

宁夏吴忠黄河国家湿地公园春季鸟类多样性调查

李学明¹, 张清臣^{2*}, 饶娟娟² (1. 吴忠市湿地保护管理中心, 宁夏吴忠 751100; 2. 武汉大学生命科学学院, 湖北武汉 430072)

摘要 [目的]了解宁夏吴忠国家湿地公园春季鸟类物种多样性和不同生态功能区的分布特点。[方法]采用样线法和样点法相结合的方法,于2016年1—4月对宁夏吴忠黄河国家湿地公园的鸟类多样性进行了调查,分析了吴忠黄河国家湿地公园鸟类多样性的组成以及区系类型。[结果]共记录到鸟类42种,隶属10目15科,其中国家Ⅰ级重点保护鸟类2种,国家Ⅱ级重点保护鸟类5种。鸟类物种数和物种多样性指数与区域面积呈正相关,而鸟类密度与面积没有明显的相关性;湿地保育区和湿地体验区鸟类物种数和数量最多,鸟类多样性也最高,应重点保护和合理开发。[结论]研究结果可为黄河国家湿地公园湿地生态保护以及吴忠市城市建设和生态资源保护提供基础资料。

关键词 鸟类多样性;春季;吴忠黄河国家湿地公园;Shannon-Wiener指数

中图分类号 Q958 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2018)04-0089-04

Investigation on the Diversity of Birds in Yellow River National Wetland Park of Wuzhong City, Ningxia

LI Xue-ming¹, ZHANG Qing-chen², RAO Juan-juan² (1. Wuzhong Wetland Protection and Management Center, Wuzhong, Ningxia 751100; 2. College of Life Sciences, Wuhan University, Wuhan, Hubei 430072)

Abstract [Objective] To understand the species diversity and the distribution characteristics of birds in different ecological functional areas in Ningxia Wuzhong Yellow River National Wetland Park in spring. [Method] We conducted a survey of birds diversity in Ningxia Wuzhong Yellow River National Wetland Park by using line transect method and sampling method from January to April of 2016. The composition, and flora type of birds in Wuzhong Yellow River Wetland Park were analyzed. [Result] 42 species of birds were recorded that belonged to 15 families of 10 orders, among which there were 2 species of national key protected birds in class I, and 5 species of national key protected birds in class II. The results showed that there was a positive correlation between the number of bird species and the area, and the species diversity and area were also positively correlated, but there was no significant correlation between bird density and study area. The number and number of birds in wetland conservation area and wetland experience area were the most, also bird diversity was the highest, so wetland conservation area and wetland experience area should be well protected and developed rationally. [Conclusion] The research results could provide basic data for the ecological protection of wetland in Yellow River National Wetland Park and urban construction and ecological resources' conservation.

Key words Diversity of birds; Spring; Wuzhong Yellow River National Wetland Park; Shannon-Wiener index

鸟类是湿地生态系统中最活跃和重要的组成部分,其群落组成和多样性的动态能直接反映湿地环境的变化^[1],因此成为检测湿地生态系统的客观生物指标,尤其是湖泊鸟类中的水鸟^[2]。湖泊鸟类的调查研究也成为湿地保护的一项重要指标,巢湖^[3]、达赉湖^[4]、大理洱海^[5]、鄱阳湖^[6]、洞庭湖^[7]、太原汾河^[8]等湖泊都开展了相关的调查工作。河岸和河滩是陆地和水域的结合部分,因为生境复杂为鸟类提供了一道天然的屏障,且食物资源丰富为其提供了良好的繁殖场所,是鸟类良好的栖息地^[9-11]。

黄河湿地是黄河流域重要的湿地生态系统,不仅为水生动植物提供了生存场所,而且为许多珍稀鸟类提供了迁徙、繁殖场所^[12]。然而,由于近些年城市扩张及人为因素对湿地环境的影响,其必然会对鸟类多样性的组成产生影响。笔者于2016年1—4月对宁夏吴忠黄河国家湿地公园进行了调查,分析了黄河水面和河岸河滩的鸟类多样性的组成和分布状况,以期对黄河国家湿地公园湿地生态保护以及吴忠市城市建设和生态资源保护提供基础资料。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况 吴忠市(104°17'~107°39' E, 36°34'~38°23' N)位于宁夏回族自治区中部,地势南高北低,海拔在1 000 m以上,西北部为冲积平原。黄河自西南向东北穿过

吴忠市,其余为山地、高原、沙漠环绕。该地区气候属于北温带大陆季风性气候,四季分明,气候干燥,冬长夏短,少雨多风,降水集中;年平均气温9.4℃,温差较大,年均降雨量360 mm,大多集中在7—9月。

吴忠黄河国家湿地公园位于吴忠市西北,呈狭长带状,总面积约28.76 km²。该研究区湿地类型相对比较简单,包括黄河水面和河滩湿地等天然湿地,是黄河生物多样性最丰富的水域之一。其中黄河水域内有大小河心岛50多个,河滩湿地一般都长有茂密的芦苇及漂浮植物、沉水植物、挺水植物、浮游生物等,河岸保持了比较完整的土壤和植被结构,并保持了比较完整的植物群落结构,为大量鸟类的栖息提供了良好的条件。

1.2 研究方法

1.2.1 野外调查方法。主要采用样线法和样点法及二者相结合的方法,主要调查区域为吴忠黄河国家湿地公园。样线法主要采集样线两侧25 m以内的区域;样点法主要以观察者为中心,以10 m为半径划的圆形区域。样线调查过程中,主要是通过鸟类的鸣叫和形态,辅以《中国鸟类野外手册》^[13]和《黄河三角洲鸟类》^[14]辨认鸟类品种,使用双筒望远镜(德国蔡司胜利女神)观察并记录鸟类的数量。调查时间为2016年1—4月。

1.2.2 生境类型划分。根据黄河湿地的环境状况及湿地公园功能区的划分,将鸟类的生境状况分为5个区域:湿地保育区(A)、合理利用区(B)、湿地体验区(C)、湿地生态功能展示区(D)、服务管理区(E)。

作者简介 李学明(1991—),男,宁夏吴忠人,助理工程师,从事鸟类生态学。*通讯作者,硕士,从事鸟类生态学与行为进化学研究。

收稿日期 2017-11-10

1.2.3 数据处理。

(1)多样性指数。按照以下公式计算 Shannon - Wiener 指数(H')^[15-16]：

$$P_i = N_i/N \quad (1)$$

$$H' = -\sum P_i \ln P_i \quad (2)$$

式中, H' 为 Shannon - Wiener 指数; N 为湿地公园中总物种数(个)。

(2)均匀度指数。按照以下公式计算 Pielou 指数^[15-16]：

$$H_{\max} = \ln N \quad (3)$$

$$J = H'/H_{\max} \quad (4)$$

式中, J 为 Pielou 指数; H' 为 Shannon - Wiener 指数; H_{\max} 为最大的鸟类多样性指数; N 为湿地公园中的总物种数(个)。

(3)密度。按照以下公式计算鸟类密度：

$$D = N/S \quad (5)$$

式中, D 为各功能区的鸟类密度,单位为个/ km^2 ; N 为每个功能区的总物种数(个); S 为各功能区的面积(km^2)。

所有试验数据使用 Excel 2016 软件进行统计与分析。

2 结果与分析

2.1 鸟类种群组成 此次调查共记录鸟类 42 种,隶属 10 目 15 科,其中国家 I 级保护鸟类 2 种,国家 II 级保护鸟类 5 种。从种类组成来看,主要是以游禽为主,普通秋沙鸭、赤麻鸭、红嘴鸥、小鸊鷉、鸕鹚、白骨顶、凤头鸊鷉、斑嘴鸭、渔鸥、赤膀鸭、绿头鸭、普通鸕鹚等为其典型代表鸟类。此外,一些涉禽类(如苍鹭、中白鹭、白琵鹭、反嘴鹬、黑翅长脚鹬、中杓鹬等)也是湿地保护区常见鸟类(表 1)。

表 1 黄河国家湿地公园鸟类名录

Table 1 List of birds in Yellow River National Wetland Park

序号 No.	目名 Order name	科名 Family name	种名 Species number	IUCN 濒危等级 IUCN endangered level	国家重点保护 物种级别 Level of national key protected species	“三有” 保护动物 “Sanyou” protected animals	居留型 Residence type	分布区 类型 Areal type
1	鸊鷉目 <i>Podiceps cristatus</i>	鸊鷉科 Podicipedidae	凤头鸊鷉	IUCN III, 无危		+	R	WS
2	Podicipediformes		小鸊鷉 <i>Tachybaptus ruficollis</i>	IUCN III, 无危		+	W	PR
3	鸕鹚目 Pelecaniformes	鸕鹚科 Phalacrocoracidae	普通鸕鹚 <i>Phalacrocorax carbo</i>	IUCN III, 无危		+	W	PR
4	鸕鹚目 Ciconiiformes	鹭科 Ardeidae	苍鹭 <i>Ardea cinerea</i>	IUCN III, 无危		+	S	PR
5			中白鹭 <i>Egretta intermedia</i>	IUCN III, 无危		+	S	OR
6			白琵鹭 <i>Platalea leucorodia</i>	IUCN III, 无危	国 II, CITES II		S	PR
7	鹤形目 Gruiformes	秧鸡科 Rallidae	白骨顶 <i>Fulica atra</i>	IUCN III, 无危		+	W	PR
8		鸨科 Otididae	大鸨 <i>Otis tarda</i>	IUCN III, 无危	国 I, CITES II	+	S	PR
9		鹤科 Gruidae	灰鹤 <i>Grus grus</i>	IUCN III, 无危	国 II, CITES II	+	S	PR
10	雁形目 Anseriformes	鸭科 Anatidae	普通秋沙鸭 <i>Mergus merganser</i>	IUCN III, 无危		+	S	WS
11			斑头秋沙鸭 <i>Mergellus albellus</i>	IUCN III, 无危		+	R	WS
12			鸕鹚 <i>Bucephala clangula</i>	IUCN III, 无危		+	S	PR
13			斑嘴鸭 <i>Anas poecilorhyncha</i>	IUCN III, 无危		+	S	PR
14			绿头鸭 <i>Anas platyrhynchos</i>	IUCN III, 无危		+	S	PR
15			绿翅鸭 <i>Anas crecca</i>	IUCN III, 无危		+	R	PR
16			赤膀鸭 <i>Anas strepera</i>	IUCN III, 无危		+	W	PR
17			赤嘴潜鸭 <i>Netta rufina</i>	IUCN III, 无危		+	W	WS
18			赤麻鸭 <i>Tadorna ferruginea</i>	IUCN III, 无危		+	S	OR
19			白眼潜鸭 <i>Aythya nyroca</i>	IUCN III, 近危		+	S	PR
20			大天鹅 <i>Cygnus cygnus</i>	IUCN III, 无危	国 II, CITES II		W	PR
21			凤头潜鸭 <i>Aythya fuligula</i>	IUCN III, 无危		+	S、Ps	PR
22	隼形目 Falconiformes	鹰科 Accipitridae	白尾鹞 <i>Circus cyaneus</i>	IUCN III, 无危	国 II, CITES II		R	WS
23			大鵟 <i>Buteo hemilasius</i>	IUCN III, 无危	国 II, CITES II		S	WS
24			白尾海雕 <i>Haliaeetus albicilla</i>	IUCN III, 无危	国 I, CITES I		S	WS
25	鸕鹚目 Charadriiformes	反嘴鹬科	反嘴鹬 <i>Recurvirostra avosetta</i>	IUCN III, 无危		+	S	PR
26		Recurvirostridae	黑翅长脚鹬 <i>Himantopus himantopus</i>	IUCN III, 无危		+	Ps	PR
27		鹬科 Scolopacidae	中杓鹬 <i>Numenius phaeopus</i>	IUCN III, 无危		+	W	WS
28			青脚鹬 <i>Tringa nebularia</i>	IUCN III, 近危		+	Ps	PR
29		鸕鹚科 Charadriidae	金眶鸕鹚 <i>Charadrius dubius</i>	IUCN III, 无危	国家重点保护		S	PR
30			灰头麦鸡 <i>Vanellus cinereus</i>	IUCN III, 无危	野生动物名录	+	S	PR
31			凤头麦鸡 <i>Vanellus vanellus</i>	IUCN III, 无危		+	S	PR
32	鸥形目 Lariformes	鸥科 Laridae	银鸥 <i>Larus argentatus</i>	IUCN III, 无危		+	W、Ps	PR
33			红嘴鸥 <i>Larus ridibundus</i>	IUCN III, 近危		+	S	PR
34			渔鸥 <i>Larus ichthyaetus</i>	IUCN III, 无危		+	S、Ps	PR
35	鸽形目 Columbiformes	鸠鸽科 Columbidae	原鸽 <i>Columba livia</i>	IUCN III, 无危		+	S	PR
36	鸚形目 Piciformes	啄木鸟科 Picidae	大斑啄木鸟 <i>Dendrocopos major</i>	IUCN II, 无危		+	W	PR
37	雀形目 Passeriformes	鹡鹑科 Motacillidae	黄头鹡鹑 <i>Motacilla citreola</i>	IUCN III, 易危		+	R、W	PR
38			白鹡鹑 <i>Motacilla alba</i>	IUCN III, 近危		+	S	PR
39			黄鹡鹑 <i>Motacilla flava</i>	IUCN III, 近危		+	S	PR
40			山鹡鹑 <i>Dendronanthus indicus</i>	IUCN III, 近危		+	S	PR
41			灰鹡鹑 <i>Motacilla cinerea</i>	IUCN III, 无危		+	W	PR
42		椋鸟科 Sturnidae	灰椋鸟 <i>Sturnus cineraceus</i>	IUCN III, 近危		+	S	WS
43		鹀科 Emberizidae	田鹀 <i>Emberiza rustica</i>	IUCN III, 无危		+	R	PR

注:R. 留鸟;W. 冬候鸟;S. 夏候鸟;Pm. 旅鸟;OR. 东洋界;PR. 古北界;WS. 广布种

Note:R. Resident birds;W. Winter migratory birds;S. Summer migratory birds;Pm. Passing migrant birds;OR. Oriental realm;PR. Palaearctic realm;WS. Wide-spread species

2.2 鸟类的区系和居留型 从图 1 可以看出,从分布区类型来看,研究区域的湿地鸟类分布在古北界的物种有 32 种,占鸟类总种数的 74.4%,代表种类有大鸨(*Otis tarda*)、赤麻鸭(*Tadorna ferruginea*)、绿头鸭(*Anas platyrhynchos*)、红嘴鸥(*Larus ridibundus*)、反嘴鹬(*Recurvirostra avosetta*)、灰棕鸟(*Sturnus cineraceus*)、大天鹅(*Cygnus cygnus*)等;东洋界有 2 种,占鸟类总种数的 4.7%,代表种类有斑嘴鸭(*Anas poecilorhyncha*)、中白鹭(*Egretta intermedia*);广布种有 9 种,占鸟类总种数的 20.9%,代表种类有金眶鸫(*Charadrius dubius*)、黑翅长脚鹬(*Himantopus himantopus*)、白琵鹭(*Platalea leucorodia*)、苍鹭(*Ardea cinerea*)、白骨顶(*Fulica atra*)等。

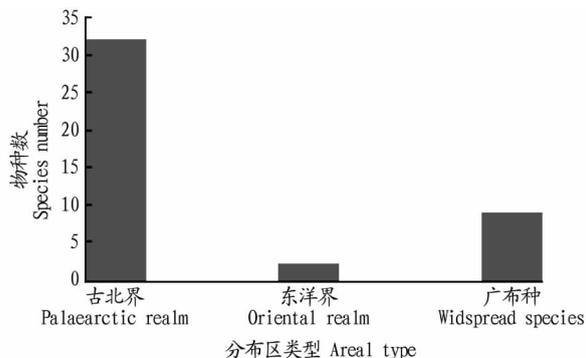


图 1 鸟类分布区类型的分布

Fig. 1 The areal type distribution of birds

从图 2 可以看出,吴忠黄河国家湿地公园的湿地鸟类居留型分为留鸟、候鸟(夏候鸟和冬候鸟)以及旅鸟。其中,候鸟 36 种,占比最高(夏候鸟占 53.2%,冬候鸟占 23.4%),如夏候鸟鹊鸭(*Bucephala clangula*)、银鸥(*Larus argentatus*)以及冬候鸟白尾海雕(*Haliaeetus albicilla*)、红嘴鸥(*Larus ridibundus*)等;留鸟有 6 种,占比 12.8%,代表种类有小鸊鷉(*Tachybaptus ruficollis*)、大鸺(*Buteo hemilasius*)等。旅鸟有 5 种,占比 10.6%,有渔鸥(*Larus ichthyaetus*)、中杓鹬(*Numenius phaeopus*)等。

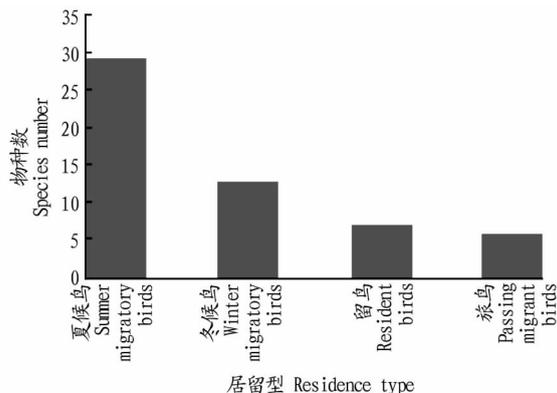


图 2 鸟类居留型分布

Fig. 2 Residence type distribution of birds

2.3 鸟类多样性 吴忠黄河国家湿地公园位于黄河上游,是黄河最丰富的水域之一,具有丰富的湿地植被和水生生物资源,为鸟类的繁殖生存和迁徙越冬提供了优良的栖息环境。笔者鉴定了 42 个物种,观察到的鸟类数量超过 2 500

只。对鸟类的多样性指数、均匀度指数和鸟类密度进行计算,结果见表 2~3。鸟类物种数和数量随月份的动态变化见图 3。鸟类的物种数、Shannon - Wiener 指数、Pielou 指数与功能区面积呈现一定的正相关关系(图 4~6),鸟类密度与功能区面积呈现一定的负相关关系(图 7)。

表 2 五大功能区鸟类的多样性指数分析

Table 2 The diversity index analysis of birds in five functional areas

编号 No.	功能区 Functional areas	物种数 Species number	个体数量 Individual number	Shannon - Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Pielou 指数 Pielou index
1	湿地保育区	26	1 496	3.79	0.81
2	合理利用区	8	580	2.14	0.71
3	湿地体验区	14	325	3.01	0.79
4	服务管理区	1	8	0	0
5	湿地生态功能展示区	0	0	0	0

表 3 五大功能区的鸟类密度分析

Table 3 The density analysis of birds in five functional areas

编号 No.	功能区 Functional areas	面积 Area//km ²	物种数 Species number	密度 Density//个/km ²
1	湿地保育区	10.64	26	2.44
2	合理利用区	1.32	8	6.06
3	湿地体验区	13.64	14	1.03
4	湿地生态功能展示区	2.88	1	0.35
5	服务管理区	2.33	0	0

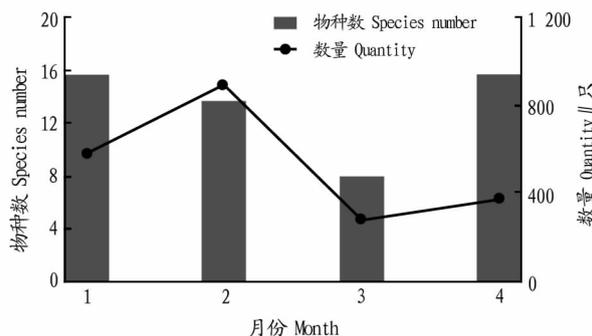


图 3 鸟类物种数和数量随时间的动态变化

Fig. 3 The dynamic changes of species number and quantity with time

3 结论与讨论

3.1 鸟类物种多样性 吴忠黄河国家湿地公园是黄河水系在宁夏的主要水域,聚集大量的涉禽和游禽。此次调查共记录鸟类 42 种,隶属 10 目 15 科,总数达到 2 500 多只。此次调查发现普通秋沙鸭、红嘴鸥、黑翅长脚鹬、赤膀鸭、小鸊鷉是该地区的优势种,大部分鸟类处于繁殖期。湖泊、河流以及农田是其很好的栖息场所。从居留型来看,候鸟和留鸟居多,其中候鸟占 76.6%,夏候鸟占 53.2%。从分布区类型来看,古北界物种数居多,占 74.4%;广布种数次之,占比 20.9%;东洋界物种数最少,占比 4.7%。当地鸟类区系组成呈现由古北界向东洋界过渡的趋势。

吴忠黄河国家湿地公园的不同功能区之间鸟类物种数

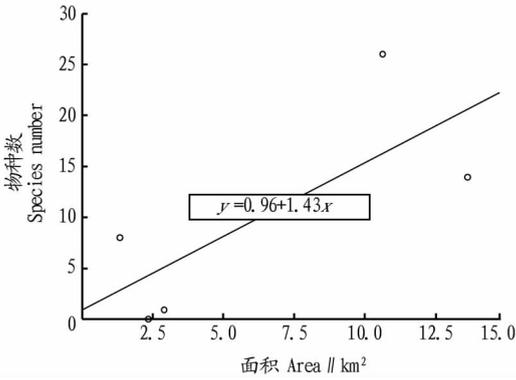


图4 物种数与面积的关系

Fig. 4 The correlation between species number and area

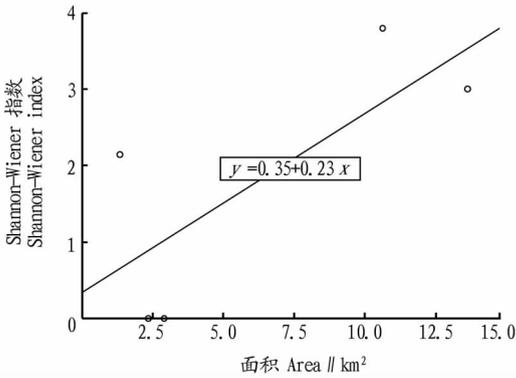


图5 Shannon - Wiener 指数与面积的关系

Fig. 5 The correlation between Shannon-Wiener index and area

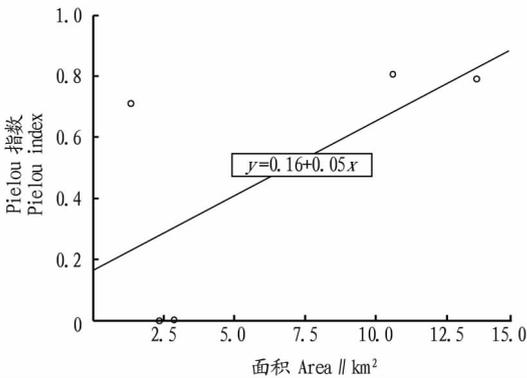


图6 Pielou 指数与面积的关系

Fig. 6 The correlation between Pielou index and area

明显分布不均匀,其中湿地保育区和湿地体验区物种分布数量最多,鸟类多样性最高,可能是由于其面积相对较大,所以鸟类密度也相对比较密集;合理利用区面积最小,但鸟类的密度最高,在有限的空间内其数量也较多;湿地生态展示区和服务管理区的鸟类多样性低,物种数很少。由此可见,物种数和鸟类多样性会随着湿地功能区面积的增加而变大,呈现出明显的正相关关系;鸟类的密度与服务区面积呈现出一定的负相关关系,可能由于此时正处于鸟类迁徙季节,很多物种向北迁徙,从而使得该地区的物种数降低。这样的分布格局将给今后湿地公园的管理工作带来一些启示:应该合理地将湿地保育区和湿地体验区列为重点规划和保护对象,注重水质检测,着重保护游禽和涉禽类。

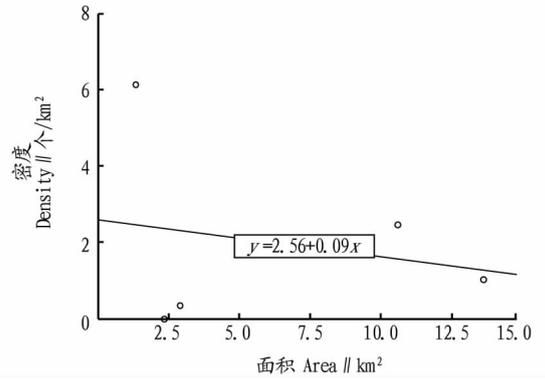


图7 鸟类密度与面积的关系

Fig. 7 The correlation between the density of birds and area

3.2 湿地环境监测与鸟类多样性保护 湿地环境对鸟类的栖息和繁殖有着重要的影响,其对生态系统和物种多样性的保护极其重要^[17]。城市湿地作为城市环境的组成部分之一,随着城市扩张的边缘效应和热岛效应对鸟类的物种多样性产生的负面影响变大,城市湿地环境质量在不断下降^[8,18]。鸟类的种群密度和多样性作为湿地环境监测的指示指标,指示湿地环境的变化,这将对于保护湿地环境和构建生态城市具有重要的意义。

河流的动力条件使得河流内各处的水体交换程度不同,河流与湖泊交汇处交换最为频繁^[19]。水体交换程度影响河流与湖泊的水质,进而间接影响栖息水体中的游禽和涉禽。同时,人为干扰对湿地公园内的鸟类密度和物种多样性有较大的影响,尤其是近些年旅游活动的增加,对其负面影响有加大的趋势。

近些年,对宁夏六盘山和贺兰山地区的鸟类调查工作日益重视。该研究可为其提供很好的基础资料。同时,该研究结果表明保护鸟类的多样性应加大对水资源的保护,因为该地区鸟类的区域组成很大程度上依赖于水资源的地理分布多样化。

参考文献

- [1] FORMAN R T T, GALLI A E, LECK C F. Forest size and avian diversity in New Jersey woodlots with some land use implications[J]. *Oecologia*, 1976, 26(1): 1-8.
- [2] ANDERSON D W, JEHL J R, RISEBROUGH R W, et al. Brown pelicans: Improved reproduction off the southern California coast[J]. *Science*, 1975, 190(4216): 806-808.
- [3] 陈军林, 周立志, 许仁鑫, 等. 巢湖湖岸带鸟类多样性的初步研究[J]. *动物学杂志*, 2010, 45(3): 139-147.
- [4] 梁秀梅, 特喜铁, 郝如义. 达赉湖保护区鸟类多样性研究[J]. *野生动物*, 2010, 31(1): 22-25.
- [5] 韩联宪, 邓章文, 岩道. 大理洱海湖滨带鸟类多样性[J]. *动物学杂志*, 2014, 49(2): 185-194.
- [6] 邵明勤, 曾寅宾, 徐贤柱, 等. 鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性[J]. *生态学报*, 2013, 33(1): 140-149.
- [7] 李丽平, 钟福生. 湖南东洞庭湖湿地鸟类群落多样性和均匀性比较[J]. *四川动物*, 2010, 29(6): 925-929.
- [8] 景东东, 王晓军, 景慧玉, 等. 太原汾河湿地公园秋冬季鸟类多样性调查[J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(7): 18-21.
- [9] SANDERS T A, EDGE W D. Breeding bird community composition in relation to riparian vegetation structure in the Western United States[J]. *The journal of wildlife management*, 1998, 62(2): 461-473.
- [10] BRYCE S A, HUGHES R M, KAUFMANN P R. Development of a bird integrity index: Using bird assemblages as indicators of riparian condition[J]. *Environmental management*, 2002, 30(2): 294-310.

表 5 灌木地碳密度及其分配

Table 5 Carbon density and its distribution in shrub and forest land

灌木种 Shrub species	碳密度 Carbon density // t/hm ²			碳密度分配 Distribution ratio of carbon density // %		
	植被 Vegetation	土壤 Soil	林地 Woodland	植被 Vegetation	土壤 Soil	林地 Woodland
沙棘 <i>H. rhamnoides</i>	8.95 ± 0.25 b	47.34 ± 12.22 a	56.30 ± 16.23	16.75	83.25	100
柠条 <i>C. microphylla</i>	18.93 ± 1.67 b	55.27 ± 10.52 a	74.20 ± 9.43	25.90	74.10	100
山毛桃 <i>P. davidiana</i>	17.83 ± 2.64 b	99.61 ± 16.07 a	117.44 ± 18.71	15.20	84.80	100

注: 同列不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

Note: Different lowercase letters in the same column indicated significant differences among different treatments ($P < 0.05$)

3 结论与讨论

沙棘、柠条和山毛桃林地碳密度分别为 56.30、74.20 和 117.44 t/hm², 其中土壤层是林地碳密度的主体, 分别占 83.25%、74.10% 和 84.80%; 灌木层次之, 分别占 15.90%、25.38% 和 15.18% 的比例; 草本层最低, 分别占 0.87%、0.36% 和 0.17%。山毛桃林地碳密度较高, 其中, 土壤碳库贡献值很大, 可能是由于退耕前土壤碳密度基底值较高。灌木层碳密度占比不高, 主要由于与乔木林相比, 灌木林生产力较低^[15], 生物量较小, 对应的碳密度也低。

沙棘植被层碳密度为 8.95 t/hm², 低于全国平均水平 10.88 t/hm²^[16], 而柠条、山毛桃的植被层碳密度分别为 18.93 和 17.83 t/hm², 高于全国平均水平, 可能是因为柠条、山毛桃的生长速度较快。三者的碳密度均高于同地区 7 年生沙棘、柠条和山毛桃人工林植被层碳密度^[9], 可能是因为生物量和碳密度随着林龄的增加而增大。另外, 林分碳密度受林龄^[17]、栽植密度^[18]等多种因素影响。该研究中, 草本层碳密度在植被层碳密度中所占比例较小, 可能是灌木层占据空间上层且生长速度快, 生物量高, 盖度大, 竞争优势明显, 严重影响了林下草本生长, 从而降低了草本层生物量和碳密度。

除了山毛桃土壤碳密度与全国平均碳密度 (91.7 t/hm²)^[19] 较为接近外, 沙棘、柠条的碳密度均低于全国平均值, 主要原因是黄土丘陵区土壤基底碳含量普遍较低。该研究中, 沙棘、柠条林地土壤碳密度与王玉娇等^[20] 对黄土丘陵区 23 年生油松林的研究结果接近, 油松林土壤层碳密度为 66.85 t/hm², 也与刘迎春等^[4] 对黄土丘陵区 27 年生油松林和 17 年生刺槐林的研究结果接近, 27 年生油松林和 17 年生刺槐林土壤层碳密度分别为 64.06、53.09 t/hm²。另外, 随着土壤深度的增加, 3 种林地土壤有机碳含量呈下降趋势, 与国内大多数研究结果一致^[20-23], 这可能是由于上层土壤生物归还量较大。

参考文献

[1] 史军, 刘纪远, 高志强, 等. 造林对土壤碳储量影响的研究[J]. 生态学杂志, 2005, 24(4): 410-416.

- [2] FANG J Y, CHEN A P, PENG C H, et al. Changes in forest biomass carbon storage in China between 1949 and 1998 [J]. Science, 2001, 292: 2320-2322.
- [3] 侯学煜. 中华人民共和国植被图 [M]. 北京: 中国地图出版社, 1982.
- [4] 刘迎春, 秋风, 于贵瑞, 等. 黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量和固碳潜力[J]. 生态学报, 2011, 31(15): 4277-4286.
- [5] 靳甜甜, 傅伯杰, 刘国华, 等. 不同坡位沙棘光合日变化及其主要环境因子[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1783-1793.
- [6] 保长虎. 黄土高原丘陵沟壑区柠条人工种群繁殖特征及天然化发育 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2011.
- [7] 李欣, 郑广芬, 陈晓光, 等. 宁夏灌木碳储量及其价值估算初探[J]. 宁夏工程技术, 2014, 13(2): 189-192.
- [8] 刘涛. 宁南山区不同退耕模式生态系统碳密度及其分配特征研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2013.
- [9] 刘涛, 党小虎, 刘国彬, 等. 黄土丘陵区 3 种退耕灌木林生态系统碳密度的对比研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2013, 41(9): 68-72, 77.
- [10] 崔静, 陈云明, 黄佳健, 等. 黄土丘陵半干旱区人工柠条林土壤固碳特征及其影响因素[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(9): 1197-1203.
- [11] 陈新闯, 邢恩德, 董智, 等. 退耕还林工程建设对吴起县域植被碳储量的影响[J]. 国际沙棘研究与开发, 2014(4): 32-37.
- [12] 佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等. 黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异[J]. 生态学报, 2012, 30(20): 6396-6403.
- [13] 王鑫, 王金成, 刘建新, 等. 黄土高原人工沙棘林恢复阶段土壤黑碳、颗粒有机碳的积累[J]. 水土保持学报, 2013, 27(2): 250-254.
- [14] 孙波, 施建平, 杨林章, 等. 陆地生态系统土壤观测规范 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2007: 289-293.
- [15] 巩文, 巩根照, 奚存娃, 等. 甘肃省灌木林资源碳储量估算及预测[J]. 林业资源管理, 2014, 30(3): 87-90.
- [16] 胡会峰, 王志恒, 刘国华, 等. 中国主要灌丛植被碳储量[J]. 植物生态学报, 2006, 30(4): 539-544.
- [17] ZHAO M F, XIANG W H, PENG C H, et al. Simulating age-related changes in carbon storage and allocation in a Chinese fir plantation growing in southern China using the 3-PG model[J]. Forest ecology and management, 2009, 257(6): 1520-1531.
- [18] 王蕾, 张景群, 王晓芳, 等. 黄土高原两种人工林幼林生态系统碳汇能力评价[J]. 东北林业大学学报, 2010, 38(7): 75-78.
- [19] 李克让, 王绍强, 曹明奎. 中国植被与土壤碳储量[J]. 中国科学(D 辑: 地球科学), 2003, 33(1): 72-80.
- [20] 王玉娇, 陈云明, 曹扬. 黄土丘陵区油松人工林生态系统碳密度及其分配[J]. 生态学报, 2014, 34(8): 2128-2136.
- [21] 杨金艳, 王传宽. 东北东部森林生态系统土壤呼吸组分的分离量化[J]. 生态学报, 2006, 26(6): 1640-1647.
- [22] 何志斌, 赵文智, 刘鹤, 等. 祁连山青海云杉林表层土壤有机碳特征及其影响因素[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2572-2577.
- [23] 张城, 王绍强, 于贵瑞, 等. 中国东部地区典型森林类型土壤有机碳储量分析[J]. 资源科学, 2006, 28(2): 97-103.

(上接第 92 页)

- [11] BROOKS R P, O'CONNELL T J, WARDROP D H, et al. Towards a regional index of biological integrity: The example of forested riparian ecosystems[J]. Environmental monitoring and assessment, 1998, 51(1/2): 131-143.
- [12] 王强, 吕宪国. 鸟类在湿地生态系统监测与评价中的应用[J]. 湿地科学, 2007, 5(3): 274-281.
- [13] 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.
- [14] 刘月良. 黄河三角洲鸟类 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2013.

- [15] 陈振宁, 曾阳. 青海祁连地区不同生境类型蝶类多样性研究[J]. 生物多样性, 2001, 9(2): 109-114.
- [16] 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I α 多样性的测度方法[J]. 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- [17] 吴逸群. 陕西黄河湿地夏季鸟类群落结构与多样性分析[J]. 贵州农业科学, 2011, 39(11): 34-36.
- [18] 方文珍, 陈志鸿, 陈小麟, 等. 厦门滨海湿地冬季鸟类群落多样性研究[J]. 海洋科学, 2007, 31(1): 10-16.
- [19] 尚玉昌. 动物的行为节律[J]. 生物学通报, 2006, 41(10): 8-10.