昆虫知识 *Chinese Bulletin of Entomology* 2010,47(6):1179 ~ 1188

荒漠景观下柠条豆象的空间分布及其对景观斑块格局的反应*

张大治[1,2,3]** 陈小蔚[2] 贺达汉[1,3]*** 范玉婷[2]

(1. 宁夏大学农学院 银川 750021;2. 宁夏大学生命科学学院 银川 750021;
3. 宁夏大学西北退化生态系统恢复与重建省部共建教育部重点实验室 银川 750021)

The spatial pattern of *Kytorhinus immixtus* and its response to desert landscape pattern in Ningxia.

ZHANG Da-Zhi[1,2,3]**, CHEN Xiao-Wei[2], HE Da-Han[1,3]***, FAN Yu-Ting[2] (1. *School of Agriculture*, *Ningxia University*, Yinchuan 750021, China; 2. *School of Life Science*, *Ningxia University*, Yinchuan 750021, China;3. *Key Laboratory for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in Northwestern China of Ministry of Education*, *Ningxia University*, Yinchuan 750021,China).

Abstract *Kytorhinus immixtus* Motschuleky is a seed pest of Caragana. Using some aggregation indices,and the Iwao and Taylor regression analysis methods, the spatial distribution patterns of egg and larvae,and the damage ratio of *K. immixtus* in 11 desert landscape patches in Ningxia, were surveyed and analyzed. The results show that the spatial distribution *K. immixtus* was aggregated and approximated a negative binomial distribution. The Iwao model of egg and larvae of *K. immixtus* were $m^* = 2.23695 + 1.64742m$ ($r = 0.8273$) and $m^* = 2.24418 + 1.42084m$ ($r = 0.8889$), and the Taylor's power model of egg and larvae of *K. immixtus* were $\log S^2 = 0.51292 + 1.41118\log m$ ($r = 0.9344$) and $\log S^2 = 0.59645 + 1.14736\log m$ ($r = 0.9786$). The basic component of distribution was individual population. Analysis based on estimation of the mean aggregation (λ) suggests that this aggregation landscape pattern and interspecific competition. The aggregation intensity increased with density of population. The regression analysis showed that it is not significantly a correlation between patch area and damage ration of *K. immixtus* ($R^2 = 0.1995$) in desert landscape. A principal components analysis showed that the soil type, and survival of Caragana were major factors affecting the damage ration of *K. immixtus*.

Key words *Kytorhinus immixtus*, spatial distribution pattern, aggregation indices, damage ratio, desert landscape pattern

摘 要 柠条豆象 *Kytorhinus immixtus* Motschulsky 是危害柠条种子的主要种实害虫之一。本文应用了多个聚集度指标和回归分析方法,研究探讨了柠条豆象卵、幼虫在宁夏盐池、灵武、银川等荒漠景观中 11 个生境斑块中的空间分布型及种群对景观斑块格局的反应情况。结果表明:在 11 个景观样地中,柠条豆象卵和幼虫在各种生境斑块中均呈聚集型的负二项分布;卵和幼虫空间分布的 Iwao 回归方程分别为 $m^* = 2.23695 + 1.64742m$ ($r = 0.8273$) 和 $m^* = 2.24418 + 1.42084m$ ($r = 0.8889$)、Taylor 幂模型分别为 $\log S^2 = 0.51292 + 1.41118\log m$ ($r = 0.9344$) 和 $\log S^2 = 0.59645 + 1.14736\log m$ ($r = 0.9786$),种群分布的基本成分为个体群,个体间相互吸引,有密度依赖性,聚集主要由环境因素和种间竞争引起的,聚集强度随种群密度的升高而增加。在荒漠景观下,柠条豆象的种群发生与寄主植物的种类、在斑块内的分布

* 资助项目:国家自然科学基金(30760045)、宁夏自然科学基金(NZ0926)。

** E-mail:zdz313@nxu.edu.cn

*** 通讯作者,E-mail:hedahan@163.com

收稿日期:2010-01-15,修回日期:2010-05-26

格局有着密切的关系，与斑块面积相关性较低（R^2 = 0.1995）。主成分分析显示柠条林生长的土壤类型、生长方式是影响柠条豆象寄生的主要因素。

关键词　柠条豆象，空间分布型，聚集度指标，为害率，荒漠景观格局

种群的空间生态学仍然是生态学的研究热点之一，种群在空间相对静止的散布状况揭示了种群个体某一时刻的行为习性和各种环境因子的迭加影响、种群选择栖境的内禀特性和空间结构的异质性程度[1]。传统统计学一直是种群空间分布的主要研究手段，但是人们已经清楚地认识到生物种类的发生、种群密度与动态、营养关系、群落结构都依赖着空间尺度而变化[2~8]。不同空间、不同类型的景观斑块，可以为不同的物种提供适合的生境，景观斑块的格局、尺度及过程影响种群动态、不同营养级之间的相互作用[9]和空间分布格局[10]。并且越来越多的研究着眼于景观结构如何影响生物多样性？在不同的景观格局中初级生产者－植食性昆虫－天敌之间的相互作用存在怎样的关系？多功能景观如何改善生物多样性？以及景观生态学与保护性害虫生物防治的相互关系[10]等。在人工对土地利用所形成的人工生态系统中，往往形成了“马赛克”式破碎化的景观斑块格局，这种破碎化斑块格局能引起昆虫种类及种群密度的变化。在荒漠草原景观中，进而影响生物多样性的变化。在荒漠草原景观中，探讨破碎化生境对草原昆虫群落和种群发生的影响，以及破碎化生境对昆虫种间关系的影响机制将是今后进行草原生物多样性保护的重要基础和深入研究的方向之一[11]。

柠条豆象 *Kytorhinus immixtus* Motschulsky 是柠条种子主要的害虫之一[12,13]，使柠条种子减产、品质下降，是柠条种子产业化道路上的主要障碍[14,15]。目前对其空间分布型的研究已报道有的为聚集分布[16]、有的为负二项分布[17]，但基本都是某一虫态在某一田块中的静态描述。那么在荒漠景观下，柠条豆象不同虫态它们的空间分布型是否一致？空间尺度的不同、景观异质性的差异，是否影响其空间分布？它的种群发生对寄主植物在生境异质性方面究竟具有什么样的反应？沙生植物的空间分布对食种子昆虫种群的发生究竟有何影响？目前还未见报道。因此研究柠条豆象在荒漠草原景观中柠条林的不同斑块格局中的空间分布型以及对不同斑块格局的种群发生的反应，探讨景观多样性、柠条林斑块格局对柠条豆象种群发生的影响机制，对于开展人工防风固沙柠条林合理化布局、有效防止该类害虫发生及可持续农业生产的发展具有重要的意义。

1　材料与方法

1.1　样地选择及样地景观基本概况

研究地点位于宁夏中东部的荒漠草原地区，地理位置为 N 37°55′~38°41′，E 105°59′~106°53′，海拔 1 285~1 402 m。共调查了 11 块样地（斑块），分布在盐池县的高沙窝（斑块 1）、灵武市的灵新（斑块 2）、古窑子（斑块 3~8）、枣泉（斑块 9）、羊场湾（斑块 10）及银川市的贺兰山东麓（斑块 11）等荒漠半荒漠不同生境类型的天然或人工栽植柠条林地。由于斑块边界是以柠条林分布的边缘为边界，所以在外观上明显区别于其周围植被。斑块 1 为呈条带状分布的柠条林与紫花苜蓿套种景观，斑块 2 中柠条稀疏散生，景观内无其它灌木及乔木，斑块 3~8 中柠条呈条带状分布，景观内无其它灌木及乔木，斑块 9~11 为柠条与其他灌木、乔木混生，且较稀疏分布。在这 11 个斑块中，面积最小的为1 689 m^2，最大的为55 436 m^2。两斑块之间的距离最远的（斑块 1 与斑块 11）相距约 100 km，最近的（斑块 3 与斑块 6）相距 15 m。各斑块的分布情况见图 1。

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。选择不同荒漠景观格局下的人工种植、天然散生的纯柠条林及柠条与其他乔木、灌木混生的柠条林等样地，采用平

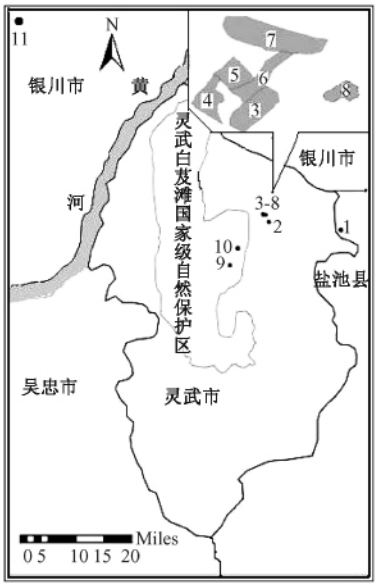

图 1　景观样地斑块分布格局

行跳跃式取样法[16]在每块样地中随机抽取 100 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,共 20 枚。豆荚带回实验室进行徒手解剖,镜检统计害虫的虫口密度,并逐株记录。先后采集调查 3 次。

对每一个调查斑块利用 GPS、皮尺等测绘工具进行人工实地测量,测量该斑块的面积、周长及形状,并调查斑块周边生境情况。样地中植物群落调查采用 2 m × 2 m 样方,统计植物群落的密度、多度、盖度等。

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,计算每块样地害虫的平均数(m)、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空间分布型、聚集强度[17~19]。

(1)扩散系数 C:$C = \frac{S^2}{m}$。其中,S^2 表示样本方差,m 表示样本平均值。$C < 1$ 为均匀分布;$C = 1$ 为随机分布;$C > 1$ 为聚集分布。

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

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

(4)回归检验

Iwao 方法:回归方程为 $m^* = \alpha + \beta m$,其中 α 为分布基本成分的平均拥挤度。当 $\alpha = 0$ 时,分布的基本成分为单个个体,$\alpha > 0$ 时,基本成分是个体群,说明个体间相互吸引,当 $\alpha < 0$ 时,基本成分是个体,个体间相互排斥;β 为基本成分的空间分布型,$\beta = 1$ 为随机分布,$\beta > 1$ 为聚集分布,$\beta < 1$ 为均匀分布。

Taylor 方法:回归方程为 $\log S^2 = \log a + b\log m$,当 $\log a = 0$,$b = 1$ 时为随机分布;$\log a > 0$,$b = 1$ 时为聚集分布,但不依赖于密度;当 $\log a > 0$,$b > 1$ 时为聚集分布,但依赖于密度;当 $\log a < 0$,$b < 1$ 时为均匀分布。

(5)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:$\lambda = \frac{m}{2K} \times \gamma$。式中 m 为平均密度,K 为负二项分布 K 值,γ 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 $\lambda \geqslant 2$ 时,表明聚集是由于昆虫本身的聚集行为所引起,或因昆虫本身的聚集行为与环境的差异性因素共同引起。

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

利用 EXCEL、DPS v7.05 统计软件对所得

数据进行分析处理。

2 结果与分析

2.1 柠条豆象种群在不同景观中的空间分布

2.1.1 空间分布型 根据田间调查数据以每块样地为 1 组，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）（表 1），进行空间分布型适合度卡方检验。

根据表 1 结果，对柠条豆象在 11 块景观样地空间分布型进行适合度卡方检验，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 $\chi^2_{0.01}$ 时的值，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。负二项分布的适合度卡方值均小于相应自由度下 0.05 水平的卡方值，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，即柠条豆象卵、幼虫不管在纯柠条林还是在与其他树种混生的柠条林景观中，其分布特征均符合负二项分布型，与景观斑块的面积、景观要素无明显关系。

表 1 柠条豆象卵及幼虫在各景观样地中田间分布的平均密度及方差

斑块		斑块 1	斑块 2	斑块 3	斑块 4	斑块 5	斑块 6	斑块 7	斑块 8	斑块 9	斑块 10	斑块 11
	面积（m^2）	12 206	40 672	3 158	2 195	1 930	2 176	8 579	1 689	55 436	27 745	4 800
	海拔（m）	1 304	1 303	1 285	1 297	1 300	1 299	1 301	1 325	1 364	1 311	1 402
卵	平均虫口密度（m）	1.93	4.76	1.90	1.55	1.69	2.58	1.18	3.29	8.14	1.10	0.5253
	方差（S^2）	20.4092	44.0024	9.3838	5.7854	5.5898	6.6299	3.4218	13.3999	58.4448	3.0606	1.4968
幼虫	平均虫口密度（m）	1.50	0.39	0.21	0.12	0.20	0.14	0.16	0.29	5.18	2.23	0.13
	方差（S^2）	8.4343	1.4120	0.4706	0.5107	0.4646	0.3236	0.4388	0.6928	25.7855	9.4920	0.7001

2.1.2 种群聚集强度指标 对各景观样地调查数据整理计算，分别采用 6 种不同的聚集度指标判断空间分布格局（表 2）。

表 2 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 11 个景观样地斑块中，无论是卵还是幼虫，其 m^*/m 的比值均大于 1，表明柠条豆象均呈聚集分布。其他各项指标如扩散系数 $C>1$，丛生指标 $I>1$，$K>0$，$Ca>0$，均达到符合聚集分布的检验标准，表明在不同景观格局中，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 ∞ 时（一般在 8 以上时），则逼近 Poisson 分布。由表 2 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 Poisson 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 0.5757，经 χ^2 检验（$df=10$，$\chi^2=131.63$），其差异不显著（$P>0.05$）；幼虫的公共 K 值为 0.35515，经 χ^2 检验（$df=10$，$\chi^2=980.46$），其差异不显著（$P>0.05$）。因此，柠条豆象卵块、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、幼虫的分布型在不同景观格局中，均符合负二项分布，表现为聚集分布。

从柠条豆象的公共 K 值的大小看，卵的公共 K 值（$K=0.5757$）大于幼虫的公共 K 值（$K=0.35515$），即卵的密度最高，拥挤度最大，聚集度最大，而幼虫次之；这一变化趋势完全符合柠条豆象种群的生命曲线变化情况，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。

2.1.3 空间分布格局的回归检验 根据 Iwao 的回归方程计算得到柠条豆象卵的线性回归方程为 $m^*=2.23695+1.64742m$（$r=0.8273$），幼虫的线性回归方程为 $m^*=2.24418+1.42084m$（$r=0.8889$），对柠条豆象卵、幼虫的回归关系进行方差分析表明，空间的回归关系极显著（卵：$F=19.52$，$P=0.0017<0.01$；幼

虫:$F = 33.90$,$P = 0.0003 < 0.01$)。卵和幼虫的回归方程其 $\alpha > 0$,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,得出柠条豆象卵和幼虫的对数回归方程分别为 $\log S^2 = 0.51292 + 1.41118\log m$ ($r = 0.9344$),$\log S^2 = 0.59645 + 1.14736\log m$ ($r = 0.9786$),当自由度为 9 时,$r_{0.01} = 0.735$,$r > r_{0.01}$,线形相关为极显著,所以线性方程可靠。方程中 $\log a > 0$,$b > 1$,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(图 2)。

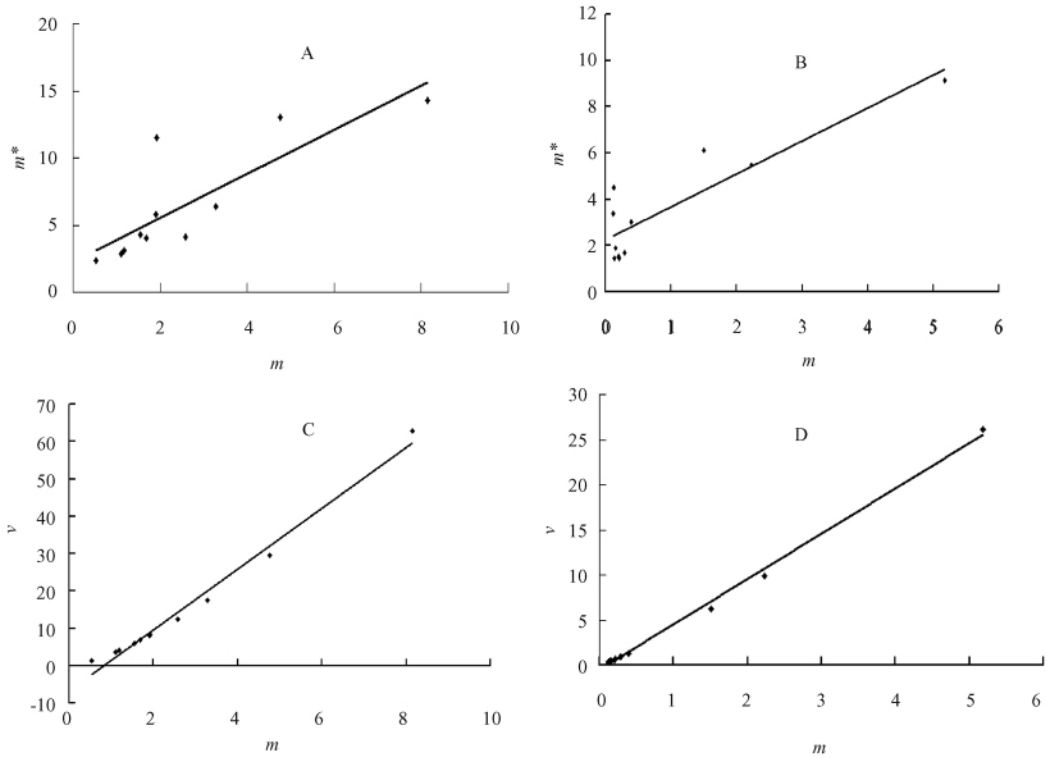

图 2　柠条豆象卵和幼虫空间分布回归检验

(Iwoa 检验:A. 卵,B. 幼虫;Talyo 检验:C. 卵,D. 幼虫)

2.1.4　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来形成,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(表 2)。在 11 个景观样地斑块中,卵块分布在景观样地斑块 2、斑块 6、斑块 8、斑块 9 中 $\lambda > 2$,幼虫分布在景观样地斑块 8 中 $\lambda > 2$,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。其余各景观样地均 $\lambda \leqslant 2$,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 $\lambda = -0.227 + 0.780m$ ($r = 0.99$),回归关系进行方差分析表明,回归关系极显著($F = 458.3$,$P = 0.00001 < 0.01$);将幼虫平均密度与聚集均数进行回归分析,得回归方程为 $\lambda = -0.144166 + 0.780743m$ ($r = 0.99$),回归关系进行方差分析表明,回归关系极显著($F = 1\,777.2$,$P = 0.00001 < 0.01$)。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有关外,还

表 2　柠条豆象种群空间分布型相关指标参数

斑块	拥挤度 m^*	Ca 指标	扩散系数 C	K 指标	m^*/m 指标	丛生指标 I	λ	相对抽样精度 D
斑块 1	11.505/6.1233	4.961/3.082	10.575/5.623	0.202/0.324	5.961/4.082	9.575/4.623	0.738/0.808	0.166/0.137
斑块 2	13.004/3.011	1.732/6.719	9.244/3.621	0.577/0.149	2.732/7.719	8.244/2.621	3.139/0.093	0.099/0.215
斑块 3	5.839/1.451	2.073/5.909	4.939/2.241	0.482/0.169	3.073/6.909	3.939/1.241	1.193/0.064	0.114/0.231
斑块 4	4.283/3.376	1.763/27.132	3.733/4.256	0.567/0.037	2.763/28.132	2.733/3.256	1.018/0.000	0.110/0.421
斑块 5	3.998/1.523	1.365/6.615	3.308/2.323	0.732/0.151	2.365/7.615	2.308/1.323	1.176/0.049	0.099/0.241
斑块 6	4.150/1.451	0.608/9.367	2.570/2.311	1.644/0.107	1.608/10.367	1.570/1.311	2.060/0.003	0.071/0.287
斑块 7	3.080/1.903	1.610/10.891	2.900/2.743	0.621/0.092	2.610/11.891	1.900/1.743	0.792/0.000	0.111/0.293
斑块 8	6.363/1.679	0.934/4.790	4.073/2.389	1.071/0.209	1.934/5.790	3.073/1.389	2.455/0.115	0.079/0.203
斑块 9	14.320/9.158	0.759/0.768	7.180/4.978	1.317/1.302	1.759/1.768	6.180/3.978	6.277/3.988	0.066/0.069
斑块 10	2.882/5.487	1.620/1.460	2.782/4.257	0.617/0.685	2.620/2.460	1.782/3.257	0.737/1.531	0.112/0.098
斑块 11	2.375/4.515	3.521/33.734	2.849/5.385	0.284/0.030	4.521/34.734	1.849/4.385	0.264/0.000	0.165/0.455

注：卵/幼虫

表 3　柠条豆象卵和幼虫在不同样地中的为害情况统计

斑块	10	2	1	9	8	6	5	3	4	7	11	面积(m^2)	柠条种类	平均为害率(%)
10		0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	27 745	*Cm*	65.9662
2	39.7522 **		0.0081	0.0050	0.0036	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	40 762	*Cm*	26.2140
1	48.5411 **	8.7889 **		0.8763	0.7914	0.0775	0.0299	0.0196	0.0071	0.0004	0.0001	12 206	*Cm*	17.4251
9	49.0564 **	9.3042 **	0.5153 *		0.9133	0.1074	0.0437	0.0293	0.0111	0.0006	0.0001	55 436	*Ck*	16.9098
8	49.4171 **	9.6649 **	0.8760 **	0.3607		0.1333	0.0564	0.0384	0.0151	0.0009	0.0001	1 689	*Ck*	16.5491
6	54.3906 **	14.6384 **	5.8495 **	5.3342 **	4.9735 **		0.6835	0.5680	0.3518	0.0703	0.0094	2 176	*Ck*	11.5756
5	55.7406 **	15.9884 **	7.1995 **	6.6842 **	6.3235 **	1.3500 **		0.8702	0.6006	0.1606	0.0286	1 930	*Ck*	10.2256
3	56.2817 **	16.5295 **	7.7406 **	7.2253 **	6.8646 **	1.8911 **	0.5411 *		0.7188	0.2150	0.0427	3 158	*Ck*	9.6845
4	57.4742 **	17.7220 **	8.9331 **	8.4178 **	8.0571 **	3.0836 **	1.7336 **	1.1925 **		0.3789	0.0955	2 195	*Ck*	8.4920
7	60.3886 **	20.6364 **	11.8475 **	11.3322 **	10.9715 **	5.9980 **	4.6480 **	4.1069 **	2.9144 **		0.4307	8 579	*Ck*	5.5776
11	62.9982 **	23.2460 **	14.4571 **	13.9418 **	13.5811 **	8.6076 **	7.2576 **	6.7165 **	5.5240 **	2.6096 **		4 800	*Ck*	2.9680

注：下三角为均值差，上三角为显著水平；*Ck*：柠条锦鸡儿；*Cm*：小叶锦鸡儿。

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。

一般情况下,相对抽样精度在其值 $D < 0.25$ 即可满足取样要求。本研究的 D 值来看,各生境中的相对抽样精度基本满足取样要求。

2.2　柠条豆象对不同斑块格局种群发生的反应

2.2.1　柠条豆象在不同景观斑块中的为害率

利用 2009 年 5 月下旬和 6 月上旬两次采集的新鲜豆荚数据,对柠条豆象在 11 个景观中为害情况进行统计。用实体解剖镜观察产在豆荚表面的卵,通过剖开豆荚解剖豆粒的方法检查幼虫,共调查统计了22 842荚。柠条豆象在各景观样地中的为害率以每荚上平均害虫数来比较。通过单因素方差分析(One-way analysis of variance, ANOVA),分析柠条豆象种群在不同斑块内的为害情况(表 3)。

从柠条豆象在各景观中为害来看(表 3),最高的是发生在景观斑块 10(为害率为 65.9662%),其次为景观斑块 2(为害率为 26.2140%),景观斑块 1、景观斑块 8、景观斑块 9 的为害率基本相同,景观斑块 11 的为害率最低(为害率为 2.9680%)。采用单因素方差分析,$F_{0.05(10,649)} = 30.2711 > 1.8453$,说明这 11 个景观斑块中柠条豆象的为害率差异非常显著。用最小显著差数法(LSD 法)检验各个样地斑块之间的为害率差异是否显著($LSD_{0.05} = 0.3919$,$LSD_{0.01} = 0.5151$,$df = 649$),结果显示,景观斑块 8 与斑块 9 之间差异不显著,景观斑块 1 与景观斑块 9、景观斑块 3 与景观斑块 5 之间差异达到显著水平,其余各斑块之间差异达到极显著水平。

2.2.2　景观斑块面积与柠条豆象为害率的关系

将各景观斑块内柠条豆象的为害率与斑块面积进行回归分析,得到斑块面积与为害率的回归方程为 $y = 11.3049 + 4.19 \times 10^{-4} x$ ($R^2 = 0.1995$),由于 R^2 较低,表明斑块内柠条豆象的数量与斑块面积并不显著相关,拟合度较差,反映出在作者研究的这一区域内,柠条豆象的发生与面积并不呈直线关系。除了面积因素之外,还有其他方面的因素影响柠条豆象的发生。根据上面所得到的回归曲线对各斑块内柠条豆象的为害率进行预测,得到图 3。

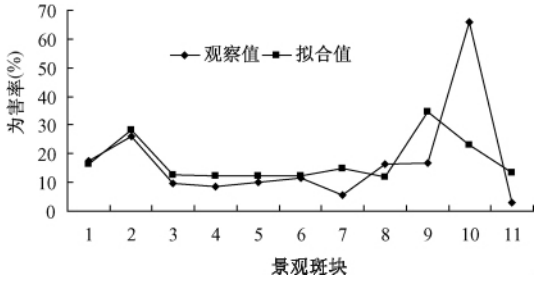

图 3　各斑块内柠条豆象的为害率预测值与实际值比较

从图 3 可以看出,在各斑块内柠条豆象的为害率实际观察值与拟合值之间的拟合度比较一致的,但是在景观斑块 10 中,实际观察值远远高于拟合值,根据对野外调查资料分析,出现这种差异的原因除了景观基质存在一定影响外,柠条种子害虫的种间竞争可能是造成这种状况的主要影响因素。因为在 11 个斑块中,唯独景观斑块 10 中同是危害柠条种子的害虫——柠条豆荚螟 *Etiella zinckenella* Treitschke 的为害率很低,而在其他各景观斑块中为害率则相对较高,由于豆荚螟和柠条豆象之间的种间竞争导致了其为害率相对较低。

2.2.3　柠条的种类、分布格局对柠条豆象寄生的影响

柠条豆象对柠条种子的为害率在不同的柠条种类间存在明显的差异(表 3),总体趋势表现为对小叶锦鸡儿(*Caragana microphylla*)种子的为害高于对柠条锦鸡儿(*Caragana korshinskii*)种子的为害。在所研究的 11 个景观样地斑块中,小叶锦鸡儿主要分布在景观斑块 1、2、10 内,柠条锦鸡儿主要分布在景观斑块 3、4、5、6、7、8、9、11 内。通过研究发现,柠条豆象对小叶锦鸡儿种子的为害率在景观斑块 10 中高达 65.9662%,在景观斑块 2 中达 26.2140%,而对柠条锦鸡儿的为害率则在 2.9680% ~16.9098% 之间。

调查结果显示,荒漠景观中柠条林的斑块分布格局对柠条豆象的发生也有一定的影响,

呈疏林重于密林的趋势。景观斑块 2、9、10 这 3 块样地中，柠条林呈无规律、稀疏、分散分布，从为害率来看，相对较高。而景观斑块 1、3、4、5、6、7、8 这 7 块样地中，柠条林呈条带状分布，每一条带有 3 行柠条，行间距 2 m，株间距 1 m，柠条条带间距 5 m，分布相对较稠密，从为害率来看，相对较低。斑块 11 中由于柠条种植年限短，柠条较小，株间距离大，分布稀疏，为害率最低。

2.2.4 柠条豆象发生的主成分分析 将 11 个景观斑块样地根据景观单元组成的类型、空间分布与配置等，按照柠条林生长土壤类型、柠条种类、纯柠条林还是与其他树种混生、柠条生长疏密程度（盖度）、景观受外界人为干扰大小等因素，在景观特征调查的基础上，对各景观中数据进行标准化转换，然后进行主成分分析，探讨不同景观要素对柠条豆象发生的影响情况，其结果见表 4。

主成分分析结果显示第一主因子（即土壤类型）和第二主因子（即柠条林混生程度）的累积方差贡献率分别为 78.8175% 和 19.7899%，这两个因子的累积方差贡献率达到 98.6074%，表明在一定尺度范围内，柠条豆象的发生与景观中的土壤条件、是否与其他树种混生密切相关，是主要的影响因子。

表 4 柠条豆象在不同景观中的主成分分析

规格化特征向量	土壤类型	混生程度	柠条种类	外界干扰程度	疏密度	特征值	百分率（%）	累计百分率（%）
土壤类型 x(1)	0.0761	0.9937	0.0482	0.0427	0.0518	3.9409	78.8175	78.8175
混生程度 x(2)	0.5	0.031	-0.4521	-0.2673	-0.6879	0.9895	19.7899	98.6074
柠条种类 x(3)	0.5004	-0.0453	-0.3796	-0.286	0.7223	0.05	1.0002	99.6076
外界干扰程度 x(4)	0.4942	-0.0607	0.8052	-0.3183	-0.0491	0.014	0.28	99.8876
疏密度 x(5)	0.4996	-0.077	0.0288	0.8623	0.0056	0.0056	0.1124	100

3 结论与讨论

3.1 结论

通过对荒漠景观下不同景观斑块中柠条林的柠条豆荚抽样调查，研究了柠条的主要种子害虫——柠条豆象种群的空间分布格局及对不同景观斑块格局的空间反应，结果表明柠条豆象的卵和幼虫均呈聚集型的负二项分布；种群分布的基本成分为个体群，且个体间相互吸引，有密度依赖性；聚集主要由环境因素和种间竞争引起的；聚集强度随种群密度的升高而增加；种群发生与寄主植物（柠条）在斑块内的分布格局有着密切的关系，与斑块面积相关性较低；柠条林生长的土壤类型、生长方式是影响柠条豆象为害程度的主要因素。

3.2 讨论

空间分布型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的变化，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。就柠条豆象对不同柠条种类危害而言，罗于洋等[14]通过对内蒙古部分地区的柠条种子害虫研究后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。本文实验结果也进一步验证了这样的结论。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[20]，本研究通过主成分分析结果支持这一结论，除此之外，还与柠条生长方式、周围植被环境、柠条种类、柠条林的生存年限、人为干扰、种间竞争等因素有密切的关系。

每一个物种对生境破碎化都有其独特的反应，这种反应在很大程度上取决于物种自身的生物学特性。越来越多的生态学家认识到，局

部生境的破碎化或改变以及区域景观复杂性的变化对物种的多样性和种间相互作用有较大的影响[3,21,22]。柠条豆象由于是专性寄生,迁飞能力弱,对景观中生境异质性、种间竞争的反应就相对敏感,景观斑块的格局 - 尺度 - 过程会影响其种群动态。景观斑块 10 位于白芨滩国家级自然保护区的核心区,天然柠条锦鸡儿生长在半固定沙丘上,柠条生长年代久远(绝大部分 20 年以上)、树冠较大(3 ~ 5m)、稀疏,而且柠条在生长过程中从未平茬,环境受外界的人为干扰较少(也未采摘过种子),在柠条中间散生少量沙冬青(*Ammopiptanthus mongolicus*)、花棒(*Hedysarum scoparium*)、沙蒿(*Artemisia* spp.)等灌木及小型禾本科植物,这些环境因素为柠条豆象的种群数量积累创造了有利条件;景观斑块 1 为固定沙化土壤土,小叶锦鸡儿柠条林(林带宽幅 4 m)与紫花苜蓿(*Medicago sativa*)(草带宽幅 6 m)套种,柠条高度为 1.2 m ~ 1.5 m 左右,较密集,在柠条种子成熟时期,紫花苜蓿的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,使得柠条种子受到很好的保护而不被其他动物所取食,为柠条豆象生存提供了有利条件,加之植被单一,所以寄生率较高。景观斑块 3 ~ 8 是人工开垦荒漠草原后种植的纯生柠条锦鸡儿林(7 ~ 9 年),柠条高大(1.7 ~ 2.2 m),土壤为沙壤土,土质较硬,林带之间以小型禾本科植物稀疏分布,地表坚硬,基本呈裸露,种子落地后长时间裸露在地表,易受到其他动物的取食,景观斑块周围为村舍、公路,再加上人们每年还从这些斑块中采摘成熟豆荚,以获取柠条种子,人类活动干扰频繁,这些因素的影响与其为害率相对较低相一致。景观斑块 11,位于银川市西的贺兰山国家级自然保护区东麓的边缘,柠条生长在具有大小不等的以石砾为主的沙壤土中,与紫穗槐(*Amorpha fruticosa*)、杨树(*Populus alba*)混生,虽人类活动干扰小,但由于该景观中人工种植的柠条年限短(4 ~ 5 年),高度低(1 ~ 1.5 m)、冠幅小(0.8 ~ 1.2 m),由于部分柠条死亡而使柠条株间距较大(10 ~ 50 m),稀疏,寄生率低。

另外,柠条豆荚除了受柠条豆象幼虫为害外,同期还受柠条豆荚螟、柠条种子小蜂 *Bruchophagus neocaraganae* Liao 幼虫的为害,这些害虫的种间竞争以及柠条豆象的一些寄生性天敌(如豆象盾腹茧蜂 *Phanerotomella* sp. 等)对柠条豆象在不同景观斑块格局中的发生都起到调节和控制的作用,从而影响柠条豆象种群的发生。

致　谢　硕士研究生李岳诚、陈曦、孙晓雪、郭晶静、李小红,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

1 李哲,季荣,谢宝瑜,等. 论昆虫空间生态学研究. 昆虫知识,2004,**41**(1):1 ~ 6.

2 杨芳,贺达汉. 生境破碎化对植物—昆虫及昆虫之间相互关系的研究. 昆虫知识,2007,**44**(5):642 ~ 646.

3 杨芳,贺达汉. 生境破碎化对生物多样性的影响. 生态科学,2006,**25**(6):564 ~ 567.

4 Braschler B., Lampel G., Baur B. Experimental small-scale grassland fragmentation alters aphid population dynamics. *Oikos*, 2003, **100**:581 ~ 591.

5 Fahrig L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2003, **34**:487 ~ 515.

6 Kruess A. Effects of landscape structure and habitat type on a plant-herbivore-parasitoid community. *Ecography*, 2003, **26**: 283 ~ 290.

7 Thies C., Steffan-Dewenter I., Tscharntke T. Effect of landscape context on herbivore and parasitism at different spatial scales. *Oikos*, 2003, **101**: 18 ~ 25.

8 Tscharntke T., Brandl R. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. *Annu. Rev. Entomol.*, 2004, **49**:405 ~ 430.

9 Kareiva P., Wennergren U. Connecting landscape patterns to ecosystem and population processes. *Nature*, 1995, **373**: 299 ~ 302.

10 郑云开,尤民生. 农业景观生物多样性与害虫生态控制. 生态学报,2009,**29**(3):1 508 ~ 1 518.

11 贺达汉,赵紫华,张大治. 草原景观下昆虫群落及种群对生境破碎化的反应. 草业学报,2009,**18**(6):235 ~ 241.

12 杨彩霞. 宁夏固沙植物柠条昆虫资源的调查. 中国沙漠,2000,**20**(4):461 ~ 463.

13 杨彩霞,高立原. 宁夏固沙植物柠条种实害虫的初步研

究. 宁夏农林科技，1997，**5**:7 ~ 8.

14 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. 西北林学院学报，2009，**24**(3):112 ~ 117.

15 陈应武，李新荣，张景光，等. 昆虫寄生对柠条种子命运的影响. 中国沙漠，2006，**26**(6):1 015 ~ 1 019.

16 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. 西南林学院学报，2006，**21**(2):97 ~ 99.

17 邹立杰，刘乃生，何飞月，等. 柠条豆象的研究. 森林病虫通讯，1989，**4**:1 ~ 3.

18 徐汝梅. 昆虫种群生态学. 北京:北京师范大学出版社，1987. 7 ~ 60.

19 丁岩钦. 昆虫种群学生态学原理与方法. 北京:科学出版社，1980. 22 ~ 57.

20 郑文翰. 榆林地区柠条种实害虫调查初报. 陕西林业科技，1989，**4**:78 ~ 80.

21 Tscharntke T., Steffan-Dewenter I., Kruess A., *et al*. Contribution of small habitat fragments to conservation of insect communities of grassland cropland landscapes. *Ecological Applications*, 2002, **12**: 354 ~ 363.

22 Huston M. A. Local processes and regional patterns: appropriate scale for understanding variation in the diversity of plants and animals. *Oikos*, 1999, **86**: 393 ~ 401.