

赵子杭,庄庭,李建勇,等,2024. 天津区域鸟类活动的双偏振天气雷达回波分析[J]. 气象,50(9):1142-1152. Zhao Z H, Zhuang T, Li J Y, et al, 2024. Analysis of dual-polarization weather radar echoes of bird activity in Tianjin Region[J]. Meteor Mon, 50(9):1142-1152(in Chinese).

天津区域鸟类活动的双偏振天气雷达回波分析^{*}

赵子杭¹ 庄庭¹ 李建勇^{2,3} 李春^{4,5} 李宗飞⁶ 许崇海¹ 史静¹

1 天津气象雷达研究试验中心,天津 300061

2 中国气象局气象探测中心,北京 100081

3 广东省气象数据中心,广东 510080

4 天津市气候中心,天津 300074

5 天津市北辰区气象局,天津 300400

6 天津市气象信息中心,天津 300074

提 要: 利用 2022 年 6 月至 2023 年 3 月的宝坻 S 波段双偏振天气雷达资料,对探测到的天津区域空中生物活动进行分析,结果表明:天津区域空中生物活动存在明显的季节变化和日变化。雷达能够探测到的候鸟迁徙回波集中在 2 月下旬到 11 月下旬,其中湿地鸟类活动在夏季比较明显,候鸟迁徙活动在 2 月、11 月特别频繁,鸟类回波出现的时刻与日出日落有明显的关联。其中,秋季鸟类活动特征较为明显,回波在反射率产品上呈现明显的类圆形特征,回波强度能达到 35 dBz 以上;从径向速度产品上可以看出,鸟类飞行时径向速度约在 10~27 m·s⁻¹;从相关系数(CC)产品上看,鸟类回波的 CC 整体数值较低,主要分布在 0.1~0.8;从差分反射率(Z_{DR})产品上看,Z_{DR}分布不均匀,最大可达 3~5 dB。相比于单偏振天气雷达,S 波段双偏振天气雷达对空中生物回波的识别有显著优势。

关键词: S 波段双偏振天气雷达,鸟类回波,回波强度,相关系数,差分反射率

中图分类号: P412

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2024.071201

Analysis of Dual-Polarization Weather Radar Echoes of Bird Activity in Tianjin Region

ZHAO Zihang¹ ZHUANG Ting¹ LI Jianyong^{2,3} LI Chun^{4,5}

LI Zongfei⁶ XU Chonghai¹ SHI Jing¹

1 Tianjin Meteorological Radar Research and Test Centre, Tianjin 300061

2 CMA Meteorological Observation Centre, Beijing 100081

3 Guangdong Meteorological Data Center, Guangdong 510080

4 Tianjin Climate Center, Tianjin 300074

5 Beichen Meteorological Office of Tianjin, Tianjin 300400

6 Tianjin Meteorological Information Center, Tianjin 300074

Abstract: We use Baodi S-Band Dual-Polarization Weather Radar data from June 2022 to March 2023 in analyzing the biological activity in the sky over Tianjin Region. The results show that there are obvious seasonal and diurnal variations of biological activities in the sky over Tianjin Region. The migration echoes of migratory birds detected by radar are concentrated from late February to late November, during which wetland bird activity is more obvious in summer, and migratory bird activity is particularly frequent in

^{*} 2023 年 5 月 12 日收稿; 2024 年 5 月 28 日收修定稿

第一作者: 赵子杭, 主要从事综合气象探测相关工作. E-mail: 648112865@qq.com

通讯作者: 庄庭, 主要从事综合气象探测相关工作. E-mail: worldstar8@163.com

February and November. The appearance time of bird echo is obviously correlated to sunrise and sunset. The echoes of birds show obvious circular characteristics in the reflectivity products, with the echo intensity exceeding 35 dBz. It can be seen from the radial velocity product that the flight speed of birds is about $10\text{--}27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; and from the product of correlation coefficient (CC) that the overall CC of bird echo is low, mainly distributed in the range of 0.1–0.8. And then from the differential reflectivity (Z_{DR}) products, we can see that the distribution of Z_{DR} is not uniform, up to 3–5 dB as the highest. Compared to single polarization weather radar, S-band dual-polarization weather radar has significant advantages in recognizing biological echoes in the sky.

Key words: S-band dual-polarization weather radar, bird echo, echo intensity, correlation coefficient, differential reflectivity

引言

随着气象事业的迅猛发展,S波段天气雷达在国内的布网率越来越密集,其在短时临近预警以及防灾减灾中的作用越来越明显(于函等,2022;张哲等,2023;韩颂雨等,2022)。CINRAD/SA型号天气雷达最主要的功能就是探测降水回波的分布与强度的变化情况,但同时也会探测到一些非降水回波,如地物回波、海浪回波、昆虫和鸟的回波、大气折射指数脉动引起的回波等(俞小鼎等,2006;刘娟,2015;张林等,2014)。S波段双偏振天气雷达因良好的性能以及具有丰富的双偏振产品(潘佳文等,2023),使其在空中生物回波的识别上有显著的优势,同时对生物回波展开研究也有助于提高雷达数据质量(李林等,2022;席宝珠等,2015;张林等,2021;陈唯实等,2023)。Gauthreaux and Belser (1998)研究发现,天气雷达可以观测到鸟类的长距离迁徙和局地活动,可运用其开展鸟类生物学研究。Zrnich and Ryzhkov (1998)和 Hubbert et al (2018)分析还表明大规模的鸟类活动对天气雷达探测质量会产生一定的影响,雷达生物学研究有一定的必要性。国内专家学者利用天气雷达对空中生物识别展开研究,发现空中生物活动与气象条件密切相关。贾金明等(2007)通过研究发现棉铃虫发生程度与多个气象因子关系紧密,并根据棉铃虫繁殖特点,对应不同繁殖阶段建立了预报模式;李丰等(2012)利用卫星和地面资料对非气象回波展开研究,并提出基于模糊逻辑和回波分块的非气象回波识别方法;张林和杨洪平(2018)利用反射率因子、差分反射率因子和相关系数对生物回波识别技术展开研究,最终非降水回波识别率达到93%以上;滕玉鹏等(2020)利用低通滤波的方法,对雷达的多普勒速度进行处理,有效区

分了生物回波和气象回波,同时对2012年9月30日的空中生物迁飞过程进行验证,成功分离了鸟类与虫类回波;姚文等(2022)通过营口单、双偏振天气雷达对辽河三角洲及附近湿地鸟类活动展开研究,发现鸟类活动存在明显的季节变化和明显的日变化,进一步提高了天气雷达在生物气象学上的应用能力。鸟类回波是S波段天气雷达上最常见的空中生物回波(朱轶明等,2022;Anjita and Indu,2023;Lukach et al,2022),鸟类的体型优势加上成群后的规模优势,在天气雷达上容易捕捉到鸟类的活动,特别是黎明时的集体出巢觅食以及黄昏时刻的候鸟大批迁徙,在S波段天气雷达上可以明显地看到鸟类活动的轨迹以及相关回波变化。

天津地区水文资源丰富,生态环境良好,每年都有大批冬候鸟、夏候鸟经过,同时具有北大港湿地、七里海湿地、大黄堡湿地等多处湿地保护区,具有丰富的生物资源(肖欢等,2021;柴子文等,2020;孙嘉徽,2020;张宇硕等,2021;尤平等,2003)。宝坻S波段双偏振天气雷达于2022年6月投入试运行,并于2023年1月正式运行。该雷达位于天津市宝坻区,采用VCP体扫模式,利用运行以来的双偏振天气雷达资料(Stepanian et al,2016;钟谢非等,2023),对天津地区的生物活动特征与规律进行分析,利用双偏振天气雷达的回波形态,结合植物保护部门关于天津区域生物的观测信息进行判断,发现生物活动回波特征不同于降水回波,其活动时间、活动地点、活动方式等具有明显的规律性。

1 秋季鸟类迁徙活动回波特征

1.1 监测实况

根据津云新闻报道,2022年11月26日,在天

津市滨海新区北塘街道宁车沽区域,天津市生态环境监测中心多名监测人员和天津科技大学数位老师在开展市生态环境局生物多样性调查监测项目时,观测到 2000 余只东方白鹳(房志勇,2022)。

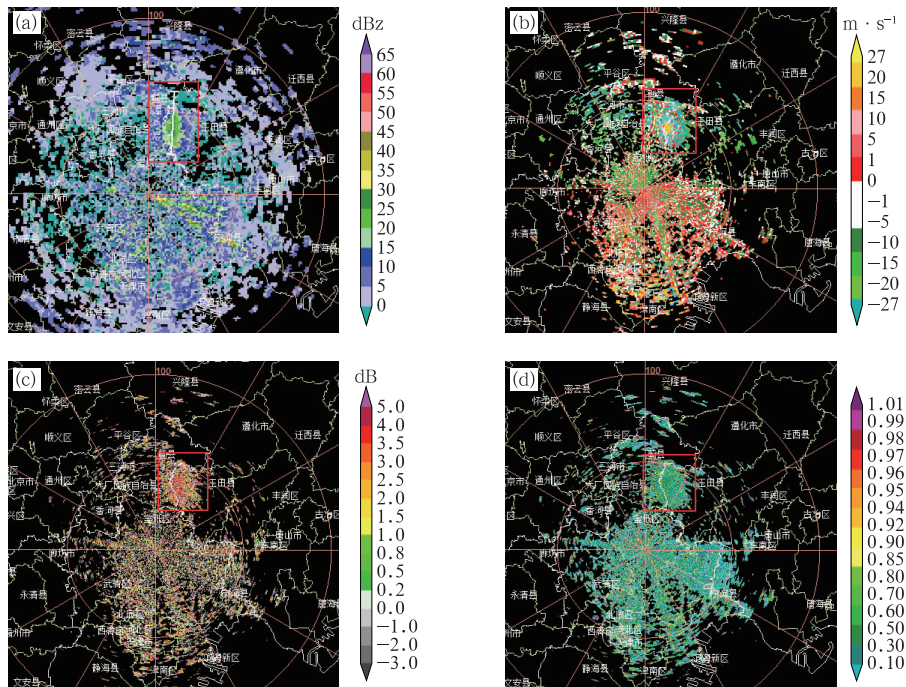
1.2 雷达监测结果

2022 年 11 月 25 日 17:00—19:00(北京时,下同),宝坻 S 波段双偏振天气雷达捕捉到由蓟州于桥水库向滨海方向有回波移动,随即对这次回波展开分析。从宝坻雷达 0.5° 仰角反射率因子随时间变化特征来看(图略),17:22—17:37 雷达上开始出现少量斑块状回波,强度在 $10\sim 20$ dBZ,略强于周围的晴空回波;17:37—17:43 回波面积增大,强度明显加强,达到 $20\sim 35$ dBZ;17:43—18:04 回波面积迅速增大,强度有所减弱,约为 30 dBZ;18:04—18:30 回波由宝坻向宁河移动,回波中心向东南方向偏移,强度在 $15\sim 30$ dBZ;18:30—18:36 部分回波在宁车沽区域消失。18:36—19:06 剩余回波由东丽—滨海交界处向津南—滨海交界处移动,且反

射率因子强度逐渐下降;19:06 以后回波彻底消失,整个过程共持续 100 min 左右。

结合 2022 年 11 月 25 日 17:48 宝坻 S 波段双偏振天气雷达 0.5° 仰角反射率因子、径向速度、差分反射率、相关系数(图 1)展开分析。由雷达径向速度特征(图 1b)可以看到,鸟的飞行径向速度约在 $10\sim 27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,这与樊淑娟(2020)利用卫星追踪到的东方白鹳每日飞行速度相符。从相关系数特征(图 1d)来看,鸟类回波的相关系数整体数值较低,主要分布在 $0.1\sim 0.8$ 。从差分反射率特征(图 1c)来看,此次过程中差分反射率最大可达 $3\sim 5$ dB。与东方白鹳体型特征比较相符(体长为 $1.10\sim 1.28\text{ m}$,翼展约 2.20 m)。从宝坻雷达 0.5° 仰角反射率因子剖面来看(图 2),候鸟飞行高度在 1000 m 左右。

从 2022 年 11 月 25 日天津地区候鸟迁徙路线来看(图 3),总体迁徙路线为蓟州—唐山玉田—宝坻—宁河—滨海新区—东丽—津南,由回波情况可推知,在宁车沽区域有部分候鸟落下,其余继续向南飞行,至津南滨海交界处回波消失。



注:红色方框为秋季鸟类回波,白线为图 2 剖面位置。

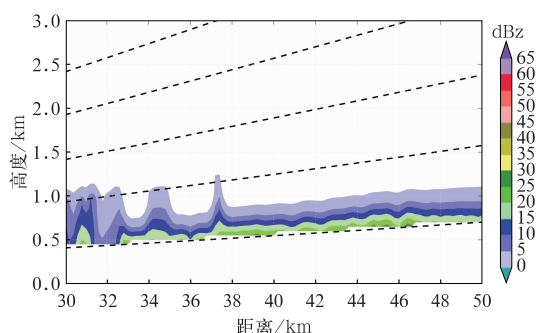
图 1 2022 年 11 月 25 日 17:48 宝坻 S 波段双偏振天气雷达 0.5° 仰角

(a) 反射率因子, (b) 径向速度, (c) 差分反射率, (d) 相关系数产品

Fig. 1 Product diagrams of 0.5° elevation (a) reflectivity factor, (b) radial velocity,

(c) differential reflectivity and (d) correlation coefficient of Baodi S-Band

Dual-Polarization Weather Radar at 17:48 BT 25 November 2022



注:虚线分别为 0.5° 、 1.5° 、 2.4° 、 3.4° 、 4.3° 仰角。

图2 2022年11月25日17:48宝坻S波段双偏振天气雷达反射率因子沿图1a中白线的剖面

Fig.2 Cross-section of reflectivity factor of Baodi S-Band Dual-Polarization Weather Radar along the white line in Fig. 1a at 17:48 BT 25 November 2022

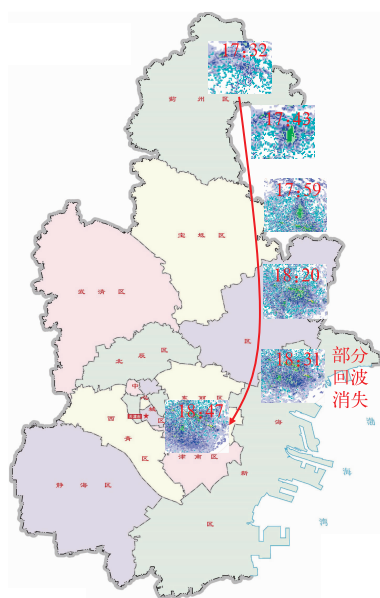


图3 2022年11月25日天津地区候鸟迁徙情况

Fig.3 Migration of migratory birds in Tianjin on 25 November 2022

2 夏季鸟类局地活动回波特征

2.1 监测实况

根据中国科学院西北生态环境资源研究院、新闻与鸟类爱好者提供的数据,每年7月、8月有大量

夏候鸟在天津大黄堡湿地(天津市武清区大黄堡线与大黄堡路交叉口东50 m)、七里海鸟类保护区(宁河区南部)、蓟州山区及水库(蓟州区城东蓟运河左支流州河出口处)、宝坻潮白河及附近农田(宝坻区S101潮白河沿岸)、北大港湿地(滨海新区大港南环路)等地活动,其中包含鹭类、燕鸥类、鸬鹚等多种鸟类。

2.2 雷达监测结果

2022年8月2日05:00,宝坻S波段双偏振天气雷达探测到的生物回波主要分布在宁河七里海鸟类保护区、蓟州北部果河、唐山丰南区南部沙河附近。

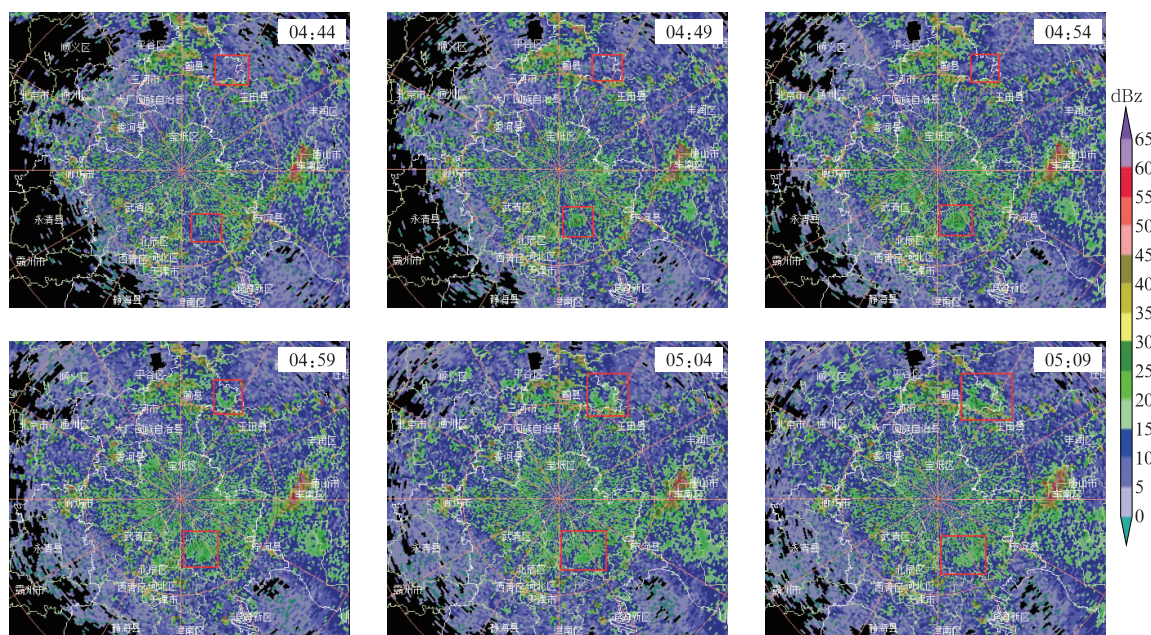
从宝坻雷达 0.5° 仰角反射率因子随时间变化特征来看,04:40雷达上开始出现少量斑块状回波,强度在25 dBZ左右,略强于周围的晴空回波;04:44—04:59回波面积增大,强度明显加强,达到25~35 dBZ;04:59—05:15圆形回波中心向四周扩散,强度有所减弱,在20~30 dBZ左右,原因可能是鸟类向周围寻找食物,逐渐降落,密度减小;05:15以后回波逐渐消失(图4)。

结合2022年8月2日05:00宝坻S波段双偏振天气雷达 0.5° 仰角反射率因子、径向速度、差分反射率、相关系数(图5)展开分析。由雷达径向速度特征(图5b)可以看到,环状回波有正负速度对称特征(对称),鸟类飞行的径向速度分别为 $\pm(2\sim10)\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。天津区域湿地鸟类种类较多(莫训强等,2021),晨起众多鸟类外出寻觅食物,其速度一般不会类似鸟类迁徙过程以自身的最大乃至极限速度飞行,因而速度偏小。从相关系数特征(图5d)来看,鸟类回波的相关系数整体数值较低,主要分布在0.1~0.8,与姚文等(2022)提到的相关系数特征相符。从差分反射率特征(图5c)来看,鸟的飞行方向和个体大小差异性较大,差分反射率分布不均匀,此次过程中差分反射率最大可达3~5 dB。跟秋季候鸟迁飞不同,没有出现部分区域差分反射率强度大体相同的情况,推测可能是因为鸟类个体小、翅膀短,水平方向与垂直方向上反射率变动不大。

3 春季鸟类迁徙活动回波特征分析

3.1 监测实况

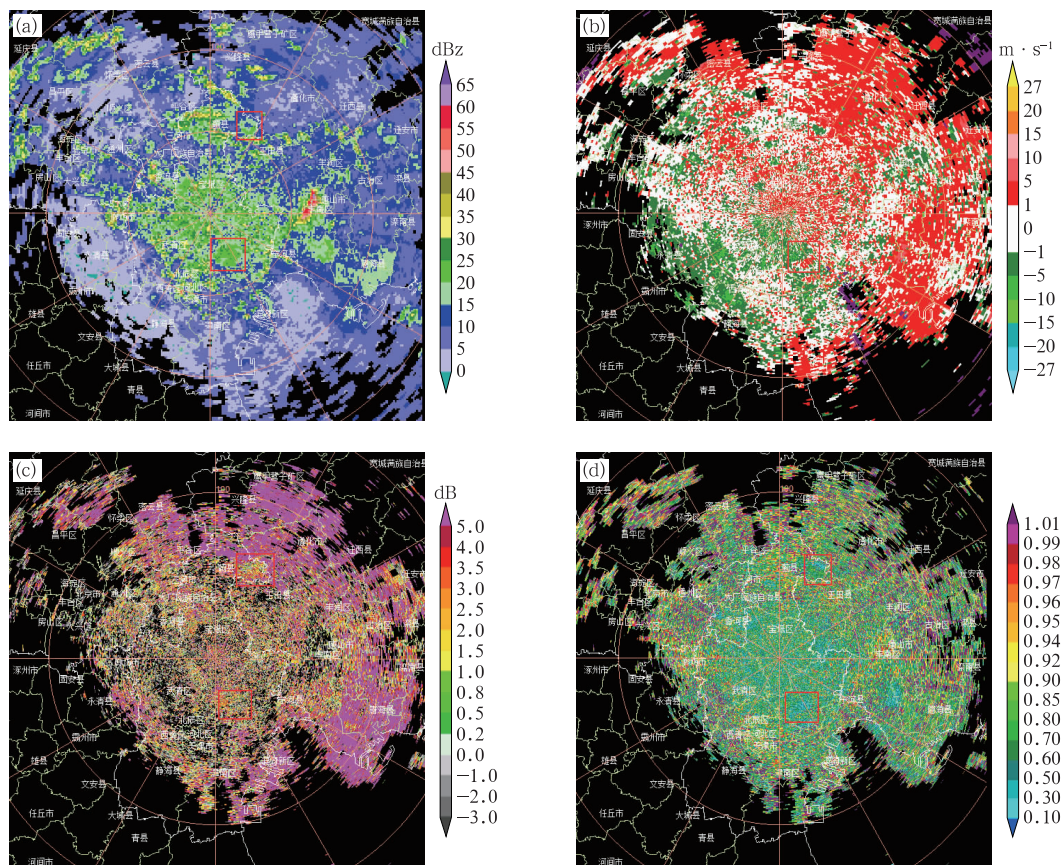
2023年2月27日18:21左右,部分市民观察



注:红色方框为夏季鸟类回波。

图 4 2022 年 8 月 2 日宝坻 S 波段双极化天气雷达 0.5°仰角反射率因子变化

Fig. 4 Change of 0.5° elevation reflectivity factor of Baodi S-Band Dual-Polarization Weather Radar on 2 August 2022



注:红色方框为夏季鸟类回波。

图 5 2022 年 8 月 2 日 05:00 宝坻 S 波段双极化天气雷达 0.5°仰角(a)反射率因子,

(b)径向速度,(c)差分反射率,(d)相关系数产品

Fig. 5 Product diagrams of 0.5° elevation (a) reflectivity factor, (b) radial velocity, (c) differential reflectivity and (d) correlation coefficient of Baodi S-Band Dual-Polarization Weather Radar at 05:00 BT 2 August 2022

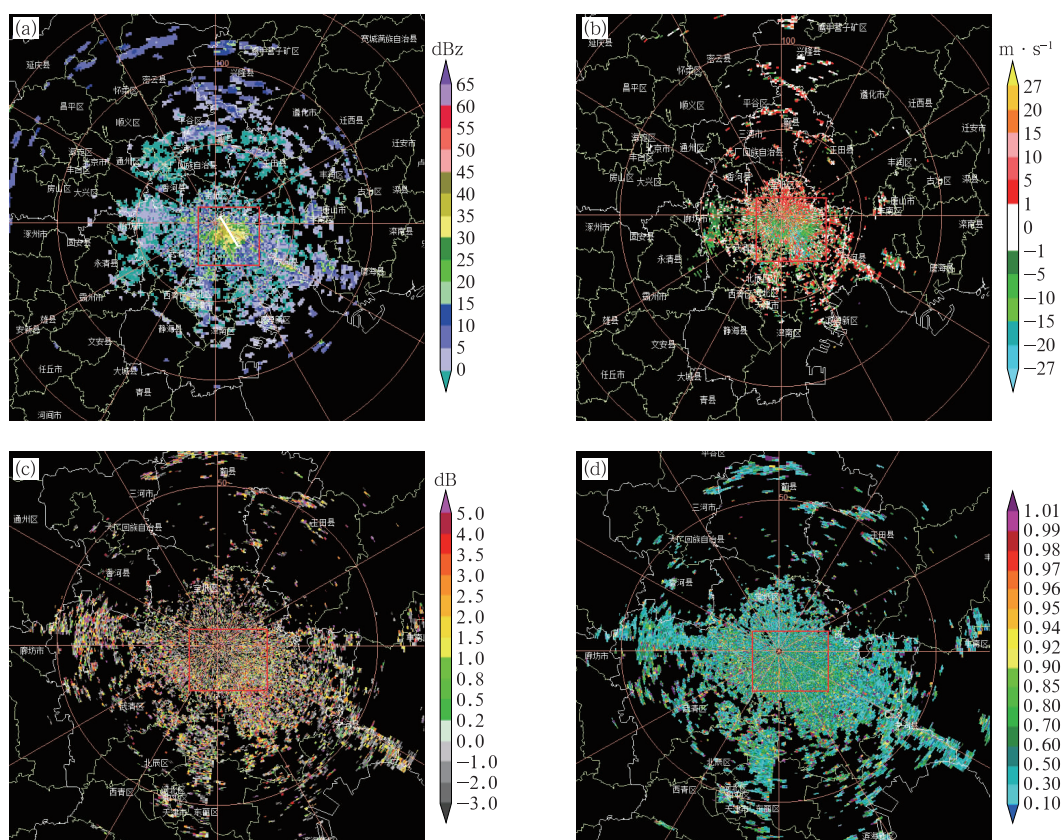
到有大批鸟类在天津市河西区友谊路(天津水晶宫饭店东)自西向东飞过,飞行高度较低,鸟类数量比较多。

3.2 雷达监测结果

2023年2月27日18:00左右,宝坻S波段双偏振天气雷达捕捉到有生物回波由宁河七里海鸟类保护区、武清大黄堡湿地向宝坻地区移动,随即对这次回波展开分析。从宝坻雷达 0.5° 仰角反射率因子随时间变化特征来看(图略),18:18—18:30雷达上开始出现少量斑块状回波,回波强度和范围逐渐增大,达到45 dBz左右;18:30—18:36回波面积迅速增大,达到35 dBz;18:36—19:00回波面积迅速减小,强度逐渐减弱,最终消失。此次过程从初始时刻到回波消失持续1 h左右。

结合2023年2月27日18:36宝坻S波段双偏振天气雷达 0.5° 仰角反射率因子、径向速度、差分反射率、相关系数(图6)展开分析。由雷达径向速度特征(图6b)可以看到,径向速度主要分布在 $5\sim 15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,部分可达 $20\sim 27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,这与王松(2021)关于春季鸟类的平均迁徙速度相符。从相关系数特征(图6d)来看,回波的相关系数整体数值较低,主要分布在 $0.1\sim 0.8$ 。差分反射率(图6c)分布不均匀,特征不明显。从飞行高度来看,对回波做垂直剖面分析(图7),候鸟飞行高度在 $200\sim 700\text{ m}$,强回波中心在 300 m 左右。

2023年2月27日,宝坻S波段双偏振天气雷达探测到的生物回波主要由宁河七里海鸟类保护区、武清大黄堡湿地向宝坻地区移动(图8)。



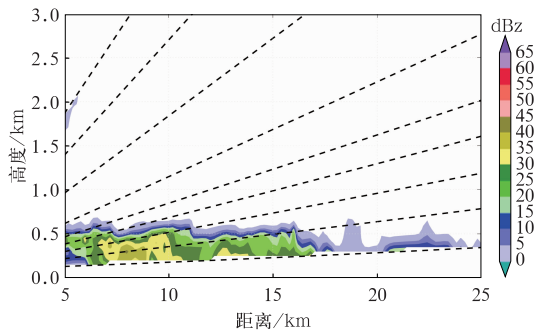
注:红色方框为春季鸟类回波,白线为图7剖面位置。

图6 2023年2月27日18:36宝坻S波段双偏振天气雷达 0.5° 仰角

(a)反射率因子,(b)径向速度,(c)差分反射率,(d)相关系数产品

Fig. 6 Product diagrams of 0.5° elevation (a) reflectivity factor, (b) radial velocity, (c) differential reflectivity and (d) correlation coefficient of Baodi S-Band

Dual-Polarization Weather Radar at 18:36 BT 27 February 2023



注:虚线分别为 0.5°、1.5°、2.4°、3.4°、4.3°、6.0°、9.9°、14.6°、19.5°仰角。

图 7 2023 年 2 月 27 日 18:36 宝坻 S 波段双偏振天气雷达反射率因子沿图 6a 中白线的剖面

Fig. 7 Cross-section of reflectivity factor of Baodi S-Band Dual-Polarization Weather Radar along the white line in Fig. 6a at 18:36 BT 27 February 2023

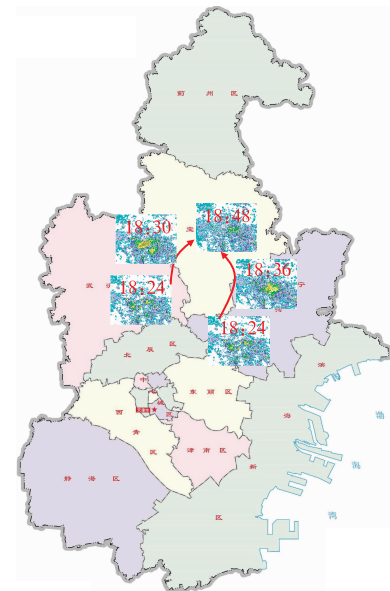


图 8 2023 年 2 月 27 日天津地区候鸟迁徙情况

Fig. 8 Migration of migratory birds in Tianjin on 27 February 2023

4 鸟类活动特征分析

4.1 秋季鸟类迁徙活动特征

利用宝坻 S 波段双偏振天气雷达 6—12 月的雷达数据,通过分析鸟类回波发现,秋季鸟类每天 17:00 左右开始活动,离巢时间与日落时间有明显的正相关关系(表 1)。由于天气雷达每 6 min 完成一次体扫数据传输,因此会有 0~6 min 的误差。从鸟类迁徙回波出现到消失,大约持续 2 h。通过统计的几次迁徙过程可以看出,虽然局部有微小差异,但总体迁徙路线为蓟州—唐山玉田—宝坻—宁河—滨海新区(图 9),总体路线与中亚—印度迁徙路线大致相符。

4.2 夏季鸟类局部活动特征

利用宝坻 S 波段双偏振天气雷达运行以来的雷达数据,通过分析鸟类回波发现,夏季鸟类每天 05:00 左右开始活动(表 2),活动区域主要在宁河七里海、武清大黄堡湿地自然保护区、宝坻潮白河、箭杆河及附近农田、蓟州于桥水库等地(图 10b)。夏季鸟类局地活动时间整体分布在 05:00 左右。活动范围一般不超过 30 km,鸟类离巢活动前期反射率有明显的 C 状或环状特征,中期有明显的空心特征,后期有明显的辐散特征。回波趋势呈现斑块状回波—C 状回波—回波扩散—回波消散。径向速度产品有明显的正负对称特征,且飞行径向速度大约在 $2\sim 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,符合鸟类局地觅食活动特征。对夏季局地活动的鸟类来说,差分反射率特征并不明显。

4.3 春季鸟类迁徙活动特征

利用宝坻 S 波段双偏振天气雷达 2—3 月的雷达数据,通过分析鸟类回波发现,春季鸟类每天 18:00 左右开始活动,起飞时间与日落时间有明显

表 1 2022 年天津地区典型秋季鸟类远距离迁徙活动过程

Table 1 Typical long-distance migration activity process of birds in Tianjin in autumn of 2022

日期	日落时间/BT	离巢时间/BT	天气现象	气温/℃	风向、风力
11 月 4 日	17:09	17:51	小雨/多云	13~18	西北风、2 级
11 月 13 日	16:56	17:44	阴/阴	13~23	西南风、2 级
11 月 15 日	16:54	17:38	多云/小雨	12~18	北风、1 级
11 月 25 日	16:51	17:22	多云/晴	2~13	西北风、3 级

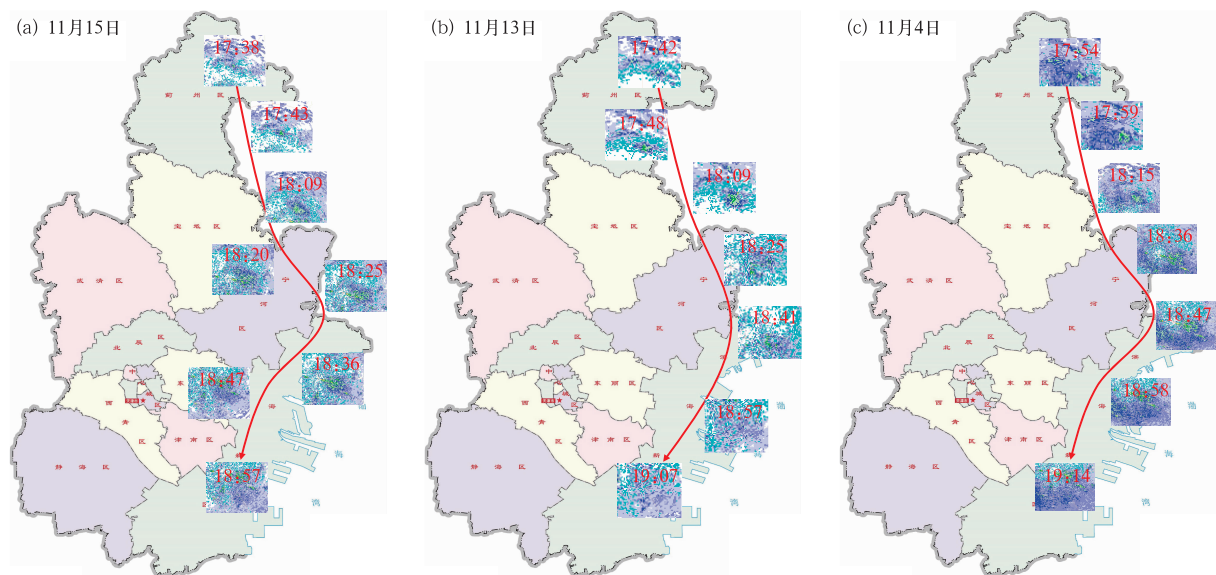


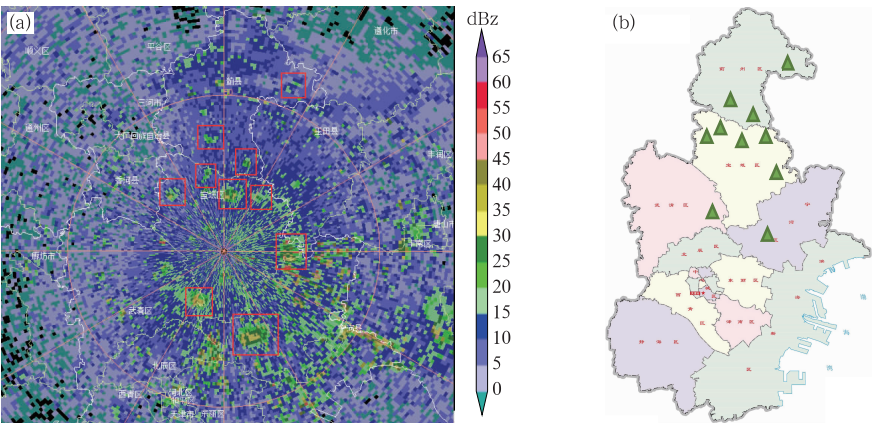
图 9 2022 年 11 月(a)15 日,(b)13 日,(c)4 日天津地区秋季候鸟迁徙情况

Fig. 9 Autumn migration of migratory birds in Tianjin on (a) 15, (b) 13, (c) 4 November 2022

表 2 2022 年天津地区典型夏季鸟类局地活动过程

Table 2 Typical local activity process of birds in Tianjin in summer of 2022

日期	日出时间/BT	离巢时间/BT	天气现象	气温/℃	风向、风力
7 月 26 日	05:06	04:35	晴	25~32	东风、2 级
7 月 27 日	05:07	04:43	阵雨	25~31	北风、1 级
7 月 28 日	05:08	04:45	中雨	23~30	东北风、1 级
8 月 2 日	05:12	04:49	多云	28~35	西南风、2 级



注:图 a 中红色方框为夏季鸟类回波,图 b 中绿色三角为相应鸟类活动位置。

图 10 2022 年 8 月 21 日 05:10 鸟类活动范围(a)宝坻 S 波段双偏振天气雷达 0.5°仰角反射率因子及(b)相应地图位置

Fig. 10 (a) 0.5° elevation reflectivity factor of Baodi S-Band Dual-Polarization Weather Radar and (b) corresponding location map for bird activity range at 05:10 BT 21 August 2022

的正相关关系(表 3)。从鸟类迁徙回波出现到消失,大约持续 1 h。通过统计的几次迁徙过程可以

看出,总体活动路线由宁河七里海鸟类保护区、武清大黄堡湿地向宝坻地区移动(图 11)。

表 3 2023 年天津地区典型春季鸟类远距离迁徙活动过程

Table 3 Typical long-distance migration activity process of birds in Tianjin in spring of 2023					
日期	起飞时间/BT	降落时间/BT	天气现象	气温/℃	风向、风力
2 月 16 日	18:00	18:36	多云	1~8	东北风、2 级
2 月 27 日	18:18	19:00	多云/阴	5~12	北风、2 级
3 月 6 日	18:30	19:36	多云/晴	5~24	西风、1 级

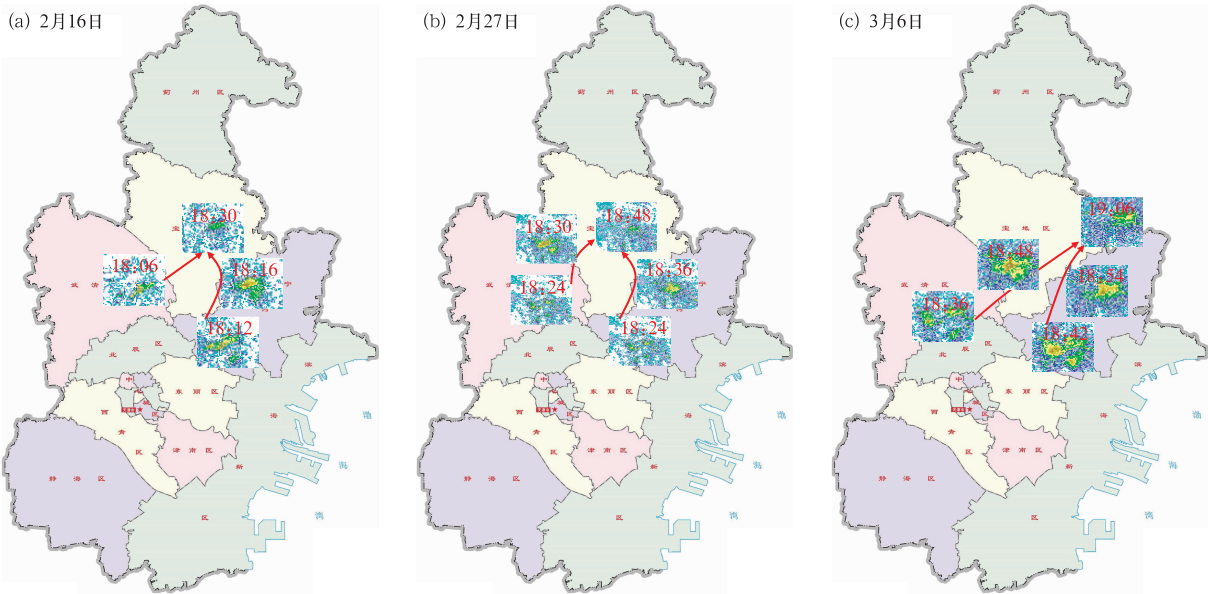


图 11 2023 年(a)2 月 16 日,(b)2 月 27 日,(c)3 月 6 日天津地区春季候鸟迁徙情况
Fig. 11 Summer migration of migratory birds in Tianjin on (a) 16 February,
(b) 27 February, (c) 6 March 2023

4.4 鸟类迁徙活动特征对比

夏季鸟类存在局地活动特征,春季和秋季鸟类存在迁徙活动特征,且鸟类离巢时间与日出、日落时间有明显的正相关性,不同季节鸟类活动相关系数均较低,一般小于 0.8。表 4 为鸟类活动特征对比。

春季鸟类迁徙活动范围一般超过 30 km,鸟类由南向北在宝坻周边湿地聚集,从回波产品图形上看,聚拢时反射率呈现类圆环或 C 状特征,起飞时呈现实心不规则特征。径向速度趋于一致,鸟类飞

行径向速度范围主要分布在 5~15 m·s⁻¹,部分可达 20~27 m·s⁻¹。对春季迁徙的鸟类来说,差分反射率特征并不明显。

夏季鸟类局地活动范围一般不超过 30 km,鸟类离巢活动前期反射率有明显的 C 状或环状特征,中期有明显的空心特征,后期有明显的辐散特征。径向速度有明显的正负对称特征,且径向速度大约在 2~10 m·s⁻¹,符合鸟类局地觅食活动特征。对夏季局地活动的鸟类来说,差分反射率特征并不明显。

表 4 天津地区鸟类活动特征对比
Table 4 Comparison of bird activity characteristics in Tianjin

季节	活动特征	活动范围/km	活动时间/BT	回波特征	径向速度/(m·s ⁻¹)	差分反射率	相关系数
春季	远距离迁徙	>30	17:00—19:00	实心不规则	径向速度一致 5~15	不明显	
夏季	近距离觅食	<30	04:00—06:00	C 状或环状	径向速度对称 2~10	不明显	0.1~0.8
秋季	远距离迁徙	>80	17:00—19:00	实心不规则	径向速度一致 10~27	最大 3~5 dB	

秋季鸟类迁徙活动范围一般大于 80 km,鸟类离巢活动时反射率呈实心不规则特征,这点与夏季鸟类活动有较大区别。同时,径向速度趋于一致,鸟

类径向速度范围大致在 10~27 m·s⁻¹。秋季迁徙鸟类因横向与纵向体态差异和运动状态的不同,导致差分反射率分布不均匀,最大可到 3~5 dB。

5 结 论

利用宝坻 S 波段双偏振天气雷达,对天津地区的鸟类活动特征与规律展开研究,根据夏季鸟类的局地活动特点以及春季、秋季鸟类的迁徙活动特点,得到以下结论:

(1)天津地区春季鸟类迁徙活动发生在 2 月左右,活动范围一般超过 30 km,春季鸟类迁徙聚拢时反射率呈现类圆环或 C 状特征,起飞时呈现实心不规则特征,春季鸟类迁徙时径向速度范围主要分布在 $5\sim 15\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,部分可达 $20\sim 27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(2)天津地区夏季湿地鸟类局地活动较为明显,活动范围一般不超过 30 km,夏季鸟类离巢活动前期反射率有明显的 C 状或环状特征,中期有明显的空心特征,后期有明显的辐散特征,夏季鸟类局地活动时径向速度大约在 $2\sim 10\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(3)天津地区秋季鸟类迁徙活动发生在 11 月左右,活动范围一般大于 80 km,秋季鸟类离巢活动时反射率呈实心不规则特征,这与夏季鸟类活动有较大区别,秋季鸟类迁徙时径向速度范围大致在 $10\sim 27\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,秋季差分反射率最大可到 $3\sim 5\text{ dB}$,由此推断秋季迁飞鸟类翼展较长、个体较大。

(4)利用宝坻双偏振天气雷达对天津地区鸟类活动展开研究,在识别空中生物回波时,相比于单偏振雷达,双偏振天气雷达产品在识别参数上特征更加明显。利用双偏振雷达捕获生物回波,继续深入研究空中生物活动规律,助力空中生态监测,为后续航空安全以及生态保护等提供参考。

参考文献

- 柴子文,雷维蟠,莫训强,等,2020.天津市北大港湿地自然保护区的鸟类多样性[J].湿地科学,18(6):667-678. Chai Z W, Lei W P, Mo X Q, et al, 2020. Bird diversity of Beidagang Wetland Nature Reserve in Tianjin City[J]. Wetland Sci, 18(6):667-678(in Chinese).
- 陈唯实,刘佳,王青斌,等,2023.气象雷达探鸟技术综述[J].航空学报,44(5):21-39. Chen W S, Liu J, Wang Q B, et al, 2023. Review on technology of bird detection with weather radar[J]. Acta Aeronaut Astronaut Sin, 44(5):21-39(in Chinese).
- 樊淑娟,2020.基于卫星追踪研究东方白鹳(*Ciconia boyciana*)的迁徙生态学[D].合肥:中国科学技术大学. Fan S J, 2020. Telemetry study on migration ecology of oriental stork (*Ciconia boyciana*) [D]. Hefei: University of Science and Technology of China(in Chinese).

- 房志勇,2022.千只东方白鹳飞入津城[N].天津日报,2022-12-06(5). Fang Z Y, 2022. Thousands of oriental white storks fly into Tianjin[N]. Tianjin Daily, 2022-12-06(5)(in Chinese).
- 韩颂雨,刘永生,骆阳,等,2022.适用 S 波段多普勒天气雷达的径向速度自动退模糊方法[J].气象学报,80(5):791-805. Han S Y, Liu Y S, Luo Y, et al, 2022. Automatic radial velocity dealiasing algorithm for S-band Doppler weather radar[J]. Acta Meteor Sin, 80(5):791-805(in Chinese).
- 贾金明,张相梅,郭明荣,等,2007.豫北多时效归一化棉铃虫气象预报模式[J].气象,33(7):105-111. Jia J M, Zhang X M, Guo M R, et al, 2007. Development and application of multi-effectiveness normalized prediction model for bollworm in northern Henan Province[J]. Meteor Mon, 33(7):105-111(in Chinese).
- 李丰,刘黎平,王红艳,等,2012. S 波段多普勒天气雷达非降水气象回波识别[J].应用气象学报,23(2):147-158. Li F, Liu L P, Wang H Y, et al, 2012. Identification of non-precipitation meteorological echoes with Doppler weather radar[J]. J Appl Meteor Sci, 23(2):147-158(in Chinese).
- 李林,孙赫敏,仰美霖,等,2022.基于速度和数量阈值的雨滴谱质量控制方法[J].气象,48(7):891-898. Li L, Sun H M, Yang M L, et al, 2022. Disdrometer's data quality control method based on speed and quantity threshold[J]. Meteor Mon, 48(7):891-898(in Chinese).
- 刘娟,2015. CINRAD/SC 新一代天气雷达回波地物检测与校正方法探讨[J].气象,41(10):1286-1291. Liu J, 2015. Detection and correction discussion of ground echoes of CINRAD/SC new generation Doppler weather radar[J]. Meteor Mon, 41(10):1286-1291(in Chinese).
- 莫训强,戚露露,贺梦璇,等,2021.天津市 4 个湿地保护区的鸟类物种多样性[J].天津师范大学学报(自然科学版),41(5):24-37. Mo X Q, Qi L L, He M X, et al, 2021. Bird species diversity of four wetland reserves in Tianjin[J]. J Tianjin Normal Univ (Nat Sci Ed), 41(5):24-37(in Chinese).
- 潘佳文,徐一鸣,吴举秀,等,2023.基于对流风暴结构的双偏振雷达 ZDR 柱识别及应用研究[J].气象学报,81(6):943-957. Pan J W, Xu M Y, Wu J X, et al, 2023. Identification of the ZDR column in dual polarization radar observations based on convective storm structure and related applications[J]. Acta Meteor Sin, 81(6):943-957(in Chinese).
- 孙嘉徽,2020.天津七里海湿地优先保护鸟种选择及其栖息地恢复研究[D].天津:天津大学. Sun J H, 2020. Research on priority protection bird species selection and habitat restoration in Tianjin Qilihai Wetland [D]. Tianjin: Tianjin University (in Chinese).
- 滕玉鹏,陈洪滨,马舒庆,等,2020.天气雷达监测生物跨海迁飞方法[J].气象,46(7):938-947. Teng Y P, Chen H B, Ma S Q, et al, 2020. Weather radar identification of directional biological migrations across the sea[J]. Meteor Mon, 46(7):938-947(in Chinese).
- 王松,2021.鄱阳湖白额雁迁飞规律与家域范围研究[D].长沙:中南林业科技大学. Wang S, 2021. The research on flyway and home

- range of greater white-fronted Geese in Poyang Lake[D]. Changsha: Central South University of Forestry & Technology (in Chinese).
- 席宝珠, 俞小鼎, 孙力, 等, 2015. 我国阵风锋类型与产生机制分析及其主观识别方法[J]. 气象, 41(2): 133-142. Xi B Z, Yu X D, Sun L, et al, 2015. Generating mechanism and type of gust front and its subjective identification methods[J]. Meteor Mon, 41(2): 133-142(in Chinese).
- 肖欢, 杨悦, 王子东, 等, 2021. 天津大黄堡湿地自然保护区水鸟群落多样性及其生境变化分析[J]. 湿地科学, 19(2): 208-217. Xiao H, Yang Y, Wang Z D, et al, 2021. Waterbird community diversity and habitat change of Dahuangpu Wetland Nature Reserve, Tianjin[J]. Wetland Sci, 19(2): 208-217(in Chinese).
- 姚文, 张晶, 余清波, 等, 2022. 辽河三角洲湿地鸟类活动的双偏振天气雷达回波特征[J]. 气象, 48(9): 1162-1170. Yao W, Zhang J, Yu Q B, et al, 2022. Dual-polarization weather radar echo characteristics of avian activities in the Liaohe River Delta Wetland[J]. Meteor Mon, 48(9): 1162-1170(in Chinese).
- 尤平, 李后魂, 王淑霞, 等, 2003. 团泊洼鸟类自然保护区蛾类及其多样性的研究[J]. 南开大学学报(自然科学版), 36(4): 93-99. You P, Li H H, Wang S X, et al, 2003. A study on the moth community and its diversity in Tuanbowa Birds Nature Reserve[J]. Acta Sci Nat Univ Nankaiensis, 36(4): 93-99(in Chinese).
- 于函, 张鸿波, 刘冬霞, 等, 2022. 飚线系统中的闪电活动与雷达回波特征的相关性研究[J]. 大气科学, 46(4): 835-844. Yu H, Zhang H B, Liu D X, et al, 2022. Relationship between lightning activities and radar echoes of squall line convective systems[J]. Chin J Atmos Sci, 46(4): 835-844(in Chinese).
- 俞小鼎, 姚秀萍, 熊廷南, 等, 2006. 多普勒天气雷达原理与业务应用[M]. 北京: 气象出版社: 51-52. Yu X D, Yao X P, Xiong T N, et al, 2006. Principle and Application of Doppler Weather Radar[M]. Beijing: China Meteorological Press: 51-52(in Chinese).
- 张林, 李峰, 冯婉悦, 等, 2021. 移动 X 波段双偏振雷达数据质量分析及偏差订正[J]. 气象, 47(3): 337-347. Zhang L, Li F, Feng W Y, et al, 2021. Research of data quality analysis and bias correction on mobile X-band dual-polarization weather radar[J]. Meteor Mon, 47(3): 337-347(in Chinese).
- 张林, 杨洪平, 2018. S 波段 WSR-88D 双偏振雷达观测非降水回波识别方法研究[J]. 气象, 44(5): 665-675. Zhang L, Yang H P, 2018. Non-precipitation identification technique on S-band WSR-88D polarization weather radar[J]. Meteor Mon, 44(5): 665-675(in Chinese).
- 张林, 杨洪平, 邓鑫, 等, 2014. 基于模板匹配法的长乐雷达强超折射回波识别[J]. 气象, 40(3): 364-372. Zhang L, Yang H P, Deng X, et al, 2014. One method based on template matching to remove strong anomalous propagation echo at Changle Site[J]. Meteor Mon, 40(3): 364-372(in Chinese).
- 张宇硕, 卢宪旺, 关洪武, 等, 2021. 天津盘山风景名胜区哺乳动物和鸟类多样性[J]. 野生动物学报, 42(3): 774-782. Zhang Y S, Lu X W, Guan H W, et al, 2021. Diversity of mammals and birds of Panshan Scenic Spot, Tianjin City, China[J]. Chin J Wildlife, 42(3): 774-782(in Chinese).
- 张哲, 戚友存, 兰红平, 等, 2023. 深圳 S 波段双偏振和 X 波段双偏振相控阵雷达定量降水估测组网拼图系统介绍[J]. 气象学报, 81(3): 506-519. Zhang Z, Qi Y C, Lan H P, et al, 2023. Introduction to a radar mosaicking system for quantitative precipitation estimation based on the S-band and X-band phase-array polarimetric radars in Shenzhen[J]. Acta Meteor Sin, 81(3): 506-519(in Chinese).
- 钟谢非, 陈海亮, 劳汉琼, 2023. 湛江 2019 年 4 次冰雹双偏振雷达产品应用分析[J]. 广东气象, 45(3): 54-57, 61. Zhong X F, Chen H L, Lao H Q, 2023. Analysis of the application of dual-polarization radar products in four 2019 hails in Zhanjiang[J]. Guangdong Meteor, 45(3): 54-57, 61(in Chinese).
- 朱铁明, 马舒庆, 杨玲, 等, 2022. 上海南汇 WSR-88D 双偏振天气雷达的生物回波识别与分析[J]. 气象与环境科学, 42(3): 118-128. Zhu Y M, Ma S Q, Yang L, et al, 2022. Recognition and analysis of biological echo using WSR-88D dual-polarization weather radar in Nanhui of Shanghai[J]. Meteor Environ Sci, 42(3): 118-128(in Chinese).
- Anjita N A, Indu J, 2023. Leveraging weather radars for desert locust monitoring[J]. Remote Sensing Appl Soc Environ, 31: 100983.
- Gauthreaux Jr S A, Belser C G, 1998. Displays of bird movements on the WSR-88D: patterns and quantification[J]. Wea Forecasting, 13(2): 453-464.
- Hubbert J C, Wilson J W, Weckwerth T M, et al, 2018. S-Pol's polarimetric data reveal detailed storm features (and insect behavior)[J]. Bull Am Meteor Soc, 99(10): 2045-2060.
- Lukach M, Dally T, Evans W, et al, 2022. The development of an unsupervised hierarchical clustering analysis of dual-polarization weather surveillance radar observations to assess nocturnal insect abundance and diversity[J]. Remote Sens Ecol Conserv, 8(5): 698-716.
- Stepanian P M, Horton K G, Melnikov V M, et al, 2016. Dual-polarization radar products for biological applications[J]. Ecosphere, 7(11): e01539.
- Zrnich D S, Ryzhkov A V, 1998. Observations of insects and birds with a polarimetric radar[J]. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 36(2): 661-668.

(本文责编: 俞卫平)