

# 繁殖期荒漠鸟类群落与自然植被的相关格局

陈莹<sup>①②</sup> 马鸣<sup>①\*</sup> 丁鹏<sup>①②</sup> 李维东<sup>③</sup> 胡宝文<sup>①②</sup>

① 中国科学院新疆生态与地理研究所 乌鲁木齐 830011; ② 中国科学院研究生院 北京 100049;

③ 新疆环境科学院 乌鲁木齐 830011

**摘要:**为探讨植被结构和物种组成对鸟类群落多度分布的影响,于2010年5~8月,在阜康地区所涵盖的显域植被梯度带(梭梭、琵琶柴及蒿属荒漠)内分别布设3~4条样线,调查繁殖鸟类群落多度分布及植被参数。借助平均高度和盖度反映植被结构,平均物种数目反映植物组成。从鸟类群落中抽取显著正相关鸟种组合及狭分布鸟种组合,将不同的鸟类组合与植被参数代入DCCA排序和Spearman秩相关分析,结果如下:(1)繁殖期鸟类群落对植被结构的响应较大,累积解释量达50.6%,灌木盖度与第一轴的相关系数为-0.998,草本高度与第二轴的相关系数为-0.479;且受植被水平异质性的影响大于垂直异质性。(2)显著正相关鸟种组合对植被结构的响应比繁殖期鸟类群落更大,累积解释量达64.4%,灌木盖度与第一轴的相关系数为-0.997,草本高度与第二轴的相关系数为-0.480;对植物组成的依赖性降低,草本平均物种数目与第二轴的相关性由-0.425变为-0.285。(3)狭分布鸟种组合受植物组成的响应大于植被结构,累积解释量达52.6%,灌木平均物种数目与第一轴的相关系数-0.997,草本平均物种数目与第二轴的相关系数为0.653。本研究支持鸟类群落对植被结构和植物组成的响应归于尺度效应的观点,并推测:在荒漠区,广布鸟种的栖息地选择偏向于植被结构,而狭布鸟种偏向于植物组成,尤其是草本平均物种数目。广布鸟种与狭布鸟种在鸟类群落中的比例,决定了鸟类群落对植被的具体响应。

**关键词:**植被结构;植物组成;DCCA排序;鸟种组合

中图分类号:Q958 文献标识码:A 文章编号:0250-3263(2011)06-24-10

## The Correlation Pattern between Breeding Desert Bird Communities and Natural Vegetation in Fukang, Xinjiang

CHEN Ying<sup>①②</sup> MA Ming<sup>①\*</sup> DING Peng<sup>①②</sup> LI Wei-Dong<sup>③</sup> HU Bao-Wen<sup>①②</sup>

① *Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011;*

② *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;*

③ *Xinjiang Academe of Environmental Protection, Urumqi 830011, China*

**Abstract:** We surveyed bird species, abundance of each species in 10 transects 1.5 km long and 100 m wide in three type desert vegetation (*Haloxylon* shrub, *Reaumuria* shrub and *Artemisia* grassland) and sampled vegetation characteristics associating with birds, such as vegetation components, percent of cover, vegetation height from May to August, 2010 in Fukang, Xinjiang. We used average vegetation height and coverage to reflected vegetation structure, used significantly positively correlated bird assemblage and narrowly distributed

**基金项目** 国家科技支撑项目(No. 2008BAC39B04), 国家自然科学基金项目(No. 30470262, 30970340);

\* 通讯作者, E-mail: maming@ms.xjb.ac.cn;

**第一作者介绍** 陈莹, 女, 博士研究生; 研究方向: 鸟类生态; E-mail: yeye0914@163.com。

收稿日期: 2011-05-20, 修回日期: 2011-09-03

bird assemblage found in this study, to reveal the correlation between breeding bird community with the three desert vegetation. Based on DCCA ordination and Spearman Rank Correlation Coefficient, we found out (1) the entire bird community responded strongly to vegetation structure; (2) Significantly correlated bird assemblage responded more strongly to vegetation structure than the entire bird communities; (3) Narrowly distributed bird assemblage responded strongly to vegetation component. Our results supported the opinion that the bird community/vegetation correlation pattern was ascribe to the scale effect. Based on the results we presumed in desert narrowly distributed birds respond to vegetation component more strongly than to vegetation structure, especially to average number of herb species; widely distributed birds respond to vegetation structure more strongly. The ratio of the widely distributed birds to narrow distributed birds might decide the bird community responding to vegetation.

**Key words:** Vegetation structure; Floristics; DCCA ordination; Bird assemblage

20 世纪 60 年代, MacArthur 等对鸟类多样性 (bird species diversity, BSD) 与叶高多样性 (foliage height diversity, FHD) 的研究表明, 二者呈显著正相关, 首次提出鸟类群落结构与资源之间的联系<sup>[1]</sup>。但是鸟类多样性与叶高多样性之间的相关性, 长久以来一直受到两方面的质疑: 首先, 这种相关性属于经验值, 缺乏普遍性<sup>[2-8]</sup>; 其次, 鸟类多样性和叶高多样性所采用的信息指数是衡量物种数目及均匀度的综合参数, 缺乏直接、明晰的生物学意义<sup>[9]</sup>。数位研究者提出用简单、直接、具明晰生物学意义的参数来量化动植物种群<sup>[9-11]</sup>。

植被结构被认为给鸟类提供了关键的生态位谱 (niche dimension): 直接作用有提供交配、炫耀的场所, 窝巢基质, 防御天敌, 防止同类竞争; 间接作用, 如提供猎物的丰度和多样性, 以及其他保证成功繁殖的条件<sup>[12-16]</sup>。许多研究利用植被结构来解释单一鸟种的栖息地选择、分布或者丰富度<sup>[17-21]</sup>, 甚至鸟类群落的形成<sup>[22-27]</sup>。Rotenberry 等在大尺度范围内评估北美半干旱草原的生境结构对鸟类群落 (物种多样性和物种组成) 的影响时, 证明二者存在强相关格局<sup>[28]</sup>。Wiens 等的研究发现, 栖息于北美灌木草原内的鸟类群落和植物组成 (灌木物种) 显著相关<sup>[29]</sup>。但植被的结构与物种组成 (floristics)<sup>[14-16, 30]</sup> 相比较, 究竟谁能更好地解释鸟类的分布格局? Wiens 认为二者之间的矛盾主要由研究尺度引起, 同样的物种在大陆尺度上 (生境间) 对植被结构的响应, 并不表现在

区域尺度上 (生境内)<sup>[31]</sup>。鸟类靠识别植被结构来区分不同类型的生境, 并依靠植物组成来微调其在该生境范围内的适合栖息地。Rotenberry 在研究草原鸟种时, 提出这种针对尺度的响应机制可能是由鸟类的栖息地选择引起的<sup>[32]</sup>。

天山山脉向北渐入准噶尔盆地腹地的延伸带, 依次发育着蒿属 (*Artemisia*) 荒漠、琵琶柴 (*Reaumuria soongonica*) 荒漠及梭梭 (*Haloxylon ammodendron*) 荒漠三大显域植被带。这些短距离的梯度带为研究鸟类群落组成与植被之间的关系提供了契机<sup>[33]</sup>。因此, 选取天山北麓的阜康地区作为研究区域, 它囊括三大显域植被带。我们借助简单、直观、具有生物学解释意义的参数反映植被结构及物种组成, 探寻该区繁殖期鸟类群落与植被的相关格局, 并对格局背后的机制提出推测。

## 1 研究方法及区域概况

### 1.1 区域概况

阜康地区 (N43°45' ~ 45°30', E87°46' ~ 88°44') 地处新疆准噶尔盆地古尔班通古特沙漠南缘, 天山博格达峰 (海拔 5 445 m) 北麓, 为一以冰川积雪带至沙漠边缘的南北向的狭长地区 (图 1)。该区以小半乔木和小半灌木为主的地带性的荒漠植被所构成<sup>[34]</sup>。在沙漠以南的荒漠平原中, 梭梭群系成为分布最广的地带性植被类型。小半灌木的琵琶柴荒漠在天山北麓的山前冲积平原上得到了广泛发展。群落下层发育着一年生盐柴类层片、短生植物层片和黑色地衣层。在准噶尔沿

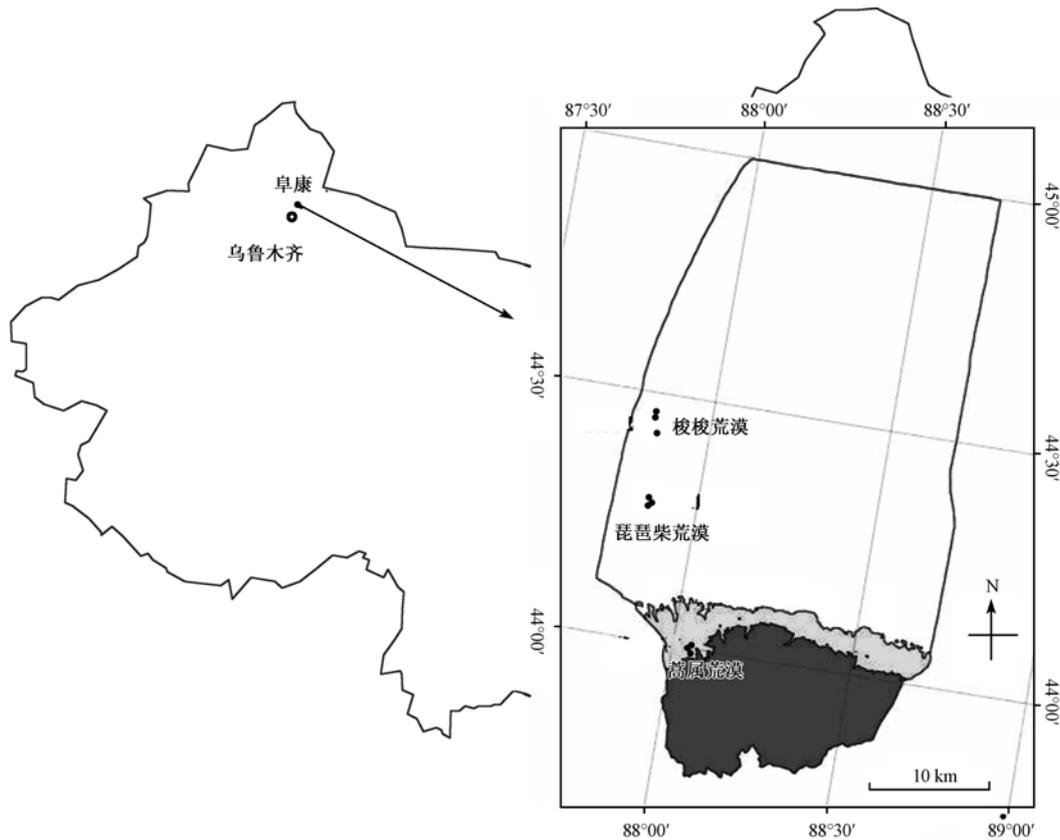


图1 阜康地区及监测位点示意图

Fig.1 The monitoring points in Fukang City

深色为针叶林带,浅色为山前地区,白色为平原地区。●为监测点。

Dark area represents coniferous forests; Light area represents submountain region; White area represents flatlands.

● are the monitoring points.

天山北麓的山前洪积-冲积倾斜平原上,蒿类荒漠作为地带性植被类型而广泛分布。蒿类荒漠发育在多少含有砾石的壤质棕钙土和荒漠灰钙土上;在砾石洪积扇或碎石质低山山地上则为小蓬荒漠所替代。非地带性植被,除滨湖低地的多汁盐柴类盐土荒漠外,以天山北麓洪积扇中下部出现的白榆(*Ulmus pumila*)林与广泛分布的芨芨草(*Achnatherum splendens*)盐生草甸为特征。胡杨(*Populus euphratica*)林与怪柳(*Tamarix chinensis*)林灌丛亦有零星分布。

本区属温带大陆性荒漠气候,主要特点是四季分明,夏季酷热,冬季寒冷,春秋季节气温升降剧烈;降水稀少且时空分布不均,春夏雨量约占总降水量的2/3。由于境内存在地势差异,

气候具有垂直地带性分布特征,中山区年降水量为530.1 mm,平原区187.5 mm,沙漠区只有144.7 mm。低山和平原部分积温高,无霜期可达175 d,平均日较差12.7℃,平均年较差42.2℃,冻土深度在1 m以上<sup>[35]</sup>。

**1.2 鸟类调查** 在蒿属、琵琶柴及梭梭荒漠内(图1),随机布设10条样线,样线长度1.5 km,宽度100 m;蒿属荒漠4条、琵琶荒漠3条、梭梭荒漠3条。以1.5 km/h的速度沿固定样线行进,记录两侧鸟类的种类、数量、飞行高度、行为、所在生境等。固定样线法能预先设定样线宽度,后通过条带记数法计算物种密度<sup>[36]</sup>。调查时使用60倍变焦单筒望远镜和10倍双筒望远镜。鸟类鉴定依照观察、所摄照片以及国内

外经典分类手册。2010年5~8月,每月调查3次,选择晴朗的天气进行,为保证结果不产生偏差,野外鸟类及植被数据采集均由1人完成。调查时间为清晨6:00~9:00时及黄昏17:00~20:00时。为避免晨昏鸟类组成的不一致影响结果,每次调查将随机安排生境的调查次序。繁殖季节雄鸟比雌鸟更易见,需要对观察记录作一定的修改,看见单只雄鸟都算作一个繁殖对。在某种生境偶然途经但不停留的群体和个体忽略不计。

**1.3 植被调查** 调查一般设在植被结构较为单一的荒漠生境类型中,以保证植被参数观测值适用于该类型生境的所有鸟种<sup>[31]</sup>。由于琵琶柴植株生长比较缓慢,5月底到8月底植株净生长高度为10 cm左右<sup>[37]</sup>。因此,沿鸟类调查样线均匀布设5个I级样方(琵琶柴荒漠10 m×10 m,梭梭荒漠20 m×20 m),仅于5月下旬进行1次灌木(木本)调查。记录样方内所有灌木的株数、多度、盖度、平均高度、物种数目。草本调查是在I级样方的四角和中心分别设5个II级样方(1 m×1 m),从早春群落中大多数植物萌发后10~15 d开始,4~6月每半月1次,7、8月生长稳定期每月1次。蒿属荒漠以草本植物为主,无明显垂直分层,沿鸟类调查样线均匀布设5个样方(1 m×1 m)进行调查。用直接点数或目测估计法观测样方内植物的平均高度、盖度、物种数目<sup>[38]</sup>。

**1.4 数据处理** 取每月重复调查的最大值作为该鸟种当月数量,并用物种密度参与后续统计分析。各类生境的鸟类 $\alpha$ 多样性用Shannon指数计算: $H = -\sum_{i=1}^S (P_i) (\log_2 P_i)$ 。Pielou均匀度指数: $E = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{-\sum P_i \log_2 P_i}{\log_2 S}$ ,即实测多样性值/最大多样性值。式中, $S$ 为物种数目, $P_i$ 是样本中属于第*i*种的个体的比例。

通过Spearman秩相关分析<sup>[39]</sup>,找出每种生境中显著正相关的鸟种,并抽取作显著正相关鸟种组合。大型猛禽拥有较大活动范围,如棕尾鵟(*Buteo rufinus*)、高山兀鹫(*Gyps*

*himalayensis*)、燕隼(*Falco subbuteo*)、黑鸢(*Milvus lineatus*)等,所选样线不足以准确估计其数量变化。家麻雀(*Passer domesticus*)、麻雀(*P. montanus*)、白鹡鸰(*Motacilla alba*)、山斑鸠(*Streptopelia orientalis*)、欧金翅雀(*Carduelis chloris*)、紫翅椋鸟(*Sturnus vulgaris*)、毛脚燕(*Delichon urbica*)、家燕(*Hirundo rustica*)等在样区内觅食,却在相邻的人工生境如农田、乡镇等筑巢繁殖。琵琶柴荒漠内的人工水渠会吸引水鸟如金眶鸪(*Charadrius dubius*)、红脚鹬(*Tringa totanus*)等前来觅食,也无繁殖记录。某些旅鸟如黄瓜隼(*F. naumanni*)较晚迁徙过境(5月份),也不在样区内繁殖。去除上述鸟种,抽取繁殖、觅食均在该生境中进行的鸟种,定义为该生境的狭分布种鸟种组合。

植被参数选取灌木盖度SC、灌木平均高度SH、灌木平均物种数目SR、草本盖度HC、草本平均高度HH、草本平均物种数目HR。以平均高度和盖度反映植被结构,平均物种数目反映植物组成。通过盖度与平均高度的乘积得到植被的大致容积:SC×SH得灌木容积SV;HC×HH得草本容积HV;(SV+HV)得植被总容积TVV。灌木层和草本层的平均高度通过信息指数求得叶高多样性指数 $FHD = H = -\sum_{i=1}^S (P_i) (\log_2 P_i)$ 。式中, $S$ 为植被层数,共草本、灌木两层; $P_i$ 是第*i*层植被的盖度占总盖度的比例。

鸟类群落与植被参数的相关格局采用除趋势典范对应分析(detrended canonical correspond analysis, DCCA)进行排序。张金屯建议在研究中最好使用DCCA<sup>[40]</sup>,它至少可以提供与典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)一样的结果<sup>[41]</sup>,且在大多数情况下要优于CCA。参数间的相关分析选用Spearman秩相关系数<sup>[39]</sup>。上述统计检验通过Past和CANOCO 4.5软件实现。

## 2 结果与分析

**2.1 荒漠繁殖鸟类群落的种间相关** 在繁殖期,对梭梭、琵琶柴、蒿属荒漠进行监测,共调查

39 种鸟(表 1)。两两作 Spearman 秩相关分析, 共计 741 对, 其中 9.31% 呈显著正相关(25 对  $P < 0.05$ , 26 对  $P < 0.01$ , 18 对  $P < 0.001$ ); 2.16% 呈显著负相关(7 对  $P < 0.05$ , 9 对  $P < 0.01$ )。表明繁殖季大部分鸟种的数量变化相

对独立。显著负相关主要存在于蒿属与梭梭荒漠的鸟种配对之间, 反映这两种生境类型的鸟类区系迥异。呈正相关的鸟种配对表明这些配对的数量变化趋势相同<sup>[43]</sup>。梭梭、琵琶柴、蒿属荒漠 3 种生境的显著正相关鸟种详见表 2。

表 1 新疆阜康琵琶柴、蒿属、梭梭荒漠繁殖期鸟类名录、代码及密度(ind/km<sup>2</sup>)

Table 1 The list, codes, and density of breeding birds in three desert habitats in Fukang, Xinjiang

| 物种<br>Species                      | 代码<br>Code | 生境 Habitat                |                          |                          | 总密度<br>Total density |
|------------------------------------|------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|
|                                    |            | 琵琶柴荒漠<br>Reaumuria desert | 蒿属荒漠<br>Artemisia desert | 梭梭荒漠<br>Haloxylon desert |                      |
| 黑鸢 <i>Milvus migrans</i>           | HEY        | 0.0                       | 45.0                     | 6.7                      | 51.7                 |
| 高山兀鹫 <i>Gyps himalayensis</i>      | GSW        | 0.0                       | 17.5                     | 0.0                      | 17.5                 |
| 棕尾鵟 <i>Buteo rufinus</i>           | ZWK        | 0.0                       | 0.0                      | 10.0                     | 10.0                 |
| 黄爪隼 <i>Falco naumanni</i>          | HZS        | 0.0                       | 2.5                      | 0.0                      | 2.5                  |
| 红隼 <i>F. tinnunculus</i>           | HSU        | 0.0                       | 92.5                     | 3.3                      | 95.8                 |
| 灰背隼 <i>F. columbarius</i>          | HBS        | 0.0                       | 5.0                      | 3.3                      | 8.3                  |
| 燕隼 <i>F. subbuteo</i>              | YS         | 0.0                       | 2.5                      | 0.0                      | 2.5                  |
| 斑翅山鹑 <i>Perdix dauurica</i>        | BCS        | 0.0                       | 15.0                     | 0.0                      | 15.0                 |
| 欧石鸻 <i>Burhinus oedicnemus</i>     | OSH        | 20.0                      | 0.0                      | 0.0                      | 20.0                 |
| 金眶鸻 <i>Charadrius dubius</i>       | JKH        | 10.0                      | 0.0                      | 6.7                      | 16.7                 |
| 红脚鹬 <i>Tringa totanus</i>          | HJY        | 6.7                       | 0.0                      | 0.0                      | 6.7                  |
| 毛腿沙鸡 <i>Syrhaptes paradoxus</i>    | MTS        | 0.0                       | 0.0                      | 13.3                     | 13.3                 |
| 欧斑鸠 <i>Streptopelia turtur</i>     | OBJ        | 0.0                       | 0.0                      | 26.7                     | 26.7                 |
| 山斑鸠 <i>S. orientalis</i>           | SBJ        | 0.0                       | 0.0                      | 20.0                     | 20.0                 |
| 大杜鹃 <i>Cuculus canorus</i>         | DDJ        | 6.7                       | 10.0                     | 30.0                     | 46.7                 |
| 欧夜鹰 <i>Caprimulgus europaeus</i>   | OYY        | 10.0                      | 0.0                      | 10.0                     | 20.0                 |
| 雨燕 <i>Apus apus</i>                | PTLY       | 3.3                       | 0.0                      | 183.3                    | 186.7                |
| 戴胜 <i>Upupa epops</i>              | DS         | 6.7                       | 2.5                      | 110.0                    | 119.2                |
| 短趾百灵 <i>Calandrella cheleensis</i> | DZB        | 100.0                     | 0.0                      | 6.7                      | 106.7                |
| 凤头百灵 <i>Galerida cristata</i>      | FTB        | 150.0                     | 10.0                     | 720.0                    | 880.0                |
| 云雀 <i>Alauda arvensis</i>          | YQ         | 0.0                       | 332.5                    | 0.0                      | 332.5                |
| 崖沙燕 <i>Riparia riparia</i>         | YSY        | 0.0                       | 0.0                      | 2 090.0                  | 2 090.0              |
| 家燕 <i>Hirundo rustica</i>          | JY         | 73.3                      | 30.0                     | 23.3                     | 126.7                |
| 毛脚燕 <i>Delichon urbica</i>         | MJY        | 0.0                       | 50.0                     | 0.0                      | 50.0                 |
| 白鹡鸰 <i>Motacilla alba</i>          | BJL        | 0.0                       | 5.0                      | 3.3                      | 8.3                  |
| 平原鹨 <i>Anthus campestris</i>       | PYL        | 0.0                       | 475.0                    | 0.0                      | 475                  |
| 荒漠伯劳 <i>Lanius isabellinus</i>     | ZWB        | 93.3                      | 15.0                     | 243.3                    | 351.7                |
| 灰伯劳 <i>L. excubitor</i>            | HL         | 0.0                       | 0.0                      | 16.7                     | 16.7                 |
| 紫翅椋鸟 <i>Sturnus vulgaris</i>       | ZCL        | 33.3                      | 0.0                      | 16.7                     | 50.0                 |
| 棕藜鹛 <i>Cercotrichas galactotes</i> | ZSQ        | 0.0                       | 0.0                      | 86.7                     | 86.7                 |
| 黑喉石鹨 <i>Saxicola torquata</i>      | HHS        | 0.0                       | 87.5                     | 0.0                      | 87.5                 |
| 白顶鹨 <i>Oenanthe pleschanka</i>     | BDJ        | 0.0                       | 32.5                     | 0.0                      | 32.5                 |
| 漠鹨 <i>O. deserti</i>               | MJ         | 6.7                       | 0.0                      | 3.3                      | 10.0                 |
| 白喉林莺 <i>Sylvia curruca</i>         | BHL        | 0.0                       | 15.0                     | 66.7                     | 81.7                 |
| 漠林莺 <i>S. nana</i>                 | MDL        | 0.0                       | 0.0                      | 6.7                      | 6.7                  |
| 黑顶麻雀 <i>Passer ammodendri</i>      | HDM        | 46.7                      | 0.0                      | 223.3                    | 270.0                |
| 家麻雀 <i>P. domesticus</i>           | JMQ        | 36.7                      | 0.0                      | 6.7                      | 43.3                 |
| 麻雀 <i>P. montanus</i>              | SMQ        | 23.3                      | 12.5                     | 500.0                    | 535.8                |
| 欧金翅雀 <i>Carduelis chloris</i>      | OJC        | 6.7                       | 0.0                      | 0.0                      | 6.7                  |
| 赤胸朱顶雀 <i>C. cannabina</i>          | CXZ        | 0.0                       | 5.0                      | 0.0                      | 5.0                  |
| 巨嘴沙雀 <i>Rhodospiza obsoleta</i>    | JZS        | 0.0                       | 0.0                      | 10.0                     | 10.0                 |
| 褐头鹀 <i>Emberiza bruniceps</i>      | HTW        | 0.0                       | 165.0                    | 6.7                      | 171.7                |

鸟类名录及排序参考郑光美<sup>[42]</sup>。The bird sequence refers to Zheng<sup>[42]</sup>。

表 2 繁殖期不同荒漠生境显著正相关鸟种(仅标出显著相关的配对)

Table 2 The significantly positively correlated birds in three desert habitat

|             | 梭梭荒漠<br><i>Haloxylon desert</i>            | 琵琶柴荒漠<br><i>Reaumuria desert</i> | 蒿属荒漠<br><i>Artemisia grassland</i> |
|-------------|--------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| $P < 0.05$  | 大杜鹃                                        | 家燕                               | 白鹡鸰                                |
| $P < 0.01$  | 白喉林莺, 毛腿沙鸡, 漠林莺,<br>欧斑鸠                    | 短趾百灵, 欧石鸻, 欧金翅雀,<br>红脚鹬          |                                    |
| $P < 0.001$ | 雨燕, 灰伯劳, 戴胜, 凤头百灵,<br>黑顶麻雀, 崖沙燕, 棕藜鹁, 荒漠伯劳 | 家麻雀, 金眶鸻                         | 红隼, 平原鹞, 黑鸢, 黑喉石鹇, 褐头鹁             |

2.2 植被参数的相关性分析 梭梭荒漠的灌木层的平均高度 230.9 cm, 盖度 24.2%, 平均物种数目 1.2 种; 草本层的平均高度 15.1 cm, 盖度 15.72%, 平均物种数目 3.3 种。琵琶柴荒漠的灌木层的平均高度 42.5 cm, 盖度 24.3%, 平均物种数目 1.5 种; 草本层的平均高度 5.6 cm, 盖度 4.4%, 平均物种数目 1.71 种。蒿属荒漠主要由草本层组成, 平均高度

28.6 cm, 盖度 49.8%, 平均物种数目 3.7 种; 电线、栅栏等凸出物为鸟类提供了炫耀及捕食栖位, 部分替代了木本层对鸟类所起的作用。灌木层的盖度、物种平均数目与草本层各参数呈显著负相关(表 3), 表明荒漠区植被的灌木层与草本层呈此消彼长的生长态势。以平均高度和盖度反映植被结构, 平均物种数目反映植物组成, 则荒漠区植物组成与植被结构呈显著正相关。

表 3 植被参数间的相关系数(仅标出显著相关的配对)

Table 3 The correlation coefficients between vegetation parameters

|                            | 灌木盖度<br>Shrub coverage | 灌木平均物种数目<br>Shrub richness | 草本平均高度<br>Herb average height | 草本盖度<br>Herb coverage |
|----------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 灌木平均物种数目 Shrub richness    | 1.000 *                |                            |                               |                       |
| 草本平均高度 Herb average height | -0.872 *               | -0.872 *                   |                               |                       |
| 草本盖度 Herb coverage         | -0.944 *               | -0.944 *                   | 0.836 *                       |                       |
| 草本平均物种数目 Herb richness     | -0.790 *               | -0.790 *                   |                               | 0.836 *               |

\*  $P < 0.01$

2.3 繁殖期荒漠鸟类群落的不同鸟类组合与植被参数的 DCCA 排序 从图 2 的鸟类多度分布可以看出, 沿第一轴从左到右, 灌丛荒漠过渡到草原荒漠, 呈簇状的灌木盖度降低、均匀生长的草本盖度增高, 植被的斑块化降低。即 DCCA 的第一轴基本反映各鸟种所在生境的植被水平异质性, 灌木盖度与 DCCA 第一轴相关系数为 -0.998, 草本盖度与第一轴相关系数为 0.876。第二轴从下到上, 由梭梭荒漠过渡到蒿属荒漠, 再到琵琶柴荒漠, 植被的垂直分层依次降低。梭梭荒漠具明显的灌木层和草本层; 蒿属荒漠主要由草本层组成, 但电线、栅栏等凸出物为鸟类提供了炫耀及捕食栖位, 部分替代了木本层对鸟类所起的作用; 琵琶柴荒漠的草本层稀疏, 因此, DCCA 第二轴基本反映出各鸟种

所在生境的植被垂直异质性, 灌木高度与第二轴相关系数为 -0.479, 草本高度与第二轴相关系数为 -0.425。综上所述, 繁殖期荒漠鸟类群落的分布与丰富度受植被水平异质性的影响最大, 尤其是植被盖度。排序结果大致将鸟类依照生境类型进行聚类, 较好地反映鸟类群落分布与植被结构的相关性。

如表 4 所示, 显著正相关鸟种组合与植被参数作 DCCA 排序, 第一、二轴对物种变异的累积解释量 64.4%, 较繁殖期所有鸟种参与的排序增加了 13.8%, 对植被结构的响应更为强烈。其中, 草本平均物种数目与第二轴的相关性降低, 相关系数由 -0.425 转为 -0.285, 表示植物组成对显著正相关鸟种组合的贡献率更低。

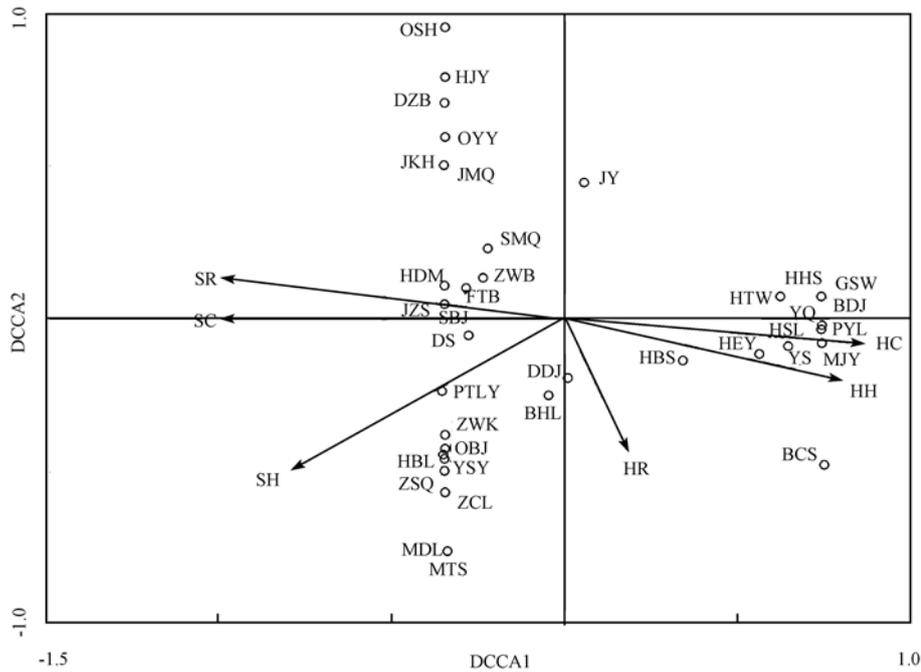


图 2 繁殖期荒漠鸟类群落与植被参数的 DCCA 双序图

Fig. 2 DCCA ordination diagram of bird communities and vegetation parameters in breeding season

SC. 灌木盖度; SH. 灌木高度; SR. 灌木平均物种数目; HC. 草本盖度; HH. 草本高度; HR. 草本物种组成。物种代码参照表 1。箭头表示环境因子,箭头连线的长短表示繁殖期鸟类群落的分布与该环境因子相关性的大小,箭头连线在排序中的斜率表示环境因子与排序轴相关性的大小,箭头所处的象限表示环境因子与排序轴之间相关性的正负<sup>[44]</sup>。

SC. Shrub coverage; SH. Shrub height; SR. Shrub richness; HC. Herb coverage; HH. Herb height; HR. Herb richness. The species codes see Table 1. The arrows indicate environmental factors. The length of the arrows indicates the degree of correlation between breeding bird community and environmental factors. The gradient of the arrows indicates the degree of correlation between environmental factors and DCCA axes and the quadrant the arrows located indicates positive or negative correlation between them<sup>[44]</sup>.

表 4 DCCA 第一、二轴的特征值、变异解释量及特征向量

Table 4 Eigen values, cumulative percentage variance, and characteristic vectors of the first 2 axes of DCCA ordination

|                                          | I a    | II a   | I b    | II b   | I c    | II c   |
|------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 特征值 Eigen values                         | 0.761  | 0.368  | 0.714  | 0.291  | 0.811  | 0.124  |
| F 值 F value                              | 2.587  |        | 4.221  |        | 4.193  |        |
| P 值 P value                              | 0.042  |        | 0.042  |        | 0.042  |        |
| 累计解释量 Cumulative percentage variance (%) | 34.1   | 50.6   | 45.8   | 64.4   | 45.6   | 52.6   |
| 灌木高度 Shrub average height                | -0.790 | -0.479 | -0.771 | -0.480 | 0.745  | -0.031 |
| 灌木盖度 Shrub coverage                      | -0.998 | -0.002 | -0.997 | 0.017  | 0.992  | -0.307 |
| 灌木平均物种数目 Shrub richness                  | -0.983 | 0.128  | -0.977 | 0.155  | 0.996  | -0.363 |
| 草本高度 Herb average height                 | 0.800  | -0.193 | 0.818  | -0.153 | -0.835 | 0.196  |
| 草本盖度 Herb coverage                       | 0.876  | 0.080  | 0.843  | -0.043 | -0.888 | 0.411  |
| 草本平均物种数目 Herb richness                   | 0.186  | -0.425 | 0.116  | -0.285 | -0.199 | 0.653  |

I a、II a:繁殖期荒漠鸟类群落与植被参数排序的第一、二轴, I b、II b:显著相关鸟种组合与植被参数排序的第一、二轴, I c、II c:狭分布鸟种组合与植被参数排序的第一、二轴。

I a, II a: The first 2 axes of DCCA ordination between the entire breeding bird communities and vegetation parameters; I b, II b: The first 2 axes of DCCA ordination between significantly correlated bird assemblages and vegetation parameters; I c, II c: The first 2 axes of DCCA ordination between narrowly distributed bird assemblages and vegetation parameters.

狭分布鸟种组合与植被参数进行 DCCA 排序,第一、二轴对物种变异的累积解释量 52.6%;灌木和草本的平均物种数目与第一、二轴的相关性都有增加,尤其是草本平均物种数目与第二轴的相关系数上升至 0.653,成为影响第二轴的主要植被参数。说明植物组成对狭分布鸟种组合的影响比植被结构大。

**2.4 荒漠鸟类群落和植被的综合指数之间的相关性** 鸟类群落综合指数选取总密度 BD、Shannon 多样性指数 BSD、物种数目 BR、均匀度 BE。植被参数选取灌木盖度 SC、灌木平均高度 SH、灌木平均物种数目 SR、草本盖度 HC、草本平均高度 HH、草本平均物种数目 HR、灌木容积 SV、草本容积 HV、植被总容积 TVV、叶高多样性指数 FHD。经过参数两两配对,进行 Spearman 秩相关分析,结果见表 5。鸟群总密度与植被总容积显著正相关(相关系数为 0.764,  $P = 0.006$ );叶高多样性指数与鸟类多样性指数相关不显著,并没有呈现出 MacArthur 等研究森林生态系统时的显著相关格局<sup>[1]</sup>。

表 5 荒漠鸟类群落和植被的综合指数之间的相关系数(仅标明显著相关的配对)

Table 5 Correlative coefficients between the integrated parameters of desert bird communities and vegetation

| 参数对<br>Parameter<br>match | 相关系数<br>Correlative<br>coefficient | 参数对<br>Parameter<br>match | 相关系数<br>Correlative<br>coefficient |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|
| BD-BR                     | 0.754 *                            | BD-TVV                    | 0.764 **                           |
| BD-BE                     | -0.791 **                          | BR-HR                     | 0.602 *                            |
| BR-BE                     | -0.667 *                           | BE-TVV                    | -0.673 *                           |

\*  $P < 0.05$ , \*\*  $P < 0.01$ 。BD. 鸟群总密度; BR. 物种数目; BE. 均匀度; TVV. 植被总容积; HR. 草本平均物种数目。  
BD. Bird density; BR. Bird richness; BE. Bird Evenness; TVV. Total vegetation volume; HR. Herb richness.

### 3 讨论

**3.1 参数选择** 综合指数分析虽然忽视群落内部的物种关联,但也能得到鸟类群落和植被之间的若干联系。阜康地区鸟群总密度与植被总容积之间呈显著正相关。鸟类总密度与植被容积的相关性独立于植被物种组成,不仅存在于同一植被类型中,也存在于不同植被类型之间<sup>[42]</sup>。假若这些因子是鸟类赖以成功繁殖的

资源,便支持 MacArthur 的群落生态学假说<sup>[1]</sup>:资源等级决定消费者等级。但是当某些生境被外来植被垄断,提供的昆虫较少(例如桉树 *Eucalyptus robusta*),鸟类密度时常低于本地植被占据的相当的生境<sup>[29]</sup>。荒漠鸟类多样性指数与叶高多样性指数相关不显著,也许和植被分层方法有关,也许和荒漠区鸟类群落受植被的水平异质性影响大于垂直异质性有关。另一方面,这些综合指数缺乏直接、明晰的生物学意义。本文借助盖度和平均高度反映植被结构,平均物种数目反映植物组成,与鸟类数量分布呈现较为明显的相关格局(累计解释量  $> 50%$ ),排序对鸟类群落的分布未作解释的部分,也许是由于生物互作,比如竞争在鸟类群落的构成中所起的辅助作用<sup>[45-48]</sup>。以上论述证明简易参数的可行性,揭示综合指数无法揭示的相关格局,为研究植被与鸟类群落的关系提供方法参考。

**3.2 荒漠鸟类群落与植被的相关格局** 本研究选取梭梭、琵琶柴和蒿属三大荒漠植被带,跨生境研究鸟类群落与植被的相关格局。经过 DCCA 排序,结果显示本研究区域内,鸟类群落受植被结构的影响大于植物组成,受植被水平异质性的影响大于垂直异质性的影响。这与张金屯的观点一致,在灌木和草原地带,鸟类缺乏作巢的基质,因此植被水平结构的重要性代替了垂直结构性<sup>[49]</sup>。

本文从繁殖期鸟类群落中抽取显著正相关鸟种组合和狭分布鸟种组合。呈显著正相关的鸟种配对表明这些配对的数量变化趋势相同<sup>[43]</sup>。Wiens 认为假如鸟种的分布和丰富度独立变化,那么在同一生境中显著正相关鸟种,可能仅是因为响应同一植被特征而产生共变。经过 DCCA 排序,显著正相关鸟种组合对植被结构的响应加强,对植物组成的响应降低<sup>[31]</sup>。

孙濡泳根据捕食者对食物的选择性强弱区分特化种和泛化种,并指出草食性动物一般比肉食性动物更加特化<sup>[50]</sup>。假如决定鸟类和植物之间关联的因子很明确,那么这些因子肯定与鸟类的食物和取食行为相关<sup>[51-55]</sup>。迁徙鸟、

猛禽等广布种,其食性为非植食性或者杂食性,且具很强的扩散能力<sup>[56]</sup>,无法与植物形成稳定的关联,因此受植物组成的影响较低。将广布种从总名录中去除,将繁殖、觅食均在某类型生境中进行的鸟种定义为该生境的狭分布种。再经过 DCCA 排序,植物组成对狭分布鸟种组合的影响超过植被结构。

在讨论植被结构与植物组成对鸟类分布格局的影响时, Wiens 认为二者之间的矛盾在于研究尺度: 鸟类靠识别植被结构来区分不同类型的生境, 并依靠植物组成来微调其在该生境范围内的适合栖息地<sup>[31]</sup>。Rotenberry 提出这种针对尺度的响应机制可能是由鸟类的栖息地选择引起的<sup>[32]</sup>。本研究在支持上述观点的同时, 提出推测: 在荒漠区, 广布鸟种的栖息地选择偏向于植被结构, 而狭布鸟种偏向于植物组成, 尤其是草本平均物种数目。二者在鸟类群落中的比例, 决定了鸟类群落对植被的具体响应。要研究鸟类群落与植被的相关格局, 植被结构和植物组成同等重要。不仅要讲群落看作不同物种的集合, 还要弄清种间关联, 才能清晰地了解产生这些格局的机制。因此, 对植物组成的深入调查, 剖析鸟种与植物之间的具体关联将成后续研究的中心。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] MacArthur R H, MacArthur J W. On bird species diversity. *Ecology*, 1961, 42(3): 594 - 598.
- [ 2 ] MacArthur R H, Recher H, Cody M. On the relation between habitat selection and species diversity. *American Naturalist*, 1966, 100(913): 319 - 322.
- [ 3 ] Karr J R. Geographical variation in the avifauna of tropical forest undergrowth. *The Auk*, 1980, 97: 283 - 298.
- [ 4 ] Terborgh J. Bird species diversity on an Andean elevational gradient. *Ecology*, 1977, 58(5): 1007 - 1019.
- [ 5 ] Moss D. Diversity of woodland song-bird populations. *Journal of Animal Ecology*, 1978, 47(2): 521 - 527.
- [ 6 ] Dickson J G, Segelquist C A. Breeding bird populations in pine and pine-hardwood forests in Texas. *Journal of Wildlife Management*, 1979, 43(2): 549 - 555.
- [ 7 ] Beedy E C. Bird communities and forest structure in the Sierra Nevada of California. *Condor*, 1981, 83(2): 97 - 105.
- [ 8 ] Bell H L. A bird community of New Guinean lowland rainforest. 3. Vertical distribution of the avifauna. *Emu*, 1982, 82(3): 143 - 162.
- [ 9 ] James F C, Rathbun S. Rarefaction, relative abundance, and diversity of avian communities. *The Auk*, 1981, 98(4): 785 - 800.
- [ 10 ] Karr J R, Roth R R. Vegetation structure and avian diversity in several New World areas. *American Naturalist*, 1971, 105(945): 423 - 435.
- [ 11 ] Erdelen M. Bird communities and vegetation structure: I. Correlations and comparisons of simple and diversity indices. *Oecologia*, 1984, 61(2): 277 - 284.
- [ 12 ] Lack D. Habitat selection in birds, with special reference to the effects of afforestation on the Breckland avifauna. *Journal of Animal Ecology*, 1933, 2(2): 239 - 262.
- [ 13 ] Beecher W J. *Nesting Birds and the Vegetation Substrate*. Chicago: Chicago Ornithological Society, 1942.
- [ 14 ] Hilden O. Habitat selection in birds. *Annales Zoologici Fennici*, 1965, 2: 53 - 75.
- [ 15 ] Wiens J A. An approach to the study of ecological relationships among grassland birds. *Ornithological Monographs*, 1969, (8): 1 - 93.
- [ 16 ] James F C. Ordinations of habitat relationships among breeding birds. *Wilson Bulletin*, 1971, 83(3): 215 - 236.
- [ 17 ] Whitmore R C. Habitat ordination of passerine birds of the Virgin River valley, southwestern Utah. *Wilson Bulletin*, 1975, 87(1): 65 - 74.
- [ 18 ] Wray T, Whitmore R C. Effects of vegetation on nesting success of Vesper Sparrows. *The Auk*, 1979, 96(4): 802 - 805.
- [ 19 ] 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, 11(4): 303 - 308.
- [ 20 ] 李伟, 周伟, 刘钊, 等. 云南大中山黑颈长尾雉栖息地选择周年变化. *动物学研究*, 2010, 31(5): 499 - 508.
- [ 21 ] 徐基良, 张晓辉, 张正旺, 等. 河南董寨白冠长尾雉繁殖期栖息地选择. *动物学研究*, 2010, 31(2): 198 - 204.
- [ 22 ] MacArthur R H, MacArthur J W, Preer J. On bird species diversity. II. Prediction of bird census from habitat measurements. *American Naturalist*, 1962, 96(888): 167 - 174.
- [ 23 ] Willson M F. Avian community organization and habitat structure. *Ecology*, 1974, 55(5): 1017 - 1029.
- [ 24 ] Able K P, Noon B R. Avian community structure along elevational gradients in the northeastern United States. *Oecologia*, 1976, 26(3): 275 - 294.
- [ 25 ] Roth R R. Spatial heterogeneity and bird species

- diversity. *Ecology*, 1976, 57(4): 773–782.
- [26] Gan X J, Choi C Y, Wang Y, et al. Alteration of habitat structure and food resources by invasive smooth cordgrass affects habitat use by wintering saltmarsh birds at Chongming Dongtan, East China. *The Auk*, 2010, 127(2): 317–327.
- [27] Ma Z J, Gan X J, Cai Y T, et al. Effects of exotic *Spartina alterniflora* on the habitat patch associations of breeding saltmarsh birds at Chongming Dongtan in the Yangtze River estuary, China. *Biol Invasions*, 2010, 13(7): 1673–1686.
- [28] Rotenberry J T, Wiens J A. Habitat structure, patchiness, and avian communities in North American steppe vegetation: a multivariate analysis. *Ecology*, 1980, 61(5): 1228–1250.
- [29] Wiens J A, Rotenberry J T. Habitat associations and community structure of birds in shrubsteppe environments. *Ecological Monographs*, 1981, 51(1): 21–41.
- [30] Anderson S H, Shugart H H Jr. Habitat selection of breeding birds in an east Tennessee deciduous forest. *Ecology*, 1974, 55(4): 828–837.
- [31] Wiens J A. Scale problems in avian censusing. *Studies in Avian Biology*, 1981, 6: 513–521.
- [32] Rotenberry J T. The role of habitat in avian community composition: physiognomy or floristics? *Oecologia*, 1985, 67(2): 213–217.
- [33] Wall V, MacMahon S B, MacMahon J A. Avian distribution patterns along a Sonoran Desert Bajada. *Journal of Arid Environments*, 1984, 7: 59–74.
- [34] 中国科学院新疆综合考察队,中国科学院植物研究所. 新疆植被及其利用. 北京: 科学出版社, 1978.
- [35] 张林静, 岳明, 顾峰雪, 等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带植物群落物种多样性与土壤环境因子的耦合关系. *应用生态学报*, 2002, 13(6): 658–662.
- [36] 许龙, 张正旺, 丁长青. 样线法在鸟类数量调查中的运用. *生态学杂志*, 2003, 22(5): 127–130.
- [37] 马茂华, 孔令韶. 新疆呼图壁绿洲外缘的琵琶柴生物生态学特性研究. *植物生态学报*, 1998, 2(3): 237–244.
- [38] 中国生态系统研究网络科学委员会. 陆地生态系统生物观测规范. 北京: 中国环境科学出版社, 2007.
- [39] Press W H, Teukolsky S A, Vetterling W T, et al. *Numerical Recipes in C*. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992.
- [40] 张金屯. 植被与环境关系的分析 II. CCA 和 DCCA 限定排序. *山西大学学报: 自然科学版*, 1992, 15(3): 292–298.
- [41] Ter Braak C J F. The analysis of vegetation-environment relationships by canonical correspondence analysis. *Vegetatio*, 1987, 69(1/3): 69–77.
- [42] 郑光美. 中国鸟类分类与分布名录. 北京: 科学出版社, 2005.
- [43] 杨灿朝, 蔡燕, 梁伟, 等. 海南北黎湾和后水湾湿地水鸟的季节动态、物种丰富度和种间相关性. *生物多样性*, 2009, 17(3): 226–232.
- [44] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004.
- [45] Mills G S, Dunning J B, Bates J M. The relationship between breeding bird density and vegetation volume. *Wilson Bull*, 1991, 103(3): 468–479.
- [46] MacArthur R H. *Geographical Ecology: Patterns in the Distribution of Species*. New York: Harper and Row, 1972.
- [47] Cody M L. *Competition and the Structure of Bird Communities*. New Jersey: Princeton University Press, 1974: 107–147.
- [48] Cody M L, Diamond J M. *Ecology and Evolution of Communities*. Cambridge: Harvard University Press, 1975.
- [49] 张金屯, 陈廷贵. 关帝山植物群落物种多样性研究 II. 统一多样性和  $\beta$  多样性. *山西大学学报: 自然科学版*, 2002, 25(2): 173–175.
- [50] 孙濡泳. *动物生态学原理*. 3 版. 北京: 北京师范大学出版社, 2001: 348.
- [51] Snow B K, Snow D W. The feeding ecology of tanagers and honeycreepers in Trinidad. *The Auk*, 1971, 88(2): 291–232.
- [52] Lovejoy T E. Bird diversity and abundance in Amazon forest communities. *Living Bird*, 1974, 13: 127–191.
- [53] Holmes R T, Robinson S K. Tree species preferences of foraging insectivorous birds in a northern hardwoods forest. *Oecologia*, 1981, 48(1): 31–35.
- [54] Maurer B A, Whitmore R C. Foraging of five bird species in two forests with different vegetation structure. *Wilson Bull*, 1981, 93(4): 478–490.
- [55] Robinson S K, Holmes R T. Effects of plant species and foliage structure on the foraging behavior of forest birds. *The Auk*, 1984, 101: 672–684.
- [56] 唐志尧, 王志恒, 方精云. 生物多样性分布格局的地史成因假说. *生物多样性*, 2009, 17(6): 635–643.