

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).

辽河三角洲湿地鸟类活动的双偏振 天气雷达回波特征^{*}

姚文¹ 张晶¹ 余清波² 曾娅杰³ 程雷⁴ 张国平⁵
李黎¹ 崔福涛¹ 赵月¹

1 辽宁省营口市气象局, 营口 115001

2 吉林省气象信息网络中心, 长春 130062

3 辽宁省大石桥市自然资源事务中心, 营口 115100

4 辽宁省丹东市气象局, 丹东 118001

5 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081

提 要: 利用2018—2020年3年的营口CINRAD/SA单、双偏振天气雷达资料,对探测到的辽河三角洲湿地及周边区域的鸟类清晨离开栖息地的活动进行分析,结果表明:辽河三角洲及附近湿地鸟类活动存在明显的季节变化和明显的日变化。雷达能够探测到的飞鸟回波集中在7月下旬到10月中旬,其中8—9月最为明显;飞鸟回波出现时刻与天亮时刻呈现明显的正相关性。飞鸟回波在反射率产品上呈现明显的圆环形态特征,最强可以达到40 dBz以上;在速度产品上呈辐散特征;在大风速情况下,飞鸟回波明显向下风向偏移。飞鸟回波的差分反射率(Z_{DR})分布不均匀,最大可达3~7 dB。飞鸟回波的相关系数(CC)小而均匀,与地物回波不同,与回波反射率因子强度相关,当反射率强度大于30 dBz时,相关系数介于0.7~0.8,当反射率强度小于30 dBz时,相关系数大都小于0.6。双偏振天气雷达产品对飞鸟回波的识别有明显的优越性,可以有效地在降水中剔除飞鸟回波,提高短时临近预报的准确性;但差分相移率(K_{DP})和粒子分类产品(HCL)对飞鸟回波没有反映。

关键词: 双偏振天气雷达, 飞鸟回波, 探测质量

中图分类号: P412

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2022.041401

Dual-Polarization Weather Radar Echo Characteristics of Avian Activities in the Liaohe River Delta Wetland

YAO Wen¹ ZHANG Jing¹ YU Qingbo² ZENG Yajie³ CHENG Lei⁴
ZHANG Guoping⁵ LI Li¹ CUI Futao¹ ZHAO Yue¹

1 Yingkou Meteorological Office of Liaoning Province, Yingkou 115001

2 Jilin Meteorological Information and Networking Center, Changchun 130062

3 Dashiqiao Center for Nature Resources Affairs of Liaoning Province, Yingkou 115100

4 Dandong Meteorological Office of Liaoning Province, Dandong 118001

5 CMA Public Meteorological Service Centre, Beijing 100081

Abstract: Based on the CINRAD/SA and dual-polarization weather radar data of Yingkou in Liaoning Province

^{*} 国家重点研发计划(2020YFB1600103)、国家自然科学基金项目(41871020)、辽宁省自然科学基金项目(2021-YKLH-17)和辽宁省气象局科研课题(202110)共同资助

2021年5月20日收稿; 2022年3月31日收修定稿

第一作者:姚文,主要从事天气雷达技术应用研究及保障工作. E-mail: richie727@163.com

通讯作者:张晶,主要从事气象灾害预报预警工作. E-mail: zjing119@126.com

during 2018—2020, the early morning departure activities of birds from their habitats in the Liaohe River Delta Wetland and the surrounding areas are analyzed. The results show that there are obvious seasonal and daily changes in the activities of birds in the Liaohe River Delta and the nearby wetland. The echo of birds detected by weather radar is concentrated from late July to mid October, especially from August to September. There is a positive correlation between the time of bird echo and the time of daybreak. The echo of birds shows obvious ring-shape characteristics on the reflectivity products, and the strongest can reach more than 40 dBz. In terms of Doppler velocity products, they are divergent. In the case of high wind speed, the echo of the birds deviates significantly to the downwind direction. The distribution of difference reflection (Z_{DR}) of the bird echo is not uniform, and the maximum reflectivity is 3—7 dB. The correlation coefficient (CC) of the bird echo is small and uniform, which is different from the ground echo, and is related to the intensity of the reflection factor of the echo. When the reflection intensity is greater than 30 dBz, CC is between 0.7—0.8. When the reflection intensity is less than 30 dBz, CC is mostly less than 0.6. Dual polarization radar products have obvious advantages in the recognition of bird echo, which can effectively eliminate the bird echo in precipitation and improve the accuracy of short-term and nowcasting forecast. However, the differential phase shift rate (K_{DP}) and HCL do not reflect the echo of birds.

Key words: dual-polarization weather radar, bird echo, detection quality

引言

新一代天气雷达最主要的功能就是探测降水回波的分布和强度的变化情况,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、云的回波等(俞小鼎等,2006),这些非降水回波有时夹杂在降水回波中,与降水回波相似,对雷达探测质量产生一定的影响。因此有大量的气象工作者开展雷达质量控制试验研究(黄琴等,2018;黄兴友等,2018;张林和杨洪平,2018)。研究发现,很多非降水回波也具有一定的发展变化规律,例如火灾产生的大量烟尘可以被天气雷达探测到,其回波形态、发展高度、径向速度等都有一定的规律,浙江(黄克慧等,2013)、福建(张深寿等,2017)、云南(徐八林等,2020)等地气象工作者对火灾的雷达特征进行了详细研究,并开发相应的预警软件,实现了天气雷达对山火的监测预警功能。

除探测林火外,天气雷达还可以探测到生物的大规模迁徙活动。美国气象学家通过观测分析证明了WSR-88D天气雷达可以为鸟类的长距离迁徙和局部有规律的飞行运动提供详细的信息(Gauthreaux and Belser,1998),天气雷达可以作为遥感工具对大气中的鸟类和昆虫进行生物学研究,同时分析还表明大规模的飞鸟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(Zrnic and Ryzhkov,1998;Hubbert et al,2018)。我国也有一些学者应用天气雷达在生物识别方面做了大量研究工作,焦热光等(2018)对北京多普勒天气雷达上的昆虫回波进行分析表明,多普勒天气雷达可以探测昆虫迁飞,在迁飞性害虫监测预警及其综合防控工作中具有重大的潜在应用价值。朱轶明等(2019)对我国新一代天气雷达生物回波的雷达物理量特征和长江中下游地区天气雷达生物回波的发生发展规律进行了深入研究,并利用上海南汇WSR-88D双偏振天气雷达进行生物回波识别与分析,结果表明,S波段天气雷达无法分辨生物单体,但在春季有大规模生物迁飞的时段能够对昆虫成层定向迁飞的现象进行有效识别;滕玉鹏等(2020)通过对雷达同距离多普勒速度进行低通滤波处理的方法,将定向迁飞生物从大气湍流产生的晴空回波中分离出来,实现监测定向迁飞生物的跨海迁飞活动,并利用美国KICT雷达对2012年9月30日夜间的一次生物迁徙过程进行验证,依靠多普勒速度和反射率因子,将定向迁飞的鸟类从昆虫中分离。

昆虫和飞鸟回波是天气雷达上常见的生物回波,是晴空回波的主要成因之一。由于鸟类的体型较大、含水量比较高,天气雷达上可以捕捉到鸟类的活动,尤其是鸟类在黎明时刻集体外出觅食时,由于密度较大,在天气雷达上可以明显地看到由于鸟类活动而引起的回波变化。本文利用2018—2020年

3年的营口天气雷达资料对探测到的辽河三角洲湿地及周边区域的鸟类清晨离开栖息地的活动进行分析,并以2019年9月15日飞鸟回波为例,分析飞鸟回波在双偏振天气雷达上的主要特征。雷达资料中2018年为单偏振,2019—2020年为双偏振。

本文识别飞鸟回波主要通过天气雷达的回波形态进行判断,黎明时分飞鸟离巢时在雷达反射率产品上会呈现出圆环型态向外围辐散的回波,出现时刻和地点具有明显的规律性。

1 营口天气雷达探测飞鸟回波时间分布

1.1 飞鸟回波出现时间年变化

通过对2018—2020年3年的雷达数据进行统计分析发现,飞鸟回波最早出现在7月下旬,其中2018年最早出现在7月20日,2019年最早出现在7月19日,2020年最早出现在7月20日,飞鸟回波在最初几天强度弱,持续时间短,范围小,仅出现在大辽河流域下游。8月以后飞鸟回波范围逐渐增大,8月中旬到9月中下旬飞鸟回波最为明显。8—9月除出现大范围降水无法识别的情况外,每天均能探测到飞鸟回波。因非汛期营口天气雷达仅在降水过程时才连续开机,10月以后雷达探测数据不连续,以2020年为例,最后一次探测到飞鸟回波是10月16日,强度较弱,之后的雷达探测数据中再未出现飞鸟回波。

雷达探测到飞鸟回波的年变化规律可能与鸟类的季节性变化和大气状态的季节性变化等多种影响因素有关,本文中不做重点分析。

1.2 飞鸟回波出现时间日变化

图1为2020年7—9月飞鸟回波出现时刻和当地天亮时刻对比,缺失的数据为雷达未开机或因出现大范围降水无法识别。从图中可以看出,飞鸟回波出现时刻和天亮时刻呈现一致的变化趋势,因雷达每6 min探测一组数据,所以雷达最早探测到飞鸟回波的时刻与实际应出现的时刻会有0~6 min的时间差,从平均状态来说,在晴朗的天空状态下,天亮后的10 min左右,雷达上可以看到飞鸟回波;在阴雨天,受云层影响,实际的天亮时刻会有所推迟,相应的飞鸟回波出现的时刻也会推迟;在大范围降水中飞鸟回波无法识别,但在分散性降水中,仍然可以在天亮时刻过后探测到飞鸟回波。

飞鸟回波的持续时间与强度呈正相关,回波强度强、范围大时,持续时间也长,8—9月明显的飞鸟圆环状回波可以持续1 h左右,1 h以后由于飞鸟四散,密度降低,回波明显减弱,逐渐融合到地物回波、晴空回波之中,无法识别。

2 营口天气雷达探测飞鸟回波空间分布

营口双偏振天气雷达位于营口大石桥蟠龙山山顶,海拔高度为0.23 km,距离雷达150 km处0.5°仰角高度上海拔高度达到2.82 km。营口双偏振天气雷达对鸟类活动的有效距离在150 km左右,随着距离增加雷达波束展宽增大,探测飞鸟回波精度下降;同时波束高度随距离增加而增大,近地面的鸟类活动无法探测到。

对2018—2020年3年的飞鸟回波进行统计发

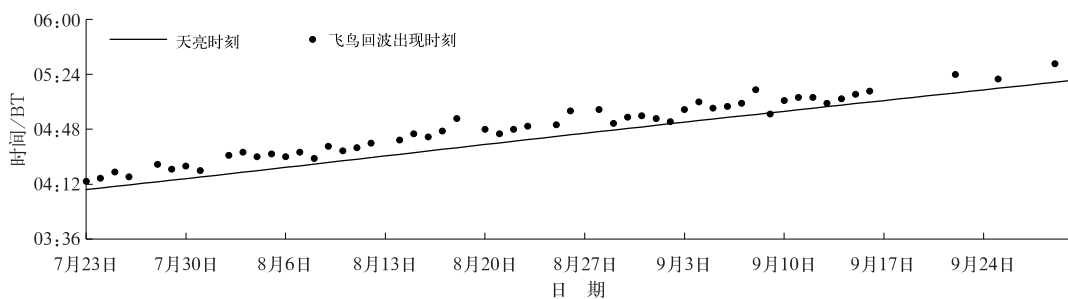


图1 2020年7—9月雷达探测到的飞鸟回波出现时刻和当地天亮时刻对比

Fig. 1 Comparison between the time of bird echo detected by radar and local daybreak time from July to September in 2020

现,7月下旬开始出现飞鸟回波,最初几天仅在大辽河下游小范围内出现弱的飞鸟回波,7月底到8月初飞鸟回波范围迅速增大,不同年份飞鸟回波出现的位置会有小范围变化,但大的区域基本一致,分布在辽河三角洲、辽河流域、大辽河流域、大凌河流域及营口到大连滨海一线,其中以辽河三角洲范围最大。以2019年9月15日为例,营口天气雷达探测到的明显的飞鸟回波有23处(即环形飞鸟回波初始出现的地点),如图2中红色圆圈所示,主要分布在大连、营口、盘锦的沿海湿地,其中辽河三角洲地区分布最为密集,另外沿辽河、大辽河也是主要区域,营口境内除沿海外还有2个小区域鸟类回波较为明显。在渤海西岸也有疑似飞鸟回波出现,由于雷达探测范围的限制,回波强度弱、持续时间短,无法确定该区域飞鸟回波具体情况。

据研究表明,辽河三角洲湿地是目前世界上保存最好、面积最大、植被类型最完整的生态地块,是西伯利亚至东南亚水禽迁徙路线上的中转站和目的地,是迁徙水禽的栖息和繁殖地,辽河三角洲湿地的鸟类有17目46科238种,其中水禽114种(索安宁等,2009)。飞鸟的密度、种类、飞行距离,直接影响飞鸟回波的强度和范围。

雷达每天探测到的飞鸟回波的强度和范围并不相同。飞鸟回波一般出现在较低仰角上,当近地面出现超折射时回波会向下弯曲,更容易观测到飞鸟离巢活动。图3是2019年9月15日08时锦州探空

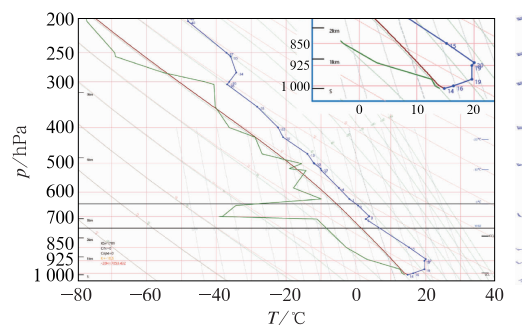


图3 2019年9月15日08时锦州探空图

Fig. 3 Jinzhou sounding map at

08:00 BT 15 September 2019

图,可以看到地面到925 hPa上存在明显的逆温,同时湿度向上迅速递减,出现明显的“干暖盖”,这是超折射形成的非常有利的条件。在图2所示0.5°仰角雷达图上可以看到,有大量的辐辏状排列的短线,并相互弥合成片状,这是由超折射造成的地物回波;雷达100 km半径内存在明显的晴空回波,回波强度较弱,大都在15 dBz以下,飞鸟回波就镶嵌在晴空回波之中。

3 飞鸟回波的双偏振天气雷达特征分析

在单偏振天气雷达产品中,当飞鸟回波镶嵌在降水回波中时不易被识别出来;但在双偏振天气雷达产品中,偏振参量产品可以很好地从降水回波中识别出飞鸟回波。下文以2019年9月15日辽河三角洲附近飞鸟回波为例,分析其双偏振天气雷达产品特征。

3.1 反射率随时间变化特征

图4展示了营口天气雷达0.5°仰角上辽河三角洲湿地附近的飞鸟离巢时反射率因子变化情况。2019年9月15日辽河湿地附近天亮时刻在05:04左右,日出时刻在05:31左右。从雷达反射率回波变化上可以看到,最早在05:05雷达上开始出现少量斑块状回波,强度在20 dBz左右,略强于周围的晴空回波;05:11斑块状回波增多、面积增大,强度明显加强,达到40~45 dBz,最大为47 dBz;05:17斑块状回波面积迅速增大,呈现圆形结构,强度达到40~45 dBz,最大为51 dBz;05:22开始圆形回波迅速扩大,并相互叠加,随着鸟飞离栖息地,逐渐呈现

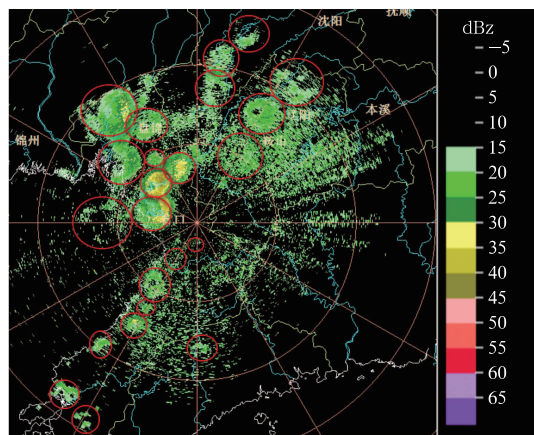


图2 2019年9月15日营口双偏振雷达监测到的飞鸟回波情况

(红色圆圈内为飞鸟回波,下同)

Fig. 2 Bird echo detected by Yingkou S-B Dual-Polarization Weather Radar on 15 September 2019

(red circle: the echo of bird, the same below)

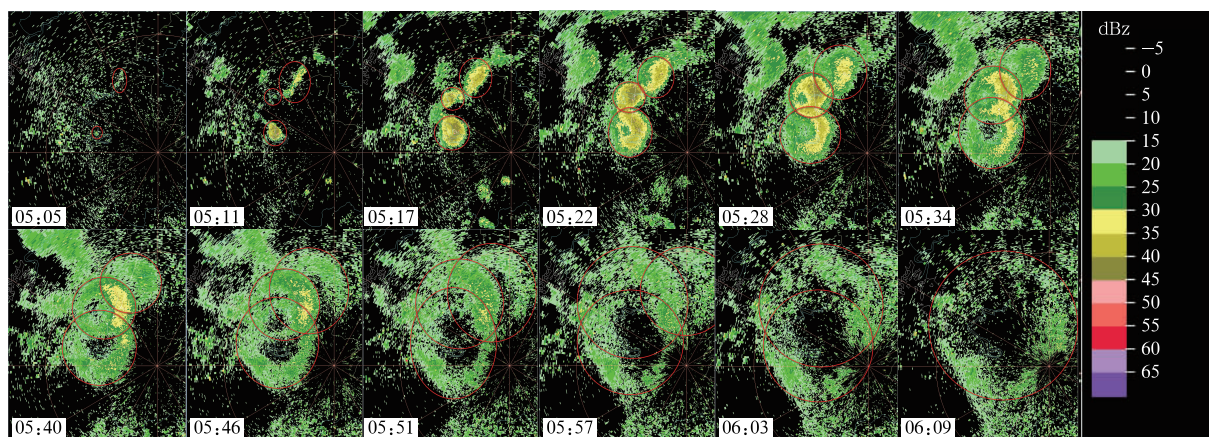


图 4 2019 年 9 月 15 日 05:05—06:09 营口天气雷达 0.5°仰角上辽河湿地附近反射率因子变化
Fig. 4 Reflectivity factor variation of Yingkou S-Band Dual-Polarization Radar at elevation 0.5°
near Liaohe River Wetland from 05:05 BT to 06:09 BT 15 September 2019

圆环结构,到 05:46 反射率因子强度开始下降,原因可能是随着鸟向四面八方飞,距离变大,密度减小而造成的;06:09 雷达上回波较为零散,强度在 20~25 dBz;06:27 以后环形回波彻底消失。

3.2 径向速度特征

从初始时刻到环形回波消失共持续 1 h 20 min 左右。05:05—05:51 环形最大半径为 30 km 左右,判断鸟的飞行速度最大约为 $11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($40 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)。在径向速度图上(图 5b),可以看到环境场为东北风,飞鸟环形回波镶嵌其中,呈明显的辐散特征,最大径向速度中离开雷达的速度为 $8 \sim 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,向着雷达的速度为 $-14 \sim -12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,均值为 $11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,与反射率推算值相当。

飞鸟回波除了向四周呈圆环形扩散外,还存在整体偏移的现象,与近地面的风速风向呈明显的相关性。如图 6 所示,为 2019 年 9 月 11 日和 12 日飞鸟回波偏移情况,从对应径向速度图上可以看到,11 日近地面为东北风,12 日为西南风。以红点标识位置做参考,两天中飞鸟回波初始位置基本一致,11 日在东北风背景下,飞鸟回波向西南偏移,12 日在西南风背景下,飞鸟回波逐渐向东北偏移,风速与偏移程度相关性本文未做定量分析。

3.3 谱宽产品特征

根据定义,谱宽表征有效照射体内不同大小的多普勒速度偏离其平均值的程度,与距离库中各个反射体的运动速度和方向的差别成正比。谱宽产品表征了速度的一致性情况,高谱宽区蕴含着平均径向

速度一般有一定的不确定性。从谱宽产品(图 5c)与反射率产品(图 5a)及速度产品(图 5b)的对比图中可以看到,速度方向一致的区域谱宽数值大约在 $3 \sim 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,在正负速度相接处个别位置谱宽的数值比较大,可以达到 $6 \sim 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,对比反射率图可以看出,出现较大谱宽的位置主要是有两个或多个飞鸟环形回波重叠的位置,说明这些位置鸟儿飞行的方向不同,进而造成谱宽数值较大。

3.4 差分反射率特征

差分反射率反映的是水平偏振的反射率因子和垂直偏振的反射率因子之比,对于水滴等气象目标,差分反射率“大正值表示水平方向的扁平物,大负值表示垂直方向的扁平物体,接近零的值表示球体或随机方向的粒子集合”,研究表明这一结论并不适用于生物散射体,生物体的偏差源于多种原因,包括生物多样性和种群特征以及雷达系统的精确波长等(Stepanian et al, 2016)。在一个环形飞鸟回波中,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,差分反射率最大可达 3~7 dB(图 5d)。

3.5 相关系数特征

在相关系数上,飞鸟回波数值非常低(图 5e)。与周围的地物杂波或晴空回波相比有明显的不同。晴空回波和地物杂波没有规律性,相邻两个距离库 CC 值可以相差很大,可以从 0.1 左右直接跳变到 0.9 以上,地物回波在 0.5 以上居多,晴空回波中有大量的距离库数值超过 1。飞鸟回波整体数值都非常低,但与反射率因子强度有一定的相关性,当反射

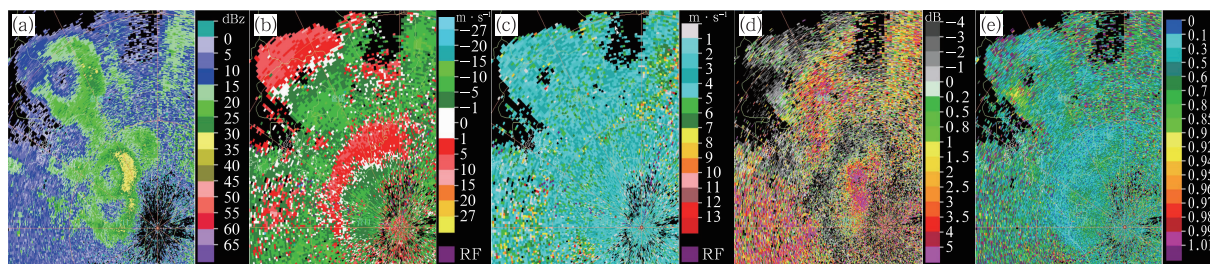


图5 2019年9月15日飞鸟回波的(a)反射率因子(Z_H), (b)径向速度(V), (c)谱宽产品(SW), (d)差分反射率(Z_{DR}), (e)相关系数(CC)

Fig. 5 Bird echo observed by Yingkou S-Band Dual-Polarization Radar on 15 September 2019

(a) Z_H , (b) V , (c) SW , (d) Z_{DR} , (e) CC

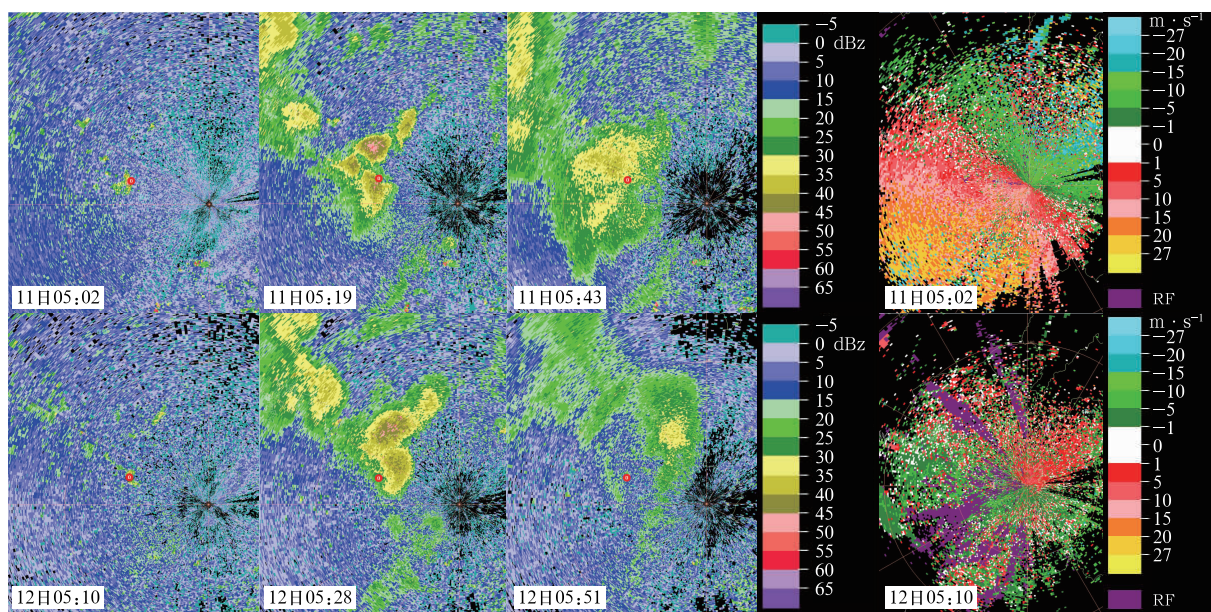


图6 2019年9月11日和12日飞鸟回波在反射率上的偏移情况及对应径向速度情况 (红点所示为同一位置)

Fig. 6 The shift in reflectivity of the bird echo on 11 and 12 September 2019 and the corresponding radial velocity (red dot: the same location)

率因子强度达到 30 dBz 以上时,相关系数大都在 0.7~0.8,当回反射率因子度小于 30 dBz 时,相关系数大都小于 0.6,其中在 0.1~0.3 居多。在相关系数上,飞鸟的环形特征明显可见。

3.6 差分相移率和粒子分类产品

在双偏振天气雷达的算法中,相关系数小于 0.8 时不计算差分相移率的值,因此飞鸟回波对应的差分相移率图上基本都为空洞(图略)。飞鸟回波属于生物回波,但在粒子分类产品上并未识别出生物回波(图略),说明雷达在本地的粒子分类算法中还需要进一步改进,以适应本地的监测需求。

4 飞鸟回波对雷达产品质量的影响

对 2020 年 7—9 月飞鸟回波进行统计,从 7 月 23 日出现飞鸟回波开始,到 9 月 30 日共计 70 d,其中有 11 d 因雷达关机无法探测,有 6 d 出现大面积降水回波而无法识别飞鸟回波,其余 53 d 均识别出飞鸟回波。在 53 d 中,有 21 d 在飞鸟回波出现时刻其周边伴有降水回波,有 16 d 飞鸟回波较强,雷达将飞鸟回波识别为雷暴单体。

4.1 错误的识别为雷暴单体

2019 年 9 月 15 日个例中,05:22—05:56 辽河

三角洲湿地附近有几个鸟群飞行时相互交叠,回波强度比较大,最大达到 47~51 dBz,雷达自动识别成雷暴单体,并进行标号(图 7a)。可见由于大量生物聚集而产生的回波反射率也可以达到很高的数值,对灾害性天气的探测产生一定影响。从相应的单体特征产品上可以看到(图 7b),回波顶高均在 1 km 左右(受雷达静锥区影响,在该处的探测高度是 8 km 左右,远超过单体回波顶高度),质心高度和最强反射率高度都在 0.5 km 以下(雷达最低仰角探测高度在 460 m 左右),液态水含量基本为 0。由此可见鸟类集体外出觅食时,飞行高度比较均匀,在 1 km 以下,大都集中在 0.5 km 高度以下。

4.2 对降水判断的影响

飞鸟回波从发生到消亡有一定的持续时间,其

强度与一般降水回波类似,在雷达拼图中,一般不会被剔除,当飞鸟回波嵌在降水回波中时,容易对降水造成错误的判断。图 8 给出了两次飞鸟回波嵌在降水回波中的情况。

图 8a 和 8b 是 2020 年 8 月 27 日 05:19 台风巴威影响辽宁期间的雷达反射率和差分反射率。27 日早晨台风降水回波为螺旋雨带,呈带状自西南向东北移动,27 日 05 时之前雷达位置东南方向有一条明显的雨带维持。05 时开始,雷达西南方向沿海岸线出现一些斑点状飞鸟回波,并迅速扩大,连成一条带状回波(红框所示位置),反射率回波最强时达到 35 dBz 以上,20 dBz 以上强度持续到 06 时以后。从反射率产品上,该处回波与雷达东南方向的降水回波极为相似,在雷达拼图产品上难以区分。在差分反射率产品上,该处回波与降水回波明显不同,降

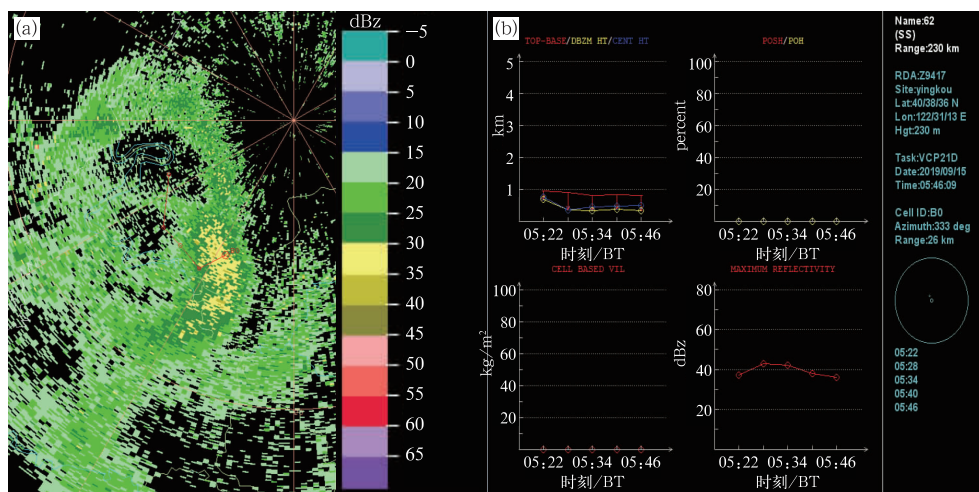


图 7 2019 年 9 月 15 日 05:46 被识别为风暴单体的飞鸟回波(a)及单体回波特征(b)

Fig. 7 Bird echo observed by Yingkou S-Band Dual-Polarization Radar at 05:46 BT 15 September 2019

(a) Z_H , (b) storm structure

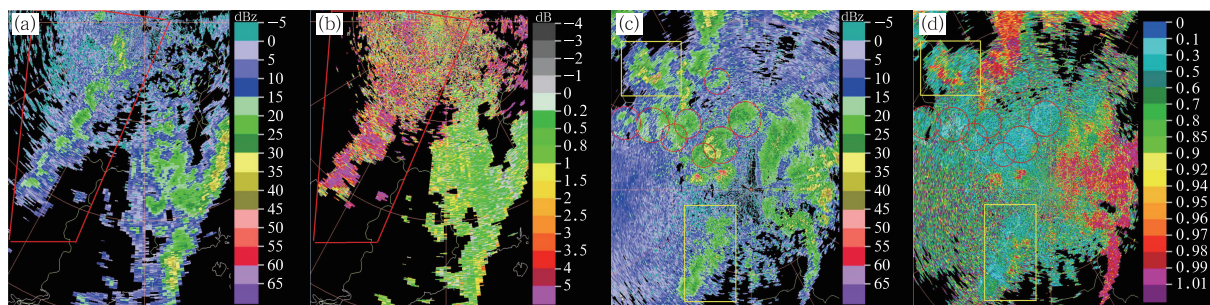


图 8 2020 年 8 月 27 日台风巴威过程(a)雷达反射率,(b)差分反射率及 9 月 4 日台风美莎克过程(c)雷达反射率,(d)相关系数

Fig. 8 (a, b) Typhoon Bavi on 27 August 2020 and (c, d) Typhoon Maysak on 4 September 2020 observed by Yingkou S-Band Dual-Polarization Radar

(a) Z_H , (b) Z_{DR} , (c) Z_H , (d) CC

水回波在 0~1.5 dB 均匀分布,而该处回波差分反射率较为嘈杂,存在 3~7 dB 的大值区,特征与 3.4 节分析相同。

图 8c 和 8d 是 2020 年 9 月 4 日 05:29 台风美莎克影响辽宁期间的雷达反射率和相关系数。4 日早晨台风降水回波为块状,呈分散性分布,自西向东移动。近地面到 5 km 风速均在 $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,为偏西风。05—06 时,在降水回波的空隙中出现斑块状飞鸟回波,并向外扩散,可以分辨出圆环形的结构特征(红圈所示),由于风速较大,飞鸟环形回波自西向东偏移,移速略慢于降水回波;图中黄框所示位置为降水回波和飞鸟回波重叠区域;从反射率上无论降水回波是否与飞鸟回波重叠,均不易区分二者。但在对应的相关系数产品上可以看到降水回波存在的地方相关系数基本都在 0.9 以上,飞鸟回波基本都在 0.5 以下,区分明显。

从以上两个例子可以看出,一方面飞鸟回波出现在降水回波中,对降水的监测和预报造成了一定的影响;另一方面,双偏振天气雷达产品的应用,可以有效地区分飞鸟回波和降水回波,为预报员主观分析提供依据。

5 结 论

综合以上分析,得到以下结论:

(1) 本文利用营口单、双偏振天气雷达对辽河三角洲及附近湿地鸟类活动探测情况进行分析,发现辽河三角洲及附近湿地鸟类活动存在明显的季节变化和明显的日变化。雷达能够探测到的飞鸟回波集中在 7 月下旬到 10 月中旬,其中 8—9 月最为明显;飞鸟回波出现时刻与天亮时刻呈现明显的正相关性。

(2) 雷达可以作为观测候鸟迁徙、停留情况的探测手段,通过对多年天气雷达回波的对比,可以为鸟类栖息地的空间分布和变化情况做客观的分析,提高天气雷达在生物气象学上的应用能力。

(3) 飞鸟回波在反射率产品上呈现明显的圆环形态特征,最强可以达到 40 dBz 以上;在速度产品上可以看到明显的辐散特征;在大风速情况下,飞鸟回波明显向下风向偏移。

(4) 飞鸟回波的差分反射率受鸟的飞行方向和个体大小差异影响较大,分布不均匀,最大可达 3~7 dB。

(5) 飞鸟回波的相关系数较小,与反射率因子强度有一定的相关性,当飞鸟回波反射率因子强度达到 30 dBz 以上时,相关系数大都在 0.7~0.8,当反射率因子强度小于 30 dBz 时,相关系数大都小于 0.6。

(6) 双偏振天气雷达产品对飞鸟回波的识别有明显的优越性,可以有效地在降水中剔除飞鸟回波的影响,提高短时临近预报的准确性;同时通过对鸟类活动规律的认识,可以为提高双偏振天气雷达粒子分类识别能力相关研究提供个例。

参考文献

- 黄克慧,朱景,黄以平,等,2013. 基于多普勒天气雷达的火情自动识别系统[J]. 气象,39(2):241-248. Huang K H, Zhu J, Huang Y P, et al, 2013. Fire automatic detection system based on Doppler weather radar[J]. Meteor Mon, 39(2):241-248(in Chinese).
- 黄琴,魏鸣,胡汉峰,等,2018. 晴空回波的大气风温湿结构及双偏振雷达参量分析[J]. 气象,44(4):526-537. Huang Q, Wei M, Hu H F, et al, 2018. Analysis of atmospheric wind, temperature and humidity structure and dual-polarization radar parameters of clear air echo[J]. Meteor Mon, 44(4):526-537(in Chinese).
- 黄兴友,李盈盈,张帅,等,2018. 基于模糊逻辑的地物回波识别方法及效果检验[J]. 热带气象学报,34(3):305-313. Huang X Y, Li Y Y, Zhang S, et al, 2018. The algorithm and verification of ground clutter identification based on fuzzy logic[J]. J Trop Meteor, 34(3):305-313(in Chinese).
- 焦热光,张智,石广玉,等,2018. 北京多普勒天气雷达上的昆虫回波分析[J]. 应用昆虫学报,55(2):177-185. Jiao R G, Zhang Z, Shi G Y, et al, 2018. Analysis of the echoes of migrating insects detected by Beijing Doppler weather radar[J]. Chin J Appl Entomol, 55(2):177-185(in Chinese).
- 索安宁,赵冬至,卫宝泉,等,2009. 基于遥感的辽河三角洲湿地生态系统服务价值评估[J]. 海洋环境科学,28(4):387-391. Suo A N, Zhao D Z, Wei B Q, et al, 2009. Value evaluation on ecosystem function of wetland in Liaohe River Delta[J]. Mar Environ Sci, 28(4):387-391(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).
- 徐八林,杨卫洁,徐舒扬,等,2020. C 波段高山天气雷达对森林火灾的探测能力初析[J]. 气象,46(8):1113-1121. Xu B L, Yang W J, Xu S Y, et al, 2020. Preliminary analysis of the ability of C-band mountaintop radars to detecting forest fires[J]. Meteor Mon, 46(8):1113-1121(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. Doppler Weather Radar Principle and Business Application

- [M]. Beijing: China Meteorological Press; 51-52 (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).
- 张深寿, 魏鸣, 赖巧珍, 2017. 两次火情的新一代天气雷达回波特征分析[J]. 气象科学, 37(3): 359-367. Zhang S S, Wei M, Lai Q Z, 2017. Analysis of CINRAD echo characteristics about two fires [J]. J Meteor Sci, 37(3): 359-367 (in Chinese).
- 朱轶明, 马舒庆, 杨玲, 等, 2019. 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, 2019. 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).
- Gauthreaux Jr A S, 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 Amer Meteor Soc, 99(10): 2045-2060.
- Stepanian P M, Horton K G, Melnikov V M, et al, 2016. Dual-polarization radar products for biological applications[J]. Ecosphere, 7(11): e01539.
- Zrnic 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)