

云南楚雄小百草岭鸟类多样性空间格局

李俊冬¹, 查禄慧¹, 马国强^{2*}, 肖剑平¹, 李育武³, 李旭^{1,4}

(1.西南林业大学生物多样性保护学院, 云南 昆明 650224; 2.国家林业和草原局昆明勘察设计院, 云南 昆明 650216; 3.云南哀牢山国家级自然保护区楚雄管护局, 云南 楚雄 675000; 4.西南林业大学, 云南省高校极小种群野生动物保育重点实验室, 云南 昆明 650224)

摘要:【目的】探究云南楚雄小百草岭地区鸟类空间分布格局的特征,分析不同生境及海拔段鸟类多样性差异,为该地区鸟类资源保护措施的制定提供基础资料。【方法】采用样线法对云南省楚雄州小百草岭地区鸟类资源开展了一个完整年度的调查研究,通过计算各生境和海拔段的鸟类多样性指数,进行空间分布格局分析。【结果】在小百草岭地区共记录到鸟类122种,隶属10目43科,包括国家Ⅱ级重点保护鸟类17种。其中,留鸟110种(占90.16%),夏候鸟5种(占4.10%),冬候鸟6种(占4.92%),旅鸟1种(占0.82%)。在115种繁殖鸟类(留鸟和夏候鸟)中,以东洋界物种为主(占50.43%)。季节变化中,鸟类物种丰富度指数由大到小依次为夏季(112)、春季(104)、秋季(79)、冬季(76)。春季鸟类科-属多样性指数最高(0.772),冬季最低(0.662);小百草岭3种生境中,林地的鸟类物种丰富度(117)和科-属多样性指数(0.739)均最高,耕地的鸟类物种丰富度(48)和科-属多样性指数(0.549)最低。鸟类物种丰富度在 $\geq 2\ 100\sim 2\ 600\text{ m}$ 的中海拔地区最高,物种丰富度垂直分布格局为峰值位于中海拔的单峰模式。【结论】鸟类在垂直海拔的分布和对生境的选择偏好反映了鸟类对环境各要素的综合需求。空间异质性较高的林地因具有丰富的食物资源和隐蔽条件,吸引了大量鸟类。但受海拔影响,并非林地面积越大,鸟类多样性越高。为更好地保护鸟类资源,后续研究应结合时间因素探究与鸟类时空分布格局相关性最强的环境因子。

关键词:鸟类多样性;分层抽样;空间分布;交互作用;小百草岭;云南楚雄

中图分类号:S718.6

文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2006(2023)02-0225-09



Bird diversity spatial distribution patterns of Xiaobaicaoling Mountain in Chuxiong, Yunnan Province

LI Jundong¹, ZHA Luhui¹, MA Guoqiang^{2*}, XIAO Jianping¹, LI Yuwu³, LI Xu^{1,4}

(1. Southwest Forestry University, College of Biodiversity Conservation, Kunming 650224, China; 2. Kunming Survey & Design Institute, National Forestry and Grassland Administration, Kunming 650216, China; 3. Chuxiong Management Bureau of Ailao Mountains National Nature Reserve in Yunnan Province, Chuxiong 675000, China; 4. Key Laboratory for Conserving Wildlife with Small Populations in Yunnan Province, Southwest Forestry University, Kunming 650224, China)

Abstract: 【Objective】This study analyzed differences in bird diversity among habitats and elevations, explored the characteristics of birds' spatial distribution in the Xiaobaicaoling Mountain area, and provided basic information for the bird resource development and protection measures in this area. 【Method】A complete annual investigation was carried out by line transect method on bird resources in Xiaobaicaoling Mountain, Yunnan Province. The spatial distribution was analyzed by calculating the birds diversity index of each habitat and altitude sections. 【Result】In total, 122 species of bird belonging to 43 families and 10 orders were recorded, of which 17 species were listed as National Ⅱ Protected

收稿日期 Received: 2021-08-03

修回日期 Accepted: 2022-01-12

基金项目: 云南省重点学科野生动植物保护与利用研究项目(XKZ200904); 云南省林学一流学科建设项目(51600625); 国家级大学生创新创业训练计划项目(20190677001)。

第一作者: 李俊冬(lijundong27@126.com)。* **通信作者:** 马国强(maguoqiang0825@163.com), 高级工程师。

引文格式: 李俊冬, 查禄慧, 马国强, 等. 云南楚雄小百草岭鸟类多样性空间格局[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2023, 47(2): 225-233. LI J D, ZHA L H, MA G Q, et al. Bird diversity spatial distribution patterns of Xiaobaicaoling Mountain in Chuxiong, Yunnan Province[J]. Journal of Nanjing Forestry University (Natural Sciences Edition), 2023, 47(2): 225-233. DOI: 10.12302/j.issn.1000-2006.202108005.

Animals. There were 110 residents (90.16%), 5 summer visitors (4.10%), 6 winter visitors (4.92%) and 1 passage migrant (0.82%). Among the 115 species of breeding birds (residents and summer visitors), Oriental elements, accounting for 50.43%, were the most common species. Bird richness was highest in summer (112 species), followed by spring (104), autumn (79) and winter (76). The highest G-F index occurred in spring (0.772), and the lowest G-F index occurred winter (0.662). In terms of 3 habitat types, the forest had the highest bird richness (117 species) and the highest G-F index (0.739), while the farmland had the lowest bird richness index (48 species) and lowest G-F index (0.549). Species richness of birds peaked between $\geq 2\ 100\sim 2\ 600\text{ m}$ elevation, showing a mid-elevational peak pattern.【Conclusion】The distribution of birds at a vertical altitude and their preferences for a habitat selection reflect their comprehensive demand for various environmental factors. The forest land with high spatial heterogeneity attracts a large number of birds because of its abundant food resources and concealment conditions. However, due to the influence of the altitude, it is not that the wider the forest area, the higher the diversity of birds. To better protect bird resources, the follow-up studies should combine the time factor to explore spatial and temporal patterns of bird distribution and the most relevant environmental factors.

Keywords: bird diversity; stratified sampling; spatial distribution; interaction; Xiaobaicaoling Mountain; Chuxiong in Yunnan Province

鸟类与环境的关系十分密切,其既依赖于环境又反映环境的变化^[1],对鸟类多样性和分布的调查有助于了解当地生态系统的多样性、嵌套性和健康程度^[2]。作为生物区系分析的重要对象之一,鸟类常被用作监测环境变化和作为生物多样性的指示物种^[3]。基于此,鸟类生态学已发展成为群落生态学的重要分支^[4-6],而季节变化^[7-8]和生境不同^[4, 6, 9]都会导致鸟类多样性差异。鸟类多样性的差异反映出其所需生境要素在不同生境斑块是否得到满足,也与鸟类自身抗干扰性相关^[10]。鸟类多样性受海拔的影响得到广泛关注,尤其在中国西南山地地区^[9]。垂直高差形成独特的气候条件和植被分布,决定着鸟类多样性及分布的差异^[11-12]。物种丰富度的垂直分布格局在全球范围内普遍存在^[13],多种复杂因素促使这种分布模式的形成^[14-16],而物种丰富度随海拔升高先增后减是一种被普遍认可的规律^[12, 16-17]。了解物种多样性空间分布格局对生物多样性热点地区的保护至关重要。

小百草岭地处滇中高原北部,为楚雄州第一高峰,海拔落差大,山地生境垂直地带性明显,受金沙江干热河谷气候的影响该地植被类型具偏“干”的特点^[18]。作为云南原生林保存较为完好的地区之一,小百草岭森林生态系统在滇中极具代表性。但缺少该地区有关动物资源的报道,尤其是鸟类资源的系统调查。本研究首次系统调查了小百草岭地区的鸟类多样性,探究该地区鸟类分布格局的特征,旨在提供该地区鸟类多样性基础资料,丰富物种分布模式理论与研究案例,为该地区鸟类资源保护措施的制定提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究地概况

小百草岭山系($100^{\circ}54'\sim 101^{\circ}08'\text{E}$, $25^{\circ}55'\sim 26^{\circ}18'\text{N}$)位于云南省楚雄彝族自治州大姚县西北部,属云岭余脉,山系呈南北走向,南起三台河,向北降至金沙江,东邻巴拉河(多底河),西接金沙江支流渔泡江。由于受喜马拉雅造山运动的影响,山脉蜿蜒连绵,纵横交叠。该山系东西距 23.85 km,南北距 42.98 km,最高海拔 3 634 m,最低海拔 1 091 m,面积 595.61 km²。小百草岭地区以北亚热带气候为主,亚热带与温带并存的立体气候,年平均气温 3.0~12.8℃,最冷月平均气温-3.2~6.6℃,最热月平均气温 7.7~17.5℃;年平均降水量 870~1 156 mm,具有“四季潮湿,光照不足;冬季结冰,三季凉爽”的特点。特殊的气候以及地形地貌,形成了山地垂直带上相对完整的植被类型^[18-20]。

1.2 海拔梯度和栖息生境划分

根据实地预调查的结果,研究区海拔<1 600 m地区主要为河谷型萨王纳植被; $\geq 1\ 600\sim 2\ 100\text{ m}$ 区域开始出现小面积的半湿润常绿阔叶林分布; $\geq 2\ 100\sim 3\ 100\text{ m}$ 区域分布着大面积的暖温性针叶林和湿性常绿阔叶林; $\geq 3\ 100\text{ m}$ 地区则主要分布有温性针叶林、山顶苔藓矮林、寒温性灌丛和草甸^[18]。此外,小百草岭低海拔区域主要以村寨为主,人为干扰较强。但随着海拔的升高,人口密度和人类活动强度逐渐降低,变化过程大致以海拔 500 m 为一个梯度。实地探查结合前人研究^[9],以 500 m 为间隔对鸟类栖息的垂直海拔段进行划分,将整个调查区划分为 5 个海拔梯度(<1 600 m,

≥1 600~2 100 m, ≥2 100~2 600 m, ≥2 600~3 100 m, ≥3 100 m)。以 Google Earth 影像对小百草岭生境类型进行初步划分,各生境所占面积则通过遥感影像解译获得。具体方法为下载 Landsat 8 影像数据,在 ENVI 5.1 中进行监督分类,训练点的选取均依据野外实地调查获取,各类型训练点数量不少于 100 个,最终获得分类精度为 90.15% 的生境分类图。因研究区域内灌丛生境呈零星分布,且镶嵌于草地生境中,因此将灌丛和草地合并为 1 种生境类型(灌丛草地);将村庄归为耕地生境。最终将栖息生境划分为林地(占 63.81%)、灌丛草地(占 15.92%)、耕地(占 20.26%)等 3 种类型。

1.3 样线布设

小百草岭海拔高差超过 2 500 m,植被垂直分布明显。结合海拔梯度划分,采用分层抽样法^[21]开展调查,满足总取样面积不低于调查区总面积的 1%,各海拔区间抽样面积不低于各海拔总面积的 1%。共设置 25 条样线,样线在各海拔梯度的布设以公式确定: $n_i = n \times (N_i/N)$ 。式中: n_i 为 i 样区需要布设的样线数; n 为样线总条数; N_i 为 i 样区的抽样面积,km²; N 为抽样总面积,km²。

在各海拔区间的具体布设中,每条样线的布设尽可能涉及 3 种生境类型。样线长度为 2~4 km,单侧宽度为 50~100 m (具体根据地形和生境差异而定),相邻样线之间距离超过 500 m。全区样线总长 67.92 km,覆盖了区内低海拔到高海拔的所有生境类型和典型区域,布设情况见表 1。

表 1 样线布设情况

Table 1 The information of transect lines

海拔梯度/m altitude gradient	面积/km ² area			样线条数 number of transect lines	样线 长度/km transect lines length
	林地 forest	灌丛草地 bush	农田 farmland		
<1 600	22.14	6.47	24.66	2	2.66
≥1 600~2 100	65.38	24.93	37.97	5	11.89
≥2 100~2 600	118.65	34.67	47.84	9	20.49
≥2 600~3 100	135.27	20.82	9.39	7	27.17
≥3 100	38.62	7.96	0.84	2	5.71
合计 total	380.06	94.85	120.70	25	67.92

1.4 鸟类调查

调查时间分别为秋季(2018 年 7 月)、冬季(2018 年 11 月)、春季(2019 年 3 月)、夏季(2019 年 6 月),采用样线法对其鸟类资源共进行了 4 次完整的重复性调查,每次调查 5 d。研究区域面积广且海拔落差大、单条样线行走时间长,增加了调查工作难度,因此样线行走时间为 8:00—11:00 和

14:00—17:00。工作实施分 3 组进行,将小百草岭地区划分为北部(黄家湾村)、南部(三台乡)和西部(铁锁乡)等 3 个区域同时调查。每组 2 人,每组每天完成 2 条样线调查,速度为 1~2 km/h,使用 Asika 8×42 双筒望远镜观察,记录样线上遇到的物种种类、生境类型以及海拔;对于较难辨别的鸟类使用数码相机拍照,结合有关鸟类鉴别资料^[22-26]等进行鉴定分类。

1.5 数据分析

鸟类的分类参照《中国鸟类分布与分类名录(第 3 版)》^[23];物种保护级别参照《国家重点保护野生动物名录》^[24];鸟类居留类型参照《云南鸟类志》^[25-26];动物区系和分布型的划分参照《中国动物地理》^[27]。

本研究采用插值法来分析小百草岭地区的鸟类丰富度^[28]。统计和分析研究区内不同生境类型和海拔梯度中鸟类群落的组成,并计算相应鸟类物种的多样性指数以及相似性指数。

物种多样性采用物种丰富度(即物种总数 S)和反映科、属多样性的 G-F 指数进行分析^[29];F 指数

(D_F), $D_F = \sum_{k=1}^m D_{Fk}$, $D_{Fk} = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$, $P_i = S_{ki}/S_k$;G 指数 (D_G), $D_G = - \sum_{j=1}^P q_j \ln q_j$;G-F 指数 (D_{G-F}), $D_{G-F} = 1 - D_G/D_F$ 。式中: P_i 为一个科中某一属的物种数占这个科中总物种数的比值, S_k 为名录中 k 科中的物种数, S_{ki} 为名录中 k 科 i 属中的物种数, n 为 k 科中的属数, m 为名录中鸟纲的科数。 $q_j = s_j/S$, q_j 是指某一属的物种数占名录中总物种数的比值, S 为名录中鸟纲中的物种数, s_j 为鸟纲中 j 属中的物种数, P 为鸟纲中的属数。

鸟类群落异质性采用 Jaccard 指数 (C_J) 和 Sorenson 指数 (C_S) 相似性系数分析^[30]: $C_J = j/(a + b - j)$; $C_S = 2j/(a + b)$ 。式中: j 为两个群落共有的物种数; a 为群落 A 的物种数, b 为群落 B 的物种数。

2 结果与分析

2.1 物种组成

通过物种累计曲线(图 1)可以看出,前期物种累积速率较快,曲线急剧上升;随着抽样量的加大,曲线趋于平缓,说明调查抽样充分^[31]。

2018—2019 年调查记录小百草岭鸟类 122 种,隶属 10 目 43 科(表 2)。雀形目(Passeriformes)鸟类 33 科 64 属 98 种(占 80.33%),非雀形目 10 科 17 属 24 种(占 19.67%)。该区域的 G-F 指数分析

结果为:科间的 F 指数为 17.30,属间的 G 指数为 4.24,G-F 指数为 0.76。小百草岭所记录的鸟类数量占楚雄州鸟种总数(307 种)^[26]的 39.74%,占云南省(945 种)^[32]的 12.91%,占我国(1 445 种)^[23]的 8.44%。其中,国家Ⅱ级重点保护鸟类有 17 种,根据《中国脊椎动物红色名录》^[33]评定为易危(VU)的 1 种、近危(NT)的有 6 种。

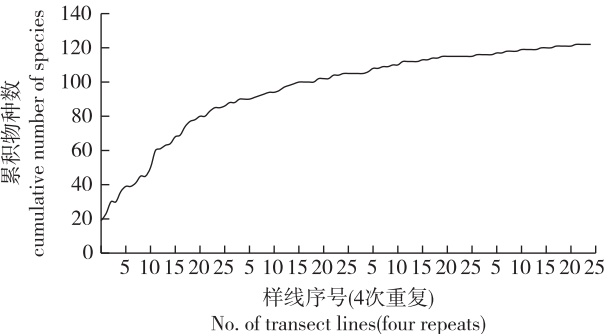


图1 云南楚雄小百草岭鸟类物种伴随样线累积曲线
Fig.1 The cumulative curve of detected bird species with line transects in Xiaobaicaoling Mountain area in Chuxiong, Yunnan Province

居留类型方面,留鸟 110 种(占 90.16%),夏候鸟 5 种(占 4.10%),冬候鸟 6 种(占 4.92%),旅鸟 1 种(占 0.82%)。区系组成方面,在 115 种繁殖鸟(留鸟和夏候鸟)中:以东洋界鸟类为主,有 58 种(占 50.43%),无古北界鸟类物种,广布种 57 种(占 49.57%)。

东洋界成分中,华南区鸟类 2 种(占 3.45%),无华中和西南区独有分布鸟类物种,华南、华中和西南区共有的鸟类 46 种(占 79.31%),华南和西南区共有的鸟类 9 种(占 15.52%),华南和华中区共有的鸟类 1 种(占 1.72%);鸟类分布型最多的是东洋型,有 30 种(占 51.72%),其次是横断山区型和南中国型,分别有 20 种(占 34.48%)和 7 种(占 12.07%)。

鸟类物种丰富度各季节由大到小依次为夏季(112)、春季(104)、秋季(79)、冬季(76);鸟类科-属多样性指数各季节由大到小依次为春季(0.772)、夏季(0.736)、秋季(0.720)、冬季(0.662)。

表2 云南楚雄小百草岭鸟类名录
Table 2 A birds checklist of Xiaobaicaoling Mountain area in Chuxiong, Yunnan Province

目 Order	科 Family	种名 species	区系 fauna	居留类型 resident type	保护级别 protection category	季节 season	生境 habitat	海拔 altitude
鸡形目 Galliformes	雉科 Phasianidae	环颈雉 <i>Phasianus colchicus</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1,2	a,b,c
		棕胸竹鸡 <i>Bambusicola fytchii</i>	O	R		春	1	a,b,c
		白鹇 <i>Lophura nycthemera</i>	O	R	Ⅱ	春、夏、秋	1	a,b,c
鸽形目 Columbiformes	鸠鸽科 Columbidae	山斑鸠 <i>Streptopelia orientalis</i>	OP	R		春、夏	1	d
		火斑鸠 <i>Streptopelia tranquebarica</i>	OP	R		春、夏	1	d
		珠颈斑鸠 <i>Streptopelia chinensis</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1,2,3	d
夜鹰目 Caprimulgiformes	夜鹰科 Caprimulgidae	普通夜鹰 <i>Caprimulgus indicus</i>	OP	R		春、夏、秋	1,3	d
鹃形目 Cuculiformes	杜鹃科 Cuculidae	大鹰鹃 <i>Hierococcyx sparveroides</i>	OP	R		春、夏	1,3	c
		大杜鹃 <i>Cuculus canorus</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1,3	c
		四声杜鹃 <i>Cuculus micropterus</i>	OP	R		春、夏	1,3	c
鹰形目 Accipitriformes	鹰科 Accipitridae	雀鹰 <i>Accipiter nisus</i>	OP	R	Ⅱ	夏	1,2,3	c
		松雀鹰 <i>Accipiter virgatus</i>	OP	R	Ⅱ	夏	1,2,3	c
		苍鹰 <i>Accipiter gentilis</i>	OP	W	Ⅱ、NT	冬	1,2,3	c
		普通鵟 <i>Buteo buteo</i>	OP	R	Ⅱ	春、夏、秋、冬	1,2,3	c
		凤头蜂鹰 <i>Pernis ptilorhynchus</i>	OP	W	Ⅱ、NT	夏、秋	1,2,3	c
鸢形目 Strigiformes	鸱鸃科 Strigidae	领鸢 <i>Glaucidium brodiei</i>	OP	R	Ⅱ	春、夏	1	b,c
		斑头鸢 <i>Glaucidium cuculoides</i>	OP	R	Ⅱ	春、夏	1	b,c
犀鸟目 Bucerotiformes	戴胜科 Upupidae	戴胜 <i>Upupa epops</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1,2,3	a,b,c
啄木鸟目 Piciformes	拟啄木鸟科 Capitonidae	蓝喉拟啄木鸟 <i>Psilopogon asiatica</i>	O	R		春、夏、秋	1	a,b
	啄木鸟科 Picidae	蚊鵙 <i>Jynx torquilla</i>	OP	R		冬	1	b,c
		大斑啄木鸟 <i>Dendrocopos major</i>	OP	R		夏、秋、冬	1	a,b
		星头啄木鸟 <i>Dendrocopos canicapillus</i>	OP	R		春、夏	1	a,b
		灰头绿啄木鸟 <i>Picus canus</i>	OP	R		夏	1	a,b
隼形目 Falconiformes	隼科 Falconidae	红隼 <i>Falco tinnunculus</i>	OP	R	Ⅱ	夏、秋	1,2,3	d

表 2(续)

目 Order	科 Family	种名 species	区系 fauna	居留类型 resident type	保护级别 protection category	季节 season	生境 habitat	海拔 altitude
雀形目 Passeriformes	黄鹡科 Vireonidae	黑枕黄鹡 <i>Oriolus chinensis</i>	OP	S		夏	1	c
	山椒鸟科 Campephagidae	长尾山椒鸟 <i>Pericrocotus ethologus</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1	c、d
		短嘴山椒鸟 <i>Pericrocotus brevirostris</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1	c、d
		灰山椒鸟 <i>Pericrocotus divaricatus</i>	OP	R		夏	1	c、d
	莺雀科 Vireonidae	白腹凤鹛 <i>Erpornis zantholeuca</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1	c、d
		红翅陂鹟 <i>Pteruthius aeralatus</i>	O	R		春、夏	1、3	c、d
	扇尾鹟科 Rhipiduridae	白喉扇尾鹟 <i>Rhipidura albicollis</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	c、d
	卷尾科 Rhipiduridae	黑卷尾 <i>Dicrurus macrocercus</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	a、b、c
		灰卷尾 <i>Dicrurus leucophaeus</i>	OP	R		夏	1、2、3	a、b、c
	伯劳科 Corvidae	红尾伯劳 <i>Lanius cristatus</i>	OP	W		冬	1、2、3	a、b、c
		棕背伯劳 <i>Lanius schach</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	a、b、c
	鸦科 Corvidae	小嘴乌鸦 <i>Corvus corone</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	d
		大嘴乌鸦 <i>Corvus macrorhynchos</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	d
		松鸦 <i>Garrulus glandarius</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2	d
		红嘴蓝鹊 <i>Urocissa erythrorhyncha</i>	OP	R		春、夏	1、2	d
	山雀科 Paridae	褐头山雀 <i>Poecile montanus</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2	d
		大山雀 <i>Parus major</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2	d
		绿背山雀 <i>Parus monticolus</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	d
	扇尾莺科 Cisticolidae	黑喉山鹳莺 <i>Prinia atrogularis</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	c
		灰胸山鹳莺 <i>Prinia hodgsonii</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	c
		纯色山鹳莺 <i>Prinia inornata</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	c
	百灵科 Alaudidae	小云雀 <i>Alauda gulgula</i>	OP	R		春、夏	1、2	d
	燕科 Hirundinidae	家燕 <i>Hirundo ustica</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	c、d
	鹎科 Pycnonotidae	黄臀鹎 <i>Pycnonotus xanthorrhous</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2、3	b、c
		白喉红臀鹎 <i>Pycnonotus aurigaster</i>	O	R		春、冬	1、2、3	b、c
		凤头雀嘴鹎 <i>Spizixos canifrons</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
		绿翅短脚鹎 <i>Ixos mclellandii</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
		黑短脚鹎 <i>Hypsipetes leucocephalus</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
	柳莺科 Phylloscopidae	褐柳莺 <i>Phylloscopus fuscatus</i>	OP	R		春、冬	1、2	b、c
		华西柳莺 <i>Phylloscopus occisnensis</i>	OP	R		春、冬	1、2	b、c
		橙斑翅柳莺 <i>Phylloscopus pulcher</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
		灰喉柳莺 <i>Phylloscopus maculipennis</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
		黄眉柳莺 <i>Phylloscopus inornatus</i>	OP	P		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
		黄腰柳莺 <i>Phylloscopus proregulus</i>	OP	S		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
		棕腹柳莺 <i>Phylloscopus subaffinis</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
		暗绿柳莺 <i>Phylloscopus trochiloides</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
		西南冠纹柳莺 <i>Phylloscopus reguloides</i>	O	S		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
		灰冠鹟莺 <i>Seicercus tephrocephalus</i>	O	S		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
	树莺科 Cettiidae	黑脸鹟莺 <i>Abrosopus schisticeps</i>	O	R		春、夏	1、2	b、c
		强脚树莺 <i>Horornis fortipes</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2	b、c
	长尾山雀科 Aegithalidae	红头长尾山雀 <i>Aegithalos concinnus</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2	d
		黑眉长尾山雀 <i>Aegithalos bonvaloti</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2	d
	莺鹟科 Sylviidae	白眉雀鹟 <i>Fulvetta vinipectus</i>	O	R		春、夏	1、2	d
		棕头雀鹟 <i>Fulvetta ruficapilla</i>	O	R		春、夏	1、2	d
		褐头雀鹟 <i>Fulvetta cinereiceps</i>	O	R		春、夏	1、2	d
	绣眼鸟科 Zosteropidae	棕臀凤鹟 <i>Yuhina occipitalis</i>	O	R		春、夏	1、2	d
		黄颈凤鹟 <i>Yuhina flavicollis</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2	d
		白领凤鹟 <i>Yuhina diademata</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、2	d
		灰腹绣眼鸟 <i>Zosterops palpebrosus</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1、3	d

表 2(续)

目 Order	科 Family	种名 species	区系 fauna	居留类型 resident type	保护级别 protection category	季节 season	生境 habitat	海拔 altitude
雀形目 Passeriformes	林鹀科 Timaliidae	斑胸钩嘴鹀 <i>Pomatorhinus erythrocnemis</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1,3	d
		棕颈钩嘴鹀 <i>Pomatorhinus ruficollis</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1,3	d
		斑翅鹀 <i>Spelaornis troglodytoides</i>	O	R		春、夏、秋	1,3	d
		红头穗鹀 <i>Cyanoderma ruficeps</i>	O	R		春、夏、秋	1,3	d
	幽鹀科 Pellorneidae	褐胁雀鹀 <i>Schoeniparus dubia</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1,3	c
		灰眶雀鹀 <i>Alcippe morrisonia</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1,3	c
	噪鹛科 Leiothrichidae	大噪鹛 <i>Garrulax maximus</i>	O	R	II	春、夏、秋、冬	1	d,e
		眼纹噪鹛 <i>Garrulax ocellatus</i>	O	R	II,NT	春、夏、秋、冬	1	c
		橙翅噪鹛 <i>Trochalopteron elliotii</i>	OP	R	II	春、夏、秋、冬	1	d,e
		黑顶噪鹛 <i>Trochalopteron affine</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1	d,e
		红尾噪鹛 <i>Trochalopteron milnei</i>	O	R	II	春、夏、秋	1	c
		斑喉希鹛 <i>Minla strigula</i>	O	R		春、夏	1	d
		红尾希鹛 <i>Minla ignotincta</i>	O	R		春、夏、秋	1,3	c
		黑头奇鹛 <i>Heterophasia melanoleuca</i>	O	R		夏	1	d,e
		画眉 <i>Garrulax canorus</i>	O	R	II, NT	春、夏、秋、冬	1	d,e
		蓝翅希鹛 <i>Siva cyanouroptera</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1,2,3	d
		银耳相思鸟 <i>Leiothrix argentauris</i>	O	R	II, NT	春、夏、秋、冬	1,2,3	d,e
		红嘴相思鸟 <i>Leiothrix lutea</i>	O	R	II	夏	1,2,3	d
	旋木雀科 Certhiidae	高山旋木雀 <i>Certhia himalayana</i>	O	R		夏	1,3	d
	鹎科 Sittidae	栗臀鹎 <i>Sitta nagaensis</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1	d
		滇鹎 <i>Sitta yunnanensis</i>	O	R	II, VU	春、夏	1	d
	鹪鹩科 Troglodytidae	鹪鹩 <i>Troglodytes troglodytes</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1,3	c,d
	棕鸟科 Sturnidae	八哥 <i>Acridotheres cristatellus</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1,2,3	c,d
	鸫科 Turdidae	灰头鸫 <i>Turdus rubrocanus</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1	c,d
		黑胸鸫 <i>Turdus dissimilis</i>	O	R	NT	春、夏、秋、冬	1	c,d
		斑鸫 <i>Turdus eunomus</i>	OP	W		冬	1	c,d
		宝兴歌鸫 <i>Turdus mupinensis</i>	OP	R		春、夏	1	c,d
	鹟科 Muscicapidae	红胁蓝尾鸫 <i>Tarsiger cyanurus</i>	OP	W		春、冬	1	c
		蓝眉林鸫 <i>Tarsiger rufilatus</i>	O	S		春、冬	1	c
		蓝额红尾鸫 <i>Phoenicurus frontalis</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1	c
		红尾水鸫 <i>Rhyacornis fuliginosa</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1	c
		北红尾鸫 <i>Phoenicurus aureus</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1	c
		白尾蓝地鸫 <i>Myiomela leucurum</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1	c
		白顶溪鸫 <i>Chaimarrornis leucocephalus</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1,3	c
		鹟鸫 <i>Copsychus saularis</i>	O	R		春、夏、秋、冬	1,2,3	c
		黑喉石鵒 <i>Saxicola torquatus</i>	OP	R		夏	2,3	c
		灰林 <i>Saxicola ferreus</i>	OP	R		春、夏	2,3	c
		虎斑地鸫 <i>Zoothera dauma</i>	OP	R		春、夏	1,2	c
		橙胸姬鹟 <i>Ficedula strophiate</i>	O	R		春、夏、秋	1,2	c
	啄花鸟科 Dicaeidae	红胸啄花鸟 <i>Dicaeum ignipectus</i>	O	R		春、夏、秋	1	a,b,c
	花蜜鸟科 Nectariniidae	蓝喉太阳鸟 <i>Aethopyga gouldiae</i>	O	R		春、夏、秋	1	a,b,c
	岩鹛科 Prunellidae	栗背岩鹛 <i>Prunella immaculata</i>	OP	R		夏	2	d
	雀科 Passeridae	麻雀 <i>Passer montanus</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1,2,3	c,d
		山麻雀 <i>Passer cinnamomeus</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1,2	c,d
	鹡鸰科 Motacillidae	白鹡鸰 <i>Motacilla alba</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1,2,3	c,d
		树鹡鸰 <i>Anthus hodgsoni</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1,2	c,d
	燕雀科 Fringillidae	黑头金翅雀 <i>Chloris ambigua</i>	OP	R		春、夏、秋、冬	1,2,3	e
	鹎科 Emberizidae	灰眉岩鹟 <i>Emberiza godlewskii</i>	OP	R		春、夏	2	d
		小鹟 <i>Emberiza pusilla</i>	OP	W		春、夏	2	b,c

注:保护级别 protection category, II.国家II级保护鸟类 the second level of national protect birds;NT.近危物种 near threatened species;VU.易危物种 vulnerable species。区系 fauna: P.古北种 palearctic species;O.东洋种 oriental species; OP.广布种 widespread species。居留型 resident type: R.留鸟 resident,S.夏候鸟 summer visitor;W.冬候鸟 winter visitor;P.旅鸟 passage migrant。生境 habitat:1.林地 forest;2.灌丛草地 bush;3.耕地 farmland。海拔 altitude:a.<1 600 m;b.≥1 600~2 100 m;c.≥2 100~2 600 m;d.≥2 600~3 100 m;e.≥3 100 m。

2.2 不同生境中的鸟类多样性

森林环境是小百草岭鸟类主要的栖息生境,分布的种类最多,其次为灌丛草地,在耕地生境中最少。鸟类群落结构相似性分析结果(表 3)显示:

林地和灌丛草地共有物种数 63 种,相似性最高;其次为林地和耕地,共有物种数有 46 种;相似性最低的是灌丛草地和耕地,共有物种数有 32 种。

表 3 不同生境类型鸟类多样性
Table 3 Bird diversity indices of different habitats

生境类型 habitat type	面积/km ² area	样线 长度/km transect lines length	种数 species number	F 指数 F-index	G 指数 G index	G-F 指数 G-F-index	相似性指数 similarity index			
							灌丛草地 bush		耕地 farmland	
							C _J	C _S	C _J	C _S
林地 forest	380.06	34.59	117	16.041	4.183	0.739	0.516	0.681	0.387	0.558
灌丛草地 bush	94.85	13.36	68	8.935	3.531	0.605			0.381	0.552
耕地 farmland	120.70	19.97	48	7.832	3.532	0.549				

2.3 鸟类多样性垂直分布格局

鸟类的物种丰富度、G-F 多样性指数沿海拔升高整体均呈现出先增后减的趋势(表 4)。小百草岭区域 5 个不同海拔梯度鸟类群落结构相似性分析结果(表 4)显示:<1 600 m 和 ≥1 600~2 100 m

这两个海拔梯度共有物种数有 14 种,相似性最高;其次为 ≥1 600~2 100 m 和 ≥2 100~2 600 m 两个海拔梯度,共有物种数 31 种;相似性最低的是 <1 600 m 和 ≥3 100 m 两个海拔梯度。

表 4 不同海拔梯度鸟类多样性
Table 4 Bird diversity indices at different altitudes

海拔/m altitude	面积/ km ² area	样线 长度/km transect lines length	种数 species number	F 指数 F-index	G 指数 G-index	G-F 指数 G-F-index	相似性指数 similarity index							
							≥1 600~2 100 m		≥2 100~2 600 m		≥2 600~3 100 m		≥3 100 m	
							C _J	C _S	C _J	C _S	C _J	C _S	C _J	C _S
<1 600	53.18	2.66	14	1.74	2.34	0.35	0.400	0.571	0.123	0.220	0	0	0	0
≥1 600~2 100	128.33	11.89	35	4.78	2.80	0.46			0.383	0.554	0	0	0	0
≥2 100~2 600	201.27	20.49	77	10.70	3.74	0.65					0.145	0.254	0	0
≥2 600~3 100	165.47	27.17	57	6.90	3.54	0.49							0.103	0.188
≥3 100	47.36	5.71	7	1.56	1.75	0.12								

3 讨 论

3.1 物种组成及多样性的分析

研究区鸟类的 G-F 指数与大瑶山和梵净山等区域的相似^[29]。将调查结果与楚雄州辖区内另外两个自然保护区比较,鸟类物种数低于紫溪山省级保护区(177 种)^[34],高于狮子山州级保护区(115 种)^[7]。从保护物种来看,小百草岭的重点保护鸟类(17 种)高于狮子山州级保护区(8 种),从侧面反映出该地区是滇中鸟类多样性较为丰富的区域。研究区鸟类以东洋界物种为主,并具有繁殖鸟和鸟类资源丰富特点,这主要与该地区所处地理位置有关。小百草岭地区在动物区划上处于古北界和东洋界分界线的南侧,属东洋界西南区和华南区区系交错地带^[27]。春季调查到的鸟类种数低于夏季,但多样性指数却最高。其原因可能是,高海

拔区域分布有大面积的杜鹃林,每当开花季节,亦是昆虫大量繁殖时期,为喜食昆虫和花的鸟类提供了丰富的食物来源^[7];在森林生态系统中,夏季植被生长最为茂盛,能为大多数鸟类提供良好的栖息生境。除此之外,7—8 月森林果实的成熟亦为鸟类提供丰富的食物资源,故夏季依靠这一优势拥有更多的鸟类物种数。

3.2 不同生境和海拔的鸟类多样性差异

小百草岭地处横断山南段亚地区和云南高原亚地区的过渡地带,即介于滇西北纵向岭谷区与云南高原之间,北临金沙江^[18]。由于该地区海拔跨度大,多种生境交错并存,因此随环境梯度的变化鸟类群落组成表现出明显差异。该地区林地鸟类物种丰富度和多样性指数高于灌丛草地和耕地,可能是中高海拔分布有较大面积的森林所致,较大的面积能够容纳更多的物种^[35];此外,鸟类多样性受

其栖息生境中植被组成特征的影响^[10, 36], 空间异质性较高的林地能为更多的物种提供丰富的食物资源和隐蔽条件, 满足不同生态位的鸟类需要^[4]。灌丛草地除分布于高海拔地区($\geq 3\ 100\text{ m}$)外, 还有部分散布于中海拔($\geq 2\ 100 \sim 2\ 600\text{ m}$ 和 $\geq 2\ 600 \sim 3\ 100\text{ m}$)的林间, 这也是林地与灌丛草地鸟类相似性高的原因。耕地所占面积虽比灌丛草地大, 但多处于低海拔的高密度人口分布区, 较强的人为干扰和较差隐蔽条件致使物种丰富度和多样性指数都偏低。因此, 为较好地保护该地区的鸟类多样性资源, 应优先保护林地生境和灌丛草地。

受气候、面积等一系列因素的影响, 物种的丰富度垂直分布格局一般呈现4种模式^[12, 17, 35]。小百草岭的鸟类物种丰富度随海拔呈现出峰值位于中海拔($\geq 2\ 100 \sim 2\ 600\text{ m}$)的单峰模式, 与大多数研究结果一致^[9, 14, 35, 37-38]。低海拔段, 分布有农田和民居区, 较大的人为干扰影响了鸟类生存; 中海拔地区分布着大面积的暖温带针叶林和半湿润常绿阔叶林^[18], 生境异质性较高且人为干扰较小, 物种丰富度最为丰富; 而在高海拔段的灌丛草地, 隐蔽条件不佳限制了鸟类的生存。

3.3 植被结构及海拔对鸟类空间分布的交互作用

植被类型随着垂直海拔的变化, 其结构和组成随之改变, 相应的, 鸟类根据对环境因素的需求, 如温湿度、食物资源、栖息生境和对抗干扰的差异而选择适合生存的空间, 形成了鸟类在山地垂直地带的空间分布特征。调查结果显示, 雉科、戴胜和雀形目的部分物种在海拔 $< 2\ 600\text{ m}$ 地区各海拔区间均有分布, 海拔跨度最大, 垂直分布区域较宽, 但是它们对生境选择不同。雉科的3种鸟类、红胸啄花鸟和蓝吼太阳鸟以森林环境为主, 卷尾科和伯劳科鸟类广泛适应林地、灌丛草地和耕地3种生境类型。蓝喉拟啄木鸟、大斑啄木鸟、星头啄木鸟和灰头绿啄木鸟主要分布在 $< 2\ 100\text{ m}$ 的林地, 属于低海拔鸟类, 这部分鸟类以林鸟为主, 仅选择林地生境; 在 $\geq 2\ 100 \sim 3\ 100\text{ m}$ 的中高海拔区间, 面积最大, 以暖温性针叶林和湿性常绿阔叶林为主, 间以灌丛草地和农田, 生境异质性较高。尤其是海拔 $\geq 2\ 600 \sim 3\ 100\text{ m}$ 区间, 森林面积最大, 农田面积骤减, 人为干扰强度低。这两个海拔区间集中了小百草岭大部分鸟类种类, 但它们在海拔各层分布有所不同, 还有一些鸟类呈现多海拔区域分布。这两个海拔区间的鸟类以林鸟为主, 多选择林地和灌丛草地, 然而一些鸟类虽然分布在中高海拔地区, 在

农田亦有分布, 显示出这类鸟对人类活动有较高的抗干扰性。此外, 部分村寨和城市常见的鸟类, 在小百草岭却分布在远离人类活动的中高海拔山区, 反映出这类抗性较强的鸟类在生境选择上的可塑性极大, 值得进一步研究; 海拔 $\geq 3\ 100\text{ m}$ 区域的植被类型、温湿度与低海拔差异明显, 分布的鸟类种类明显减少。

鸟类在垂直海拔的分布和对生境的选择偏好反映了鸟类对各环境要素的综合需求。探究物种丰富度垂直分布格局的形成机制中, 存在相关性最强的环境因子和最具说服力的假说, 至今仍未形成广泛认同的结论^[36-37]。物种丰富度垂直分布格局的形成是生物体与环境之间长期适应进化的结果, 应全面深入并长期对某一地区的生物多样性进行调查, 同时记录与其相关的环境因子, 再结合物种的进化历史进行探究^[39]。此外, 研究方法的统一和规范性、海拔梯度的划分依据, 对于开展物种丰富度垂直分布格局研究也至关重要^[11, 40]。

参考文献(reference):

- [1] PADOA-SCHIOPPA E, BAIETTO M, MASSA R, et al. Bird communities as bioindicators: the focal species concept in agricultural landscapes[J]. *Ecol Indic*, 2006, 6(1): 83-93. DOI: 10.1016/j.ecolind.2005.08.006.
- [2] FURNESS R W, GREENWOOD J J D, JARVIS P J. Can birds be used to monitor the environment? [M]// FURNESS R W, GREENWOOD J J D. *Birds as monitors of environmental change*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1993: 1-41. DOI: 10.1007/978-94-015-1322-7_1.
- [3] 赵洪峰, 雷富民. 鸟类用于环境监测的意义及研究进展[J]. *动物学杂志*, 2002, 37(6): 74-78. ZHAO H F, LEI F M. Birds as monitors of environmental change[J]. *Chin J Zool*, 2002, 37(6): 74-78. DOI: 10.13859/j.cjz.2002.06.021.
- [4] MENTIL L, BATTISTI C, CARPANETO G M. The older the richer: significant increase in breeding bird diversity along an age gradient of different coppiced woods[J]. *Web Ecol*, 2018, 18(2): 143-151. DOI: 10.5194/we-18-143-2018.
- [5] 解萌, 黄耀华, 何浩, 等. 雅安市区林地鸟类多样性及生态位分析[J]. *动物学杂志*, 2012, 47(5): 110-118. XIE M, HUANG Y H, HE H, et al. Avian diversity and niche widthness in urban forest of Ya'an[J]. *Chin J Zool*, 2012, 47(5): 110-118. DOI: 10.13859/j.cjz.2012.05.014.
- [6] 杨楠, 李波, 黄薇, 等. 四川察青松多白唇鹿国家级自然保护区鸟类多样性和区系分析[J]. *四川动物*, 2020, 39(4): 465-480. YANG N, LI B, HUANG W, et al. Bird diversity and fauna analysis in the Chaqingsongduo White-lipped Deer National Nature Reserve, Sichuan[J]. *Sichuan J Zool*, 2020, 39(4): 465-480. DOI: 10.11984/j.issn.1000-7083.20190236.
- [7] 胡莹嘉, 严娟, 周伟. 楚雄狮子山州级自然保护区鸟类多样性分析[J]. *西南林业大学学报(自然科学)*, 2019, 39(2): 151-159. HU Y J, YAN J, ZHOU W. Bird diversity of Shizishan Natural Reserve in Chuxiong, Yunnan[J]. *J Southwest For Univ (Nat Sci)*, 2019, 39(2): 151-159. DOI: 10.11929/j.swfu.201807033.
- [8] 丁平. 中国鸟类生态学的发展与现状[J]. *动物学杂志*, 2002, 37(3): 71-78. DING P. Status and development of avian ecology in China[J]. *Chin J Zool*, 2002, 37(3): 71-78. DOI: 10.13859/j.cjz.2002.03.020.
- [9] 梁丹, 高歌, 王斌, 等. 云南高黎贡山中段鸟类多样性和垂直分布特征[J]. *四川动物*, 2015, 34(6): 930-940. LIANG D, GAO G, WANG B, et al. The diversity and vertical distribution of the

- birds in middle Gaoligong Mountain, Yunnan [J]. *Sichuan J Zool*, 2015, 34 (6): 930–940. DOI: 10.11984/j.issn.1000-7083.20150029.
- [10] 程松林, 毛夷仙, 袁荣斌. 江西武夷山-黄岗山西北坡森林繁殖鸟类多样性调查 [J]. *生态学报*, 2014, 34 (23): 6963–6974. CHENG S L, MAO Y X, YUAN R B. Jiangxi Wuyishan-research on the diversity of forest breeding birds in the northwest slope of Huanggangshan [J]. *Acta Ecol Sin*, 2014, 34 (23): 6963–6974. DOI: 10.5846/stxb201303030333.
- [11] 何中声, 刘金福, 洪伟, 等. 泉州市鸟类多样性海拔梯度格局的研究 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2012, 32 (6): 188–191. HE Z S, LIU J F, HONG W, et al. Study on altitudinal patterns of avian diversity in Quanzhou City [J]. *J Central South Univ For Technol*, 2012, 32 (6): 188–191. DOI: 10.14067/j.cnki.1673-923x.2012.06.003.
- [12] MCCAIN C M. Global analysis of bird elevational diversity [J]. *Glob Ecol Biogeogr*, 2009, 18 (3): 346–360. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2008.00443.x.
- [13] WU Y J, COLWELL R K, HAN N J, et al. Understanding historical and current patterns of species richness of babblers along a 5 000 m subtropical elevational gradient [J]. *Glob Ecol Biogeogr*, 2014, 23 (11): 1167–1176. DOI: 10.1111/geb.12197.
- [14] 陈雪, 张塔星, 罗概, 等. 四川美姑大风顶国家级自然保护区鸟类物种及垂直多样性研究 [J]. *四川动物*, 2019, 38 (4): 445–451. CHEN X, ZHANG T X, LUO G, et al. Composition and vertical distribution pattern of birds species in the Meigu Dafengding National Nature Reserve, Sichuan [J]. *Sichuan J Zool*, 2019, 38 (4): 445–451. DOI: 10.11984/j.issn.1000-7083.20190024.
- [15] ACHARYA B K, SANDERS N J, VIJAYAN L, et al. Elevational gradients in bird diversity in the eastern Himalaya: an evaluation of distribution patterns and their underlying mechanisms [J]. *PLoS One*, 2011, 6 (12): e29097. DOI: 10.1371/journal.pone.0029097.
- [16] KATTAN G H, FRANCO P. Bird diversity along elevational gradients in the *Andes* of Colombia: area and mass effects [J]. *Glob Ecol Biogeogr*, 2004, 13 (5): 451–458. DOI: 10.1111/j.1466-822X.2004.00117.x.
- [17] RAHBK C. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? [J]. *Ecography*, 1995, 18 (2): 200–205. DOI: 10.1111/j.1600-0587.1995.tb00341.x.
- [18] 王利松, 彭华. 滇中小百草岭多变石栎林植物区系的初步研究 [J]. *云南植物研究*, 2004, 26 (2): 157–165. WANG L S, PENG H. The preliminary floristic study on the elements of *Lithocarpus variolosa* forest in Mt. Xiaobaicaoling, C. Yunnan [J]. *Acta Bot Yunnanica*, 2004, 26 (2): 157–165. DOI: 10.3969/j.issn.2095-0845.2004.02.004.
- [19] 袁鸿文. 拟建中的大姚百草岭自然保护区的保护价值研究 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37 (16): 7759–7761. YUAN H W. Protection value of proposed Baicaoling Nature Reserve in Dayao County [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2009, 37 (16): 7759–7761. DOI: 10.13989/j.cnki.0517-6611.2009.16.120.
- [20] 司马永康, 方波, 李玉媛, 等. 云南省百草岭自然保护区植被的基本类型 [J]. *云南林业科技*, 2002, 31 (1): 31–36. SIMA Y K, FANG B, LI Y Y, et al. Major types of vegetation in the Baicaoling Nature Reserve of Yunnan [J]. *Yunnan For Sci Technol*, 2002, 31 (1): 31–36. DOI: 10.16473/j.cnki.xblykx1972.2002.01.007.
- [21] 冯士雍, 倪加勋, 邹国华. 抽样调查理论与方法 [M]. 2版. 北京: 中国统计出版社, 2012. FENG S Y, NI J X, ZOU G H. Sampling survey theory and method [M]. 2nd ed. Beijing: China Statistics Press, 2012.
- [22] 约翰·马敬能, 卡伦·菲力普斯. 中国鸟类野外手册 [M]. 卢何芬, 译. 长沙: 湖南教育出版社, 2000. MACKINNON J, PHILLIPPS K. A field guide to the birds of China [M]. LU H F, translate. Changsha: Hunan Education Publishing House, 2000.
- [23] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录 [M]. 3版. 北京: 科技出版社, 2017. ZHENG G M. A checklist on the classification and distribution of the birds of China [M]. 3rd ed. Beijing: Science Press, 2017.
- [24] 国家林业和草原局, 农业农村部. 国家重点保护野生动物名录. [EB/OL]. [2021-02-05]. <http://www.forestry.gov.cn/main/5461/20210205/122418860831352.html>.
- [25] 杨岚. 云南鸟类志: 上卷. 雀形目 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1995. YANG L. The avifauna of Yunnan, China; vol I. Non-Passeriformes [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 1995.
- [26] 杨岚, 杨晓君. 云南鸟类志: 下卷. 雀形目 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2004. YANG L, YANG X J. The avifauna of Yunnan, China; vol II. Passeriformes [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2004.
- [27] 张荣祖. 中国动物地理 [M]. 北京: 科学出版社, 2011. ZHANG R Z. Chinese animal geography [M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [28] WU Y J, COLWELL R K, RAHBK C, et al. Explaining the species richness of birds along a subtropical elevational gradient in the Hengduan Mountains [J]. *J Biogeogr*, 2013, 40 (12): 2310–2323. DOI: 10.1111/jbi.12177.
- [29] 蒋志刚, 纪力强. 鸟兽物种多样性测度的 G-F 指数方法 [J]. *生物多样性*, 1999, 7 (3): 220–225. JIANG Z G, JI L Q. Avian-mammalian species diversity in nine representative sites in China [J]. *Chin Biodiversity*, 1999, 7 (3): 220–225. DOI: 10.3321/j.issn.1005-0094.1999.03.010.
- [30] 马克平, 刘灿然, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 II: β 多样性的测度方法 [J]. *生物多样性*, 1995, 3 (1): 38–43. MA K P, LIU C R, LIU Y M. Measurement of biotic community diversity II: β diversity. *Chin Biodiversity*, 1995, 3 (1): 38–43. DOI: 10.17520/biods.1995007.
- [31] 李巧. 物种累积曲线及其应用 [J]. *应用昆虫学报*, 2011, 48 (6): 1882–1888. LI Q. Species accumulation curves and its application [J]. *Chin J Appl Entomol*, 2011, 48 (6): 1882–1888. DOI: CNKI:SUN:KCZS.0.2011-06-055.
- [32] 高正文, 孙航. 云南省生物物种名录 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 2017. GAO Z W, SUN H. List of biological species in Yunnan Province [M]. Kunming: Yunnan Science and Technology Press, 2017.
- [33] 蒋志刚, 江建平, 王跃招, 等. 中国脊椎动物红色名录 [J]. *生物多样性*, 2016, 24 (5): 500–551. JIANG Z G, JIANG J P, WANG Y Z, et al. Red list of China's vertebrates [J]. *Biodivers Sci*, 2016, 24 (5): 500–551. DOI: 10.17520/biods.2016076.
- [34] 冯莹莹, 李奇生, 梁丹, 等. 云南紫溪山冬季鸟类丰富度年间变化研究 [J]. *西南林业大学学报 (自然科学)*, 2019, 39 (4): 110–115. FENG Y Y, LI Q S, LIANG D, et al. Annual change of avian species richness in winter at Zixi Mountain, Yunnan [J]. *J Southwest For Univ (Nat Sci)*, 2019, 39 (4): 110–115. DOI: 10.11929/j.swfu.201901015.
- [35] RAHBK C. The role of spatial scale and the perception of large-scale species-richness patterns [J]. *Ecol Lett*, 2005, 8 (2): 224–239. DOI: 10.1111/j.1461-0248.2004.00701.x.
- [36] MACARTHUR R H, MACARTHUR J W. On bird species diversity [J]. *Ecology*, 1961, 42 (3): 594–598. DOI: 10.2307/1932254.
- [37] 吴永杰, 杨奇森, 夏霖, 等. 贡嘎山东坡非飞行小型兽类物种多样性的垂直分布格局 [J]. *生态学报*, 2012, 32 (14): 4318–4328. WU Y J, YANG Q S, XIA L, et al. Species diversity and distribution pattern of non-volant small mammals along the elevational gradient on eastern slope of Gongga Mountain [J]. *Acta Ecol Sin*, 2012, 32 (14): 4318–4328. DOI: 10.5846/stxb201106240941.
- [38] 张塔星, 陈雪, 李东睿, 等. 四川黑竹沟国家级自然保护区的鸟类多样性 [J]. *四川动物*, 2020, 39 (4): 453–464. ZHANG T X, CHEN X, LI D R, et al. Bird diversity in the Heizhugou National Nature Reserve, Sichuan [J]. *Sichuan J Zool*, 2020, 39 (4): 453–464. DOI: 10.11984/j.issn.1000-7083.20190402.
- [39] 吴永杰, 雷富民. 物种丰富度垂直分布格局及影响机制 [J]. *动物学杂志*, 2013, 48 (5): 797–807. WU Y J, LEI F M. Species richness patterns and mechanisms along the elevational gradients [J]. *Chin J Zool*, 2013, 48 (5): 797–807. DOI: 10.13859/j.cjz.2013.05.022.
- [40] WHITTAKER R J, WILLIS K J, FIELD R. Scale and species richness: towards a general, hierarchical theory of species diversity [J]. *J Biogeogr*, 2001, 28 (4): 453–470. DOI: 10.1046/j.1365-2699.2001.00563.x.