柠条豆象卵和幼虫的种群动态及空间分布研究

张大治[1,2]，范玉婷[1]，陈小蔚[1]，贺达汉[2]

（1. 宁夏大学生命科学学院，银川 750021；
2. 宁夏大学农学院，银川 750021）

摘要：应用多个聚集度指标和 Iwao，Taylor 的回归分析方法，研究探讨柠条豆象卵、幼虫在宁夏盐池、灵武等 11 个样地的空间分布型。结果表明：该害虫的卵和幼虫在田间均呈聚集型的负二项分布。根据聚集均数（λ）测定结果，分析聚集原因，这种聚集主要由环境因素引起。应用 Iwao，Toylar 等进行回归分析检验，回归模型的拟合效果良好，表明柠条豆象个体间相互吸引，分布的个体成分是个体群，且与密度有关，有密度依赖性，聚集强度随种群密度的升高而增加。

关键词：生态学；柠条豆象；空间分布型；聚集度指标；为害率

中图分类号：S433　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1674-2850(2011)03-0403-8

Studies on the population dynamic and spatial distribution pattern of egg and larvae of *Kytorhinus immixtus*

ZHANG Dazhi[1,2]，FAN Yuting[1]，CHEN Xiaowei[1]，HE Dahan[2]

（1. *School of Life Science*，*Ningxia University*，*Yinchuan* 750021，*China*；
2. *School of Agriculture*，*Ningxia University*，*Yinchuan* 750021，*China*）

Abstract：Some aggregation indices，Iwao and Taylor regression analysis methods were used to determine the spatial distribution pattern of egg and larvae of *Kytorhinus immixtus* in desert landscape of Ningxia. The results showed that the spatial distribution pattern of egg and larvae of *K. immixtus* fitted a negative binomial distribution and belonged to the aggregated distribution. The reason for the aggregation was analyzed according to estimation by mean aggregation（λ）. The aggregation was caused by the environmental factors. Among the regression analysis，the linear related degree of Iwao and Taylor regression model was optimum. The aggregation intensity increased with density of population.

Key words：ecology；*Kytorhinus immixtus*；spatial distribution pattern；aggregation indices；damage rate

0 引言

柠条（*Caragana* spp.）由于其抗逆性强，对控制沙化、稳定生态平衡具有极其重要的作用，不仅是优良的防风固沙树种，而且其枝叶和花营养价值较高[1]，也是饲料林的优良树种之一。柠条上的昆虫资源丰富，达 10 目 36 科 50 多种[2]，常见的害虫有 16 种[3]，其中为害柠条种子的害虫主要有柠条豆象（*K. immixtus* Motschulsky）、豆荚螟（*Etiella zinckenella* Treitschke）和柠条种子小蜂（*Bruchophagu neocaraganae* Liao）3 种[4]。目前，柠条种子质量问题日益严重，尤其是柠条种子害虫所造成的种子减产、品质下降及经济损失十分严重，柠条种子虫害已经成为柠条种子产业化道路上的主要障碍[4~5]，是限制柠条种子发芽及幼苗生长的重要因子[6]，为此，有的学者提出了 3 种害虫幼虫的复合防治指标[7]。

空间分布型是昆虫种群的重要属性之一，目前对昆虫分布型及抽样技术研究很多，但多局限于某

基金项目：国家自然科学基金（30760045）；宁夏自然科学基金（NZ0707，NZ0926）
作者简介：张大治（1970—），男，副教授，主要研究方向：动物系统学及生态学. E-mail：zdz313@nxu. edu. cn

一阶元或某一虫态的分析报道[8]。在柠条种子害虫方面，也有针对某种虫态的关于空间分布型的报道[9~10]，其空间分布型为聚集分布[9]、负二项分布[10~12]。但是针对柠条豆象种子害虫的某一虫态的单独研究还未见报道。因此，从危害柠条种子的种实害虫柠条豆象的种群动态入手，研究其种群空间的格局，了解生活史中的弱环，为制定合适的防治策略提供理论依据，因此不论在生态学上，还是在害虫的综合防治上，都具有非常重要的意义。

1 材料与方法

1.1 样地基本概况

选择宁夏盐池县的高沙窝，灵武市的古窑子、灵新、羊场湾、枣泉，银川市贺兰山东麓冲积扇地等不同生境类型的柠条林地为调查样地，各样地调查面积均在 15 000 m^2 左右（如表 1 所示）。

表 1 调查样地基本情况表

Tab. 1 Information of the plots

编号	样地	地理坐标	海拔/m	土质条件	主要植物
1	GW02	E 106°53′12，N 38°06′05	1 404	固定沙化土	小叶锦鸡儿、紫花苜蓿
2	GY01	E 106°53′12，N 38°06′05	1 303	固定沙化土	小叶锦鸡儿、沙蒿
3	GY02A	E 106°37′47，N 38°07′05	1 285	固定沙壤土	柠条锦鸡儿、猫头刺
4	GY02B	E 106°37′46，N 38°07′10	1 297	固定沙壤土	柠条锦鸡儿、猫头刺
5	GY02C	E 106°37′51，N 38°07′15	1 300	固定沙壤土	柠条锦鸡儿、猫头刺
6	GY02D	E 106°37′48，N 38°07′16	1 299	固定沙壤土	柠条锦鸡儿、猫头刺
7	GY02E	E 106°37′59，N 38°07′21	1 301	固定沙壤土	柠条锦鸡儿、猫头刺
8	GY03	E 106°53′12，N 38°06′05	1 325	固定沙壤土	柠条锦鸡儿、刺蓬、猫头刺
9	ZQ01	E 106°32′23，N 37°55′18	1 364	固定沙丘	柠条锦鸡儿、沙冬青、沙蒿
10	YW01	E 106°35′19，N 38°02′37	1 311	半固定沙化土	柠条锦鸡儿、沙蒿、苦豆子
11	HLS	E 105°59′06，N 39°41′33	1 325	石砾冲积扇平原	小叶锦鸡儿、针茅

1.2 调查方法

调查于 2009 年 5 月至 7 月从柠条开花结荚期到豆荚成熟期进行。

为害率的调查。在每个样地中选择标准地 2 块，每块面积约 300 m×500 m，采用平行跳跃式取样法，每块标准地 10 点，每点选择标准树 3 株，每 1 株分上、中、下 3 个层次随机均匀取样，每株约采 20 枚豆荚。

种群动态研究选择标准样地一块（GY01），面积 200 m×300 m，采用对角线取样法，每隔 10 d 调查一次，选取长势一致的柠条植株 10 株，每株按照上、中、下 3 个层次取样，随机摘取 20 枚豆荚，统计豆粒内柠条豆象的数量。

空间分布型调查采用对角线取样法，在每块样地中采用平行跳跃式取样法随机抽取 200 株左右生长情况较为一致的样树，每株样树分上、中、下 3 个层次随机摘取豆荚 20 枚，带回实验室进行徒手解剖，统计每株样树种子害虫的虫口密度，并逐株记录。先后采集调查 3 次，6 样地，42 579 枚豆荚。

1.3 空间分布型测定方法

将田间调查所得数据以每块样地为 1 组，编制实察频次表，计算相应的参数，分别列出种子害虫的频次分布表，计算每块样地害虫的平均密度 m（头/豆荚）、方差 S^2 和平均拥挤度 m^*，根据理论频次分布公式求出二项分布、泊松分布、负二项分布和核心分布的理论频次，与各地样地实际调查的频次进行比较，经卡方检验根据吻合程度判断符合某种分布型。

1.4 种群聚集强度分析

利用种群聚集强度的系列指数检验种群的聚集强度[13~14]。

1）扩散系数：$C=\frac{S^2}{m}$，其中，S^2 为样本方差；m 为样本平均值。$C<1$ 为均匀分布；$C=1$ 为随机

分布；$C>1$ 为聚集分布。

2）丛生指标：$I=\frac{S^2}{m}-1$. $I<0$ 为均匀分布；$I=0$ 为随机分布；$I>0$ 为聚集分布。

3）Cassie 指标：$C_A=\left(\frac{S^2}{m}-1\right)/m$. $Ca<0$ 为均匀分布；$Ca=0$ 为随机分布；$Ca>0$ 为聚集分布。

4）负二项分布 K 指标：$K=\frac{m^2}{S^2-m}$. $K<0$ 为均匀分布；$K\rightarrow+\infty$为随机分布；$K>0$ 为聚集分布。

5）Lloyd（1967）平均拥挤度指标：$m^*=[\sum_{j=1}^{Q}X_j(X_j-1)]/(\sum_{j=1}^{Q}X_j)$，其中，$Q$为样方数；$X_j$ 为第 j 个样方中的个体数。$m^*/m<1$ 为均匀分布；$m^*/m=1$ 为随机分布；$m^*/m>1$ 为聚集分布。

6）聚集原因分析：利用 Blackith 提出的聚集均数（λ）分析某种害虫的聚集原因，公式为 $\lambda=\frac{m}{2K}\times\gamma$，其中，$\gamma$ 为自由度等于 $2K$ 时的 $\chi^2_{0.05}$值。当 $\lambda<2$ 时，表示昆虫聚集是由环境条件引起；当 $\lambda\geqslant2$ 时，表示聚集是由于昆虫本身的聚集行为所引起，或由昆虫本身的聚集行为与环境的差异性因素共同引起。

7）抽样精度检验方法：根据 $D=\frac{\sqrt{S^2/n}}{m}$（n 为取样数）计算相对抽样精度，一般 $D<0.25$ 即可满足取样要求。

利用 Excel，DPS v3.01 统计软件对所得数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 柠条豆象种群动态

2009 年 5 月至 6 月，在 GY01 样地，调查柠条豆象卵和幼虫在不同时间的发生情况，如图 1 所示。

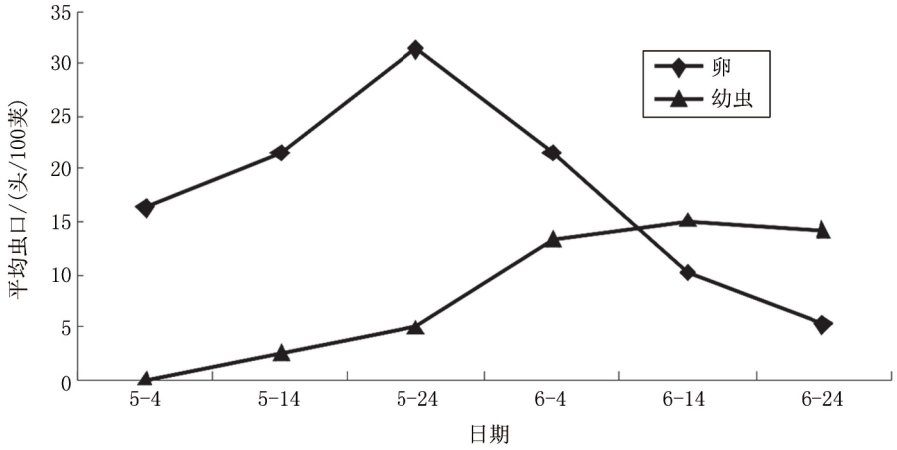

图 1 柠条豆象种群动态

Fig. 1 The population dynamic of *K. immixtus*

由图 1 可以看出，柠条豆象卵和幼虫的发生情况为：4 月底 5 月初，在柠条豆荚上可见豆象卵，产卵高峰期在 5 月下旬至 6 月上旬，随后逐渐减弱。幼虫的高峰期出现在 6 月中旬。柠条豆象的这种田间种群动态与柠条的生物学特性密切相关的。柠条始花期在 4 月下旬，5 月初以见 2～3 cm 长的豆荚，越冬代的幼虫羽化为成虫，开始在豆荚上产卵。5 月中旬达到盛花期，豆荚数量也迅速增多，早期豆荚内的幼嫩豆粒形成，为柠条豆象提供食物条件，随着卵的大量孵化，柠条豆象幼虫在 6 月初达到高峰期，以后随着柠条种子的持续发育，柠条豆象幼虫继续在豆粒中发育，并维持在一个相对稳定的水平。

2.2　柠条豆象卵及幼虫在不同样地中的为害率

利用 2009 年 5 月下旬和 6 月上旬 2 次采集的新鲜豆荚数据，对各地柠条豆象危害情况进行统计。用实体解剖镜观察产在豆荚表面的卵，幼虫通过剖开豆荚解剖豆粒检查的方法，共调查了 13 232 荚。柠条豆象在豆荚的为害率为：豆象卵（幼虫）数/豆荚总数×100%，如图 2 所示。

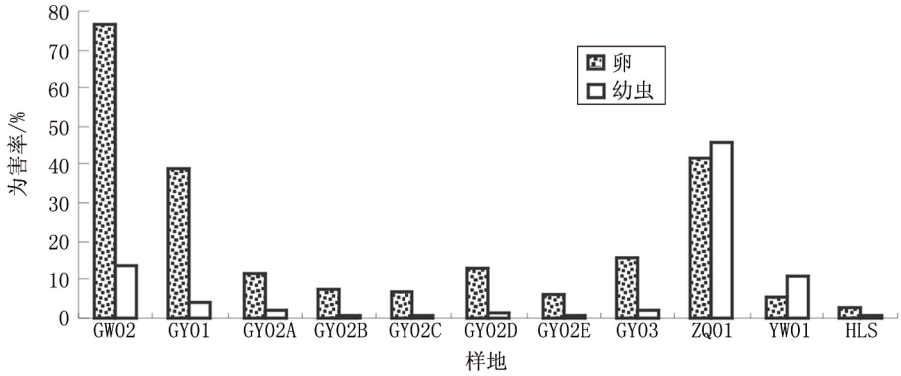

图 2　柠条豆象在 11 个样地中的为害率

Fig. 2　Damage rate of *K. immixtus* in 11 plots

图 2 反映了柠条豆象在柠条林间的为害率（豆荚被害率）在不同样地之间存在着一定的差异，卵为害率在 GW02 样地最高（76.86%），其次为 ZQ01 样地（41.68%），GY01 样地也较高（38.91%），HLS 样地的为害率最低（2.79%）；幼虫的为害率在 ZQ01 样地为最高（45.84%），其次为 GW02 样地（13.34%），HLS 样地的为害率最低（0.34%）。

2.3　柠条豆象空间分布型

将田间调查所得数据以每块样地为 1 组，根据田间调查数据，编制实察频次表，计算相关参数，整理成频次分布表，并计算出每组的平均虫口密度（m）及方差（S^2），空间分布型适合度卡方检验结果如表 2 和表 3 所示。

表 2　柠条豆象在田间的空间分布型拟合表

Tab. 2　Fitted sheet of spatial distribution pattern of *K. immixtus* in the field

样地	二项分布			泊松分布			负二项分布			核心分布		
	卵	幼虫	检验结果	卵	幼虫	检验结果	卵	幼虫	检验结果	卵	幼虫	检验结果
GW02	433.84	120.84	不符合	384.21	97.63	不符合	20.09	0.33	符合	1.28	198.58	不符合
GY01	1 678.68	1 059.88	不符合	1 258.16	370.35	不符合	10.28	2.15	符合	589.58	7.06	不符合
GY02A	134.63	680.75	不符合	108.49	154.26	不符合	0.51	0.25	符合	91.85	3.35	不符合
GY02B	113.58	24 589.11	不符合	149.99	5 099.41	不符合	3.80	2.16	符合	29.36	7.08	不符合
GY02C	100.52	1 691.24	不符合	67.86	217.98	不符合	0.83	1.89	符合	22.55	0.29	不符合
GY02D	76.27	6 725.37	不符合	52.29	724.33	不符合	9.37	0.5	符合	4.80	1.76	不符合
GY02E	152.44	1 995.06	不符合	77.21	437.43	不符合	2.87	0.17	符合	14.76	0.91	不符合
GY03	1391.21	279.38	不符合	730.61	96.13	不符合	35.35	4.93	符合	30.81	3.36	不符合
ZQ01	10 867.74	1 241.95	不符合	4 315.29	652.25	不符合	10.56	7.44	符合	88.38	20.81	不符合
YW01	141.84	248.09	不符合	79.89	158.19	不符合	2.82	6.01	符合	5.87	33.69	不符合
HLS	219.51	2 163.90	不符合	111.23	937.11	不符合	6.23	0.71	符合	1.66	53.58	不符合

对柠条豆象在 11 块样地空间分布型适合度进行卡方检验，结果显示泊松分布、核心分布、二项分布的适合度 χ^2 值均远大于相应自由度下 $\chi^2_{0.01}$ 的值，表明柠条豆象卵、幼虫在柠条林间的分布概率小于 0.01，即该虫极不适合这 3 种分布型。除 GW02 样地和 GY03 样地柠条豆象卵负二项分布的适合度卡方值接近或稍大于相应自由度下 $\chi^2_{0.01}$ 的值，其他样地负二项分布的适合度卡方值均小于相应自由度下

$\chi^2_{0.05}$的值，表明柠条豆象在田间分布属于负二项分布的概率大于 0.05，即该虫田间分布特征符合负二项分布型。

2.4 种群聚集强度指标

对调查样点数据整理计算，分别采用 6 种不同的聚集度指标判断空间分布格局，如表 3 所示。

表 3 柠条豆象种群空间分布型相关指标参数

Tab. 3 Index parameter of population spatial distribution pattern of *K. immixtus*

	样地号	m/(头/荚)	S^2	m^*	C_A	C	K	m^*/m	I	λ	D
卵	GW02	1.930 0	20.409 2	11.505	4.961	10.575	0.202	5.961	9.575	0.738	0.166
	GY01	4.760 0	44.002 4	13.004	1.732	9.244	0.577	2.732	8.244	3.139	0.099
	GY02A	1.900 0	9.383 8	5.839	2.073	4.939	0.482	3.073	3.939	1.193	0.114
	GY02B	1.550 0	5.785 4	4.283	1.763	3.733	0.567	2.763	2.733	1.018	0.110
	GY02C	1.690 0	5.589 8	3.998	1.365	3.308	0.732	2.365	2.308	1.176	0.099
	GY02D	2.580 0	6.629 9	4.150	0.608	2.570	1.644	1.608	1.570	2.060	0.071
	GY02E	1.180 0	3.421 8	3.080	1.610	2.900	0.621	2.610	1.900	0.792	0.111
	GY03	3.290 0	13.399 9	6.363	0.934	4.073	1.071	1.934	3.073	2.455	0.079
	ZQ01	8.140 0	58.444 8	14.320	0.759	7.180	1.317	1.759	6.180	6.277	0.066
	YW01	1.100 0	3.060 6	2.882	1.620	2.782	0.617	2.620	1.782	0.737	0.112
	HLS	0.525 3	1.496 8	2.375	3.521	2.849	0.284	4.521	1.849	0.264	0.165
幼虫	GW02	1.500 0	8.434 3	6.123	3.082	5.623	0.324	4.082	4.623	0.808	0.137
	GY01	0.390 0	1.412 0	3.011	6.719	3.621	0.149	7.719	2.621	0.093	0.215
	GY02A	0.210 0	0.470 6	1.451	5.909	2.241	0.169	6.909	1.241	0.064	0.231
	GY02B	0.120 0	0.510 7	3.376	27.132	4.256	0.037	28.132	3.256	0.000	0.421
	GY02C	0.200 0	0.464 6	1.523	6.615	2.323	0.151	7.615	1.323	0.049	0.241
	GY02D	0.140 0	0.323 6	1.451	9.367	2.311	0.107	10.367	1.311	0.003	0.287
	GY02E	0.160 0	0.438 8	1.903	10.891	2.743	0.092	11.891	1.743	0.000	0.293
	GY03	0.290 0	0.692 8	1.679	4.790	2.389	0.209	5.790	1.389	0.115	0.203
	ZQ01	5.180 0	25.785 5	9.158	0.768	4.978	1.302	1.768	3.978	3.988	0.069
	YW01	2.230 0	9.492 0	5.487	1.460	4.257	0.685	2.460	3.257	1.531	0.098
	HLS	0.130 0	0.700 1	4.515	33.734	5.385	0.030	34.734	4.385	0.000	0.455

表 3 的测定结果显示：以平均拥挤度与平均密度的比值（m^*/m）作为聚集度指标，在几个样地中的柠条豆象均呈聚集分布。其他各项指标均达到 $C>1$，$I>1$，$k>0$，$C_A>0$，$m^*/m>1$，均符合聚集分布的检验标准，表明在 11 块样地中柠条豆象卵、幼虫的空间分布型表现一致，均呈聚集分布格局。K 是昆虫种群聚集的特征指数，估计种群聚集度指标时，K 值越小，种群聚集度越大，K 值越大，聚集度越小，若 K 值趋于∞（一般在 8 以上）时，则逼近泊松分布[15]。由表 3 可以看出：柠条豆象的卵、幼虫的聚集度指标 K 值均小于 8，因此其分布型均不符合泊松分布，不表现为均匀分布。计算负二项分布公共 K 值，判断其是否符合负二项分布。经过计算，柠条豆象卵块的公共 K 值为 0.575 7，经 χ^2 检验（df=10，χ^2=131.63），其差异不显著（$P>0.05$）；幼虫的公共 K 值为 0.355 15，经 χ^2 检验（df=10，χ^2=980.46），其差异不显著（$P>0.05$）。因此，柠条豆象卵、幼虫的分布型均符合负二项分布，表现为聚集分布，即柠条豆象种群的卵、幼虫的分布型均符合负二项分布，表现为聚集分布。

从柠条豆象的公共 K 值大小看，卵的公共 K 值（K=0.575 7）大于幼虫的公共 K 值（K=0.355 15），即卵的密度最高，拥挤度最大，聚集度最大，而幼虫次之；这一变化趋势也与卵、幼虫统计所得的平均拥挤度一致。这一变化趋势完全符合柠条豆象种群生命曲线变化情况，即从卵孵化到幼虫再继而发展到蛹和成虫，其种群数量逐渐减少。

2.5 空间格局的基本成分

将各样地的调查数据进行 m^*-m 回归分析，依据表 3 中各调查田块的平均数（m）和方差（S^2），通过公式 $m^*=m+(S^2/m-1)$ 计算得到各田块的平均拥挤度(m^*)，如表 3 所示。

根据 Iwao 提出的回归方程 $m^*=\alpha+\beta m$ 计算得到柠条豆象卵的线性回归方程为 $m^*=2.236\ 95+1.647\ 42m$（$r=0.827\ 3$），对柠条豆象卵的回归关系进行方差分析表明：空间的回归关系极显著（$F=19.52$，$P=0.001\ 7<0.01$）；柠条豆象幼虫的线性回归方程为 $m^*=2.244\ 18+1.420\ 84m$（$r=0.888\ 9$），对柠条豆象幼虫的回归关系进行方差分析表明：幼虫空间的回归关系极显著（$F=33.90$，$P=0.000\ 3<0.01$）。由于回归方程无论是卵还是幼虫，其 $\alpha>0$，且 $\beta>1$，说明柠条豆象个体间相互吸引，种群分布的基本成分为个体群，分布的基本成分为聚集分布。

利用 Taylor 的幂法则检验，得出柠条豆象卵的对数回归方程为 $\lg S^2=0.512\ 92+1.411\ 18\cdot\lg m$（$r=0.934\ 4$）、幼虫的对数回归方程为 $\lg S^2=0.596\ 45+1.147\ 36\cdot\lg m$（$r=0.978\ 6$），当自由度为 9 时，$r_{0.01}=0.735$，$r>r_{0.01}$，线形相关为极显著，因此线性方程可靠。方程中 $\lg a>0$，$b>1$，表明柠条豆象卵和幼虫在所有虫口密度下的空间分布均为聚集分布，并具有密度依赖性，也就是说种群密度越高，分布越聚集。

2.6 聚集原因分析

由负二项分布所表示的昆虫种群在空间的聚集原因，它既能由于昆虫的聚集习性活动形成，又可由于环境的差异形成。应用 Blackith 的种群聚集数（λ），检验柠条豆象的聚集原因（如表 3 所示）。根据 Blackith 的种群聚集数（λ）判定标准，当 $\lambda<2$ 时，种群的聚集可能是由某些环境作用引起的，当 $\lambda\geqslant2$ 时，其聚集是由种群自身行为和环境因素中任一因子引起。在 11 个样地中，卵块分布的 GY01，GY02D，GY03，ZQ01 样地的 $\lambda>2$，幼虫分布的 ZQ01 样地 $\lambda>2$，说明卵的聚集是由于昆虫行为习性所造成的，即成虫在产卵期间，产下大量的卵均系由于彼此接近的原因所致。其余各样地均 $\lambda\leqslant2$，表明柠条种子害虫在田中呈聚集分布主要是由环境条件所致。将卵块平均密度与聚集均数进行回归分析，得回归方程为 $\lambda=-0.227+0.780\ m$（$r=0.99$），对回归关系进行方差分析表明：回归关系极显著（$F=458.3$，$P=0.000<0.01$）；将幼虫平均密度与聚集均数进行回归分析，得回归方程为 $\lambda=-0.144\ 166+0.780\ 743\ m$（$r=0.99$），对回归关系进行方差分析表明：回归关系极显著（$F=1\ 777.2$，$P=0.000<0.01$）。通过以上分析可以看出柠条豆象的卵、幼虫在柠条树上的聚集原因除与柠条豆象聚集产卵的习性和环境因素外，还与虫口密度有密切关系，随虫口密度的增大聚集原因与自身聚集产卵习性的关系越明显。

3 讨论与结论

空间分布型是昆虫种群的重要属性之一，是该种群在空间相对静止的分布状况，揭示的是因种群密度变化而产生的分布变化、重要环境变量对分布的影响、空间动态与数量动态的关系等[13]。研究结果表明：柠条豆象卵发生的高峰期在 5 月下旬至 6 月上旬，幼虫发生高峰期在 6 月中旬。柠条豆象卵、幼虫的空间分布图式是聚集的，分布的基本成分是个体群，空间分布基本符合负二项分布。这是柠条豆象的生物学特性与特定条件相互作用、协同进化的结果。

就柠条豆象对不同柠条种类危害而言，罗于洋等[7]认为小叶锦鸡儿虫害率最高，中间锦鸡儿次之，柠条锦鸡儿最低。研究结果显示：在柠条不同品种之间无明显差异。如何确定柠条种子害虫的防治指标[7]，究竟是用卵量来确定合适还是用幼虫数来确定合适，对柠条豆象而言，其卵产于豆荚表面，且具有一定的粘性，不易脱落，容易观察，因此以卵量来确定防治指标应该是比较稳妥的，如果以幼虫数作为防治指标，在抽样调查中往往因为柠条豆象幼虫蛀荚后从豆脐处直接钻入豆粒中，从豆粒外观无法发现，造成剥查困难，此时防治由于受到豆荚、豆粒双重保护，很难用药物将其处死。因此分布在豆荚外的卵应该是其生活史中的弱环，将卵量作为调查对象来确定防治指标应该是可行的。

种群空间分布格局是生物群落中各种内外因素相互作用最直接的反应结果，不仅与物种的生物学特性和种群间的竞争排斥有关，而且与物种的生境（包括土壤、地形、地貌等）有密切的联系，这也是种群对生境长期适应的表现。有研究认为柠条种子害虫虫口密度及其危害程度与林地土壤类型关系

紧密[15]。研究发现：柠条豆象的为害率与周围植被环境、柠条林的生存年限、土壤类型有密切关系。在 ZQ01 样地、GW02 样地为害率相对较高，这是可能与 ZQ01 样地位于白芨滩自然保护区的核心区，为固定沙丘生长的天然柠条林，柠条生长年代久远（绝大部分 20 年以上）、树冠较大（3～5 m）、外界的干扰较少、植被较为单一化，这为柠条豆象幼虫顺利越冬和羽化提供了有利条件；GW02 样地为柠条林（宽幅 5 m）与紫花苜蓿（宽幅 10 m）套种，柠条种子成熟时紫花苜蓿生长高度有的与柠条等高，有的达到柠条林高度的 2/3，这种茂密的植被为柠条豆象提供了天然屏障，加之植被单一，所以寄生率较高。HLS 样地为害率最低，这主要是因为该样地是以有大小不等的石砾为主的冲积扇平原，柠条为人工种植，年限短（4～5 年左右），高度低（1.0～1.5 m）、冠幅小（0.8～1.2 m），周边以小型禾本科植物散布，基本无其他豆科植物。GY02 样地、GY03 样地是人工开垦荒漠草原后种植的柠条林（7～9 年），土壤为沙壤土，土质较硬，周边仍然是以猫头刺为主的荒漠草原，人类活动频繁，所以为害率相对较低。

另外，在田间进行昆虫抽样调查时，对某种昆虫种群究竟应该抽取多少样本为宜，抽样太少，没有代表性，会使结果不准确；抽样太多，会浪费人力、物力和时间。因此确定适宜的抽样数量，不仅关系到实验结果的正确程度和调查资料的可靠置信水平，而且关系到是否能够最经济、最合理地使用人力和物力的问题。一般来说，理论抽样数的多少，依赖于空间分布图式、置信水准和允许误差以及种群密度 3 个因素[16]。根据文献[17]中的观点，害虫在田间呈聚集分布而寄主带状种植的情况应该采用的最适抽样方法是分行取样法。从本研究来看，采用对角线法的平行跳跃式抽样，经检验抽样精度符合要求，因此，在进行林间调查估计卵、幼虫密度时应这种取样方法是可行的。

致谢

宁夏大学硕士研究生李岳诚、陈曦、孙晓雪，本科生李晓弟、李建华、宁利静、张燕飞、穆红、姚德林等同学参加了野外调查及部分室内工作，在此谨表感谢。

[参考文献] (References)

[1] 王峰，温学飞，张浩. 柠条饲料化技术及应用[J]. 西北农业学报，2004，13 (3)：143-147.
WANG F，WEN X F，ZHANG H. Feed processing technology and application of *Caragana*[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica，2004，13 (3)：143-147. (in Chinese)

[2] 杨彩霞，高立原. 宁夏固沙植物柠条昆虫资源的调查[J]. 中国沙漠，2000，20 (4)：461-463.
YANG C X，GAO L Y. Investigation of insect resources of *Caragana korshinskii* in Ningxia[J]. Journal of Desert Research，2000，20(4)：461-463. (in Chinese)

[3] 牛西午. 柠条病虫害防治技术研究[A]. 柠条研究论文集[C]. 太原：山西科学技术出版，2003. 150-155.
NIU X W. Caragana pest control technology[A]. Caragana Research Papers[C]. Taiyuan：Shanxi Science and Technology Press，2003. 150-155. (in Chinese)

[4] 杨彩霞，高立原. 宁夏固沙植物柠条种实害虫的初步研究[J]. 宁夏农林科技，1997 (5)：7-8.
YANG C X，GAO L Y. Preliminary study of pod insect infesting sand-fixation plant *Caragana korshinskii* in Ningxia[J]. Journal of Agriculture and Forestry Science and Technology of Ningxia，1997(5)：7-8. (in Chinese)

[5] 罗于洋，金花，王树森. 内蒙古西部干旱区柠条种子害虫田间种群消长规律及其幼虫种群发育进程研究[J]. 西北林学院学报，2009，24 (3)：112-117.
LUO Y Y，JIN H，WANG S S. Population fluctuation patterns and larvae development of *Caragana microphylla* seed pests in arid area of west inner mongolia[J]. Journal of Northwest Forestry University，2009，24(3)：112-117. (in Chinese)

[6] 陈应武，李新荣，张景光，等. 昆虫寄生对柠条种子命运的影响[J]. 中国沙漠，2006，26 (6)：1015-1019.
CHEN Y W，LI X R，ZHANG J G，et al. Insect infestation and its effect on seed fate of *Caragana korshinskii*[J].

Journal of Desert Research，2006，26(6)：1015-1019.（in Chinese）

[7] 罗于洋，李青丰，金花. 柠条种子害虫复合防治指标的确定[J]. 华北农学报，2005，20（6）：88-92.
LUO Y Y，LI Q F，JIN H. Definition on integrated control index of *Caragana* seed pest[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica，2005，20(6)：88-92.（in Chinese）

[8] 李建庆，杨忠岐，张雅琳，等. 杨树上云斑天牛种群的空间格局及抽样技术[J]. 昆虫学报，2009，52（8）：860-866.
LI J Q，YANG Z Q，ZHANG Y L，et al. Spetial distribution pattern and sampling technique for *Batocera horsfieldi* (Coleoptera：Cerambycidae) in poplar[J]. Acta Entomologica Sinica，2009，52(8)：860-866.（in Chinese）

[9] 罗于洋，李青丰，金花. 柠条种子害虫幼虫空间分布型及抽样技术研究[J]. 西南林学院学报，2006，21（2）：97-99.
LUO Y Y，LI Q F，JIN H. Study on spatial distribution model and sampling method of *Caragana microphylla* seed pest larvas[J]. Journal of Northwest Forestry University，2006，21(2)：97-99.（in Chinese）

[10] 蒋佩兰，杨志华，李志坚，等. 豆荚螟的空间分布与抽样技术研究[J]. 江西植保，1996，19（4）：4-7.
JIANG P L，YANG Z H，LI Z J，et al. Study on spatial distribution model and sampling method of *Etiella zinckenella*[J]. Jiangxi Plant Protection，1996，19(4)：4-7.（in Chinese）

[11] 邹立杰，刘乃生，贺存毅，等. 柠条坚荚斑螟的研究[J]. 中国森林病虫，1989（3）：6-8.
ZOU L J，LIU N S，HE C Y，et al. The studies of *Asclerobia sinensis*[J]. Forest Pest and Disease，1989(3)：6-8.（in Chinese）

[12] 邹立杰，刘乃生，何飞月，等. 柠条豆象的研究[J]. 中国森林病虫，1989（4）：1-3.
ZOU L J，LIU N S，HE F Y，et al. The studies of *Kytorhinus immixtus*[J]. Forest Pest and Disease，1989(4)：1-3.（in Chinese）

[13] 徐汝梅. 昆虫种群生态学[M]. 北京：北京师范大学出版社，1987.
XU R M. Insect population ecology[M]. Beijing：Beijing Normal University，1987.（in Chinese）

[14] 丁岩钦. 昆虫种群学生态学原理与方法[M]. 北京：科学出版社，1980.
DING Y Q. Principle and methods of insect population ecology[M]. Beijing：Science Press，1980.（in Chinese）

[15] 郑文翰. 榆林地区柠条种实害虫调查初报[J]. 陕西林业科技，1989（4）：78-80.
ZHENG W H. Preliminary report seed pest of *Caragana microphylla* in Yulin[J]. Shaanxi Forest Science and Technology，1989(4)：78-80.（in Chinese）

[16] 戈峰. 昆虫生态学原理与方法[M]. 北京：高等教育出版社，2008.
GE F. Principle and methods of insect ecology[M]. Beijing：Higher Education Press，2008.（in Chinese）

[17] 袁庆华，张卫国，贺春贵. 牧草病虫鼠害防治技术[M]. 北京：化学工业出版社，2004.
YUAN Q H，ZHANG W G，HE C G. Pasture，pest and rodent control techniques[M]. Beijing：Chemical Industry Press，2004.（in Chinese）