豚草条纹萤叶甲各虫态的空间分布型*

孟　玲**　徐　军

（南京农业大学植物保护学院昆虫系　南京　210095）

Spatial distribution patterns of the leaf beetle *Ophraella communa*, in the recipient area of China. MENG Ling**, XU Jun (*Department of Entomology, College of Plant Protection, Nanjing Agricultural University*, Nanjing 210095, China)

Abstract　The leaf beetle, *Ophraella communa* LeSage, is a accidentally introduced, special herbivore of the alien invasive weed, *Ambrosia artemisiifolia* L. To understand its dispersion in the new recipient environment, the observed frequency distributions of eggs, larvae plus pupae, and adults were each fitted by statistical distribution models. The negative binomial distribution was recognized for each of the life stages, indicating a contagious distribution. Some aggregation indices were used to describe populations and then to calculate the optimal sample sizes required for the sampling programme.

Key words　*Ophraella communa*, *Ambrosia artemisiifolia*, spatial pattern of distribution, negative binomial distribution, optimal sample size, weed biological control

摘　要　豚草条纹萤叶甲 *Ophraella communa* LeSage 是恶性入侵豚草（*Ambrosia artemisiifolia* L.）的天敌，用频次分布拟合和多种聚集指数测度等方法对该叶甲的成虫、幼虫和蛹、卵的空间分布型进行研究。结果表明，豚草条纹萤叶甲卵、幼虫＋蛹、成虫的空间分布符合负二项分布，种群个体的空间分布为聚集分布。用几种衡量聚集度的指标，对上述各虫态分布的聚集程度进行测定；然后计算出各虫态田间最适理论抽样数。

关键词　豚草条纹萤叶甲，豚草，空间分布型，负二项分布，最适抽样数，杂草生防

原产于北美的豚草（*Ambrosia artemisiifolia* L.）已成为广泛传播的世界性恶性害草，在入侵地对生态环境、农牧业生产和人类健康构成威胁[1]。豚草入侵我国后，以沈阳、南京、武汉、南昌等 4 个扩散中心向周边主要沿铁路、公路交通枢纽扩展蔓延，沿小溪、水渠在低洼地带形成密集的群丛，在从未耕种的生荒地、撂荒地、河岸、堤坝、垃圾堆等处形成呈零散分布的群丛[2]。自 20 世纪 90 年代中后期原产于北美的豚草条纹萤叶甲 *Ophraella communa* LeSage（又名广聚萤叶甲[3]）先后传入亚洲的日本、韩国、我国台湾，我国大陆最早于 2001 年在南京市郊发现[3]，随后在华东、华中等 6 省均发现有分布[4,5]。在野外该虫群集取食入侵豚草，可将整株叶片食尽，除喜食豚草外，还偶尔取食近缘属植物苍耳（*Xanthium sibiricum* Patrin）[3]，室内观察成虫具有较强的繁殖能力[6]，在加拿大正在研究如何用于本土豚草的防治[7]。但以豚草为食的豚草条纹萤叶甲种群扩散的空间分布型尚不清楚，摸清其空间分布格局对于抽样监测其种群数量动态、探究其种群扩散机理、评价其对豚草种群的抑制作用等都具有重要的价值。本研究就该虫在我国扩散区做了调查，进行了各虫态频次分布和聚集度指数的检验，以确定空间分布型。

1　材料和方法

1.1　豚草条纹萤叶甲空间分布型的调查

于 2005 年 7～8 月豚草条纹萤叶甲的发生

* 国家自然科学基金项目（30470295）。

** E-mail：ml@njau.edu.cn

收稿日期：2006-10-18，修回日期：2006-12-06，

接收日期：2007-02-24

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

高峰期，在江苏、湖北、湖南和江西等豚草条纹萤叶甲扩散地进行了调查[5]，豚草主要分布在沿铁路和公路两旁的未耕种生荒地、撂荒地和河岸、堤坝两旁等环境中，由于豚草种群通常呈不连续的小片分布，故在有豚草和豚草条纹萤叶甲分布的地区，采用全查法检查片区内所有豚草，分别记载每株植物上豚草条纹萤叶甲卵、幼虫和蛹、成虫等各虫态的数量，并测量植株生长高度。各调查区面积和豚草数等情况见表 1。

表 1 豚草条纹萤叶甲各分布区调查的植株数量和长势(2005 年)

调查时间(月-日)	调查地点	调查面积(m^2)	豚草数(株)	平均株高±标准差(cm)
7-13	江苏盱眙	4 000	260	49.92±17.24
7-15	南京江浦	1 080	62	74.18±34.30
7-26	南京紫金山	5 000	51	80.18±22.84
8-1	湖北武昌	1 600	75	83.47±26.06
8-3	湖南临湘	400	63	88.84±31.39
8-6	江西万年	6 000	76	87.24±36.29
8-11	江西九江	200	72	81.91±43.52
8-12	江西南昌	4 000	61	89.11±27.99
8-21	江苏无锡	400	31	86.74±47.95
8-26	江苏徐州	400	30	94.88±30.46

1.2 豚草条纹萤叶甲空间分布型测定方法

1.2.1 频次分布检验：采用二项分布、波松分布、负二项分布、核心分布、波松－二项分布和复合波松分布进行拟合。根据理论频次分布公式求出理论频次，将各调查所得实查频次和理论频次进行比较，经 χ^2 检验确定是否符合某种理论分布[8]。

1.2.2 聚集度指标检验：将不同地区各调查点的调查数据按卵、幼虫和蛹、成虫分别进行整理，以单株为一样本，分别计算不同地区样方的平均虫口密度和方差，由此再计算各虫态的平均拥挤度、聚块性指数、扩散系数、负二项分布中的 k 值、m^*-m 回归分析法和幂法则等聚集度指标，判断其分布型类型[9~11]。

1.3 豚草条纹萤叶甲各虫态田间最适理论抽样数的确定

采用 Iwao 的 m^*-m 直线回归方程 $m^*=\alpha+\beta m$ 及 Iwao 的抽样公式[11]：$N=((\alpha+1)/m+(\beta-1))/D^2$ 进行最适理论抽样数的计算。D 为相对误差(设 0.1 和 0.2)，不同平均密度的设定根据实测平均密度确定一定范围值，计算最适理论抽样数[12]。

2 结果与分析

2.1 豚草条纹萤叶甲各虫态频次分布检验

从不同地区豚草条纹萤叶甲各虫态实查频次分布和理论频次分布的检验结果来看(表 2)，豚草条纹萤叶甲成虫、幼虫和蛹、卵在野外的空间分布型符合负二项分布，极不符合二项分布和波松分布。一些虫口密度低的虫态也有符合核心分布、波松二项分布和复合波松分布。

2.2 豚草条纹萤叶甲各虫态聚集度指标检验

将不同地区样方中豚草条纹萤叶甲各虫态的调查数据经整理和统计处理后，得出各聚集度指标值(表 3)，所有不同地区豚草条纹萤叶甲成虫、幼虫和蛹、卵采用多种聚集度指标值检验结果均属于聚集分布。

用 M^*-M 回归分析法(Iwao)求得成虫、幼虫和蛹、卵的回归方程分别为 $M^*=3.6299+2.9051M$ ($r=0.7043$)、$M^*=11.4497+1.7955M$ ($r=0.7523$)、$M^*=-0.0113+3.1432M$ ($r=0.7898$)，可见田间各虫态分布表现为个体间相互吸引，分布的基本成分为个体群，成虫种群呈聚集分布。同时，由于 $\alpha>0$，$\beta>1$，说明豚草条纹萤叶甲成虫、幼虫和蛹的种群空间分布图式为具有公共 K 值的负二项分布，卵的 $\alpha\approx0$，$\beta>1$ 也为负二项分布，其聚集可能是由叶甲对栖息环境的不同反应所引起，测定结果与频次分布检验相一致。

根据 Taylor 幂法则，建立起豚草条纹萤叶甲成虫、幼虫和蛹、卵的幂函数关系式分别为 $\lg S^2=0.4966+1.9878\lg M$ ($r=0.9595$)、$\lg S^2=0.92696+1.36966\lg M$ ($r=0.8893$) 和 $\lg S^2=0.40768+1.31972\lg M$ ($r=0.8906$)，3 个关系式中，b 均大于 1，各虫态均为聚集分布，说明种群在所有密度下都是聚集的，而且聚集强度随种群密度的升高而增加。

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

表 2　豚草条纹萤叶甲各虫态频次分布的 χ^2 检验结果

地点	虫态	二项分布	波松分布	负二项分布	核心分布	波松二项分布	复合波松分布
江苏	成虫	108.51	50.50	0.19*	3.71*	4.02*	3.30*
盱眙	幼虫和蛹	130 312	67845	18.66*	395 435	7 319 413	552.51
	卵	68.31	34.83	3.64*	18.49	19.42	4.96*
南京	成虫	1 053.41	821.19	9.82*	493 153	15 485 271	15.53
江浦	幼虫和蛹	169 791	45 757	9.43*	33.73	76.54	5.63*
	卵	58.61	43.83	2.25*	9.71*	11.72	3.34*
南京	成虫	75.09	10.49	2.01*	2.08*	2.08*	2.17*
紫金	幼虫和蛹	65 935	20 306	2.16*	5 900.37	38 571	11.18
山	卵	71.74	11.73	0.49*	0.76*	0.77*	1.41*
湖北	成虫	766.83	537.65	8.39*	776 500	16 710 555	3.94*
武昌	幼虫和蛹	1 233.74	991.52	3.02*	324 822	6 183 358	31.71
卵	39.90	27.03	7.71*	93.41	106.18	16.28	
湖南	成虫	1 144.69	821.08	3.65*	196 546	2 475 790	26.98
临湘	幼虫和蛹	1 523.97	1 178.37	5.85	9 009 658	4 428 950 412	7.09*
江西	成虫	350.71	321.48	1.76*	23 866 981	8 214 922 724	21.40
万年	幼虫和蛹	9 427.15	4 938.81	2.91*	133 773	1 600 550	85.81
	卵	345.98	43.39	0.25*	1.01*	1.06*	2.20*
江西	成虫	639.25	410.79	2.57*	1 143.83	2 301.41	41.65
九江	幼虫和蛹	3 230.64	2 000.84	4.83*	62 073	961 664	1.10*
	卵	56.18	17.54	3.76*	2.68*	2.63*	2.89*
江西	成虫	150.60	136.27	9.66*	5 296 816	331 712 029	2.38*
南昌	幼虫和蛹	7 169.43	5 116.7	4.45*	9 389 883	8 027 539 224	11.17
	卵	19.80	13.55	7.74*	17.36	17.90	2.71*
江苏	成虫	144.27	100.94	1.85*	1 087.86	2 316.70	5.27*
无锡	幼虫和蛹	18 782 820	18 034 780	2.95*	183 185 183	132 260 501 227	6.94*
江苏	成虫	278.80	156.76	9.72*	37 351.92	372 841.52	0.12*
徐州	幼虫和蛹	85 378	15 938	1.20*	30 452	484 084	15.29
	卵	30.45	24.05	10.23*	74.20	94.05	5.41*

*表示 X^2($P=0.01$)检验结果适合其分布；湖南临湘、江苏无锡样方由于调查中卵量较少未做频次分布检验。

表 3　豚草条纹萤叶甲成虫、幼虫和蛹、卵各项聚集度指标值

地点	虫态	平均密度(虫数/株)	方差	M^* 拥挤度	M^*/M 指标	C 扩散系数	K 指标
江苏	成虫	0.850	1.618	1.754	2.063	1.904	0.940
盱眙	幼虫和蛹	8.442	163.815	26.846	3.180	19.404	0.459
	卵	0.721	1.397	1.658	2.299	1.937	0.770
南京	成虫	4.758	72.547	19.005	3.994	15.247	0.334
江浦	幼虫和蛹	9.887	136.815	22.725	2.298	13.838	0.770
	卵	1.113	4.200	3.887	3.493	3.774	0.401
南京	成虫	0.510	0.695	0.873	1.712	1.363	1.404
紫金	幼虫和蛹	11.980	396.060	44.039	3.676	33.059	0.374
山	卵	0.554	0.912	1.200	2.167	1.646	0.857
湖南	成虫	4.307	62.891	17.910	4.159	14.603	0.317
武昌	幼虫和蛹	3.701	39.272	13.312	3.596	10.610	0.385
	卵	0.947	3.565	3.712	3.921	3.766	0.342
湖南	成虫	4.191	56.350	16.638	3.970	13.447	0.337
临湘	幼虫和蛹	5.048	97.336	23.331	4.622	19.284	0.276

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n

续表

地点	虫态	平均密度(虫数/株)	方差	M^* 拥挤度	M^*/M 指标	C 扩散系数	K 指标
	卵	0.333	0.484	0.785	2.355	1.452	0.738
江西	成虫	2.447	45.664	20.105	8.215	18.658	0.139
万年	幼虫和蛹	6.987	93.347	19.347	2.769	13.360	0.565
	卵	0.316	0.539	1.022	3.237	1.706	0.447
江西	成虫	4.806	38.553	11.828	2.461	8.023	0.684
九江	幼虫和蛹	5.611	79.847	18.841	3.358	14.230	0.424
	卵	0.597	0.976	1.232	2.063	1.635	0.941
江西	成虫	2.705	44.278	18.074	6.682	16.370	0.176
南昌	幼虫和蛹	5.853	170.561	33.996	5.809	29.143	0.208
	卵	0.508	1.054	1.582	3.114	2.074	0.473
江苏	成虫	3.871	32.050	11.150	2.880	8.279	0.532
无锡	幼虫和蛹	18.323	509.760	45.144	2.464	27.821	0.683
	卵	0.419	0.518	0.655	1.562	1.236	1.779
江苏	成虫	5.533	72.671	17.667	3.193	13.133	0.456
徐州	幼虫和蛹	12.500	175.155	25.512	2.041	14.012	0.961
	卵	0.200	0.579	2.097	10.482	2.897	0.105

2.3 豚草条纹萤叶甲各虫态最适抽样数的确定

根据 Iwao 的统计方法，在已知豚草条纹萤叶甲成虫、幼虫和蛹、卵的直线回归方程 $M^*=3.6299+2.9051M$、$M^*=11.4497+1.7955M$ 和 $M^*=0.0113+3.1432M$ 的条件下，按 Iwao 的抽样公式：$N=((\alpha+1)/m+(\beta-1))/D^2$ 确定最适理论抽样数 N，其确定抽样公式分别为：$N=1/D^2(4.6299/m+1.9051)$、$N=1/D^2(12.4497/m+0.7955)$、$N=1/D^2(0.9887/m+2.1432)$，其中 D 为允许相对误差值。最适抽样数结果见表 4。

表 4 豚草条纹萤叶甲各虫态的最适理论抽样数

相对误差	不同平均密度的最适抽样数(头/株)					
成虫密度	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
0.1	422.0	375.7	344.8	322.8	306.3	287.7
0.2	105.5	93.9	86.2	80.7	76.6	71.9
幼虫和蛹密度	5	6	7	8	9	10
0.1	328.5	287.1	257.4	235.2	217.9	204.0
0.2	82.1	71.8	64.4	58.8	54.5	51.0
卵的密度	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
0.1	543.9	461.5	412.1	379.1	355.6	337.9
0.2	136.0	115.4	103.0	94.8	88.9	84.5

3 讨论

研究结果表明，外来豚草条纹萤叶甲的卵、幼虫和蛹、成虫等虫态的空间分布型均属聚集分布。由于叶甲幼虫一般扩散能力很有限(不能像鳞翅目那样吐丝扩散)，所以豚草条纹萤叶甲幼虫(和蛹)的分布型直接取决于卵的分布型，而卵的分布格局显然与成虫的聚集分布有关。捕食者—猎物种群动态模型预测，当负二项分布模型中代表聚集程度的 k 值变小(即聚集程度增强)时，避难所增大，从而使种群稳定性加强[13]。这一预测得到了杂草生物防治实践的支持，如 Monro 对引入澳大利亚的专食性昆虫仙人掌螟蛾 *Cactoblastis cactorum* 控制入侵杂草仙人掌 *Opuntia* spp. 的研究指出，如果昆虫的卵聚集分布，则寄主植物与昆虫种群动态可能趋向稳定，因为当昆虫种群数量高时，某些植物被取食的水平仍然较低[14]；引入加拿大的专食性天敌千里光灯蛾 *Tyria jabobaeae* 的卵块分布格局与入侵杂草千里光(*Senecio jacobaeae*)的种群稳定性密切相关[15]。植食性昆虫的产卵选择习性是卵分布格局的主要决定因素之一，如果成虫喜好在某类植株上集中产卵，则必然导致卵聚集分布。虽然尚未研究豚草条纹萤叶甲成虫的产卵选择行为，但在野外常常观察到，成虫聚集在某一植株上取食、产卵，而临近的植株则少有成虫和卵。昆虫聚集产卵的机理比较复杂，寄主植物的物理和化

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.n

学特性、成虫个体间的吸引等都可能导致在寄主植物上聚集产卵[16]。

豚草条纹萤叶甲种群的聚集分布特征加上以下3个原因，可能导致豚草与豚草条纹萤叶甲种群数量保持低水平动态平衡，从而把豚草控制在低水平。(1)该叶甲主要以豚草为食，在野外仅偶见在近缘植物苍耳上取食，但幼虫取食苍耳的死亡率比取食豚草高4倍[17]。所以，该叶甲的种群数量与豚草种群可能形成密切的密度依赖关系。(2)我国是豚草条纹萤叶甲的新入侵地，在未来相当长的时间内，天敌对叶甲种群的影响将很小。所以，其扩散将可能随豚草的分布范围而扩大(如果其生态幅较宽)，其数量将随豚草数量而增长。(3)该叶甲对非生物环境因子的耐受范围较宽，分布范围从北回归线附近的危地马拉到北纬45°的加拿大[3]，涵盖了豚草在我国的分布范围[18]。所以，有必要深入研究外来豚草条纹萤叶甲种群动态变化规律及其内在机理，该研究结果不仅对于理解入侵生物种群动态机理具有理论价值，而且对于控制入侵豚草为害具有实践意义。

致谢：南京农业大学李保平对论文提出修改意见，植物保护学院本科学生李海波、文豪、唐明星、魏增贵等参加部分调查工作，特此感谢。

参　考　文　献

1 万方浩，王韧．杂草学报，1990，**4**(1)：45～48.

2 关广清．生物防治通报，1987，**3**(4)：175～178.

3 孟玲，李保平．中国生物防治，2005，**21**(2)：65～69.

4 张丽杰，杨星科，李文柱，崔俊芝．昆虫知识，2005，**42**(2)：227～228.

5 孟玲，徐军，李海波．中国生物防治，2007，**23**(1)：5～10.

6 孟玲，李保平．昆虫知识，2006，**43**(6)：806～809.

7 Teshler M. P.，Demovic S. A.，DiTommaso A.，Coderre D.，Watson A. K. *Biocontr. Sci. Technol.*，2004，**14**：347～357.

8 李典谟，丁岩钦．昆虫知识，1965，**9**(5)：310～317.

9 赵志模，周新远．生态学引论—害虫综合防治的理论及应用．重庆：科学技术出版社重庆分社，1984．104～120.

10 徐汝梅，李兆华，李祖荫，刘来福．生态学报，1980，**23**(3)：265～275.

11 Iwao S. *Statis Ecol.*，1971，**1**：461～513.

12 陈乾锦，杨建全，官宝斌，张玉珍，陈家华．中国烟草学报，2002，**8**(2)：25～28.

13 Crawley M. In：Crawley M.(ed.)，Natural Enemies. London：Blackwell Scientific Publications，1992．40～89.

14 Monro J. *J. Anim. Ecol.*，1967，**36**：531～547.

15 Myers J. H. *Oecologia*，1976，**23**：255～269.

16 Schoonhoven L. M.，van Loon J. J. A.，Dicke M. Insect-Plant Biology. 2nd ed. London：Oxford University Press，2005．174～182.

17 胡亚鹏，孟玲．生态学杂志，2007，**26**(1)：56～60.

18 万方浩，郑小波，郭建英．重要农林外来入侵物种的生物学与控制．北京：科学出版社，2005．662～692.

《昆虫知识》2008年征订启事

《昆虫知识》为通报类学术期刊，是中国生物类和植保类中文核心期刊，国内外公开发行。刊登内容包括昆虫学及其相关领域的国内外最新研究进展，报道原始性、创新性科研成果，介绍基础知识，转载有关刊物最新科学发现。读者对象主要是从事昆虫学和植物保护研究和教学的科研人员和大学师生，以及昆虫爱好者。

据《2006年中国学术期刊综合引证报告》2005年本刊的影响因子为0.839。现已被美国化学文摘(CA)、动物学记录(RZ)、昆虫学文摘(EA)、剑桥大学：生物学文摘和昆虫文摘、俄罗斯文摘杂志(AJ)、CAB Abstracts、应用昆虫学(AE)、应用昆虫学年评(RAE)等20多种国内外重要检索机构和数据库收录。

《昆虫知识》(双月刊)2008年页码160页，全铜板纸彩插印刷。单册定价：25元，全年150元。凡在编辑部订阅2008年期刊1卷的个人或单位可获赠2005年前过刊1卷；中国昆虫学会会员可享受8折优惠价(120元/年)。编辑部尚存1999～2007年各卷，3～5折优惠(卷价分别为1999，2000年20元；2001，2002年25元；2003，2004年30元，2005年45元，2006，2007年75元)。邮购创刊50周年全文检索数据光盘A款300元(1955～2003年)，B款200元(1991～2005年)。需要者请直接汇款至编辑部(以上邮购过刊均含邮费)，并说明需要哪年的期刊。

地址：北京市朝阳区大屯路，中国科学院动物研究所《昆虫知识》编辑部，邮编：100101

电话、传真：(010)64807137　电子信箱：entom @ ioz. ac. cn

欢迎投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告

?1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.n