

doi: 10.3969/j.issn.1674-0858.2016.05.6

基于标记重捕法的沙蒿金叶甲种群扩散研究

王 杰¹, 李岳诚², 张大治^{1*}

(1. 宁夏大学生命科学学院, 银川 750021; 2. 宁夏葡萄酒与防沙治沙职业技术学院防沙治沙工程系, 宁夏永宁 750199)

摘要: 沙蒿金叶甲是沙蒿的主要害虫之一, 近年来在我国西北荒漠地区危害严重, 导致大量沙蒿死亡。本文在宁夏灵武白芨滩国家级自然保护区荒漠景观中选择了一块以沙蒿为主要建群种的实验样地, 2013 年 7 月利用标记重捕技术调查了该样地沙蒿金叶甲的种群数量变动及其扩散规律。结果显示, 该样地沙蒿金叶甲的种群总数为 1505.13 ± 1184.90 , 平均种群密度为 $4.79 \text{ 头}/\text{m}^2$, 平均存活率为 0.7605, 平均迁入率为 0.5488, 平均新增数量为 741.72 头。沙蒿金叶甲扩散距离主要集中在距中心点 0–900 cm 之间, 但在 100 cm 范围内扩散的个体最多; 扩散方位主要集中在东北方向, 向其他方位扩散数量相对较少。沙蒿金叶甲的扩散规律与其生物学特性以及沙蒿的空间分布有密切关系。

关键词: 沙蒿; 沙蒿金叶甲; 种群密度; 标记重捕; 种群扩散

中图分类号: Q965.9; S433

文献标志码: A

文章编号: 1674-0858 (2016) 05-0912-06

Population dispersion of *Chrysolina aeruginosa* based on mark-recapture method

WANG Jie¹, LI Yue-Cheng², ZHANG Da-Zhi^{1*} (1. College of Life Science, Ningxia University, Yinchuan 750021, China; 2. Department of Desertification Prevention Engineering, Ningxia Technical College of Wine and Desertification Prevention, Yongning 750199, Ningxia Hui Autonomous Region, China)

Abstract: *Chrysolina aeruginosa* (Coleoptera, Chrysomelidae) is one of the main pests of *Artemisia* spp. In recent years, this phytophagous beetle has spread rapidly throughout Northwest China, which has led to mass mortalities of *Artemisia* spp. In this paper, the population dynamics and dispersion of *C. aeruginosa* were investigated by mark-recapture method in Ningxia Lingwu Baijitan National Nature Reserve, northwest of China. The results showed that the population quantity of *C. aeruginosa* was 1505.13 ± 1184.90 . The average population density of *C. aeruginosa* was 4.79 per square meter. The average survival rate was 0.7605 and immigration rate was 0.5488. The average value of immigration was 741.72. Dispersal distances of *C. aeruginosa* were between 0–900 cm that mainly concentrated in 100 cm. *C. aeruginosa* mainly dispersed to northeast direction. The dispersal pattern of *C. aeruginosa* was closely related to its biological characteristics and the spatial distribution of *Artemisia* spp.

Key words: *Artemisia* spp.; *Chrysolina aeruginosa*; population density; mark-recapture method; population dispersion

沙蒿 *Artemisia* spp. 是我国荒漠生态系统中的重要防风固沙植物 (Huang *et al.*, 2014), 是沙地

植被的重要建群种和优势种, 能够促进土壤发育、防风固沙, 是我国荒漠生态系统中的固沙先锋植

基金项目: 国家自然科学基金 (31160435)

作者简介: 王杰, 男, 1991 年生, 硕士研究生, 研究方向为动物资源与动物生态, E-mail: 328036708@qq.com

* 通讯作者 Author for correspondence, E-mail: Zhangauothordazhi22443@163.com

收稿日期 Received: 2015-04-02; 接受日期 Accepted: 2016-04-27

物,其主要分布在流动、半流动沙地。近些年来,由于荒漠灌木林品种较为单一,造成沙蒿蛀杆害虫和食叶害虫爆发成灾(姚艳芳等,2009),使沙蒿出现衰死现象,有的地区成片死亡,草场沙化加剧,原有的固定和半固定地也向着流动化发展,对该地区生态环境造成极大的破坏,损失极为严重(张大治等,2014)。

沙蒿金叶甲 *Chrysolina aeruginosa* 是沙蒿的主要食叶害虫,其成虫取食沙蒿生长点和新叶,使茎秆不能正常生长,甚至枯萎至死(田畴等,1988)。目前,对沙蒿金叶甲已开展过生物学特性及其防治、空间分布型、种群动态等方面的研究(田畴等,1988;张治科等,2007;魏淑花等,2013a,2013b;张大治等,2014)。但是对其种群扩散规律等方面还缺乏研究。因此本研究采用多次标记重捕法,了解沙蒿金叶甲的种群密度大小,探讨沙蒿金叶甲自然种群的扩散规律,对于防治该类害虫提供一定的理论依据。

1 研究地区及研究方法

1.1 样地设置

研究区位于宁夏灵武白芨滩国家级自然保护区东北部,地理坐标 $38^{\circ}04'25.12''N - 38^{\circ}04'27.15''N$, $106^{\circ}36'22.41''E - 106^{\circ}36'44.30''E$,海拔 1300–1308 m。该区域的气候属中温带干旱气候,年均气温 $6.7^{\circ}C - 8.8^{\circ}C$,年均降雨量 206.2–255.2 mm,年均蒸发量为 2862.2 mm,荒漠化土地面积较大,生态环境十分脆弱。植被主要以人工种植沙蒿为主,布局行列整齐,纵横有序。株高 30–80 cm,盖度 30%–50%。土壤上层 10–15 cm 为沙土;下层为白僵土,土质地较坚硬。其他植被稀少。

1.2 调查方法

沙蒿金叶甲的种群数量采用的是多次标记重捕法。在样地中心区随机选一株沙蒿,以此为中,将半径为 10 m 范围内所有沙蒿进行编号,测量其高度、冠幅等数据,将该范围内沙蒿上所有沙蒿金叶甲捕捉并标记,标记后统一释放在样地中心区选择好的 1 株沙蒿上,间隔 1 d、2 d、3 d 和 4 d,进行重捕、再标记,分布用白、红、黄、蓝 4 种丙烯颜料在沙蒿金叶甲鞘翅上描点多次标

记、释放、重捕。使用自制罗盘仪测定沙蒿金叶甲迁移方位以及与中心的距离(顺时针),以正北方向为 0° ,每次统计标记过的和没有标记过的,以及被标记不同颜色的沙蒿叶甲的数量。

1.3 数据处理

根据标记和释放沙蒿金叶甲的数量状况,可以推算原来种群的大小。

其计算基本模型为(Cox, 1979):

(1) $N_i = (M_i / m_i) n_i$, 式中: N_i 为重捕取样期间第 i 日的种群大小估计值, n_i 为 i 日捕获的动物总数; M_i 为 i 日种群中标记动物的总数估计值, m_i 为 i 日捕获的动物中被标记的动物数量。

(2) $M_i = m_i + Z_i R_i / r_i$, 式中 R_i 表示第 i 天释放的标记动物数, Z_i 表示 i 天之前标记, i 天之后(不包括 i 天)重捕的数量, r_i 表示不同日期标记重捕的动物总数。

(3) $N_i = n_i + Z_i R_i n_i / (r_i m_i)$

(4) $S_{N_i} = \sqrt{N_i (N_i - n_i) \left[\frac{M_i - m_i + R_i}{M_i} \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{R_i} \right) + \frac{1 - P_i}{m_i} \right]}$,

式中 S_{N_i} 为 N_i 估值的标准差,其余同上。

(5) 重捕比率: $P = m_i / n_i$ 。

(6) 标记沙蒿金叶甲自释放日期至重捕日期,因某种情况而迁出或死亡,其存活率(ϕ_i)的估算公式为: $\phi_i = (M_i + 1) / (M_i - m_i + R_i)$

(7) 当释放沙蒿金叶甲释放日至重捕日阶段,种群中可新增加一些个体,可采用公式 $B_i = n_{i+1} - \phi_i (N_i - n_i + R_i)$

用单因素方差分析 LSD 多重比较法沙蒿金叶甲检验扩散方位及扩散距离间的差异性。数据分析使用 SPSS 18.0 统计分析软件。

2 结果与分析

2.1 沙蒿金叶甲的种群数量

沙蒿金叶甲的标记重捕情况见表 1。沙蒿金叶甲的不同次数标记重捕数据见表 2。

对标记重捕数据用(3)式、(4)式、(5)式、(6)式、(7)式进行计算,得沙蒿金叶甲的重捕比例、种群数量、存活率和新增数量等结果见表 3。

表 1 沙蒿金叶甲的标记释放数及重捕数

Table 1 The number of mark – recapture of *Chrysolina aeruginosa*

日期 (i) Date	总捕获数 (n_i) Total number of capture	总标记释放数 (R_i) Total number of mark release	重捕前面日期释放的动物数 Number of animals released from the previous day				被标记的动物总数 (m_i) Total number of animal marked
			1	2	3	4	
7 – 17	513	513					
7 – 18	504	504	328				328
7 – 20	640	640	5	249			254
7 – 23	488	488	10	54	255		319
7 – 27	–	–	3	75	40	63	181
	r_i		346	378	295	63	

表 2 沙蒿金叶甲标记重捕累计统计表

Table 2 The accumulated individual of *Chrysolina aeruginosa* by mark – recapture method

($i - 1$) 天数 Number of days	1	2	3	4
	328			
	5	254		
	10	64	319	
	3	78	118	181
$Z_{(i-1)}$	346	142	118	
	Z_2	Z_3	Z_4	

表 3 沙蒿金叶甲标记重捕的种群数量特征

Table 3 Population characteristics of *Chrysolina aeruginosa* by mark–recapture

捕获日期 (i) Date	重捕比例 (M_i) Rate of recapture	标记动物在种群中的总数 (M_i) /头 The total number of markers in the animal population	种群总数 (N_i) /头 Number of <i>C. aeruginosa</i> population	存活率 (ϕ_i) Rate of survival	新增加数量 (B_i) Number of <i>C. aeruginosa</i> new	迁入率 Immigration rate	种群密度 (头 / m ²) Population density
7 – 17	–	–	–	–	–	–	–
7 – 18	0. 6394	789. 33	1212. 88 ± 1032. 49	0. 8187	423. 25	0. 3490	3. 86
7 – 20	0. 5040	562. 07	1416. 23 ± 1180. 67	0. 5833	1060. 18	0. 7486	4. 51
7 – 23	0. 4984	1233. 03	1886. 27 ± 1341. 54	0. 8795	–	–	6. 01
7 – 27	0. 3709	–	–	–	–	–	–
平均值 ± 标准差 Mean ± SD	0. 5032 ± 0. 1097	861. 48 ± 341. 25	1505. 13 ± 1184. 90	0. 7605 ± 0. 1564	741. 72 ± 450. 38	0. 5488 ± 0. 2826	4. 79 ± 1. 10

由表 3 得知，4 次重捕比例（不计算第 1 次重捕结果）平均为 0.5032，说明每次可以稳定的重捕已标记的沙蒿金叶甲。试验种群的平均迁入率为 0.5488，7 月 18 日的迁入率最低（0.3490），存活率较高（0.8187），7 月 19–20 日的迁入率最高（0.7486），但存活率最小（0.5833）。4 次重捕的沙蒿金叶甲平均种群密度可达 4.79 头/m²。随着重捕间隔时间的增加，重捕比例按重捕日期依次递减，而种群数量与种群密度则按重捕日期依次递增，这与重捕日期的间隔天数依次增加有关。

2.2 沙蒿金叶甲的种群扩散

2.2.1 沙蒿金叶甲的扩散距离

由表 4 可知，整体上沙蒿金叶甲的扩散范围在距中心点 0–900 cm，各段扩散距离存在着显著性差异（ $F_{8,27} = 5.825$ ， $P = 0.0002$ ）。在 0–100 cm 距离间沙蒿金叶甲扩散的数量最多，平均为 189.5 头，与其他距离之间存在显著差异，其他各段距离间无显著差异。尽管沙蒿金叶甲不善于飞行，扩散速度缓慢，但从统计的数据可以看出，沙蒿金叶甲从中心向周围扩散的趋势与间隔的时间长短有关，基本成正比关系（图 1）。其个体随时间与距离的扩散方程为： $\log y = 0.315 - 0.012x - 0.015t + 0.002x \log t$ （ $R^2 = 0.49^{**}$ ），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。

表 4 沙蒿金叶甲的扩散距离
Table 4 Dispersal distance of *Chrysolina aeruginosa*

距离 (cm) Disance	重捕次数 Recapture frequency				平均数 ± 标准差 Mean ± SD
	1	2	3	4	
0–100	55	243	376	84	189.50 ± 74.6464 a
101–200	5	7	22	45	19.75 ± 9.2320 b
201–300	7	5	14	32	14.50 ± 6.1441 b
301–400	10	7	20	31	17.00 ± 5.4314 b
401–500	4	1	1	9	3.75 ± 1.8875 b
501–600	0	0	1	10	2.75 ± 2.4281 b
601–700	1	3	9	5	4.50 ± 1.7078 b
701–800	0	0	0	0	0.00 ± 0.0000 b
801–900	3	2	1	1	1.75 ± 0.4787 b
>900	0	0	0	0	0

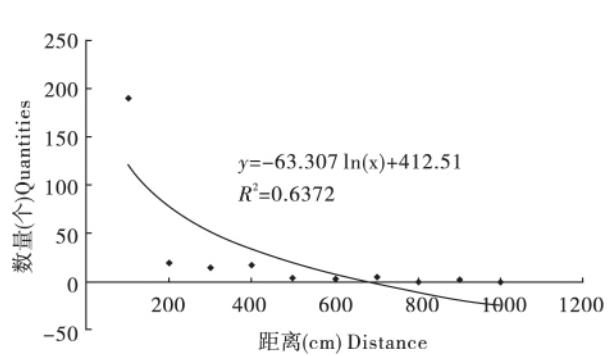


图 1 沙蒿金叶甲扩散距离与数量关系

Fig. 1 Relationship of diffusion distance and the number of *Chrysolina aeruginosa*

2.2.2 沙蒿金叶甲的扩散方位

由表 5 可知，沙蒿金叶甲向各个方位扩散整体上存在显著差异（ $F_{3,7} = 3.842$ ， $P = 0.0077$ ）。其中，0–45°和 46°–90°与其他方位之间有差异显著，46°–90°扩散数量最多，平均为 119 头，181°–225°扩散数量最少，平均为 0.25 头，两者相差 118.75 头。而其他各方位之间差异不明显。说明沙蒿金叶甲的扩散方位主要集中在东北方向，向东偏北方向扩散的数量最多（图 2）。

表5 沙蒿金叶甲扩散方位的比较
Table 5 Dispersal direction of *Chrysolina aeruginosa*

方位 (度) Direction	方向 Orientation	重捕次数及个体数量 Recapture frequency and number of individuals				平均数 ± 标准差 Mean ± SD
		1	2	3	4	
0 – 45	N	0	173	87	23	70. 75 ± 38. 7349 ab
46 – 90	NE	64	75	256	81	119. 00 ± 45. 8021 a
91 – 135	E	6	5	17	28	14. 00 ± 5. 4006 bc
136 – 180	SE	2	4	10	14	7. 50 ± 2. 7538 c
181 – 225	S	0	1	0	0	0. 25 ± 0. 2500 c
226 – 270	SW	7	0	8	16	7. 75 ± 3. 2755 c
271 – 315	W	5	15	25	52	24. 25 ± 10. 1108 bc
316 – 360	NW	1	0	6	17	6. 00 ± 3. 8944 c

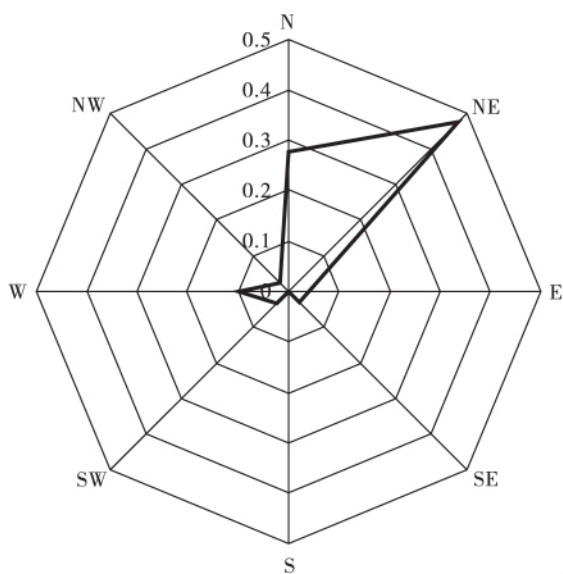


图2 沙蒿金叶甲自然扩散方向与数量关系
Fig. 2 Relationship of diffusion direction and number of *Chrysolina aeruginosa*

3 结论与讨论

3.1 影响种群数量的因素

影响沙蒿金叶甲种群数量的因素是多方面的。根据野外观察沙蒿金叶甲行为习性及其生物学特性，其很少飞行，在沙蒿株丛上爬行迁移速度十分缓慢，且距离较近，因此迁移能力较差。从生态因子方面来看，沙蒿群落从半固定沙丘向固定沙丘演替过程中，系统逐渐趋于相对稳定状态，

为沙蒿害虫尤其是钻蛀性害虫提供了更加稳定的栖息微环境，从而更有利于其发生。一些沙蒿地径粗大、新梢数量多、生境植被盖度高的生境，可为沙蒿金叶甲提供良好的生存条件（张大治等，2014）。

本试验标记重捕的间隔时间虽然较短，但据室内饲养和野外调查（田畴等，1988；魏淑花等，2013），沙蒿金叶甲在本地一年发生一代，部分成虫跨年，种群数量变动呈单峰型，在7月中下旬至8月中旬使其活动高峰期（张大治等，2014），本实验采用多次标记重捕技术对沙蒿金叶甲的种群数量进行抽样调查，通过对沙蒿金叶甲的捕捉、标记、释放、再捕捉的方法来研究其种群密度、迁入率、新增数量，这对预测沙蒿金叶甲种群的增长趋势、活动行为习性等方面具有一定的意义，该方法可以反映实验区生境斑块内沙蒿金叶甲的真实情况，可以对其种群数量进行适当估计。当然在本次调查的过程中也存在着一些标记重捕次数相对较少、生境斑块类型较单一、重复不够等方面的不足，需在今后的实验当中进行补充完善并加以改进。

3.2 影响种群扩散的因素

本实验沙蒿金叶甲主要向北、东及东北3个方向扩散，其中向东北扩散的数量最多，造成沙蒿金叶甲这样的扩散规律与生物因子和非生物都有关系。从非生物因子方面来看，扩散方位与风向有关，调查期间的实测风向为多为西南方向，而沙蒿金叶甲的扩散方位主要集中在北、东及东

北这 3 个方向, 因此可以看出, 沙蒿金叶甲顺风扩散的数量较多, 逆风扩散的数量较少。从生物因子方面来看, 与沙蒿的生态分布有密切关系。调查样地中, 偏东北方向的沙蒿株数相对较多、冠幅较大, 因此造成沙蒿金叶甲的扩散方位主要集中在偏东方向。

扩散距离主要集中在距中心点 0 – 100 cm, 这主要与沙蒿金叶甲的迁移特性有关。沙蒿金叶甲很少飞行, 多爬行, 因此迁移速度较缓慢且迁移能力较差。其次, 其扩散距离与调查重捕间隔的天数有关, 本次试验调查我们采用的方法是间隔天数依次增加的方法进行重捕, 分别间隔 1 d、2 d、3 d 和 4 d 进行统计观察, 随着间隔天数的增加, 沙蒿金叶甲的扩散距离越大, 范围越广。从沙蒿的生长状况来看, 在 0 – 100 cm 范围内的沙蒿丛中生长的嫩枝较多, 且沙蒿金叶甲有群聚的习性, 个体群的分布具有密度依赖性, 一般 3 – 5 头聚集在新枝与老枝条分叉处, 而在取食时向枝尖移动取食嫩叶和生长点。

参考文献 (References)

- Cox GW. Experimental Manual of General Ecology [M]. Beijing: Science Press, 1979, 15 – 18. [Cox GW. 普通生态学试验手册 [M]. 北京: 科学出版社, 1979, 15 – 18]
- Huang WD, Zhao XY, Zhao X, et al. Relationship between the genetic diversity of *Artemisia halodendron* and climatic factors [J]. *Acta Oecologica*, 2014, 55: 97 – 103.
- Liu JH, Zhu Y. Mark recapture techniques to study the population dynamics of orchard *Harmonia axyridis* [J]. *Journal of Biology*, 2009, 26 (4): 27 – 29. [刘军和, 朱玉. 标记重捕技术研究果
- 园异色瓢虫种群动态 [J]. *生物学杂志*, 2009, 26 (4): 27 – 29]
- Tian C, Zhao LQ, He DH, et al. Desert grassland three leaf beetle biology and control [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 1988, 5 (5): 24 – 27. [田畴, 赵立群, 贺答汉, 等. 荒漠草原三种叶甲的生物学及其防治 [J]. *中国草地学报*, 1988, 5 (5): 24 – 27]
- Wei SH, Zhu MM, Zhang R, et al. effects of temperature on the development and reproduction of *Chrysolina aeruginosa* (Coleoptera: Chrysomelidae) [J]. *Acta Entomologica Sinica*, 2013a, 56 (9): 1004 – 1009. [魏淑花, 朱猛蒙, 张蓉, 等. 温度对沙蒿金叶甲发育和繁殖的影响 [J]. *昆虫学报*, 2013a, 56 (9): 1004 – 1009]
- Wei SH, Zhu MM, Zhang R, et al. Morphology and bionomics of *Chrysolina aeruginosa* Fald [J]. *Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology*, 2013b, 54 (4): 58 – 59. [魏淑花, 朱猛蒙, 张蓉, 等. 沙蒿金叶甲形态特征及生物学特性 [J]. *宁夏农林科技*, 2013b, 54 (4): 58 – 59]
- Yao YF, Yang Q, Guo HY, et al. Investigation of two pests harmful to *Artemisia* [J]. *Inner Mongolia Forestry Investigation and Design*, 2009, 32 (4): 103 – 104. [姚艳芳, 杨芹, 郭海岩, 等. 危害沙蒿的两种蛀干害虫调查 [J]. *内蒙古林业调查设计*, 2009, 32 (4): 103 – 104]
- Zhang DZ, Zhao N, Li YC, et al. *Chrysolina aeruginosa* fald population dynamics and its impact factors in Ningdong Region of Ningxia [J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2014, 33 (2): 346 – 351. [张大治, 赵娜, 李岳诚, 等. 宁夏宁东地区沙蒿金叶甲种群动态及其影响因子 [J]. *生态学杂志*, 2014, 33 (2): 346 – 351]
- Zhang ZK, Yang CX, Gao LY. Study on the spatial distribution pattern of *Chrysolina aeruginosa* fald and its sampling technique [J]. *Journal of Northwest A & F University (Nat. Sci. Ed)*, 2007, 35 (4): 99 – 104 [张治科, 杨彩霞, 高立原. 沙蒿金叶甲空间分布型及抽样技术研究 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2007, 35 (4): 99 – 104]