

268-277

第18卷第3期
1998年5月生态学报
ACTA ECOLOGICA SINICAVol. 18, No. 3
May, 1998

杨树光肩星天牛成虫扩散格局的研究*

温俊宝 李友常[✓] 夏乃斌 骆有庆

(北京林业大学 北京 100083)

5763.38e.3

摘要 应用标记-回收技术,系统收集了光肩星天牛(*Anoplophora glabripennis*)成虫种群在时间序列过程中的扩散资料,按照动态分析方法,对天牛成虫在杨树农田林网中的扩散格局进行了研究,在求得扩散参数的基础上组建其扩散模型,并对影响天牛成虫扩散的因子进行了分析。研究表明:按偏离度 f 估计,扩散后的天牛成虫种群呈正态分布;扩散速率随释放时间呈指数式下降;扩散密度随距离和时间的增加而减少,其种群平均扩散距离为106.3m;扩散原因是由于环境因素且由非密度制约因素引起的。通过对气象因素的分析表明扩散格局受到风向、风速的影响,还与温度有关,但与湿度关系不密切。

关键词: 杨树,光肩星天牛,成虫扩散格局,标记回收法。

STUDY ON DISPERSAL PATTERN OF *Anoplophora glabripennis* ADULTS IN POPLARS

Wen Junbao Li Youchang Xia Naibin Luo Youqing

(Beijing Forestry University, Beijing, 100083, China)

Abstract The dispersal pattern of *Anoplophora glabripennis* (Motsch.) adults was studied in Qintongxia, Ningxia autonomous region by mark-recapture method. After the dispersal parameters have been worked out, the dispersal models were built. The results indicated that the adults population presented normal distribution from the estimation of deviation; the dispersal rate decreased with releasing time. The dispersal density reduced along with the increment of distance and duration; the population average dispersal distance was 106.3m. Analysis of dispersal reasons showed that the dispersion was brought about by environment elements, especially by density independence factors. The dispersal pattern was influenced by wind velocity and direction, and had much relation with temperature, but little with humidity.

Key words: poplar, *Anoplophora glabripennis*, adult, dispersal pattern, mark-recapture.

扩散与迁移是昆虫种群在空间的一种运动方式,也是种群数量增长后在其行为上必然产生的结果。在昆虫生态学研究,表示扩散的指标是空间范围或距离,而说明害虫扩散能力的则是以时间为单位的扩散

* 本研究系“八五”国家攻关课题“杨树天牛综合控制技术研究”中的四级专题。

收稿日期:1996-06-06。

速度。决定扩散范围或扩散速度的因素,除了种群本身的活动能力以外,还受到食物、地形、热量、水分以及有关空间变化的人为因素的作用。本文运用标记-回收技术研究了光肩星天牛的扩散格局,为天牛种群发生的动态监测提供了科学的理论依据。

1 材料与方法

1.1 虫源和树种

本试验于1995年7~8月在宁夏青铜峡市小坝乡万粮滩村四队的农田林网中进行。试验虫源系采用当天在附近树上捕捉到的光肩星天牛成虫,试验地中的树种是由箭杆杨(*Poplar nigra* L. var. *thevestina*)、合作杨(*P. simonii* Carr. < *P. nigra* L. var. *italica*)和新疆杨(*P. alba* L. var. *pyramidalis*)等所组成。

1.2 试验设计

试验地为南北长500m,东西宽400m有规则的农田林网,均为一代林网伐桩上萌发的3~4年生的杨树,树高3~5m,林网由10条林带组成,每条林带由两行杨树组成,杨树株距1m,林带间距离为50m。以中间林带的中心点作为释放点,围绕释放点8个方向按不同距离设立了33个回收点(如图1)。

根据试验设计,于1995年7月20日、7月24日和7月28日分别以蓝、红、黄色标记释放了1083、1022和1085头天牛成虫,释放后第2天开始回收,前4d每天回收1次,以后每2d回收1次。

1.3 调查方法

为便于调查,在林网中的每个回收点标记9棵杨树,每次对这9棵杨树上的天牛成虫进行捕捉,按雌雄分别记录每种颜色标记的和未标记的成虫数,并记录当天的风向、风速、温度、湿度等气象因子。

2 结果与分析

对3次释放所得数据分别进行了分析后,其结果基本相似,故以下仅以第1次蓝色标记释放的结果为例加以说明。

2.1 对成虫总体虫口密度的估计

应用 Jackson 正法(1933,1948),设 N_i 为第 i 次回收时捕捉的标记和未标记天牛总数, N_0 为 t_0 时的标记释放数, M_i 为第 i 次回收中所捕捉到的蓝色标记天牛数。为了统一标准加以比较,以 y_i 表示将每次回收中有标记虫数折算成释放数和回收总数均为100头时的校正回收标记值,于是有:

$$y_i = M_i \frac{100}{N_0 N_i} \quad (1)$$

根据(1)式将计算结果列在表1中。

在上述求得 y_i 值($i=1,2,\dots,18$)的基础上,为了进一步估计 t_0 时的校正回收值,凭借着从 y_i 序列外推,将不同时期时的 y_i 值进行平移,要求找到释放时的再捕捉校正值 y_0 ,因考虑到理论估值与 y_i 的实际序列之间的差异,以 a_0 估值代替 y_0 ,于是有:

$$a_0 = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1}}{r_+} - (y_1 + y_2 + \dots + y_{n-2}) \quad (2)$$

$$r_+ = \sqrt{\frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{y_1 + y_2 + \dots + y_{n-2}}} \quad (3)$$

其中, r_+ 是 y_n/y_{n-1} 的加权比。

最后根据 a_0 值对 t_0 时总体值 $\hat{P}_0$ 做出估计:

$$\hat{P}_0 = \frac{100}{1} \times \frac{100}{a_0} \quad (4)$$

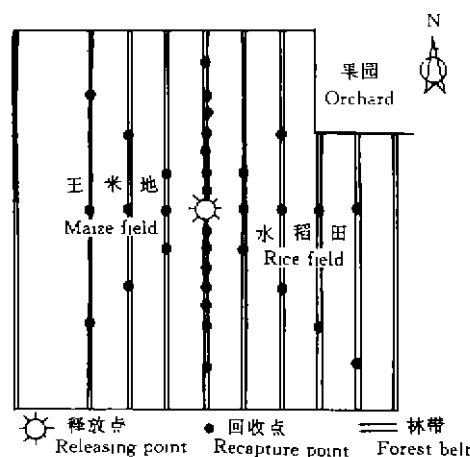


图1 标记-回收试验地示意图

Fig. 1 Sketch map of mark-recapture experiment site

表1 时间序列过程中天牛成虫回收数及校正回收标记值

Table 1 The number of recaptured adults and mended value of marked number in time sequence

日期 Date	总回收数(N_t)		回收标记数(M_t)		订正回收标记值(y_t)	
	Total number of recaptured adults		Marked number within recaptured adults		Mended value of marked number within recaptured adults	
	(♀)	(♂)	(♀)	(♂)	(♀)	(♂)
95-07-21	172	218	14	6	1.4483	0.5376
95-07-22	117	149	11	11	1.6729	1.4419
95-07-23	82	76	7	2	1.5190	0.5140
95-07-24	116	116	13	11	1.9941	1.8521
95-07-25	116	132	14	10	2.1475	1.4796
95-07-26	113	134	8	10	1.2597	1.4576
95-07-27	136	132	8	1	1.0467	0.1480
95-07-28	130	143	4	8	0.5475	1.0927
95-07-29	99	103	4	3	0.7189	0.5689
95-07-30	128	136	13	4	1.8072	0.5744
95-08-02	118	146	6	8	0.9048	1.0702
95-08-03	157	142	7	3	0.7933	0.4126
95-08-06	147	158	5	2	0.6052	0.2472
95-08-07	97	99	0	1	0.0000	0.1973
95-08-09	70	88	0	1	0.0000	0.2219
95-08-11	81	75	2	1	0.4393	0.2604
95-08-13	81	94	1	1	0.2197	0.2078
95-08-17	73	73	0	0	0.0000	0.0000

由上表计算得 $a_{0.12} = 1.9104$, $a_{0.22} = 1.2219$, 则 $p_{0.12} = 5234.62$, $p_{0.22} = 8183.83$ 。若以整个试验地中的杨树为10000株计算, 则7月20日平均每株虫口密度为: 雌成虫0.52头/株, 雄成虫0.82头/株。同样可应用第2、3次的释放结果求得7月24日每株平均密度为: 雌成虫0.60头/株, 雄成虫0.67头/株; 7月28日每株平均密度为: 雌成虫0.69头/株, 雄成虫0.68头/株。以上结果与抽样调查所得数据相比, 误差小于20%。

2.2 种群偏离度的估计

Kurtosis 应用下式来表示种群扩散的偏离度:

$$K_u = \frac{N \sum_{p=0}^{p=n-1} d_p^4 n_p}{(\sum_{p=0}^{p=n-1} d_p^2 n_p)^2} \quad (5)$$

其中: N 是在所有回收点中捕到的天牛总数; d_p 是再回收点与释放点的距离; n_p 是与释放点同距离的各回收点中捕到的天牛总数。

当 $K_u = 3$ 时, 为一正态曲线; $K_u > 3$ 时, 为一扁平曲线; $K_u < 3$ 时, 为一阶峻形曲线。本试验中求得 $K_u = 3.03 \approx 3$, 因而天牛成虫扩散后呈正态分布。

2.3 种群扩散率的估计

Clark(1962)在研究蟋蟀时, 提出扩散率系随着释放后的时间而变化的, 释放后每天扩散距离的平均平方根(D)可用下式计算:

$$D = \sqrt{\frac{\sum (d^2)}{N}} \quad (6)$$

其中: d 为回收点与释放点的距离; N 为回收到的标志天牛数。

以上式求得各次回收中的天牛成虫扩散率如表2。

表2 释放后不同时间的天牛成虫扩散率

Table 2 Dispersal rate at different time after releasing

日期 Date	蓝色 Blue			红色 Red			黄色 Yellow		
	♀	♂	总和 Sum	♀	♂	总和 Sum	♀	♂	总和 Sum
95-07-21	1.6670	0.7851	2.9386	—	—	—	—	—	—
95-07-22	0.8096	0.5934	1.5028	—	—	—	—	—	—
95-07-23	0.5619	0.3060	0.8512	—	—	—	—	—	—
95-07-24	0.8822	0.4870	1.6909	—	—	—	—	—	—
95-07-25	0.4336	0.5698	1.6875	0.1719	0.1211	0.4023	—	—	—
95-07-26	0.4375	0.5273	1.8086	1.1162	0.1094	1.6865	—	—	—
95-07-27	0.4375	0.4303	0.9771	0.7273	0.1719	0.8711	—	—	—
95-07-28	0.1012	0.3478	0.5682	0.7878	0.4196	2.2155	—	—	—
95-07-29	0.1719	0.0850	0.3584	0.3398	0.3750	0.9336	0.4408	0.5308	1.1589
95-07-30	0.3966	0.1065	0.8619	0.6220	0.2590	1.9247	1.6419	1.3802	3.2397
95-08-02	0.2700	0.3790	1.2140	0.2277	0.4408	0.7346	0.7646	0.7919	2.4040
95-08-03	0.2277	0.0826	0.2718	0.2590	0.2700	0.6722	0.2021	0.5021	0.9711
95-08-06	0.1943	0.0586	0.2334	0.2773	0.2148	0.6719	0.0784	0.4784	0.6420
95-08-07	0.0000	0.0278	0.0278	0.0000	0.0784	0.0784	0.2844	0.4853	0.9459
95-08-09	0.0000	0.0303	0.0303	0.1023	0.0586	0.0586	0.0000	0.0826	0.0826
95-08-11	0.0817	0.0000	0.0817	0.0000	0.0374	0.0374	0.0365	0.0365	0.0736
95-08-13	0.0294	0.0294	0.0569	0.0294	0.0000	0.0294	0.0845	0.0294	0.1306
95-08-17	0.0000	0.0000	0.0000	0.0294	0.0294	0.0569	0.0000	0.0000	0.0000

以3种颜色标记的天牛成虫扩散率(D)对日期(Date)分别作图2,3,4,并对扩散率(D)与释放时间(t)的关系进行拟合得:

$$\text{蓝色标记雌成虫 } D=1.8426\exp(-0.2666t) \quad (R=0.9125^{**}) \quad (7)$$

$$\text{蓝色标记雄成虫 } D=0.8109\exp(-0.1275t) \quad (R=0.8128^{**}) \quad (8)$$

$$\text{红色标记雌成虫 } D=1.3177\exp(-0.1112t) \quad (R=0.7325^{**}) \quad (9)$$

$$\text{红色标记雄成虫 } D=0.3545\exp(-0.0478t) \quad (R=0.5484^{**}) \quad (10)$$

$$\text{黄色标记雌成虫 } D=4.9177\exp(-0.1725t) \quad (R=0.7220^{**}) \quad (11)$$

$$\text{黄色标记雄成虫 } D=3.0517\exp(-0.1225t) \quad (R=0.7942^{**}) \quad (12)$$

式中,*表示相关关系显著($p<0.05$),**表示相关关系极为显著($p<0.01$)(下同)。

从图2~图4可以看出,雌成虫在释放后扩散速度很快上升,第2~4d达到高峰,以后下降较快。在高峰期持续的时间为5~7d;雄成虫在释放后扩散速度上升得较为缓慢,第4~6d达到高峰,以后逐渐下降,在高峰期持续的时间为8~10d。雌雄成虫相比较而言,雌成虫释放后扩散速度上升较快,高峰期的扩散速度比雄成虫快,但持续时间较短。

2.4 种群扩散密度随释放时间和距离下降的模型

Freeman(1977)提出,昆虫由中心向四周扩散,其密度系随时间与距离的加长而减少,其数学公式为:

$$\log y = a - bx - ht + cx \log t \quad (13)$$

其中, y 为扩散的昆虫数量; x 为距释放点的距离; t 为释放时间; a, b, c, h 为常数。

根据上式计算得到了天牛成虫扩散方程的参数值,列在表3中。

由上述方程以扩散密度对时间和距离作图,见图5。

由图5可以看出,天牛成虫的扩散密度随释放距离和时间的延长而迅速下降,雌成虫在较短距离和较短时间内扩散密度比雄成虫高,但其下降的速度更快。

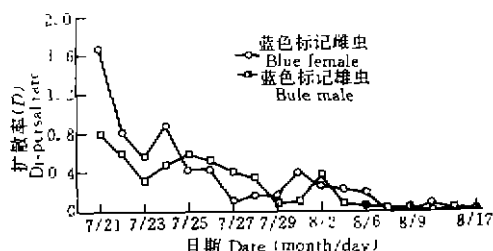


图2 不同时间蓝色标记成虫扩散率的变化

Fig. 2 Variation in dispersal rate of blue-marked adults with time

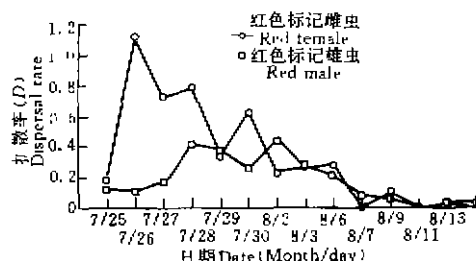


图3 不同时间红色标记成虫扩散率的变化

Fig. 3 Variation in dispersal rate of red-marked adults with time

表3 天牛成虫扩散方程的参数

Table 3 Parameters in dispersal equation of *A. glabripennis* adults

		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>c</i>	<i>r. a.</i>	<i>R</i>
蓝色标记成虫	♀	3.27415	0.09628	0.24124	0.02928	86.03	0.8125**
Blue-marked adults	†	1.49494	0.04588	0.07165	0.00551	81.08	0.6788**
红色标记成虫	♀	3.88790	0.12060	0.27529	0.03685	85.28	0.8676**
Red-marked adults	♂	1.64295	0.58187	0.15266	0.01623	81.88	0.7847**
黄色标记成虫	♀	11.6974	0.47036	1.01887	0.16467	90.63	0.8639**
Yellow-marked adults	†	25.3165	1.12799	2.24794	0.39073	88.14	0.8255**

注:表中 *r. a.* 为模型相对精度, *R* 为相关系数。

Note: The *r. a.* in table 3 is the model relative accuracy, and the *R* is the correlation coefficient.

2.5 种群密度与距离关系的模型

Taylor(1978)指出:

$$N = \exp(y - bx^c) \quad (14)$$

其中, x, N 分别表示一定距离上的虫口密度; y, b, c 均为常数(其中 c 是判断一种非随机运动的度量)。

当 $c \approx 2$ 时, 表示随机运动; $c < 2$ 时, 表示非随机运动, 具有一个非常凹陷的曲线, 表示围绕扩散中心有聚集倾向; $c > 2$ 时, 表示一种导致均匀分布的排斥反应。

以蓝色标记为例, 应用上述方程拟合所得结果如表4。表中, y, b, c 为参数估计值, R 为相关系数, $r. a.$ 为相对精度。从表中可以看出, $c < 2$, 表明天牛扩散围绕中心有明显聚集倾向。越接近中心, 杨树上天牛的虫口密度越大, 其受害越严重。拟合的曲线见图6, 图7。

2.6 种群扩散距离的估计模型

Fletcher(1974)提出扩散距离的估计方程

$$\bar{d} = \sum_{i=0}^r F_i \frac{1}{2} (x_{i+1} + x_i) \quad (15)$$

其中, x_i 是自扩散中心点到第 i 个圆环域的内径距离; x_{i+1} 是自扩散中心点到第 i 个圆环域的外径距

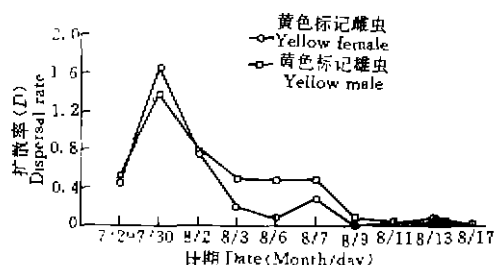


图4 不同时间黄色标记成虫扩散率的变化

Fig. 4 Variation in dispersal rate of yellow-marked adults with time

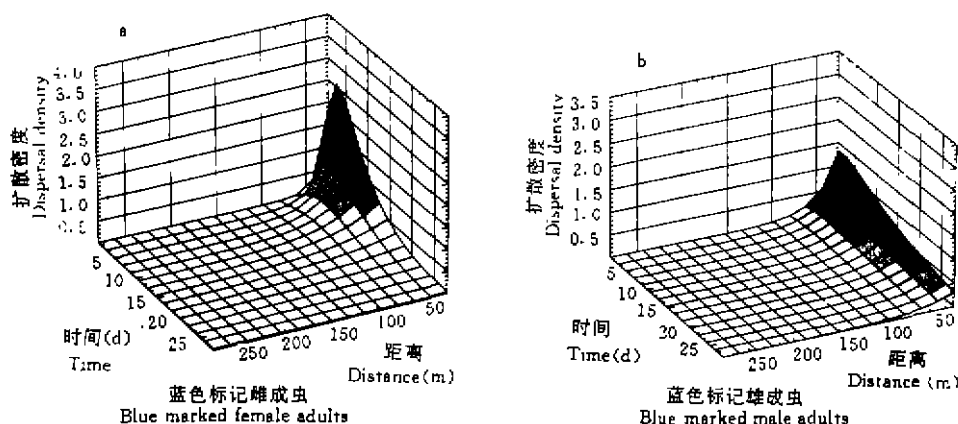


图5 天牛成虫扩散密度随扩散距离和时间增加而下降

Fig. 5 Decrease in dispersal density of adults with distance and time

a 蓝色标记雌成虫 Blue-marked female adults, b 蓝色标记雄成虫 Blue-marked male adults

表4 扩散密度与距离关系拟合结果

Table 4 The fitting result of relation between dispersal density and distance

	<i>y</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>R</i>	<i>r. a.</i>
蓝色 Blue(♀)	2.425319	-0.40802	0.529928	0.99575	99.153%
蓝色 Blue(♂)	7.356413	-3.95999	0.196056	0.98501	97.025%

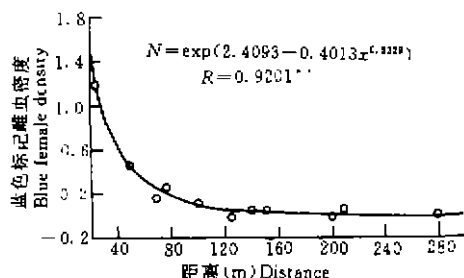


图6 蓝色标记雌成虫扩散密度随距离的变化

Fig. 6 Variation in dispersal density of blue-marked female adults with distance

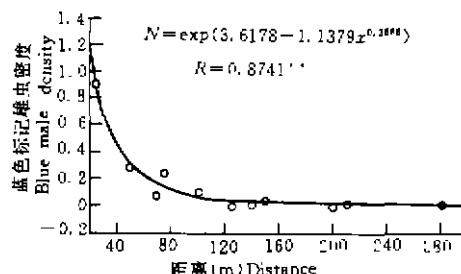


图7 蓝色标记雄成虫扩散密度随距离的变化

Fig. 7 Variation in dispersal density of blue-marked male adults with distance

离; F_i 是相应圆环带上受害百分率; $\bar{d}$ 是平均距离。试验结果表明: $\bar{d}=106.3\text{m}$,即天牛种群的平均扩散距离为106.3m。

2.7 种群扩散距离的概率模型

Scotter 等(1971)提出在随机运动的前提下,个体在时间 t 时,自中心到 R_t 范围外的概率(p_t)的公式。

设在时间 t 时,一个个体离开扩散中心的距离为 R_t ,

$$P\{\xi_t > R_t\} = \iint_{\xi_t \leq R_t} \phi(x, y, t) dx dy = \iint_{\xi_t > R_t} \frac{1}{4\pi Dt} e^{-\frac{x^2+y^2}{4Dt}} dx dy = \exp\left(-\frac{R_t^2}{4Dt}\right) \quad (16)$$

其中, D 为扩散系数。

如中心外有 N_0 个个体,表示扩散程度的指标是使用只有一头在外边的半径 R_t ,显然,可以推出:

$$N_0 \exp\left(-\frac{R_t^2}{4Dt}\right) = 1 \quad (17)$$

即

$$R_t^2 = 4Dt \ln N_0 \quad (18)$$

在不同的时刻 t 有不同的 N_0 ,若以 N_t 表示,则又可表示为

$$R_t^2 = 4Dt \ln N_t \quad (19)$$

计算结果见图8。

从图8可以看出,天牛成虫的扩散系数随释放时间的延长而下降,这一方面由于随着时间的推移,天牛成虫数量由于死亡而减少;另一方面是由于随时间的增加,天牛成虫的生活力下降,因而其扩散能力也随之下降。

2.8 天牛成虫扩散原因的分析

2.8.1 “ λ ”聚集均数的分析 天牛成虫在林间的聚集原因,既可能受某些环境因素的影响,亦可能由于其本身行为特性所致。这里应用 Blackith(1961)提出的种群聚集均数 λ 检验了天牛成虫的聚集原因,其

$$\lambda = \frac{\bar{x}}{2k} \gamma \quad (20)$$

k 为负二项分布参数, γ 为 χ^2 分布函数, $\bar{x}$ 为平均数。当 $\lambda < 2$ 时,该虫态聚集的原因可能由于某些环境因素作用所致,而不是由于昆虫本身的聚集习性;当 $\lambda \geq 2$

时,其聚集原因既可能由于昆虫本身的聚集行为引起,也可能由于昆虫本身行为与环境异质性引起。本试验中, $\bar{x} = 0.3448$, $k = 0.1948$, $\gamma = 0.2954$,由此求得 $\lambda = 0.2614 < 2$,说明天牛成虫的聚集主要由于某些环境因素作用引起的,而不是其本身的聚集习性引起。

2.8.2 “ r ”指标的分析 Iwao 和 Kuno(1977)导出了与分布格局变化有关的基本模型:

$$r = \frac{m^*}{m_0^*} - \frac{m_0}{m} \quad (21)$$

其中 m_0^* 、 m_0 为初始种群的平均拥挤度与平均密度, m^* 、 m 为变化后的平均拥挤度与平均密度。 $r = 1$ 时,表示密度的减少是由非密度制约因素引起; $r > 1$ 时,表示扩散是由密度制约因素引起; $r < 1$ 时,表示扩散是由密度制约效果相反的因素引起。本试验中, $r = 0.9413 \approx 1$,说明天牛成虫的扩散由非密度因素制约引起,其扩散是由于受环境等随机因素作用所致,这与前面的分析是一致的。

2.8.3 气象因素对天牛成虫扩散影响的分析

在求得天牛成虫种群的扩散是由环境因素且由非密度制约因素引起的基础上,进一步通过多元回归方法,分析气象因子对其扩散的影响。现以第一次释放的成虫为例,将不同日期内各个方向的回收数及天气情况列在表5中。

对上表中的风向分解为8个变量,分别代表北,东北,东,东南,南,西南,西,西北8个方向,依次记为: WDN, WDE, WDS, WDE, WDS, WDS, WDW, WDW, WDN,其值计算如下:若风向相同则为1,相反则为-1,同方向偏离45°为0.5,相反方向偏离45°为-0.5(如风向是N,则变量 WDS 记为1, WDN 记为-1, WDE 和 WDW 记为0.5, WDE 和 WDW 记为-0.5, WDE 和 WDW 记为0),将8个方向的回收数与这8个变量和风速(WV)、温度(T)、湿度(M)一起经标准化处理后,以各方向的回收标记数对这11个变量作多元回归,计算其偏相关系数列于表6中。

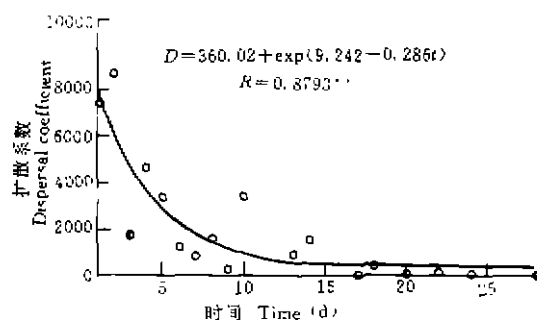


图8 不同时间天牛成虫扩散系数的变化

Fig. 8 Variation of adult dispersal coefficient with releasing time

表5 不同方向的标记成虫回收数与天气情况

Table 5 The recaptured number of marked adults in different directions and weather factors

日期 Date	不同方向回收的蓝色标记成虫数 The number of blue-marked recaptured adults in different directions								风向 Wind direction	风速 Wind velocity (m/s)	温度 Temper- ature (℃)	相对湿度 Relative humidity (%)
	N	EN	E	ES	S	WS	W	WN				
95-07-21	4	4	0	1	11	0	0	0	W	1.8	27	56
95-07-22	5	4	3	0	9	1	0	0	E	0.4	19	80
95-07-23	1	1	0	0	7	0	0	0	W	0.8	22	56
95-07-24	13	1	3	0	7	1	1	1	ENN	0.6	25	48
95-07-25	6	0	3	1	11	0	0	0	EN	0.7	27	58
95-07-26	4	0	3	0	11	0	0	0	E	2.2	25	56
95-07-27	6	0	0	0	3	0	2	0	ENN	1.4	24	67
95-07-28	4	1	1	0	4	0	0	0	ES	0.3	24	58
95-07-29	5	0	1	0	1	0	0	0	WS	1.2	23	76
95-07-30	10	1	3	1	7	0	0	1	ES	0.3	25	69
95-08-02	0	0	5	0	0	1	1	1	ES	1.0	23	67
95-08-03	2	0	0	1	4	0	0	0	O	0.0	25	63
95-08-06	1	0	3	2	0	0	0	0	ES	0.3	29	63
95-08-07	1	1	0	0	0	0	0	0	E	0.7	28	53
95-08-09	0	0	0	0	0	0	0	0	ES	3.5	27	61
95-08-11	2	0	1	0	1	0	0	0	ES	1.5	23	72
95-08-13	0	0	0	0	0	1	0	0	E	0.7	24	65
95-08-17	0	0	0	0	0	0	0	0	EN	0.5	26	56
Σ	64	13	26	6	76	4	4	3				

从表6的结果可以看出:1)除个别方向外,各个方向的回收数量都与其相同风向呈负相关,而与相反风向呈正相关,也即在与风向相反的回收点捕捉的天牛数比其它方向多,因此说明天牛成虫沿逆风方向的扩散比顺风强。在8个方向上有6个方向的回收数与风速呈正相关,结合表5可知在一定范围内(0.3~1.8m/s),风速增大有利于天牛的扩散。但考察表5中的回收情况后发现8月9日风速很大,达3.5m/s,却没有捕捉到标记成虫,说明风速太大将不利于天牛的扩散。2)在8个方向上有7个方向的回收数与温度呈负相关,说明天牛的扩散与温度有关,一般随温度升高而下降;除1个方向外,其它方向上的回收数与湿度的相关关系均不显著,说明湿度对天牛成虫扩散的影响不大。

3 小结与讨论

3.1 运用标记-回收技术可以估计天牛成虫在林间的种群密度,与抽样调查比较,其误差小于20%,因而应用此方法可以监测天牛成虫发生数量动态的变化。

3.2 天牛成虫扩散后种群呈正态分布,扩散率随释放时间呈指数式下降,通过组建天牛成虫扩散密度与距离和时间关系的模型,发现天牛成虫的扩散密度随距离增加而下降,随时间的延长而减小,种群总体的平均扩散距离为106.3m。

3.3 对天牛成虫扩散原因的分析表明,天牛成虫的扩散是由于环境因素引起,而不是其本身的聚集习性

所致,更进一步的分析表明扩散由非密度制约因素引起。

3.4 对天气因素与天牛扩散之间的关系进行分析后发现,天牛成虫在逆风方向的扩散比顺风方向强;在一定范围内,扩散随风速增大而加强,在中等风速(0.3~1.8m/s)下扩散速度较快,风速很小或很大都会影响其扩散的速度,这可能是由于天牛飞行时需借助一定的风力有关,而风速太大则天牛因不能控制本身的飞行行为而飞行活动减少,这是天牛长期适应自然界的結果。另外,扩散受到温度的影响,但与湿度关系不甚密切。

表6 各方向回收标记数与天气因素的偏相关系数

Table 6 Partial correlation coefficients of weather factors with recaptured marked-adults in different directions

气象因素 Weather factors	各不同方向的回收标记值 Number of recaptured marked-adults in different directions						
	N	EN	E	ES	S	WS	W
WDN	-0.4212*	0.1489	-0.0355	0.2798	0.2787	-0.1509	-0.6230*
WDEN	-0.4357*	-0.6381*	-0.6982**	-0.7332**	-0.6418*	-0.4115*	-0.0621
WDE	0.6744**	-0.2671	-0.5251*	0.6384*	0.3756	-0.5164*	0.4184*
WDES	-0.2762	0.2827	-0.3978	-0.2169	0.3121	-0.1511	-0.4163*
WDS	0.4212*	-0.1489	0.0355	-0.2798	-0.2787	0.1509	0.6230*
WDWS	-0.3659	0.3839	-0.0501	-0.1391	-0.3103	-0.0138	0.2881
WDW	0.1695	0.2561	0.4733*	-0.4115	0.2661	-0.3139	-0.3102
WDWN	0.2765	-0.2791	0.3978	0.5691*	-0.5121*	0.1511	0.4163
WV	0.6527**	0.2526	0.4119*	0.7524**	-0.1523	0.4314*	0.5182*
T	-0.2576	-0.7016**	-0.5448*	0.7715**	-0.6215*	-0.6453*	-0.3108
M	0.2877	-0.0512	0.09185	0.3420	-0.5424*	-0.1721	0.3222

注:表中带*者表示具有相关性($p < 0.01$),带**者相关性显著($p < 0.05$)。

Note: The variables have correlation when the coefficient marked with * ($p < 0.01$), and have significant correlation when marked with ** ($p < 0.05$).

参 考 文 献

- 1 丁岩钦. 昆虫数学生态学. 北京: 科学出版社, 1994
- 2 赵志模, 周新远. 生态学引论, 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1984
- 3 邵崇斌, 周嘉熹等. 杨树蛀干害虫扩散数学模型的研究. 西北林学院学报, 1992, 7(3): 69~74
- 4 孙建中等. 二化螟幼虫的田间分布. 昆虫学报, 1991, 34(3): 303~309
- 5 Salom S M. et al. Environmental influences on dispersal of *Trypodendron lineatum* (Coleoptera: Scolytidae). *Environ. Entomol.* 1991, 20(2): 565~576