

光肩星天牛种群扩散规律的研究

李国宏¹, 高瑞桐¹, Michael T. Smith², 孔令才³

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所,北京 100091; 2. Agricultural Research Service, USDA,501 S. Chapel Street, Newark, DE 19713,USA; 3. 甘肃省永靖县林业局,甘肃 永靖 731600)

摘要:为了探讨光肩星天牛成虫在自然界中种群扩散的模式和种群数量变动等问题,在甘肃省永靖县采用标记-回捕的方法进行了光肩星天牛的扩散规律研究。系统收集了光肩星天牛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规律进行了研究,并对影响天牛成虫扩散的因子进行了分析。结果表明:种群扩散有明显的方向性,由环境因素引起。对气象因素分析表明扩散格局主要受风向影响,各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,但与风速、温度和相对湿度关系不密切。成虫的扩散密度随距离和时间的增加而减少,其扩散距离与数量的关系可以用数学模型 $y = 4\ 203.568\ 3x^{-1.117\ 56}$ 来表示。种群总体的平均扩散距离为 423.7 m。雌虫和雄虫在扩散的方向和距离上无差异,但在回捕率上雄虫高于雌虫。光肩星天牛在农田防护林中可扩散至 2 000 m 以上,观测到的最远扩散距离为 2 644 m。

关键词:光肩星天牛成虫;标记-回捕;扩散规律

中图分类号:S763.38

文献标识码:A

Study on Dispersal of *Anoplophora glabripennis* (Motsch.) (Coleoptera: Cerambycidae) Population

LI Guo-hong¹, GAO Rui-tong¹, Michael T. Smith², KONG Ling-cai³

(1. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China;
2. Agricultural Research Service, USDA, 501 S. Chapel Street, Newark DE 19713, USA;
3. Forestry Bureau of Yongjing County, Gansu Province, Yongjing 731600, Gansu, China)

Abstract: In order to explore the dispersal pattern and the dynamics of *Anoplophora glabripennis* population in the nature, the authors studied the dispersal regulations of *A. glabripennis* by using the mark-recapture method in Yongjing County, Gansu Province. On the basis of collecting the dispersal data by the time-series process of *A. glabripennis* adult population, the dispersal pattern of *A. glabripennis* adults in poplar shelter forest network was studied and the factors effecting the dispersal were analyzed. The results indicated that the population dispersal had obvious direction was caused mainly by the environment. Meteorological factor analysis showed that the dispersal pattern was affected mainly by the wind direction. The amount of recapture at all direction had negative relationship with the same wind direction and positive relationship with the opposite wind direction, while it had no close relationship with wind speed, temperature and relative humidity. The dispersal density of adults decreased with the increase of distance and time, the relationship between the dispersal distance and the amount of adults could be described by the mathematic model $y = 4\ 203.568\ 3x^{-1.117\ 56}$. The population average dispersal distance was 423.7 m. There was no difference of dispersal direction and distance between male and female adults, only the recapture rate of male was

收稿日期: 2009-05-06

基金项目: 中美合作“光肩星天牛的调查与控制技术研究”项目

作者简介: 李国宏(1971—),男,山东菏泽人,硕士,助理研究员,主要从事林木蛀干害虫研究. Tel:010-62888719, Email:lmz9827@yahoo.com.cn

higher than female. Adults could disperse to more than 2 000 m and even more. The farthest dispersal distance observed was 2 644 m.

Key word: *Anoplophora glabripennis* adult; mark-recapture; dispersal regulation

光肩星天牛 (*Anoplophora glabripennis* (Motsch.)) 作为我国原产害虫, 寄主广泛^[1], 日益成为我国林木资源的重要杀手之一, 给我国的林业建设、生产及生态绿化造成了难以估量的损失, 光肩星天牛已经成为制约我国林业发展的重要因子之一^[2]。光肩星天牛的种群扩散, 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, 害虫扩散能力是以时间为单位的扩散速度。影响害虫扩散速度的因素主要包括害虫的活动能力、种群数量大小、地形限制条件和气象要素^[3]。另外, 决定扩散范围的因素, 还受到寄主分布、食物以及有关空间变化的人为因素的作用^[4]。作者于1999年和2000年在甘肃省永靖县采用标记-回捕^[5]的方法进行了光肩星天牛的扩散规律研究。本研究的主要目的是研究光肩星天牛的种群扩散格局, 尤其是探讨在农田防护林这种环境中其扩散的距离, 在空间尺度上超过了国内同类研究, 可以为光肩星天牛入侵新地区后采取何种措施阻止其扩散蔓延提供理论依据, 也为动态监测天牛种群的发生提供了理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验地选择在甘肃省永靖县刘化镇中庄村, 永靖县地处内陆深处, 青藏高原和黄土高原的东北边缘, 102°53' ~ 103°39' E, 35°47' ~ 36°12' N, 位于甘肃省中部西南, 海拔为1 647 m。属北温带干旱、半干旱大陆性季风型气候, 四季气候变化明显, 日照丰富, 无霜期短, 降水少而分布不均, 年平均气温5 ~ 9 °C。平均年降水量303 mm。中庄村试验区濒临黄河, 位于黄河东岸, 属于黄灌区, 两旁低山丘陵, 是一狭长地带。试验区林网属于国家“三北”防护林体系, 林带间距80 ~ 100 m, 树龄多为7 ~ 10年^[6]。

试验区的主要寄主树种为箭杆杨 (*Populus nigra* L. var. *thevestina* (Dode) Bean.)、旱柳 (*Salix matsudana* Koidz.)、白榆 (*Ulmus pumila* L.), 非寄主树种为刺槐 (*Robinia pseudoacacia* L.)、臭椿 (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle)、泡桐 (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud) 及苹果 (*Malus* spp.)、梨 (*Pyrus* spp.)、桃 (*Prunus persica* (L.) Batsch) 等果木。其中

箭杆杨、旱柳和白榆所占的比例分别为50%、6%和3%, 试验区主要害虫为光肩星天牛, 箭杆杨的被害株率达到100%。

1.2 虫源

试验于1999年和2000年的6—9月份在甘肃省永靖县刘化镇中庄村农田防护林网进行。试验虫源来自两部分, 一部分来自距试验地东南100 km的临夏州, 于当年5—6月伐取危害严重的被害木运至试验地, 将其锯成1.5 m长的木段, 置于建好的铁丝网棚中, 铁丝网棚上面覆盖遮阳布, 棚内地面挖沟, 并铺上细沙, 将木段插入细沙中, 定期浇水, 以延缓树段干枯时间, 创造有利于天牛羽化的条件。另一部分虫源系采用当天在试验区外的树上捕捉到的光肩星天牛成虫。

1.3 试验设计

根据以前的研究结果^[4,7-10], 为确保试验的合理性和准确性, 并达到本次研究的目的, 1999年的试验区设计为半径为600 m的圆形区域, 而根据1999年初步试验结果, 在2000年将试验区扩大为半径为1 000 m的区域, 所选试验区均是规则的农田林网, 树龄8 ~ 9年生箭杆杨, 树高多为7 ~ 9 m。林网有多条林带组成, 每条林带由两行箭杆杨组成, 树株距平均1.5 m。

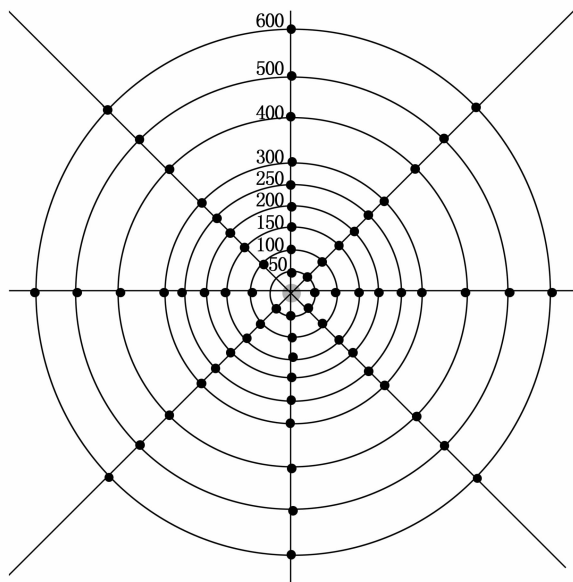


图1 试验区回捕点示意图

1999年和2000年两个试验地均在同一地点,它们的中心点相距约1 250 m。选择中间林带的中心点作为释放点,围绕释放点8个方向不同距离设立回捕点,1999年设置的回捕点距离中心点分别为50、100、150、200、250、300、400、500、600 m,1999年共设回捕点63个;2000年设置的回捕点距离中心点分别为100、200、300、400、500、600、700、800、900、1 000 m,2000年共设回捕点78个(如图1所示)。在个别设定的回捕点上无箭杆杨,则沿其同心圆寻找箭杆杨并标定为回捕点,方向偏离值小于5°。

1.4 标记和释放

根据试验设计,在释放棚内光肩星天牛成虫时,每天采用不同的颜色标记,标记原料为油漆(1999年试验初期采用荧光剂标记^[11],经野外检验,效果不好,改用油漆标记^[12])。以2000年试验为例,根据不同的时间段,分别对光肩星天牛成虫的前胸背板、鞘翅上部、鞘翅中部和鞘翅下部进行标记。

释放是从每年6月份开始,每天释放棚内羽化的成虫,释放的成虫必须保证健康,并且选用触角、翅、足完整的个体。释放后每星期回收1次,一直持续到当年9月30日。

释放时间为释放日上午9:00,为避免过多人为因素的影响,释放时采用了专门设计的放飞台(如图2所示),是一张1 m见方的木桌,在桌面上面做25个垂直的圆柱型细木棍(半径1.5~2 cm)。将天牛成虫标记后置于桌面,以任其自由选择飞行方向。

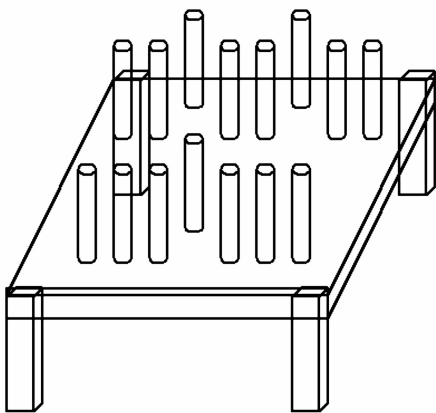


图2 放飞台示意图

1.5 调查和回捕

1999年在林网中的每个回捕点标记10~15棵杨树,2000年在每个回捕点标记20~30棵杨树,每次对回捕到的天牛成虫按雌雄分别记录每种颜色标记的和未标记的成虫数,并把未标记成虫放回标准树;将标记成虫带回,测量其体长、体宽,对雌虫解剖,统计其卵粒数,并记录当天的风向、风速、温湿度等气象因子。

2 结果与分析

2.1 光肩星天牛成虫种群动态

从图3可以看出,试验区的光肩星天牛成虫出现的高峰在7月6—10日之间,而棚内用于释放的光肩星天牛成虫出现的高峰在7月20—27日之间,二者相差约15天。主要是因为棚内的天牛来自于另一地区,该地区海拔高于试验区,年平均气温低,光肩星天牛成虫出现期晚。这对本试验有利,可延长观察成虫扩散的时间。

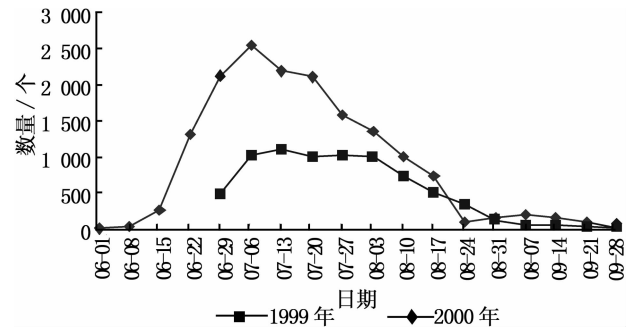


图3 试验区光肩星天牛种群动态

2.2 种群扩散率的估计

Clark^[13]提出扩散率(或扩散速度)系随着释放后的时间而变化的,释放后每周扩散距离的平均平方根(D)可用下式计算:

$$D = \sqrt{\frac{\sum (d^2)}{N}} \tag{1}$$

其中:d——回收点与释放点的距离;N——回收到的标记天牛数。

以上式求得各次回收中的天牛成虫周扩散率如表1。

表1 释放后不同时间的天牛成虫扩散率(2000年)

回捕日期 (月-日)	释放日期(月-日)								
	绿色标记(07-13—07-19)			蓝色标记(07-20—07-26)			白色标记(07-27—08-02)		
	♀	♂	总和	♀	♂	总和	♀	♂	总和
07-20	163.32	188.776	257.112	-	-	-	-	-	-
07-27	-	117.080	117.080	22.646	213.402	214.810	-	-	-

续表1

回捕日期 (月-日)	释放日期(月-日)								
	绿色标记(07-13—07-19)			蓝色标记(07-20—07-26)			白色标记(07-27—08-02)		
	♀	♂	总和	♀	♂	总和	♀	♂	总和
08-03	19.616	-	19.616	72.731	187.449	231.89	242.8	140.9	280.9
08-10	-	21.573	21.573	148.186	48.039	155.778	134	164.54	226.4
08-17	-	-	-	16.013	436	437	53.3	329.2	336
08-24	-	-	-	80.065	-	80.065	-	144.1	144.1
08-31	-	-	-	-	-	-	96.7	113.5	181.6
09-07	0	98.058	98.058	-	-	-	78.550	104.26	169.3

以3种颜色标记的天牛成虫扩散率(D)与释放时间(t)的关系进行拟合得:

绿色标记雌成虫: $D = 471.251e^{-1.0597t}$ ($R^2 = 1.00^{**}$)

绿色标记雄成虫: $D = 114.422e^{-0.0866t}$ ($R^2 = 0.82$)

蓝色标记雌成虫: $D = 36.9132e^{-0.1012t}$ ($R^2 = 0.30$)

蓝色标记雄成虫: $D = 139.926e^{-0.782t}$ ($R^2 = 0.012$)

白色标记雌成虫: $D = 187.000e^{-0.1794t}$ ($R^2 = 0.3994$)

白色标记雄成虫: $D = 216.469e^{-0.0985t}$ ($R^2 = 0.202$)

式中, R^2 为相关系数平方, p 为 F 值的显著性概率, ** 表示相关关系为极显著 ($p < 0.01$) (下同)。

白色标记的雌天牛成虫、雄天牛成虫和天牛成虫扩散率(D)对时间(释放后周数)分别作图4, 5, 6,

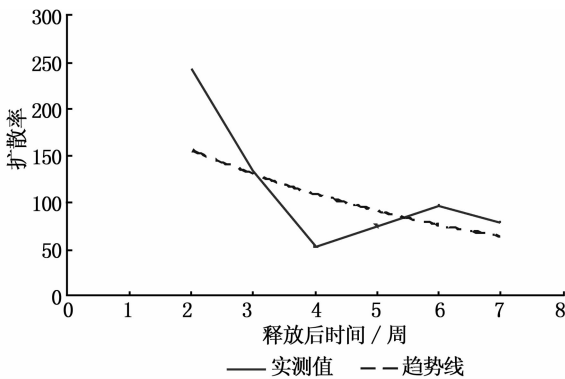


图4 白色标记雌成虫扩散率的变化

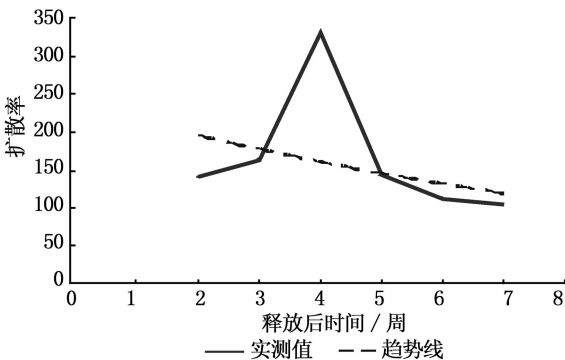


图5 白色标记雄成虫扩散率的变化

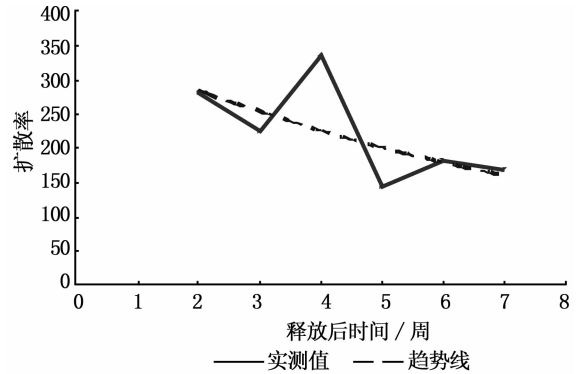


图6 白色标记成虫扩散率的变化

本试验是每周回捕一次。从图4, 5, 6可以看出, 雌成虫在释放后扩散速度很快下降, 在释放后的第3周开始缓慢上升, 然后再下降(图4); 雄成虫在释放后扩散速度上升得较为缓慢, 但在释放后的第2周迅速上升, 第3周达到高峰, 以后逐渐下降, 在高峰期持续的时间为1周左右(图5)。雌雄成虫相比较而言, 雌成虫释放后扩散速度下降较快, 在第5周后, 雌雄成虫的扩散速度同步下降。

2.3 种群扩散密度随释放时间和距离下降的模型

Freeman^[14] 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:

$$\log y = a - bx - ht + cx \log t \quad (2)$$

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

以1999年标记为2RPT的回捕数据为例, 根据上式计算得到了天牛成虫扩散方程:

$$\log y = 0.312 - 0.015x - 0.023t + 0.003x \log t$$

注: R^2 为相关系数的平方, $R^2 = 0.48^{**}$

2.4 天牛种群密度随距离扩散的估计模型

用下列11种模型对距离和该距离回捕到的虫数的关系进行了拟合, 以选出适合本试验的最优数学模型:

从试验数据得出 R^2 值, 按从小到大排列如表2:

表2 各模型的R²值升序

模型	公式	R ²
Linear	$y = b_0 + b_1x$	0.249 47
Logarithmic	$y = b_0 + b_1 \ln x$	0.375 55
Quadratic	$y = b_0 + b_1x + b_2x^2$	0.374 59
Compound	$y = b_0b_1^x$	0.401 87
Growth	$y = e^{b_0 + b_1x}$	0.401 87
Exponential	$y = b_0e^{b_1x}$	0.401 87
Logistic	$y = 1/(1/u + b_0b_1^x)$	0.401 87
Cubic	$y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + b_3x^3$	0.426 68
S	$y = e^{b_0 + b_1/x}$	0.440 50
Power	$y = b_0x^{b_1}$	0.453 95
Inverse	$y = b_0 + b_1/x$	0.483 87

根据上表中的相关系数的平方,可以选出下面几个模型,给出这几个模型的参数和形式:

等比级数曲线模型 $y = e^{(2.927\ 032 - 0.002\ 532x)}$

三次方程 $y = 79.153\ 288 - 0.359\ 494x + 0.000\ 538x^2$ (三次方项忽略不计)

指数方程 $y = 18.672\ 122e^{-0.025\ 32x}$

倒数方程 $y = -6.391\ 941 + 6\ 066.307\ 632/x$

乘幂曲线模型 $y = 4\ 203.568\ 3x^{-1.117\ 56}$

从相关系数来看,倒数方程的相关系数最高,其他几个模型的相关系数比较相近,根据生物学特点,一般选用乘幂曲线模型。

从图7可以看出,光肩星天牛扩散的数量随着距离的增加而逐渐减少。

统计回捕数据,1999年在试验区内共回捕到163头标记成虫,雌雄比例为0.65:1,2000年在试验区内共回捕到319头标记成虫,雌雄比例为0.60:1,

在回捕率上雄虫高于雌虫。1999年和2000年的回捕率分别为0.89%和1.55%。在1999年和2000年,分别有89.4%和82.3%的光肩星天牛成虫的扩散距离在600 m和1 000 m之内。

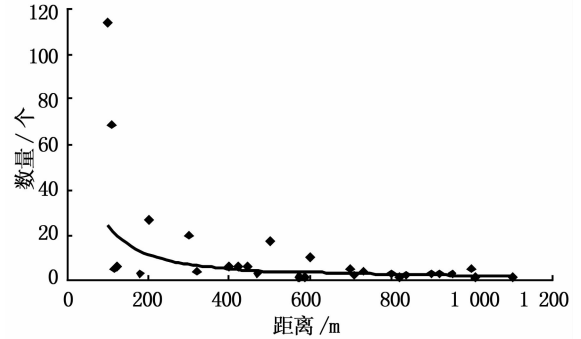


图7 光肩星天牛成虫自然扩散距离与数量关系(2000年)

2.5 种群扩散距离的估计模型

Fletcher^[15]提出扩散距离的估计方程

$$\bar{d} = \sum_{i=0}^r F_i \frac{1}{2}(x_{i+1} + x_i) \quad (3)$$

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*个圆环域的外径距离; F_i 是相应圆环域上受害百分率; \bar{d} 是平均距离。

试验结果表明: $\bar{d} = 423.7$ m,即天牛种群的平均扩散距离为423.7 m。

2.6 气象因素对天牛成虫扩散影响的分析

通过多元方差分析的方法,分析气象因子对其扩散的影响。现以2000年白色标记释放的成虫为例,将不同日期内各个方向的回收数及天气情况列在表3中。

表3 不同方向的标记成虫回收数及天气情况(2000年)

日期(月-日)	不同方向回收的白色标记成虫数/头								风向	风速/(m·s ⁻¹)	温度/℃	相对湿度/%
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW				
08-03	0	0	0	0	0	7	4	11	NE	2	21.4	55
08-04	2	2	1	0	0	0	0	0	SW	1	22.8	57
08-05	0	0	0	4	4	0	0	0	SW	2	23.5	58
08-10	0	0	0	0	0	5	5	7	SW	2	21.1	54
08-11	4	1	3	0	0	0	0	0	E	1	23.5	57
08-12	0	0	0	0	1	0	0	0	C	0	24.5	58
08-17	0	0	0	0	0	3	6	6	SE	1	19.1	72
08-18	2	1	1	0	0	0	0	0	S	1	20.5	63
08-19	0	0	0	3	3	0	0	0	W	2	22.1	64
08-25	1	0	0	0	0	0	0	0	SW	2	21.1	61
08-26	0	0	0	2	1	0	0	0	W	1	20.2	62
08-31	0	0	0	0	0	1	1	0	W	1	21.5	65
09-01	0	0	1	0	0	0	0	0	SW	1	21.9	67
09-02	0	0	0	1	2	0	0	0	SW	2	20.3	72

续表3

日期(月-日)	不同方向回收的白色标记成虫数/头								风向	风速/(m·s ⁻¹)	温度/℃	相对湿度/%
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW				
09-07	0	0	0	0	0	0	1	2	S	1	15.2	75
09-08	1	0	0	0	0	0	0	0	NE	1	15.2	80
09-23	0	0	0	1	1	0	0	0	SW	1	17.6	64
(总计)	10	4	6	11	12	16	17	26				

表4 多变量检验

效应	统计量	值	F 值	检验的自由度	误差的自由度	F 值的显著性概率
V	Pillai 迹	0.876	1.013	7	1	0.647
	Hotelling 迹	7.090	1.013	7	1	0.647
	Roy 最大根	7.090	1.013	7	1	0.647
T	Pillai 迹	0.831	0.703	7	1	0.728
	Hotelling 迹	4.919	0.703	7	1	0.728
	Roy 最大根	4.919	0.703	7	1	0.728
M	Pillai 迹	0.975	5.641	7	1	0.314
	Hotelling 迹	39.487	5.641	7	1	0.314
	Roy 最大根	39.487	5.641	7	1	0.314
DIR	Pillai 迹	4.013	1.731	42	36	0.048
	Hotelling 迹	-	-	42	-	-
	Roy 最大根	56.145	48.124	7	6	0

表4中V表示风速,T表示温度,M表示相对湿度,DIR表示风向。

从表4可以看出,风向对各个方向的回收标记的天牛成虫数量差异有显著影响。天牛成虫在各个方向的回收数量与风速既不呈正相关,也不呈负相关,即没有显著差异。表中同样显示出天牛的扩散与温度、相对湿度的相关关系均不显著,说明温、湿度对天牛成虫扩散的影响不大。本数据分析的结果表明天牛的扩散与温度相关关系均不显著,主要是由于所有采用的数据都是8月3日以后的,而此时的温度鲜有超过30℃,光肩星天牛正常活动基本不受任何影响。

以1999年的数据为例,作出光肩星天牛成虫扩散方向与数量关系图和整个试验期的风向频次累计图,如图8,9。

对风向的累计频次和各方向的回捕数量作相关分析,各方向的风向累计频次和各方向回捕的天牛数量呈显著的线性相关。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捕点捕捉的天牛数比其他方向多,因此说明天牛成虫沿逆风方向的扩散比顺风强。

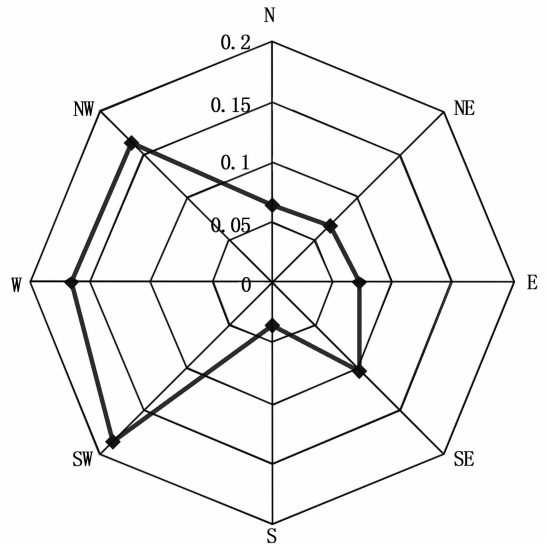


图8 光肩星天牛成虫扩散方向与数量关系

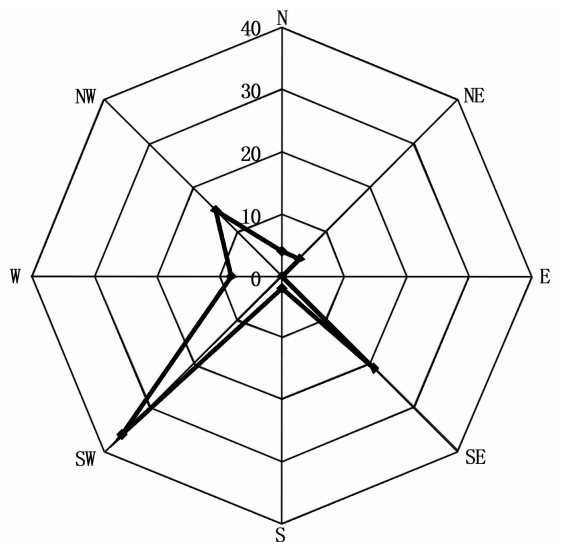


图9 整个试验期各风向累计雷达图

3 结论与讨论

(1)光肩星天牛在农田防护林中可扩散至2000多m,甚至更远。1999年观测到的最远的天牛成虫在1442m(雌),而在2000年观测到的最远的天牛成虫在2644m(雌)。以2000年为例,仅仅在不完

全统计的情况下,扩散超过 1 000 m 的标记成虫已占有回捕到天牛的 17.69%,超过 1 500 m 的标记成虫占有回捕到天牛的 7.86%,超过 2 000 m 的标记成虫占有回捕到天牛的 3.93%,所谓不完全统计,是指没有系统和计划地去回捕,只是在捕捉当地天牛时发现的。由此可见,光肩星天牛成虫的扩散距离实际上已经远远超过以前的研究记录。

(2)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,其扩散距离与数量的关系可以用数学模型 $y = 4\ 203.568\ 3x^{-1.117\ 56}$ 来表示。种群总体的平均扩散距离为 423.7 m。

(3)天牛雌虫和雄虫在扩散的方向和距离上无差异,但在回捕率上雄虫高于雌虫。

(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,或许是由于天牛飞行时需借助一定的风力有关。另外,扩散方向与风速、温度和相对湿度关系不甚密切。在立地条件差异不大的情况下,只要周围食物资源丰富,天牛成虫的扩散方向主要受风向影响。

(5)对比同类研究,在光肩星天牛成虫个体的扩散距离、种群的平均扩散距离等方面,本试验结果与以前的研究记录相差较大。认为造成这种差异的主要原因如下:第一,重要的是本试验采用了刚羽化的天牛进行标记-回捕研究,这样试验天牛便处于同等条件之下,使试验的结果更趋于合理和科学,更能反映个体和种群扩散的实际情况;第二,释放采用了专门设计的放飞台,迫使天牛必须飞行去寻找寄主、配偶等,同时也保证了其对方向的自由选择,也使得试验结果更趋于合理和科学;第三,大幅度扩大了试验区的范围,增加了回捕点数量,延长了回捕点距离,增加了回捕天牛的数量。

参考文献:

- [1] 萧刚柔. 中国森林昆虫[M]. 第二版. 北京:中国林业出版社,1992
- [2] 李国宏,高瑞桐. 不冒烟的森林“火灾”——浅谈杨树天牛危害及其防治[N]. 农民日报,1997,06-12,2版
- [3] 马世骏. 昆虫动态与气象[M]. 北京:科学出版社,1957
- [4] 温俊宝,李友常,夏乃斌,等. 杨树光肩星天牛成虫扩散格局的研究[J]. 生态学报,1998,18(3):269-277
- [5] Weeks A R, Turelli M, Hoffmann A A. Dispersal patterns of pest earth mites (Acari: Penthalaeidae) in pastures and crops [J]. Journal of Economic Entomology, 1993(5):1415-1423
- [6] 中华人民共和国民政部、建设部. 中国县情大全[M]. 北京:中国社会科学出版社,1993:577-578
- [7] 李文杰,郭承先. 杨树天牛综合管理[M]. 北京:中国林业出版社,1993
- [8] 周嘉熹,张克斌,李新岗. 黄斑星天牛综合防治的策略——理论与应用[J]. 西北农业大学学报,1988(16):65-69
- [9] 邵崇斌,周嘉熹,王宏运. 杨树蛀干害虫扩散数学模型的研究[J]. 西北林学院学报,1992,7(3),69-74
- [10] 骄有庆,黄一平,黄竞芳. 光肩星天牛自然扩散的初步研究[C]//中国林学会中国杨树委员会. 第十八届国际杨树会议论文集(中国部分). 北京:中国林业出版社,1992
- [11] Donald B Thomas, Loera-Gallardo tesas. Dispersal and longevity of mass-released, sterilized mexican fruit flies (Diptera: Tephritidae) [J]. Environmental Entomology, 1998, 27 (4): 1045-1052
- [12] 周嘉熹,张克斌. 黄斑星天牛成虫行为的研究[C]//周嘉熹,张克斌,杨世俊,等. 黄斑星天牛研究论文集(第一集). 兰州:西北地区黄斑星天牛研究协作组,甘肃省林木病虫害防治站,1985:23-36
- [13] Clark D P. An analysis of dispersal and movement in *Phaulacridium vittatum* (Sjöst.) (Acrididae) [J]. Australian Journal of Zoology, 1962,10:382-399
- [14] Freeman G H. A model relating numbers of dispersing insects to distance and time[J]. Journal of Applied Ecology, 1997,14:477-487
- [15] Fletcher B S. The ecology of a natural population of the Queensland fruit fly, *Dacus tryoni*. V. The dispersal of adults [J]. Australian Journal of Zoology, 1974,22:189-202