picea koraiensis*)林、冷杉(*Abies fabri*)、云杉(*Picea* spp.)林构成天然森林型^[15]。野生动物区系组成较为丰富,鸟类共有16目46科252种,以古北界种类居多,占保护区鸟类99%^[16]。

2 研究方法

2.1 数据收集

于2020年冬季—2022年冬季按季度采用样线法和样方法进行野外调查。黑啄木鸟一般存在于保护区的阔叶红松林中,根据黑啄木鸟的求偶鸣叫声、筑巢行为、取食行为或其他行为等线索来确定黑啄木鸟的取食位置,发现后利用GPS定位,待黑啄木鸟离开,以取食地为中心设置取食生境调查样方(半径

为 10 m 的圆形区域),测量并记录取食生境因子(表 1)。在距离调查样方 500 m 附近,未发现黑啄木鸟

取食及其取食痕迹的区域,随机设置同等大小的对照样方,记录相应生境因子。

表 1 黑啄木鸟取食生境因子及描述

Tab. 1 Habitat factors and descriptions of foraging behavior of black woodpecker

尺度 Scale	生境因子 Habitat variable	定义 Definition
取食微生境水平 Microhabitat foraging scale	取食树树种 Foraging tree species	取食树的树种,主要有红松 (<i>Pinus koraiensis</i>)、云杉 (<i>Picea asperata</i>)、冷杉 (<i>Abies fabri</i>)、白桦 (<i>Betula platyphylla</i>) 和其他阔叶树种,包括榆树 (<i>Ulmus pumila</i>)、椴树 (<i>Tilia</i> spp.) 等
	取食部位 Foraging position	取食时停留在所取食树的位置,划分为主干或侧枝
	取食位置 Foraging sites	取食时停留在所取食树的垂直高度位置,划分为冠层、上部、中上部、中下部和下部
	取食树胸径 Foraging tree breast diameter	取食所在树的胸径,利用卷尺测量取食树距离地面垂直 1.2 m 处的周长,利用公式计算得出胸径,精确到 0.1 cm
	取食树状态 Foraging tree state	依据取食树的健康状态,划分为活立木、枯立木、半枯立木和倒木
	取食树高度 Foraging tree height	取食树的高度,依据三角测量法使用手持激光测距仪测量,精确到 0.1 m
取食样方水平 Square foraging scale	海拔 Altitude	黑啄木鸟所在的海拔,使用 GPS 记录,精确到 1 m
	林窗 Canopy gap	取食样方内由于高大、过熟林木风倒后形成的大小不一的林间空地,观察记录有或无
	郁闭度 Canopy closure	取食样方内的林冠层郁闭度,两人分别在样方直径两侧目测后取平均值,精确到 5%
	林型 Forest type	森林群落的分类单位,划分为天然林和人工林
	优势乔木树种 Dominant tree species	取食样方内数量最多或为优势种的乔木,划分为红松、云杉、冷杉、白桦及其他
	优势乔木均高 Dominant tree average height	取食样方内优势乔木的平均高度,利用三角测量法测量所有乔木高度并取平均值,精确到 0.1 m
	优势乔木平均胸径 Dominant tree average breast diameter	取食样方内优势乔木的平均胸径,利用卷尺测量所有乔木胸径取平均值,精确到 1 cm
	活立木数量 Alive arbor density	取食样方内胸径在 10 cm 以上的活乔木株数
	枯立木数量 Dead arbor density	取食样方内胸径在 10 cm 以上的死亡乔木株数
	倒木数量 Fallen tree density	取食样方内胸径在 10 cm 以上的倒下的乔木株数
人为干扰距离 Human interference distance	取食树与最近的道路、房屋或气候监测站等有人类活动区域的距离,精确到 1 m	
距水源距离 Water distance	取食树与最近的河流、小溪等水源的距离,精确到 1 m	

2.2 数据分析

共选取 6 个影响黑啄木鸟取食微生境水平偏好,12 个取食样方水平偏好,共计 18 个生境因子。使用卡方检验对其中的非数值型生境因子进行差异性分析。由于样本量 ≥ 50 ,对数值型生境因子使用单个样本 Kolmogorov-Smirnov 检验, $p > 0.05$ 表示生境因子呈正态分布,采用独立样本 t 检验; $p < 0.05$ 表示生境因子不符合正态分布,采用 2 个独立样本的 U 检

验 (Mann-Whitney U Test) 比较差异。

对 18 个生境因子使用主成分分析法选取特征值 > 1 且累计贡献率大于 80% 的数个主成分,提取各主成分中载荷绝对值较大的数个生境因子,定义为“综合因子集合”。采用 Spearman 秩相关检验对非正态分布的生境因子进行相互关系分析,绝对值 ≥ 0.5 的因子经生态学意义分析后进行保留或剔除^[17]。将剩余的生境因子标准化后进行二元 Logis-

tic 回归建模,根据资源选择函数模型分析不同生境因子对黑啄木鸟取食行为的影响^[18-19]。使用ROC曲线评价资源选择函数分析的准确性^[20],评价标准:曲线下面积的值在0.5~0.6,为不及格;≥0.6~0.7,较差;≥0.7~0.8,一般;≥0.8~0.9,良好;≥0.9~1.0,优秀^[21]。数据统计分析均利用R 4.2.1软件完成。

3 结果

3.1 黑啄木鸟取食微生境尺度生境因子

研究共记录黑啄木鸟取食生境样方153个,对

照样方144个。对黑啄木鸟取食微生境的4个非数值型生境因子进行卡方检验(表2),得出黑啄木鸟取食所在树种最多为冷杉(47.71%),其后依次为云杉(*Picea asperata*, 24.18%)、红松(14.38%)、白桦(7.19%)及其他树种(6.53%),与对照样方树种差异极显著($\chi^2=26.002$, $df=4$, $p<0.001$);多在主干(86.93%)部位取食;偏好在取食树的中上(43.14%)及上部(32.03%)位置取食;多选择树状态为半枯立木(73.86%)作为取食树,与对照样方差异极显著($\chi^2=117.140$, $df=3$, $p<0.001$)。

表2 黑啄木鸟取食微生境尺度非数值型生境因子

Tab. 2 Non-numerical habitat factors at the micro-habitat scale for black woodpecker foraging

生境因子 Habitat variable	类别 Category	占比(%) Percentage	
		试验样方(n=153) Used plot	对照样方(n=144) Control plot
取食树树种 Foraging tree species	红松	14.38	22.22
	云杉	24.18	19.44
	冷杉	47.71	25.00
	白桦	7.19	16.67
	其他	6.54	16.67
取食部位 Foraging position	主干	86.93	—
	侧枝	13.07	—
取食位置 Foraging sites	冠层	4.57	—
	上部	32.03	—
	中上	43.14	—
	中下	10.46	—
	下部	9.80	—
取食树状态 Foraging tree state	活立木	7.84	54.86
	半枯立木	73.86	20.14
	枯立木	9.80	24.31
	倒木	8.50	0.69

对黑啄木鸟取食微生境尺度中的2个数值型生境因子与对照样方进行比较发现,黑啄木鸟偏好胸径较大[(33.19±12.09)cm, $Z=-3.590$, $p<0.001$]、高度较高[(16.03±4.08)m, $Z=-2.944$, $p<0.01$]的树木进行取食(图1)。

3.2 黑啄木鸟取食样方生境因子

对黑啄木鸟取食样方中3个非数值型生境因子

进行卡方检验得出(表3),黑啄木鸟多偏好在有林窗(92.16%)的天然林(96.73%)取食,样方中优势乔木树种多为冷杉(39.87%),样方优势乔木与对照样方存在显著差异($p=0.030$)。

对黑啄木鸟取食样方尺度中的9个数值型生境因子与对照样方进行比较发现,黑啄木鸟所取食样方中对郁闭度、优势乔木均高、优势乔木平均胸径、

活立木数量、枯立木数量、倒木数量和人为干扰距离的偏好与对照样方差异显著($p < 0.05$)。与对照样方相比,其偏好在郁闭度较低[(43.82±25.68)%]、活立木较少[(22.00±5.59)株]、枯立木较多[(8.00±2.75)株]、倒木较多[(9.10±3.58)株]、距人为干扰距离更近[(334.09±346.86)m]的生境取

食。其次,对于样方中优势乔木的高度及胸径与对照样方相比呈现出较大差异,黑啄木鸟取食样方生境中优势乔木较低[(13.51±2.61)m]且平均胸径较大[(34.22±10.27)cm]。取食生境中的海拔和距水源距离与对照样方差异均不明显(图2)。

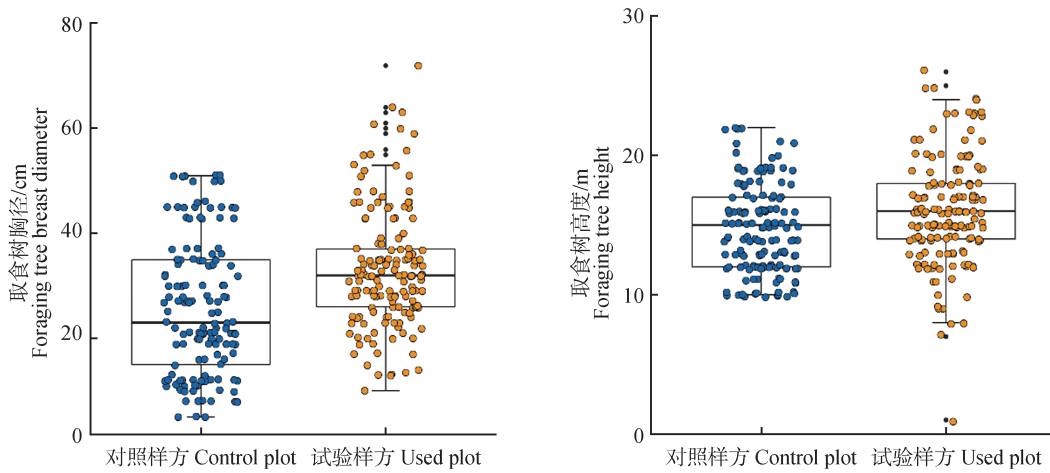


图1 黑啄木鸟取食微生境数值型生境因子

Fig. 1 Numerical habitat factors of black woodpecker foraging on microhabitat

表3 黑啄木鸟取食样方尺度非数值型生境因子

Tab. 3 Black woodpecker foraging on square-scale non-numerical habitat factors

生境因子 Habitat variable	类别 Category	占比(%) Percentage		χ^2 检验 Chi-square test
		试验样方(n=153) Used plot	对照样方(n=144) Control plot	
林窗 Canopy gap	有	92.16	93.79	$\chi^2=0.618, df=1, p=0.432$
	无	7.84	6.21	
林型 Forest type	天然林	96.73	94.44	$\chi^2=0.927, df=1, p=0.336$
	人工林	3.27	5.56	
优势乔木树种 Dominant tree species	红松	17.65	22.22	$\chi^2=10.702, df=4, p=0.030^*$
	云杉	17.65	19.44	
	冷杉	39.87	25.00	
	白桦	7.84	16.67	
	其他	16.99	16.67	

注(Note):*. $p < 0.05$ 。

3.3 影响黑啄木鸟取食生境偏好的生境因子

对黑啄木鸟取食生境偏好的18个因子除取食部位和取食位置的16个生境因子进行主成分分析,前7个主成分特征值累计贡献率达77.007%(表4),能较好地反映黑啄木鸟取食生境偏好的特征,因此选择前7个主成分进行分析(表5)。

第一主成分特征值为2.269,贡献率为18.179%,其中载荷绝对值最大的生境因子为优势

乔木均高。第二主成分中载荷绝对值最大的生境因子为优势乔木树种、取食树状态。第三主成分中载荷绝对值最大的生境因子为林窗。第四主成分中载荷绝对值最大的生境因子为取食树树种、活立木数量。第五主成分中载荷绝对值最大的生境因子为枯立木数量、取食树胸径。第六主成分中载荷绝对值最大的生境因子为取食树高度。第七主成分中载荷绝对值最大的生境因子为倒木数量(表4)。

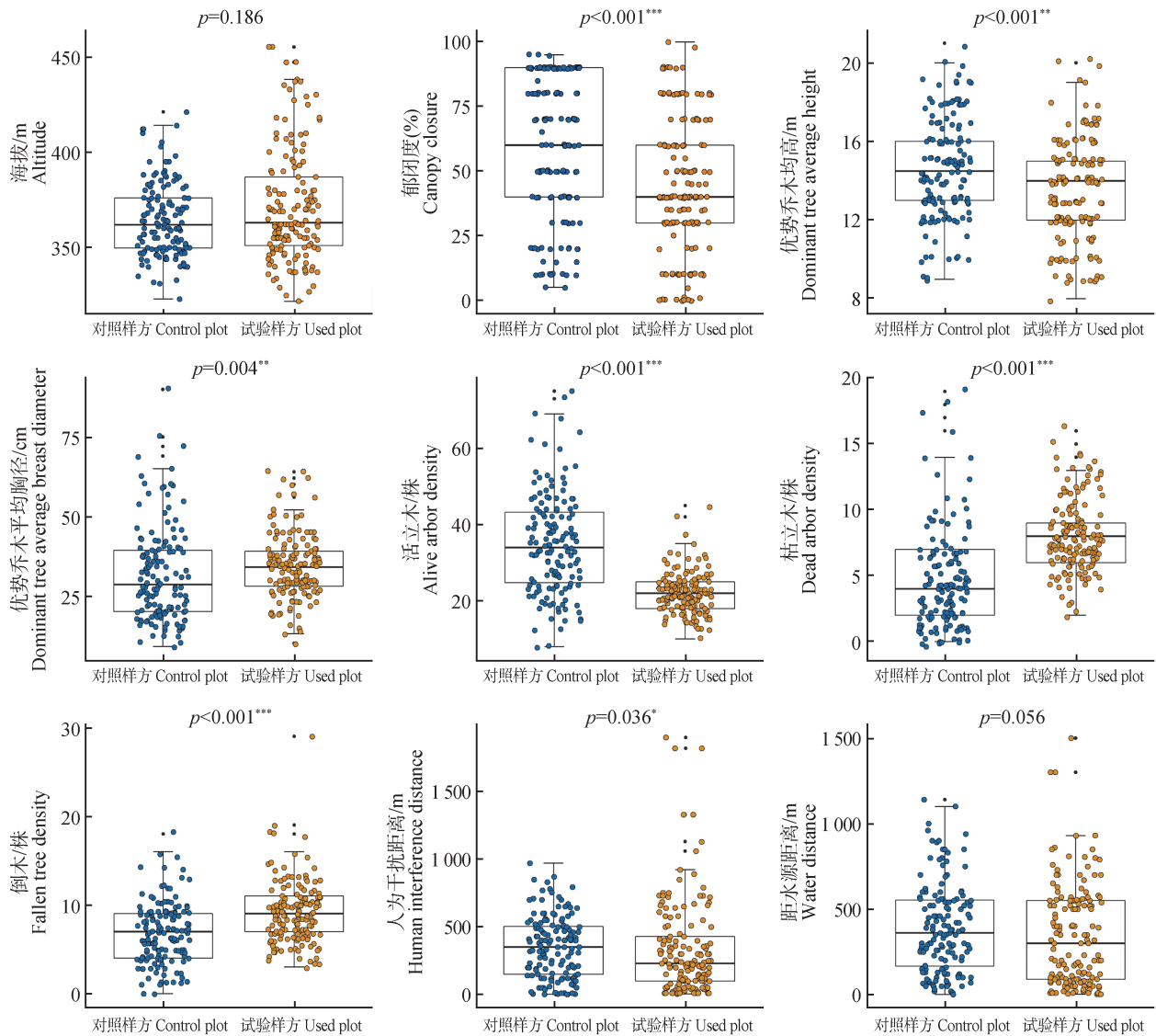


图2 黑啄木鸟取食样方数值型生境因子

Fig. 2 Numerical habitat factors of black woodpecker foraging use plot

表4 黑啄木鸟取食样方生境因子特征值

Tab. 4 Eigenvalues of habitat factors of black woodpecker foraging used plot

主成分 Principal component	参数 Parameter	特征值 Eigenvalue	因子集合 Collection of variables	贡献率(%) Ratio of contribution	累计贡献率(%) Accumulative ratio of contribution
1	优势乔木均高	2.269	周围乔木高度	18.179	18.179
2	优势乔木树种、取食树状态	1.779	优势乔木树种	14.117	32.295
3	林窗	1.506	林窗	12.413	44.709
4	取食树树种、活立木数量	1.339	取食树状态	10.371	55.080
5	枯立木数量、取食树胸径	1.219	枯立木数量	7.616	62.696
6	取食树高度	1.207	取食树高度	7.541	70.237
7	倒木数量	1.083	倒木数量	6.770	77.007

表5 黑啄木鸟取食样方生境因子成分矩阵

Tab. 5 Habitat factor composition matrix of black woodpecker foraging used plot

变量 Variable	特征向量 Eigenvector						
	1	2	3	4	5	6	7
取食树树种 Foraging tree species	-0.058	-0.427	0.262	0.512	0.151	0.226	0.297
取食树状态 Foraging tree state	-0.184	0.530	-0.121	-0.168	0.276	-0.178	-0.176
林窗 Canopy gap	0.234	-0.238	0.549	-0.097	0.363	-0.190	-0.137
林型 Forest type	-0.192	0.223	0.394	0.125	-0.101	0.109	0.327
优势乔木树种 Dominant tree species	-0.135	0.559	-0.123	-0.346	0.019	0.291	0.277
取食树胸径 Foraging tree breast diameter	0.164	0.064	0.153	-0.317	0.543	0.364	0.162
取食树高度 Foraging tree height	0.176	0.141	0.488	-0.295	0.058	0.494	-0.217
海拔 Altitude	0.307	-0.188	0.269	-0.229	0.125	-0.290	-0.176
郁闭度 Canopy density	0.548	0.510	-0.152	0.405	-0.025	0.102	-0.086
优势乔木均高 Dominant tree average height	0.704	0.456	-0.134	0.213	0.133	-0.098	0.050
优势乔木平均胸径 Dominant tree average breast diameter	0.588	0.151	0.305	0.337	0.095	-0.160	0.052
活立木数量 Alive arbor density	0.314	0.097	0.193	-0.471	-0.403	-0.250	0.154
枯立木数量 Dead arbor density	-0.184	-0.115	-0.442	0.001	0.666	-0.104	0.123
倒木数量 Fallen tree density	-0.305	0.161	0.144	0.269	-0.079	0.446	-0.546
人为干扰距离 Human interference distance	-0.590	0.418	0.322	0.182	0.026	-0.210	0.063
距水源距离 Water distance	-0.504	0.350	0.355	0.118	0.149	-0.410	-0.132

将优势乔木均高、优势乔木树种、取食树状态、林窗、取食树树种、活立木数量、枯立木数量、取食树胸径、取食树高度和倒木数量10个生境因子经标准化后进行 Logistic 回归建模。优化后的 Logistic 回归模型显示,由优势乔木均高、取食树树种、枯立木数

量、倒木数量和取食树高度5个生境因子组成的模型拟合效果最佳,即 $z=0.081-0.209$ 优势乔木均高 -0.693 取食树树种 $+0.289$ 枯立木数量 $+0.121$ 倒木数量 $+0.138$ 取食树高度(表6),模型预测正确率达78.1%。

表6 资源选择函数模型结果

Tab. 6 Resource selection function model results

生境因子 Habitat variable	回归系数 Regression coefficient	Wald卡方检验值 Wald chi-square	<i>p</i>
优势乔木均高 Dominant tree average height	-0.209	12.132	<0.001***
取食树树种 Foraging tree species	-0.693	18.787	<0.001***
枯立木数量 Dead arbor density	0.289	33.841	<0.001***
倒木数量 Fallen tree density	0.121	7.303	0.007**
取食树高度 Foraging tree height	0.138	10.814	0.001**
常量 Constant	0.081	0.004	0.951

注(Note):**, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$ 。

应用ROC曲线法验证模型稳定性,将Logistic回归模型中对取食样方的预测值作为待检验变量,将黑啄木鸟是否在试验样方取食设置为变量,导出ROC曲线(图3),曲线下面积为0.852,高于假设面积0.5,证实该Logistic回归模型具有较好的拟合效果。

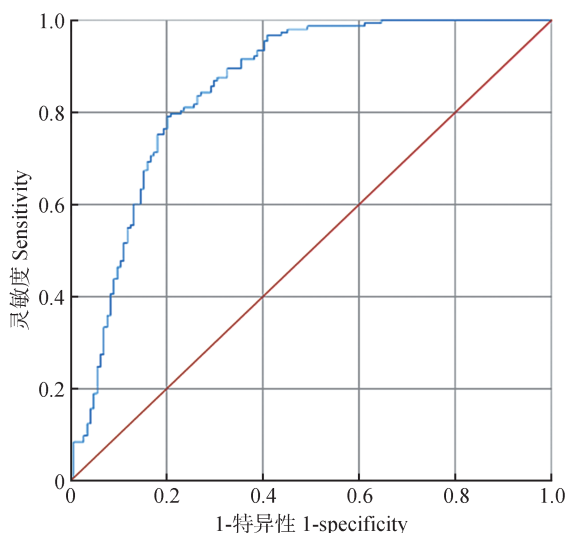


图3 ROC曲线验证结果

Fig. 3 ROC curve validation results

4 讨论

4.1 黑啄木鸟取食生境偏好

凉水自然保护区中林木物种丰富,与对照样方相比,黑啄木鸟更多地在冷杉、云杉和红松上取食,且多在半枯立木上取食。这说明黑啄木鸟对取食树树种有所偏好,在本研究中更多地选择杉树取食, Pirovano等^[22]在黑啄木鸟取食树树种的研究中得出,银杉(*Cathaya argyrophylla*)和云杉比欧洲赤松(*Pinus sylvestris*)和石松(*Lycopodium japonicum*)斑块更受欢迎,黑啄木鸟明显回避后者。Nappi等^[23]通过对啄木鸟的取食行为观察,发现大多数啄木鸟在取食时都会使用枯木基质,更偏好选择濒死树木或站杆。相关研究也得出同样结论,半枯立木和枯立木是啄木鸟洞穴挖掘的主要资源,为啄木鸟提供觅食、栖息和筑巢等场所^[24]。黑啄木鸟多取食于树木主干的上部和中上部,这可能是因为多种啄木鸟之间发生了生态位分离。戎可等^[25]对凉水自然保护区中同域分布的3种啄木鸟进行取食研究,发现黑啄木鸟基本只在主干上凿洞,三趾啄木鸟(*Picoides tridactylus*)和大斑啄木鸟取食位置多在侧枝上,因此啄木鸟

取食位置和部位可能会受体型大小及同域分布的其他鸟类的存在而产生差异。同时,黑啄木鸟偏好选择树干较粗(胸径>30 cm)且更为高大的树木取食,这与Gunn等^[26]在缅甸北部和Bocca等^[27]在阿尔卑斯山对黑啄木鸟的取食树特征研究得出的结果一致,这可能是因为该尺度树木上昆虫的密度更高,且胸径越大的树木表面积越大,更易获取食物。同时高大的树木更容易观察到天敌的存在,有利于黑啄木鸟在取食时观察天敌避免被捕食。

黑啄木鸟取食样方尺度的数值型生境因子与对照样方相比,海拔和水源距离差异不明显,这是因为凉水国家级自然保护区内海拔分布均匀,没有极大高度差,且区内面积较小,随机样方与水源距离相差较小。Karimi等^[28]在对伊朗北部森林中的黑啄木鸟栖息地利用的调查中得出了不同结果,认为海拔对黑啄木鸟的觅食和栖息地选择有所影响,不同季节间黑啄木鸟偏好的海拔有所差异。

相比对照样方,黑啄木鸟显著偏好在郁闭度更低、周围优势乔木较少的区域寻找食物,加之其偏好在高度较高的取食树取食,进一步说明其在取食时会选择足够安全、视线相对较好的环境,这更有利于发现天敌及时做出躲避,以及更快地发现下一处取食区域,提高取食效率。经调查发现,在保护区内单位面积中活立木数量与枯立木、倒木数量呈负相关,这与黑啄木鸟在样方尺度上取食的选择结果相同,黑啄木鸟偏好在枯立木和倒木较多而活立木较少的区域寻找食物。有研究认为,黑啄木鸟的存在与胸径小于10 cm的灌木密度和胸径为10~29 cm的乔木数量呈负相关^[29],进一步证明黑啄木鸟不喜欢植被稀疏的未成熟林,不喜欢无冠层的林木、浓密的灌木及小直径林木的斑块。Pirovano等^[22]认为黑啄木鸟取食地点的选择与枯木数量呈正相关,与下层覆盖度呈负相关,它们对森林的偏好特征是下层植被稀少,可能是因为更容易发现食物资源。但是并非所有啄木鸟都有这一偏好,Stachura-Skierczyńska等^[30]在大规模的研究中发现中斑啄木鸟(*Leiopicus medius*)的出现和丰度与障碍物(枯立木和倒木)的密度之间不存在正相关关系。

4.2 影响黑啄木鸟取食的主要生境因子

资源选择函数结果表明,影响黑啄木鸟的5个主要生境因子为样方优势乔木均高、取食树树种、枯立木数量、倒木数量和取食树高度,其中影响黑啄木

鸟取食生境偏好的关键因子是取食树种,次关键因子是枯立木数量、优势乔木均高、取食树高度和倒木数量。通过ROC曲线验证得出模型正确率大于0.8,表明模型较好地预测了黑啄木鸟的取食偏好生境。这一结果几乎与全球大多数黑啄木鸟取食偏好生境研究结果相似。例如:Khanaposhtani等^[29]在伊朗探索黑啄木鸟栖息地生境偏好中得出,黑啄木鸟更偏好森林演替的后期阶段,即具有成熟林特征,这也与本研究区域相符合,即在多倒木、多枯立木斑块中的高大粗壮的树木上栖息、取食。Pirovano等^[22]和Zahner等^[31]也在阿尔卑斯山脉和德国南部对黑啄木鸟与森林结构中环境变量的相关性研究中发现,大胸径和高树木是黑啄木鸟选择筑巢地点的重要环境因子,并且成熟的林木是其选择觅食的频繁区域,同时得出山毛榉(*Fagus longipetiolata*)是黑啄木鸟在其研究地进行觅食、繁殖及筑巢的重要树种,特别是山毛榉和冷杉、山毛榉和松树的混合林,这与本研究中黑啄木鸟偏好的取食生境和树种具有相同的特点。

黑啄木鸟作为古北界最大的啄木鸟,探究其在森林生态系统中的繁殖和觅食偏好生境,可以作为评估原始森林生态作用的重要指标^[32]。在凉水自然保护区调查中,笔者发现毛耳飞鼠(*Belomys pearsonii*)、鸳鸯(*Aix galericulata*)等次级巢穴利用者会在黑啄木鸟取食和繁殖后的区域觅食和栖息,因此对于该地区的啄木鸟保护和管理尤为重要。一般来说,黑啄木鸟依赖于成熟高大的林分、枯立木及倒木,这些都作为黑啄木鸟主要的食物来源和潜在的繁殖地。凉水保护区正处于从原始林向过熟林演替的关键阶段,探究黑啄木鸟的取食和繁殖生境偏好对保护区内重点物种的生物多样性保护及栖息生境管理至关重要。建议保护区规划不同树龄、树种以及不同腐烂程度的枯木,为处在不同生态位中的啄木鸟提供稳定、合适的觅食树,合理管理森林,控制人为干扰,定期对黑啄木鸟种群动态进行监测。

参考文献:

- [1] 罗旭,艾怀森,韩联宪.高黎贡山白尾梢虹雉取食行为及春季取食地特征[J].西南林学院学报,2010,30(6):64-67.
LUO X, AI H S, HAN L X. Feeding ecology of *Lophophorus sclateri* at Gaoligong Mountain [J]. Journal of Southwest Forestry University, 2010, 30(6): 64-67.
- [2] CARACO T. Foraging theory [J]. Bulletin of Mathematical Biology, 1987, 49(5): 632-634.
- [3] 尚玉昌.行为生态学[M].2版.北京:北京大学出版社,2018:162-166.
SHANG Y C. Behavioural ecology [M]. 2nd ed. Beijing: Peking University Press, 2018: 162-166.
- [4] JENNINGS D E, GOULD J R, VANDENBERG J D, et al. Quantifying the impact of woodpecker predation on population dynamics of the emerald ash borer (*Agrilus planipennis*) [J]. PLoS One, 2013, 8(12): e83491.
- [5] TARBILL G L, MANLEY P N, WHITE A M. Drill, baby, drill: the influence of woodpeckers on post-fire vertebrate communities through cavity excavation [J]. Journal of Zoology, 2015, 296(2): 95-103.
- [6] TREMBLAY J A, SAVARD J P L, IBARZABAL J. Structural retention requirements for a key ecosystem engineer in conifer-dominated stands of a boreal managed landscape in eastern Canada [J]. Forest Ecology and Management, 2015, 357: 220-227.
- [7] MARTIN K, EADIE J M. Nest webs: a community-wide approach to the management and conservation of cavity-nesting forest birds [J]. Forest Ecology and Management, 1999, 115 (2/3): 243-257.
- [8] PECHACEK P, D'OLEIRE-OLTMANN W. Habitat use of the three-toed woodpecker in central Europe during the breeding period [J]. Biological Conservation, 2004, 116(3): 333-341.
- [9] ROBLES H, CIUDAD C, MATTHYSEN E. Responses to experimental reduction and increase of cavities by a secondary cavity-nesting bird community in cavity-rich Pyrenean oak forests [J]. Forest Ecology and Management, 2012, 277: 46-53.
- [10] MIKUSIŃSKI G, GROMADZKI M, CHYLARECKI P. Woodpeckers as indicators of forest bird diversity [J]. Conservation Biology, 2001, 15(1): 208-217.
- [11] AITKEN K E H, MARTIN K. The importance of excavators in hole-nesting communities: availability and use of natural tree holes in old mixed forests of western Canada [J]. Journal of Ornithology, 2007, 148(Suppl. 2): S425-S434.
- [12] FERNANDEZ C, AZKONA P. Influence of forest structure on the density and distribution of the white-backed woodpecker *Dendrocopos leucotos* and black woodpecker *Dryocopus martius* in Quinto Real (Spanish western Pyrenees) [J]. Bird Study, 1996, 43(3): 305-313.
- [13] 孙美欧,关大鹏,孙虎.凉水自然保护区科研现状分析及未来发展建议[J].林业科技情报,2021,53(3):31-34.
SUN M O, GUAN D P, SUN H. Analysis of scientific research status and suggestions for future development of Liangshui Nature Reserve [J]. Forestry Science and Technology Information, 2021, 53(3): 31-34.
- [14] 侯宏宇.凉水自然保护区地表鞘翅目成虫集合群落格局及其构建机制[D].哈尔滨:哈尔滨师范大学,2020.
HOU H Y. Metacommunity pattern and maintenance mechanism of coleoptera adults in Liangshui Nature Reserve [D]. Harbin: Harbin Normal University, 2020.
- [15] 王刚,王波.凉水自然保护区森林资源和生态现状分析[J].

- 林业科技情报, 2009, 41(2): 2-3.
- WANG G, WANG B. Analysis on forest resources and ecological environment in Liangshui Nature Reserve[J]. Forestry Science and Technology Information, 2009, 41(2): 2-3.
- [16] 许玲霞. 黑啄木取食生境偏好与潜在适宜生境[D]. 哈尔滨: 东北林业大学, 2016.
- XU L X. The feeding habitat preference and potential suitable habitat of black woodpeckers [D]. Harbin: Northeast Forestry University, 2016.
- [17] BOYCE M S, MCDONALD L L. Relating populations to habitats using resource selection functions[J]. Trends in Ecology & Evolution, 1999, 14(7): 268-272.
- [18] LENNON J J. Resource selection functions: taking space seriously? [J]. Trends in Ecology & Evolution, 1999, 14(10): 399-400.
- [19] MANLY B F J, MCDONALD L L, THOMAS D L, *et al.* Resource selection by animals: statistical design and analysis for field studies [J]. Journal of Animal Ecology, 1994, 63(3): 745-746.
- [20] MURTAUGH P A. The statistical evaluation of ecological indicators[J]. Ecological Applications, 1996, 6(1): 132-139.
- [21] SWETS J A. Measuring the accuracy of diagnostic systems[J]. Science, 1988, 240(4857): 1285-1293.
- [22] PIROVANO A R, ZECCA G. Black woodpecker *Dryocopus martius* habitat selection in the Italian Alps: implications for conservation in Natura 2000 network [J]. Bird Conservation International, 2014, 24(3): 299-315.
- [23] NAPPI A, DRAPEAU P, LEDUC A. How important is dead wood for woodpeckers foraging in eastern North American boreal forests? [J]. Forest Ecology and Management, 2015, 346: 10-21.
- [24] SHORT L L. Burdens of the picid hole-excavating habit[J]. The Wilson Bulletin, 1979, 91(1): 16-28.
- [25] 戎可, 司雨蕙, 潘麒麟, 等. 同域分布3种啄木鸟冬季取食的生态位差异[J]. 生态学报, 2018, 38(23): 8314-8323.
- RONG K, SI Y H, PAN Q Y, *et al.* Forage niche differentiation of three sympatric woodpecker species in winter [J]. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(23): 8314-8323.
- [26] GUNN J S, HAGAN J M III. Woodpecker abundance and tree use in uneven-aged managed, and unmanaged, forest in northern Maine [J]. Forest Ecology and Management, 2000, 126(1): 1-12.
- [27] BOCCA M, CARISIO L, ROLANDO A. Habitat use, home ranges and census techniques in the black woodpecker *Dryocopus martius* in the Alps[J]. Ardea, 2007, 95(1): 17-29.
- [28] KARIMI S, MORADI H V, REZAEI H Z, *et al.* Fine-scale habitat use by black woodpecker *Dryocopus martius*: a year-round study in the Hyrcanian forest, Iran [J]. North-western Journal of Zoology, 2018, 14(1): 76-84.
- [29] KHANAPOSHTANI M G, NAJAFABADI M S, KABOLI M, *et al.* Habitat requirements of the black woodpecker, *Dryocopus martius*, in Hyrcanian forests, Iran [J]. Zoology in the Middle East, 2012, 55: 19-25.
- [30] STACHURA-SKIERCZYŃSKA K, KOSIŃSKI Z. Do factors describing forest naturalness predict the occurrence and abundance of middle spotted woodpecker in different forest landscapes? [J]. Ecological Indicators, 2016, 60: 832-844.
- [31] ZAHNER V, SIKORA L, PASINELLI G. Heart rot as a key factor for cavity tree selection in the black woodpecker [J]. Forest Ecology and Management, 2012, 271: 98-103.
- [32] LORENZ T J, VIERLING K T, JOHNSON T R, *et al.* The role of wood hardness in limiting nest site selection in avian cavity excavators [J]. Ecological Applications, 2015, 25(4): 1016-1033.