

应用昆虫雷达检测昆虫的研究*

陈瑞鹿 暴祥致 王素云 孙亚杰 李立群 刘继荣

(吉林省农业科学院植物保护研究所)

摘 要

本文简述了国际昆虫雷达发展的概况,报道公主岭昆虫雷达的应用。列出高塔、气球吊挂昆虫和地面释放昆虫的测试结果,并总结经验提出了观测方法。

前 言

自六十年代末,英、美、澳等国先后组装专用的昆虫雷达(Schaefer 1969, Riley 1974, Wolf 1979, Drake 1981)用以观测迁飞昆虫。例如澳大利亚联邦科学和工业研究组织(CSIRO)**昆虫学部(Division of Entomology)的昆虫雷达(Drake, 1982)和英国海外害虫研究中心的昆虫雷达,功能均相似,可检测到个体昆虫的最远距离为:蚜虫0.2公里,棕色卷蛾1.0公里,棉铃蛾2.1公里,沙漠蝗3.1公里,观测昆虫集群可达70公里(Schaefer, 1976)。

经二十多年的发展,应用昆虫雷达可检测昆虫迁飞的高度、密度、方向和速度,以及根据测定振翅频率,或配合空中取样技术,可以辨识种类。国外已应用昆虫雷达成功地研究了非洲粘虫(*Spodoptera exempta*),沙漠蝗(*Schistocerca gregaria*),澳大利亚蝗(*Chort-oicetes terminifera*),棕色卷蛾(*Choristoneura fumiferana*)稻褐飞虱(*Nilaparvata lugens*)等昆虫的迁飞、分布及其与气象关系的规律,并用于预测和控制迁飞害虫。已逐步建立了雷达昆虫学(Schaefer 1976, Riley 1979, 1983, Drake 1982, 1983)。

为了研究粘虫、草地螟的迁飞,笔者于1980—1984年安装了昆虫雷达的装置。经调试和模拟应用试验,在国内首次获得成功,现已投入实际观测应用。

一、昆虫雷达的组成

应用JMA-510G-6型导航雷达作为改装昆虫雷达的主机。选择国产711型气象雷达的栅状圆抛物面天线及双轴底座替换原天线,组装成公主岭昆虫雷达***。在天线定向工作时,可与平面显示器同时显示回波信息。全套雷达安装于一载重汽车上。为了野外作业供电方便,配备5千瓦柴油发电机一台,装于拖车上(图1)。

* 张德宽、翟保平、谢为民、卢加、姜智利等同志参加部分工作,谨表谢意。

** CSIRO为Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization的缩写。

*** 由无锡市无线电二厂组装。

本文于1986年11月6日收到。

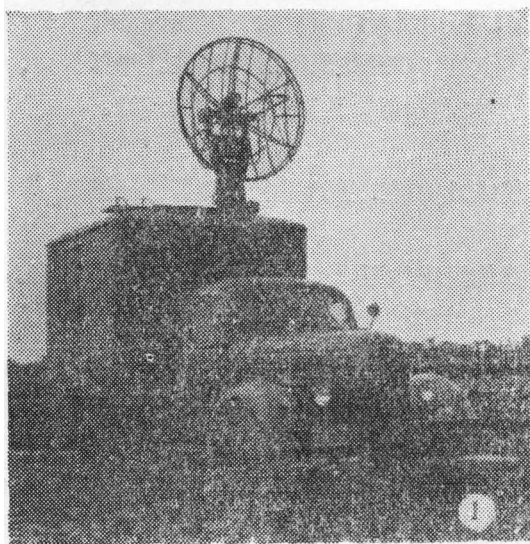


图1 公主岭昆虫雷达

Fig. 1 The Gongzhuling entomological radar

以上应用不同方法、不同距离的观测中,每次竖立昆虫目标时均有回波显示,移去目标时回波消失。用测距计测量目标回波的距离与实际距离相符。检测结果表明:用该雷达在试验距离内(80—1000米)观测所设立的昆虫目标时,回波显示清晰(图2),距离和方位显示准确。

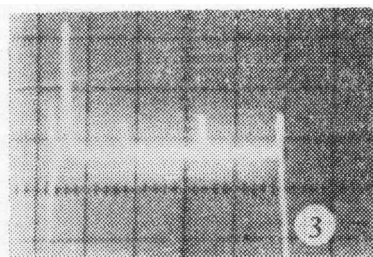
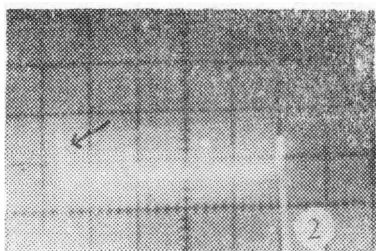


图2—3 1982年6月13日公主岭检测目标时示波器显示的回波图象

Fig. 2—3 The Photographs of echoes were taken at Gong zhuling on 13 June 1982, at oscilloscope display

净空下(显示时波线,箭头所指为地物杂波)

In clear-air (arrow indicates ground clutter)

示距离雷达80米的柞蚕蛾的回波

The echo from tussah moths, apart rang 80m

(二) 测试塔和气球吊挂昆虫模拟试验

1983年10月在无锡无线电二厂雷达测试场应用组装成功的昆虫雷达进行*观测。

1. 在测试塔顶(高27米)横伸出塑料杆5米。以塑料网袋装活家蚕蛾吊挂于杆端,下垂4米。雷达与测试塔地面距离53米。用0.25涅距离档,26.5°仰角扫描搜索目标。检测结果:①测试塔和20、10、5头家蚕蛾在平面显示器和示波器上均有明显回波出现。②在平面显示器上测试塔和昆虫目标的回波可清晰的相互分开。移动塑料杆缩短昆虫目标和测试塔的距离,在距离3.5米时,两目标的回波尚能分开。再缩短,两目标的回波重叠不分。

* 无锡无线电二厂朱企人、王林生、沈一非同志参加在无锡的试验。

2. 用 1.5 米直径的气球携带反射体(铝质、有效反射体面积 4米^2)及昆虫,目标(尼龙网袋装活家蚕雄蛾15头)。反射体在气球下方 3 米,昆虫目标在反射体下方18米,气球升空后系留,供观测。以0.25海里距离档扫描搜索目标。仰角 34° 时发现反射体回波。降低仰角, 28.5° 时检测到目标昆虫的回波,昆虫目标的高度为54.8米与雷达直线距离为115米。

(三) 野外吊挂、释放昆虫模拟试验

1984年6月在山西应县白马乡界河村应用组装成功的昆虫雷达进行观测。

1. 检测单个草地螟蛾试验

将被检测昆虫悬挂于相距20米的两根竹竿支撑的尼龙线下,距地面 4 米,距雷达110米。用0.25海里距离档, 0° 仰角作窄方位扇形扫描,分别检测枯叶蛾一头(体长 3.5厘米)、草地螟蛾 2 头及一头。检测结果:上述目标均显示回波,证实该雷达可检测单个草地螟蛾距离达110米(因受地形限制,未做距离110米以上的检测)。

2. 检测人工释放的草地螟蛾群的模拟试验

先后于6月9日及12日3次检测6批草地螟蛾*。各批蛾数都在500头以上,在距离雷达50—60米处释放,使草地螟蛾起飞。用 0.5° 或 0° 仰角、0.25海里距离档扫描,各次试验在平面显示器上均显示回波群,回波顺当时的风向移动。

三、公主岭昆虫雷达的观测技术

根据上述检测昆虫试验及以后观测粘虫和草地螟迁飞活动的实践(吉林省农业科学院植保所1983,陈瑞鹿等,1985),总结出应用公主岭昆虫雷达观测昆虫迁飞的技术经验如下:

(一) 准备工作

根据目标昆虫常年迁飞期和迁飞区(包括迁入和迁出),确定观测的日期和地点。并选择较空旷、周围无树木、高大建筑物的位置,作为安置雷达的观测场地。在雷达架设、调整后记录雷达位置的海拔高度及经纬度,绘制观测现场附近地形、地物图,拍摄净空条件下低仰角包括地物回波的照片,以便与观测记录对照。

(二) 雷达观测程序

在目标昆虫迁飞期间,逐日进行常规观测,并根据虫情和天气状况,进行特定目的的观测。

1. 常规观测

根据迁飞昆虫的活动时间安排观测时间。如对夜间活动的种类,以夜间观测为主,于9:00—10:00间一次,15:00—16:00间一次,自日落前半小时开始至黎明结束,每小时观测一次。每次用0.75海里距离档,由高仰角到低仰角顺序以 58° 、 45° 、 28° 、 18° 、 12° 、 8° 、 5° 、 3° 、 1.8° 进行观测,对地物回波干扰多的低仰角,可放弃观测。

每次观测时将时间、距离档、仰角、回波分布范围及回波数量、拍照胶卷号及序号、哑铃形方位及比值、轨迹、速度、成层现象及层的位置和厚度等项记入记录表内。拍照记录回波图象图4,片头拍上年、月、日地点和卷号。

2. 特别目的的观测

在出现风、雨等天气过程时,增加观测时间,以观测气象条件与迁飞的关系。

* 由山西雁北专署植保站草地螟放迁飞试验组提供。

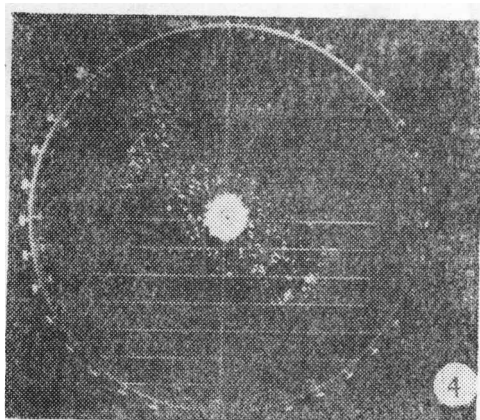


图4 1985年7月28日23:30公主岭郊区, 0.75 海里距离档, 20°仰角昆虫的回波图象

Fig.4 The photograph of insect echoes at ppl 0.75 nm range ring, elevation 20°, at Gongzhuling on 23:30 28 July 1985

在出现回波较多的时段, 按照已知回波的高度, 应用偏低仰角和较远的距离档, 观测迁飞集群和降雨情况。

(三) 气象和昆虫学的辅助观测

1. 地面虫情调查和空中昆虫取样: 调查以目标昆虫为主的发生动态, 如羽化调查、诱蛾调查、及空中取样调查, 以配合分析雷达观测资料。

2. 气象观测: 记录雷达观测期间的地面风向、风速、气温及天气过程。定时用测风经纬仪探测记录低空的风向、风速, 以配合分析雷达观测资料。

(四) 回波的测量和计算

1. 目标距离的量度

一定距离档的各扫描距离圈的距离是一定的。根据回波在平面显示器上各扫描距离圈的位置, 即可得知目标与雷达的距离和方位欲知个体目标的精确量度, 应用测距计可以测得。

2. 目标高度和高度分布的计算

目标的高度 (H) 可根据目标与雷达之间的直线距离 (r) 和仰角 (α) 计算: $H = r \times \sin \alpha$ 。

此值为目标与雷达位置所在平面之间的垂直高度, 即相对高度。根据所用距离档, 在平面显示器上扫描的距离圈是常数。如0.75海里距离档, 第一圈为463.2米, 第二圈为926.5米, 第三圈为1389.7米 (图5)。由所用的仰角即可计算得各距离圈的高度 (表1)。观测目标昆虫的回波在不同距离圈间的数量, 即可得曲波分布的范围。

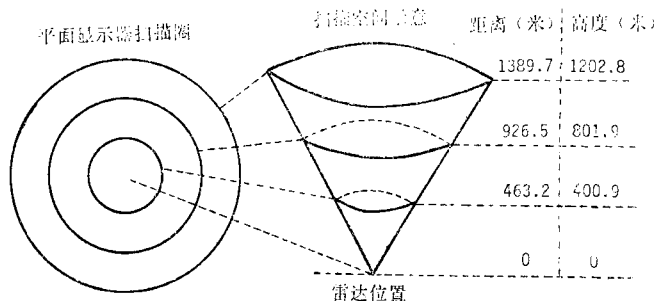


图5 0.75海里距离档, 仰角60°, 荧光屏上显示的距离圈各圈的距离和高度图解

Fig.5 Height and distance of each range ring on screen at elevation angle 60° and 0.75n.m. range scale.

3. 计算容积密度

在观测昆虫迁飞时, 荧光屏上显示的回波数量是雷达波束所扫描的空间里昆虫数量的反映。因此计数荧光屏上的回波数目, 求得扫描空间容积, 即可得出昆虫的容积密度, 即:

$$\text{容积密度 (头/10}^6\text{m}^3\text{)} = \frac{\text{荧光屏上的回波数量 (头)}}{\text{扫描的空间容积 (10}^6\text{m}^3\text{)}}$$

表1 0.75海里距离档不同仰角各距离圈的高度(米)

Table 1 Heights (m) of each range ring at 0.75n.m. range scale and various elevation angles

仰角 (°)	高度 (m)	第 1 圈	第 2 圈	第 3 圈
0.7		5.6	11.3	16.9
1.8		14.5	29.1	43.6
3.0		24.2	48.4	72.7
5.0		40.3	80.7	121.1
8.0		64.4	128.9	193.4
12.0		96.3	192.6	288.9
18.0		143.1	286.3	429.4
28.0		217.3	434.9	652.4
45.0		327.5	655.1	982.6
58.0		392.8	785.7	1178.5

容积密度的单位, 通常计算百万立方米 (10^6m^3) 的头数。

为了便于计算不同高度的密度, 一般回波数量少时, 计数荧光屏扫描距离圈最外圈的回波数。回波多时记数最外圈一定区域内的回波数。在活动游标盘上的最外圈划出相隔 36° 的 2 条辐射线, 观测时计算两线与扫描距离线组成的扇形区的回波数 (图 6)。以 0.75 海里距离档, 仰角 60° 为例, 计数外圈回波数量的容积密度的计算式为:

$$\text{容积密度 (头/} 10^6 \text{m}^3 \text{)} = \frac{\text{荧光屏外圈回波数量 (头)}}{\text{外圈的扫描容积 (} 10^6 \text{m}^3 \text{)}}$$

$$\begin{aligned} \text{外圈的扫描容积} &= (\text{扫描一周的圆锥侧面积} - \text{两内圈的圆锥侧面积}) \times \text{波束宽度} \\ &= 30.6 \cdot 10^6 \text{m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{则 容积密度 (头/} 10^6 \text{m}^3 \text{)} &= \text{荧光屏外圈回波数} \times \text{外圈的扫描容积的倒数} \\ &= \text{荧光屏外圈回波数} \times 0.0327 \end{aligned}$$

外圈扇形区的容积为整个外圈的 $1/10$, 故其容积密度 (头/ 10^6m^3) = 外圈扇形区的回波数 $\times 0.327$ 。

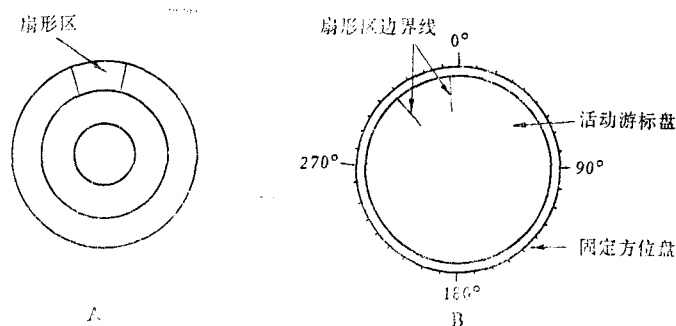


图 6 A. 荧光屏上记数回波数量的扇形区

B. 活动游标盘上扇形区边界线 (用以指示记数的区域)

Fig. 6 A) The standard measuring area on the PPI screen

B) The sector measuring area boundary lines on the rotatable cursor

如果回波在荧光屏上分布比较均匀, 查数一个扇形区的数量。如分布不均匀则需在稀、密处各查一扇形区的回波数, 求平均数。如扇形区内回波不足 10 个, 则查数外圈的回波数。

如呈哑铃形分布, 则需在哑铃形区内查一扇形区的回波数, 另在垂直于哑铃形区的方位上, 再查一扇形的数量, 求其平均数。

4. 地面单位面积密度的计算

根据测得的不同高度的容积密度, 计算地面单位面积上空的昆虫数。以 0.75 海里距离档的观测数值为例, 如图 7 所示。不同仰角测得的容积密度 ($VD_{3^{\circ}}$ 、 $VD_{5^{\circ}}$ 、 $\cdots$ 、 $VD_{58^{\circ}}$), 则代表不同高度的容积密度。用不同高度的容积密度值乘以各自代表的高度间距 (25、50、 $\cdots$ 、220 米), 累加各高度的数值, 即为地面单位面积的密度。如换算为地面每公顷的密度值 (头/公顷)。原单位为 $1/10^6 m^3$, 即应除以 100

$$\text{地面密度 (头/公顷)} = VD_{3^{\circ}} \times 25 + VD_{5^{\circ}} \times 50 + VD_{8^{\circ}} \times 70 + VD_{12^{\circ}} \times 90 + VD_{18^{\circ}} \times 150 + VD_{28^{\circ}} \times 215 + VD_{45^{\circ}} \times 330 + VD_{58^{\circ}} \times 220 / 100$$

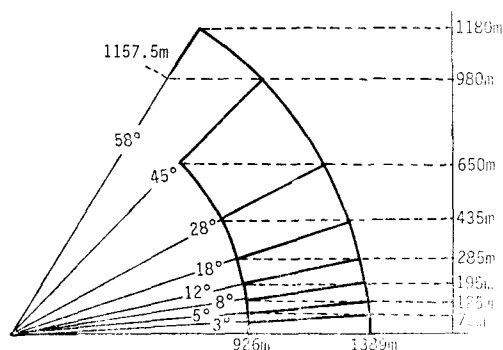


图 7 自容积密度计算地面密度, 0.75 海里距离档不同仰角外圈所代表的高度范围

Fig.7 The height intervals of sampling by outer circle of various elevations for calculating area density

小结与讨论

1981—1984 年, 我们安装成功可供观测昆虫迁飞的公主岭昆虫雷达装置。该雷达在距离 80—1,000 米的昆虫模拟观测试验中, 均可检测到清晰的昆虫回波。可分辨间隔 3.5 米以上的相邻目标, 可检测昆虫迁飞的高度、方位、密度、飞向。通过观测, 掌握了观测和计算昆虫迁飞的技术方法。

关于昆虫密度的测量, 国际上应用在平面显示器上目测查数回波数量, 同时拍照记录, 以计算不同高度的容积密度和地面单位面积上

空的迁飞昆虫数量。我们已在野外观测中参考应用, 并积累了一批密度数据。

关于回波辨别问题。我们已能区别飞机、地物杂波及云雨等回波与昆虫目标的回波。至于辨认不同昆虫种类的回波, 目前国际上多根据不同种类的昆虫振翅频率的差异, 用频谱分析仪分析回波以辨别昆虫种类 (Schaefer 1976)。用飞机或风筝在雷达发现目标的空域网捕取样, 以辨识种类 (Green bank 1980, Farrow 1984)。我们则根据历年发生时期确定在观测对象占优势的时期进行观测, 并配合应用地面调查和风筝网取样办法, 以确定回波的主要种类。

我国地域辽阔, 季风盛行, 迁飞昆虫种类很多, 如蝗虫、粘虫、草地螟、稻纵卷叶螟、稻飞虱、棉铃虫、蚜虫等重要的农业害虫。我国对粘虫、稻纵卷叶螟等的标放回收迁飞试验的成果处于国际领先地位, 如能应用昆虫雷达深入研究上述种类的迁飞特性, 将会在昆虫迁飞的理论和预测控制这些害虫的实践上做出重要贡献。建议有关部门对昆虫雷达技术的开发研究, 给予应有的支持和资助。

参 考 文 献

- 陈瑞鹿等 1985 公主岭昆虫雷达装置和初步应用。中国农业科学 (3): 93。
- Drake, V.A. 1981. Quantitative observation and analysis procedures for a manually operated entomological radar. CSIRO Division of entomology technical paper. No. 19.
- Drake, V. A. 1982. The CSIRO entomological radar: A remote sensing instrument for insect migration re-

- arch. In "The scientific instrument for primary production" (Ed Wisbey, L.A.) pp. 63—73.
- Farrow, R.A. 1984. Method of using kites to carry tow net in the upper air for sampling migrating insects and its application to radar entomology. *Bull. Ent. Res.* 74. 87—95.
- Greenbank, D.O., G. W. Schaefer, and R.C. Rainey, 1980. Spruce budworm moth flight and dispersal new understanding from canopy observations radar and air craft. *Mem. Ento. Soc. Can.* No. 110 49pp.
- Greneker, E.F. and M.A. Corbin, 1978. Radar reflectivity of airborne insect. A literature survey. Georgia Institute of Tech. Eng. Exp. Stat.
- Rainey, R.C. 1955. Observations of Desert locust swarm by radar. *Nature Lond* 175 p. 77.
- Riley, J.R. 1979. Radar as an aid to the study of insect flight. In "A handbook on biotelemetry and radio tracking" (Eds. C.J. Amalner, Jr. and D.W. Macdonald) pp. 131—140.
- Riley, J.R., D.R., Reynolds, M.J. Farmery 1983. Observations on the flight behaviour of the Armyworm moth, *Spodoptera exempta* at a emergence site using radar and infrared optical techniques. *Eco. Ento.* 8. 395—418.
- Schaefer, G.W. 1976. Radar observation of insect flight. *Symposia of the Royal Ento. Soc. Lond.* No. 7 (Ed. R.C. Rainey) 157—179.
- Wolf, W.W. 1979. Entomological radar studies in the United States. In "Movement of highly mobile insect" (Eds. R.L. Rabb and G. G. Kennedy) .

A RADAR EQUIPMENT FOR ENTOMOLOGICAL OBSERVATION AND ITS TEST

Chen Ruilu Bao Xiangzhi Wang Suyun Sun Yajie Li Liqun Liu Jirong
(Institute of Plant Protection, Jilin Academy of Agricultural Sciences)

In this paper, the initiation and development of observations on the insect flight by radar were briefly reviewed. An equipment of the entomological radar was set up in China in 1981—1984. And its characteristics and the results of observations on the stable insect targets and releasing mobile insect targets by this radar were described.

The Gongzhuling Entomological Radar was equipped with the major parts of Japanese marine radar, type JMA-510G-6, which was fixed with the antenna system of Chinese meteorological radar, type 711. Its characteristics are as follows:

A radar antenna system with a double-dipole feed and a 1.5m (diameter) parabolic grid disk, peakpower output 10Kw, wave length 3cm, pulse length 0.08—1.2us, beam angular width horizontal 1.5°, vertical 1.5° and range scales 0.25, 0.5, 0.75, 1.5, 3, 6, 12, 24, 48nm.

Results of simulation observations indicate that the Gongzhuling Entomological Radar is a very useful aid for research on insect migration. Echoes reflected from insect targets range 80—1000m apart were displayed clearly. It can measure exactly the height, density, position, airspeed and flight rhythm of individual migrating insect. This radar is installed on a truck and with a generator (5Kw) on a trailer. The set is suitable to move and work in the field,