广东省惠州市建成区湿地鸟类多样性及保护热点区域分析*

段智钊[1] 牛晓楠[2] 熊晴帆[3] 黄志文[4]
李双霜[1] 刘 微[5] 欧阳晟[1]
（1. 希言自然资源科技（广州）有限公司，广东 广州 510300；2. 惠州市林业科学研究所，广东 惠州 516001；3. 广东珠海淇澳 - 担杆岛省级自然保护区管理处，广东 珠海 519008；4. 广东省科学院 动物研究所，广东 广州 510260；5. 东北林业大学野生动物与自然保护地学院，黑龙江 哈尔滨 150040）

摘要 广东省惠州市建成区拥有丰富的湿地资源，同时位于全球候鸟“东亚—澳大利亚”迁徙路线上中端位置，在全球候鸟保护上具有重要意义。然而，快速城市化发展加剧了湿地鸟类栖息地的破碎与萎缩，威胁着湿地鸟类多样性的可持续发展。为进一步加强建成区湿地鸟类多样性保护，在建成区湿地鸟类资源全面调查的基础上，利用GAP分析方法对湿地鸟类丰富度的空间分布格局与热点区域进行了研究。结果如下：（1）共调查记录到鸟类14目42科136种，有珍稀濒危物种12种；（2）建成区的北部和西部是鸟类丰富度最高区域，同时也是保护热点区域，在鸟类多样性保护具有重要地位。建议将尚未纳入自然保护地内鸟类丰富度高的热点区域纳入自然保护地体系，同时在北部和西部之间建立生态廊道，以实现对鸟类的有效保护。

关键词 湿地；鸟类；多样性；冷热点
中图分类号：Q959.7 **文献标志码**：A **文章编号**：2096-2053（2021）06-0022-08

Analysis of Bird Diversity and Conservation Hot Spots of Wetland in the Built-up Area of Huizhou City, Guangdong Province

DUAN Zhizhao[1] NIU Xiaonan[2] XIONG Qingfan[3] HUANG Zhiwen[4]
LI Shuangshuang[1] LIU Wei[5] OUYANG Sheng[1]
(1.Xiyan Natural Resources Technology (Guangzhou) Co., Ltd,Guangzhou, Guangdong 510300, China; 2. Huizhou Institute of Forestry, Huizhou, Guangdong 516001, China; 3. Guangdong Zhuhai Qi'ao-Dangan Island Provincial Nature Reserve Management Office, Zhuhai, Guangdong 519008, China;4. Institute of Zoology, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510260, China; 5. College of Wildlife and Protected Area, Northeast Forestry University, Harbin, Heilongjiang 150040, China)

Abstract The built-up area of Huizhou city in Guangdong province has rich wetland resources, and is located in the middle of the “East Asian-Australia” migratory route of global migratory birds, which is of great significance in the protection of global migratory birds. However, rapid urbanization intensifies the fragmentation and shrinkage of wetland bird habitat, which threatens the sustainable development of wetland bird diversity. In order to further strengthen the protection of wetland bird diversity in the built-up area, the spatial distribution pattern and hotspot areas of wetland bird richness were studied by GAP analysis method based on the comprehensive survey of wetland bird resources in the built-up area. The results were as follows :(1) A total of

* **基金项目**：广东省科学院发展专项资金项目（2019GDASYL-0105045），广东省科学院科技发展专项（2018GDASCX-0107），惠州市林业局湿地和生物多样性调查及监测。
第一作者：段智钊 (1995—)，男，主要从事野生动物保护与动物生态研究工作，E-mail:840144981@qq.com。
通信作者：欧阳晟 (1995—)，男，主要从事野生动物保护与动物生态研究工作，E-mail:959041792@qq.com。

136 species,42 families and 14 orders, were recorded, including 12 rare and endangered species. (2) The north and west of the built-up area are the areas with the highest bird richness and are also the hot spots for conservation, which plays an important role in the conservation of bird diversity. It is recommended that hot spots with high bird abundance not yet included in the nature reserve be included in the nature reserve system, and ecological corridors should be built between the north and west to achieve effective protection of birds.

Key words wetland；birds；diversity；cold hot spot

全球生物多样性衰退趋势未能得到有效遏制，维护生物多样性可持续发展已成为全球共同目标。湿地鸟类是湿地生态系统的重要组成部分，对维持湿地生态系统的稳定性具有重要作用[1]，但由于迅速城市化，自1960年代以来，全球大量自然湿地被改造成建设用地[2]，导致了自然湿地的减少和鸟类多样性的衰退[3-4]，对湿地鸟类的保护带来了巨大压力。

近年来GIS等技术日益广泛地用于动物地理分布格局的研究[5]，是保护生物多样性行之有效的方法之一，特别是基于GIS的GAP分析技术在生物多样性保护研究中具有明显优势，是当前确定生物多样性保护决策中对多样性空间格局及热点区域进行评估最为直观有效的方法，同时也是快速概观生物多样性集中要素的分布和保护状态的一种方法[6-7]。被应用于黑顶奇鹛*Heterophasia capistrata*、中华秋沙鸭*Mergus squamatus*、褐马鸡*Crossoptilon mantchuricum*、遗鸥*Larus relictus*、花尾榛鸡*Bonasa bonasia*、蓑羽鹤*Anthropoides virgo*等鸟类的研究中[8-10]。

广东省惠州市是全球候鸟“东亚—澳大利亚”迁徙路线上的越冬地和中转站，在保护全球鸟类多样性上具有不可替代的作用。为进一步加强惠州市建成区湿地鸟类多样性的保护，我们于2019年完成了惠州市建成区湿地鸟类多样性调查，在此基础上通过GIS建立物种生境模型，利用GAP分析方法确定鸟类多样性分布格局和保护热点区域，并提出相应的湿地鸟类保护建议，为科学制定惠州市建成区湿地鸟类管理计划提供科学参考。

1 研究地概况与方法

1.1 研究地概况

惠州市位于广东省东南部，是粤港澳大湾区中心城市之一，陆地面积1.12万hm^2，海域面积4 520 hm^2。其拥有山水林田湖海等资源优势，成为了粤港澳大湾区这个城市群里的生态担当。惠州市经过多年发展形成建成区（惠城区、惠阳区、仲恺区和大亚湾区），其地势东北高、西南低，北部多山地，中部和沿道海地带多横积小平原，东、西部为丘陵台地。属南亚热带海洋性季风气候，广东省三大水系之一的东江和西枝江横贯建成区。年平均气温22℃，年平均日照时数2 023 h，日照率46%，年降雨量1 700~2 300 mm。受地带性气候影响，热带、亚热带成分占优势，而温带成分对建成区有一定的影响，显示出南亚热带常绿阔叶季雨林植物区系的性质与特点。主要优势乔木有马尾松*Pinus massoniana*、金合欢*Acacia farnesiana*、龙眼*Dimocarpus longan*、荔枝*Litchi chinensis*、木荷*Schima superba*等，草本层有芒萁*Dicranopteris dichotoma*、刺芒野古草*Arundinella setosa*、白茅*Imperata cylindrica*、黄茅*Heteropogon contortus*、笔管草*Equisetum debile*等。

1.2 方法

1.2.1 调查方法 建成区有湿地4类8型，其中自然形成的河流湿地、湖泊湿地、近海与海岸湿地3类包括永久性河流、永久性淡水湖、沙石海岸、红树林、河口水域、岩石海岸6型，人工湿地1类包括库塘、水产养殖场2型。采用公里网格法，将建成区划分为5 km×5 km的网格共63个。选择其中的29个样方（占网格总数的46.03%）作为调查样方（图1），包括河流湿地样方7个，湖泊湿地样方1个，近海与海岸湿地样方3个、人工湿地样方18个（表1）。在每个调查样方内设置1条4 km长的样线。

我们在2019年采用样线法进行调查。按季度进行（3—5月为春季，6—8月为夏季，9—11月为秋季，12月—翌年2月为冬季），每季度调查1次，共4次，每次调查不少于15天，每天调查

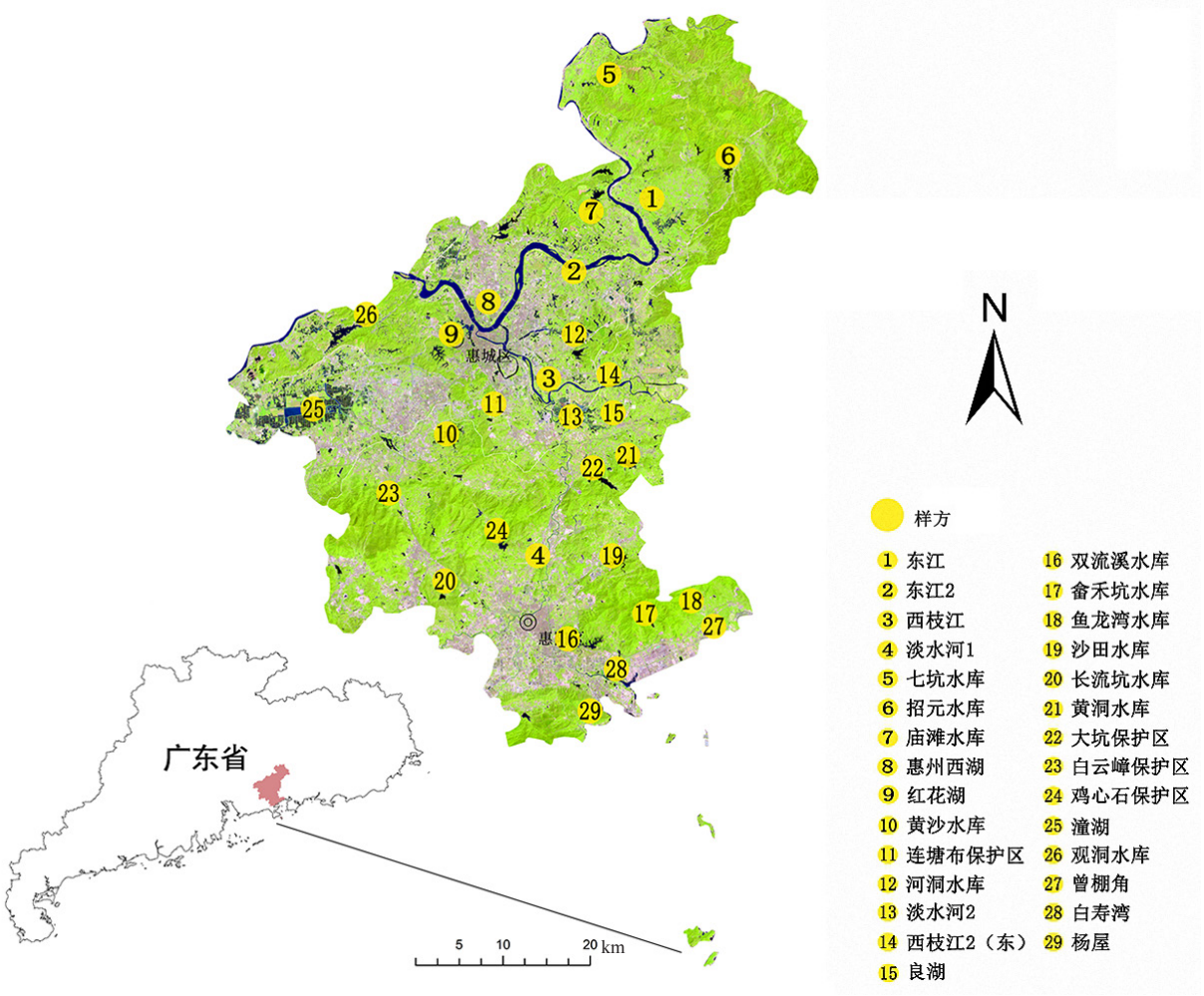


图1 样方分布位置示意图

Fig.1 Schematic diagram of the distribution location of quadrats

表1 调查样方概况

Table1 Overview of monitoring sample

序号 Serial number	区域 Region	湿地类 Wetland	湿地型 Wetland type	样方 Sample name
1	惠城区	河流湿地	永久性河流	东江
2				东江 2
3				西枝江
4				淡水河 1
5		人工湿地	库塘	七坑水库
6				招元水库
7				庙滩水库
8				惠州西湖
9				红花湖
10				黄沙水库
11				连塘布保护区
12			水产养殖场	河洞水库

序号 Serial number	区域 Region	湿地类 Wetland	湿地型 Wetland type	样方 Sample name
13	惠阳区	河流湿地	永久性河流	淡水河 2
14				西枝江 2（东）
15				良湖
16		人工湿地	库塘	双流溪水库
17				畲禾坑水库
18				鱼龙湾水库
19				沙田水库
20				长流坑水库
21				黄洞水库
22				大坑保护区
23				白云嶂保护区
24				鸡心石保护区
25	仲恺区	湖泊湿地	永久性淡水湖	潼湖
26		人工湿地	库塘	观洞水库
27	大亚湾区	近海与海岸湿地	沙石海岸	曾棚角
28			红树林、河口水域	白寿湾
29			岩石海岸	杨屋

时间为 7:00—10:00 时和 15:00—18:00 时。以 2.0 km/h 的速度步行，利用 Kowa 双筒望远镜（BD42-8XD）进行观察，同时辅以鸣声辨认，记录样线两侧各 100 m 内所见到的鸟类种类和个体数量。野外鉴定参考《中国鸟类野外手册》[11]，分类系统、居留型和区系参考《中国鸟类分布与分布名录》[12]。

1.2.2 *环境数据处理* 土地利用数据（空间分辨率为 90 m）来源于地理空间数据云（http://www.gscloud.cn/），植被数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心（http://www.resdc.cn/）。通过栅格裁剪出研究区区域，并做 Albers 地图投影。

1.2.3 *数据处理* （1）鸟类多样性 利用 Shannon-Weaver 多样性指数和 Pielou 均匀度指数来衡量调查样区鸟类多样性。计算公式如下：

Shannon-Weaver 多样性指数[13]：$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \log_2 p_i$

式中，H' 为物种多样性指数；s 为物种数，P_i 为物种 i 的个体数与所有物种个体总数的比值。

Pielou 均匀度指数[14]：$J' = H'/H_{max}$

式中，J' 为均匀度指数；H' 为多样性指数；H_{max} 为多样性指数的最大值（$\log_2 s$）。

（2）鸟类丰富度分布格局预测 运用 ArcGIS10.02 软件，综合考虑建成区的植被、重要濒危物种适宜生境分布、土地所有权和自然保护地等方面组成的生境适宜性单元，利用地理信息系统进行空间分析，找出不同植被类型、单个重要物种分布与保护区之间的间隙[15]。如果物种实际分布在某个生境条件组合，那么没有实际调查的所有类似组合生境均可成为物种潜在的分布区域[16]。

具体过程为：利用 ArcGIS10.02 软件将建成区划分为 1 km × 1 km 的等面积网格，将卫星形象图与数字化植被图相叠加，得到每个网格对应的物种生境类型，用 1 和 0 分别表示该网格下是否出现在该生境，得到数字化物种分布范围图。在表格里进行数据的统计分析，将每种鸟类可能会出现的网格进行赋值，出现为 1，否则为 0，之后叠加计算即可知道每个网格中出现过的鸟类种数，

从而获得整个建成区的鸟类丰富度分布格局[18]。

2 结果与分析

2.1 物种组成

共调查记录到鸟类14目42科136种，其中以雀形目为主，有23科73种，占所调查鸟类种数的60.29%；鹳形目次之，占28.54%。136种鸟类中，有水鸟7目11科39种，个体数量占全部鸟类总数量的34.49%，鹳形目占比最多，为28.54%（表2）。

2.2 居留型与地理分布

2.2.1 *居留型* 136种鸟类中，有留鸟77种，占种类总数的56.62%；冬候鸟47种，占种类总数的34.56%；夏候鸟10种，占种类总数的7.35%；旅鸟2种，占种类总数的1.47%（图2）。

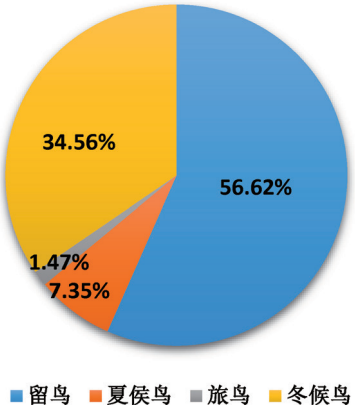


图2 鸟类居留型

Fig.2 Resident types of birds

2.2.2 *地理分布* 136种鸟类中，有东洋界76种，占种类总数的55.88%；古北界47种，占种类总数的34.56%；广布种13种，占种类总数的9.56%（图3）。

表2 物种组成

Table2 Species composition

序号 Serial number	目名 Name of orders	科数 Number of families		种数 Number of species		个体数 Number of individuals		全部鸟类百分比 Percentage of birds	
		全部 Whole	水鸟 Waterfowl	全部 Whole	水鸟 Waterfowl	全部 Whole	水鸟 Waterfowl	全部 Whole	水鸟 Waterfowl
1	鸊鹈目 Podicipediformes	1	1	2	2	304	304	1.24	1.24
2	鹈形目 Pelecaniformes	1	1	1	1	50	50	0.20	0.20
3	鹳形目 Ciconiiformes	1	1	11	11	6 998	6 998	28.54	28.54
4	雁形目 Anseriformes	1	1	2	2	53	53	0.22	0.22
5	隼形目 Falconiformes	3	0	8	0	31	0	0.13	0.00
6	鸡形目 Galliformes	1	0	3	0	23	0	0.09	0.00
7	鹤形目 Gruiformes	1	1	4	4	435	435	1.77	1.77
8	鸻形目 Charadriiformes	5	5	16	16	460	460	1.88	1.88
9	鸽形目 Columbiformes	1	0	2	0	764	0	3.12	0.00
10	鹃形目 Cuculiformes	1	0	6	0	311	0	1.27	0.00
11	雨燕目 Apodiformes	1	0	2	0	149	0	0.61	0.00
12	佛法僧目 Coraciiformes	1	1	3	3	157	157	0.64	0.64
13	䴕形目 Piciformes	1	0	3	0	3	0	0.01	0.00
14	雀形目 Passeriformes	23	0	73	0	14 785	0	60.29	0.00
	合计 Total	42	11	136	39	24 523	8 457	100	34.49

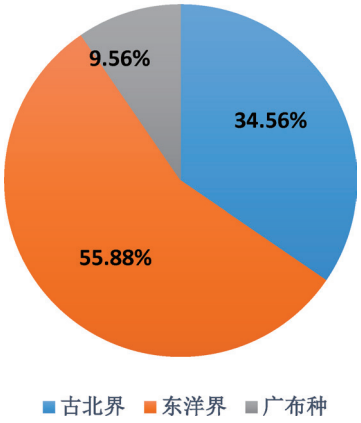


图 3 鸟类地理分布

Fig.3 Geographical distribution of birds

2.3 珍稀濒危物种

136 种鸟类中，有国家重点保护物种 12 种，分别为：鸿雁 *Anser cygnoid*、褐翅鸦鹃 *Centropus sinensis*、小鸦鹃 *C. bengalensis*、水雉 *Hydrophasianus chirurgus*、黄嘴白鹭 *Egretta etilophotes*、蛇雕 *Spilomis eheela*、松雀鹰 *Accipiter virgatus*、白胸翡翠 *Halcyon smymensis*、红隼 *Falco tifinuncu-lus*、游隼 *F. peregrinus*、画眉 *Gavmlax canorus*、红嘴相思鸟 *Leiothrix lutea*。

（CITES）附录 I、附录 II 物种 4 种，分别为：红隼、游隼、画眉、红嘴相思鸟。

2.4 不同湿地类型的鸟类组成

4 种湿地类型中，物种丰富度由高到低依次为人工湿地（109）> 河流湿地（88）> 近海湿地（57）> 湖泊湿地（39）；多样性指数由高到低依次为河流湿地（1.50）> 人工湿地（1.49）> 近海湿地（1.30）> 湖泊湿地（0.80）。均匀度指数由高到低依次为河流湿地（0.33）> 人工湿地（0.32）> 近海湿地（0.32）> 湖泊湿地（0.22）（表 3）。

2.5 丰富度空间格局

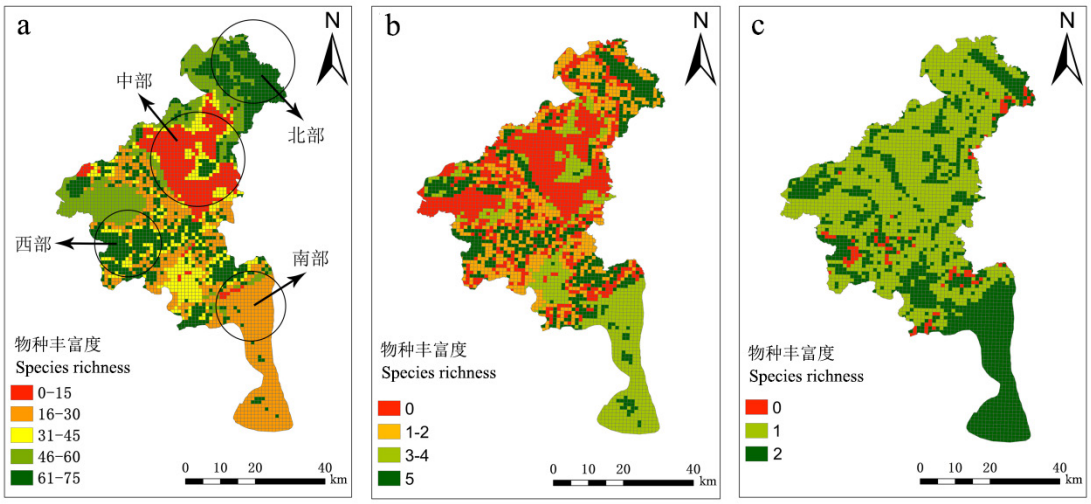
建成区鸟类丰富度最高的区域在北部的招元水库和七坑水库，其次为西部的白云嶂水库和长流坑水库，低丰富度区域主要分布在中部的城市周边，南部鸟类丰富度虽然不高，但其临海，有大量的红树林及河口水域，以水鸟为主，尤其鹭鸟居多（图 4a）。

建成区珍稀濒危鸟类丰富度分布格局分析结果显示，南部分布格局基本一致，其他分布格局

表 3 不同湿地类型鸟类群落多样性

Table 3 Bird diversity index of different wetland

湿地类型 Wetland type	物种丰富度 Species richness	Shannon-Weaver 多样性指数 Shannon-Weaver diversity index（*H'*）	均匀度指数 Evenness index（*J'*）
人工湿地 Constructed wetland	109	1.49	0.32
河流湿地 River wetland	88	1.50	0.33
湖泊湿地 Lake wetland	39	0.81	0.22
近海湿地 Coastal wetland	57	1.31	0.32



注 :a: 全部鸟类 ;b: 国家重点保护鸟类 ;c:CITES 附录 I,II 中的鸟类。

Note:a:All birds; b:Birds under state key protection; c:Birds in CITES Appendix I,II.

图 4 惠州建成区鸟类丰富度空间分布格局

Fig.4 Spatial distribution pattern of bird richness in built–up areas of Huizhou

差异性都比较明显，差异化最大是北部招元水库和中西部的潼湖（图4b,c）。

2.6 多样性热点区域

全部鸟类的热点区域集中在建成区的北部、西部和中西部，冷点区域沿建成区中部向四周扩散（图5a）。珍稀濒危鸟类热点区域里北部、西部差异性最为明显（图5b,c）。

全部鸟类的保护热点区域与珍稀濒危鸟类的保护热点区域在分布上存在明显差异。热点区域主要分布在人工湿地，冷点区域主要分布在河流湿地，无显著区域主要在湖泊湿地，近海湿地拥有大面积的红树林和滩涂，是越冬水鸟栖息和觅食的主要场所，水鸟多样性丰富，以湿地水鸟为主。其中人工湿地和湖泊湿地以鹭鸟类为主，河流湿地和近海湿地以鸻鹬类为主。

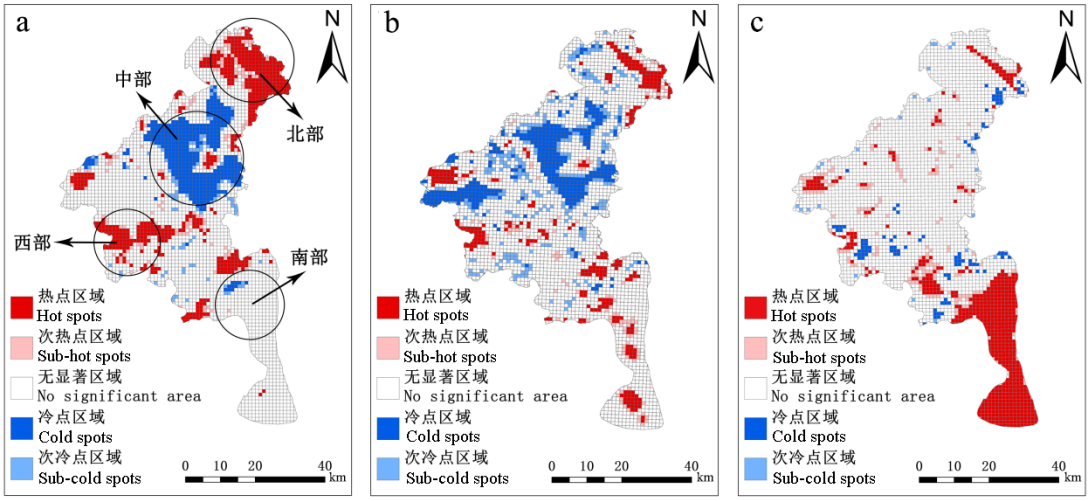
3 讨论

我们调查记录到惠州市建成区湿地鸟类共136种，惠州市已知鸟类有299种[18]，相比之下，建成区只有惠州市五分之一的面积，却几乎占据惠州市二分之一的种类，说明建成区在鸟类保护上具有重要地位，这主要与建成区自然生态环境条件和所处的地理位置有关。一方面，惠州市地处南亚热带，河流和湿地分布广泛，建成区有西枝江、东江等永久性河流，还有潼湖等通江湖泊，丰富的湿地植物群落和海岸红树林成为了鸟类的适宜栖息地；另一方面，惠州市建成区位于全球候鸟“东亚—澳大利亚”迁徙路线上的越冬地和中转站。这使得建成区在保护全球鸟类多样性上具有不可替代的作用。

我们的研究结果表明，河流、湖泊、水田、水库等是湿地鸟类主要利用的生境类型，在维持湿地鸟类多样性具有重要作用。

尽管惠州市是粤港澳大湾区新兴的工业化城市，但城市生态承载能力还保持在较高的水平，然而随着粤港澳大湾区城市群开发建设的快速推进，开发用地、围海养殖、填海造地等工程项目的建设，将加快天然湿地的萎缩从而使得湿地鸟类栖息地面临破碎化的风险，这将对湿地鸟类的分布模式、种群密度、群落结构、配对成功率、巢址选择和巢成功率等产生不同程度的影响[19]。加强建成区湿地鸟类多样性丰富度高的区域和保护热点区域的保护是遏制湿地鸟类多样性衰退的重要措施。

已有研究成果表明植物群落与鸟类密度及多样性有一定关联性[20]，惠州市建成区北部和西部生境完好，是鸟类丰富度最高的区域，同时也是保护热点区域，尽管建成区已建有的8个自然保护区、4个湿地公园和4个森林公园可以为鸟类提供重要的栖息场所，但鸟类丰富度高的区域和保护热点区域并未全部纳入自然保护地。设立自然保护区是保护生物多样性的有效途径[21]，因此，



注：a: 全部鸟类；b: 国家重点保护鸟类；c:CITES附录I,II中的鸟类。
Note: a:All birds; b:Birds under state key protection; c:Birds in CITES Appendix I,II.

图5 惠州建成区鸟类多样性热点区域

Fig.5 Hotspot of bird diversity in Huizhou built-up area

建议将这些区域纳入自然保护地体系，以实现湿地鸟类的有效保护。此外，在建成区保护热点的区域里，城市建设使北部和西部湿地鸟类栖息地呈现孤岛状，破碎化现象较为严重（图 4、图 5），在一定程度上限制了两地鸟类间的正常交流，不利于湿地鸟类多样性的保护，为此，建议构建湿地鸟类生态廊道，联通北部和西部地区，以更好的发挥北部和西部鸟类多样性保护的作用。

参考文献

[1] 陈小麟.福建省滨海湿地水鸟[M].北京: 高等教育出版社, 2012.

[2] LI F , PAN B , WU Y, et al . Application of game model for stakeholder management in construction of ecological corridors: A case study on Yangtze River Basin in China[J]. Habitat International, 2017, 63: 113-121.

[3] 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.

[4] 刘谓承, 汪涛, 赵建刚, 等.广东新会小鸟天堂鸟类多样性及保护策略[J].生态科学, 2014, 33(5): 955-962.

[5] 周立志, 李迪强, 马勇, 等.地理信息系统(GIS)在动物多样性研究中的应用[J].动物学杂志, 1999, 34(5): 52-56.

[6] 王棒, 张丽君, 吴建安.GAP分析及其在生物多样性保护中的应用现状[J].河北林果研究, 2009, 24(1): 69-72.

[7] 李智琦, 欧阳志云, 曾慧卿.基于物种的大尺度生物多样性热点研究方法[J]. 生态学报, 2010, 30(6): 1586-1593.

[8] 叶江霞, 吴明山, 洪磊, 等.基于GIS的中国画眉科鸟类地理分布格局研究[J].四川动物, 2013, 32(4): 515-520.

[9] 李杨, 袁梨, 史洋, 等.北京地区珍稀鸟类生态分布的GIS分析[J].北京林业大学学报, 2015(5): 119-125.

[10] 肖海燕, 赵军, 蒋峰, 等. GAP分析与区域生物多样性保护[J].北京大学学报(自然科学版) , 2006, 42(2): 153-158.

[11] 约翰·马敬能, 卡伦·菲利普斯.中国鸟类野外手册[M].长沙: 湖南教育出版社, 2000.

[12] 郑光美.中国鸟类分类与分布名录[M].北京: 科学出版, 2011.

[13] N RASHEVSKY.Some bio-sociological aspects of the mathematical theory of communication[J]. The bulletin of mathematical biophysics, 1950, 12(4): 359-378.

[14] E C Pielou.Ecological diversity[M].New York: John Wiley and Sons, 1975.

[15] PEARLSTINE L G , SMITH S E , BRANDT L A . Assessing state-wide biodiversity in the Florida Gap analysis project[J]. Journal of Environmental Management, 2002, 66(2): 127-144.

[16] 李晓文, 郑钰, 赵振坤, 等.长江中游生态区湿地保护空缺分析及其保护网络构建[J].生态学报, 2007, 27(12): 4979-4989.

[17] 梁健超, 丁志锋, 张春兰, 等.青海三江源国家级自然保护区麦秀分区鸟类多样性空间格局及热点区域研究[J].生物多样性, 2017, 25(3): 294-303.

[18] 周纪刚, 郑洲翔, 牛晓楠, 等.惠州鸟类资源调查[J].安徽农业科学, 2013(14): 6285-6287.

[19] 邓文洪.栖息地破碎化与鸟类生存[J].生态学报, 2009, 29(6): 3181-3187.

[20] 蒋谦才, 廖浩斌, 胡慧建, 等.中山市长江库区水源林自然保护区鸟类分布及鸟类与植物群落的关系[J].林业与环境科学, 2017, 33(5): 39-44.

[21] 陈振明, 龚粤宁, 张敏, 等.南岭地区自然保护区体系的建设与发展[J].广东林业科技, 2015, 31(3): 82-86.