应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2017, 54(6): 924–932. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2017.110

两种共同危害樟子松的树蜂的种群分布格局及生态位对比*

王 明[1**] 保 敏[1] 敖特根[2] 任利利[1***] 骆有庆[1***]

（1. 北京林业大学林木有害生物防治北京市重点实验室，北京 100083；2. 内蒙古通辽市森林病虫害防治检疫站，通辽 028000）

摘 要 **【目的】** 松树蜂 *Sirex noctilio* Fabricius 是国际重大林业检疫性害虫，新渡户树蜂 *Sirex nitobei* Matsumura 是我国土著种，分布广泛；两者在我国局部地区共同危害樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv。本文根据种群生态位的相关理论对两种害虫在樟子松人工林内的危害情况、空间分布格局及时间和空间生态位进行研究，探讨外来入侵种与土著种的种间关系，以期指导外来有害生物的防治工作。**【方法】** 林间踏查选择 10 块样地，连续 2 年进行每木检尺，采用分布型指数法判断两种树蜂的种群空间分布格局。记录两种树蜂羽化期和羽化数量，统计羽化孔相对位置，定量描述两者种群之间的共存机制。**【结果】** 两种树蜂在林间为聚集分布，主要受害木的胸径集中在 16.00~18.00 cm；松树蜂羽化期集中于 6 月底至 9 月初，新渡户树蜂于 8 月底至 9 月底，初步推断在研究林分中，松树蜂的当年侵入时间早于新渡户树蜂；松树蜂的雌雄性比为 0.604，新渡户树蜂的雌雄性比为 0.174；两种害虫的空间生态位较分离。 **【结论】** 松树蜂在内蒙古通辽市金宝屯林场属于定殖初期，与土著种新渡户树蜂共同危害樟子松，两者在林间的可利用资源丰富且虫口密度较低，导致空间生态位分离，初步推测不存在强烈的竞争关系；且各项空间分布型指标符合聚集分布。

关键词 樟子松，松树蜂，新渡户树蜂，空间分布，种群生态位

Population distribution patterns and ecological niches of two *Sirex* species damaging *Pinus sylvestris* var. *mongolica*

WANG Ming[1**] BAO Min[1] AO Te-Gen[2] REN Li-Li[1***] LUO You-Qing[1***]

(1. Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. Tongliao Control and Quarantine Station of Forest Pest, Tongliao 028000, China)

Abstract **[Objectives]** *Sirex noctilio* Fabricius, an invasive species, is a major international forest quarantine pest that mainly damages *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv in some parts of China. *S. nitobei* Matsumura is an indigenous species that is widely distributed in China. The spatial distribution patterns, and temporal and spatial niches of these species in *P. sylvestris* var. *mongolica* forests were investigated according to the population niche theory with the aim of identifying competitive and symbiotic relationships between these species that can guide the prevention and control of *S. noctilio*. **[Methods]** Ten sample plots were selected through field investigations in Jinbaotun forest farm, Inner Mongolia, Tongliao City, and population distribution indices were used to analyze the spatial distribution patterns of both species in these plots over two consecutive years. Damaged pines were randomly selected and felled. Adult molting periods and quantity were noted, eclosion holes were marked using sulfuric acid paper to count the preferred eclosion sites of each species, and the coexistence mechanism of the two species was quantitatively described. **[Results]** Both species had a clustered distribution. The DBH of damaged trees ranged from 16 cm to 18 cm. The adult molting period of *S. noctilio* was from the end of June to the beginning of September, whereas that of *S. nitobei* was from the end of August to the end of September. We were able to deduce that the

*资助项目 Supported projects：公益性行业科研专项（201404401）；国家自然科学基金青年科学基金项目（31500529）

**第一作者 First author，E-mail：mingming66@bjfu.edu.cn

***共同通讯作者 C0-corresponding authors，E-mail：lily_ren@bjfu.edu.cn；youqingluo@126.com

收稿日期 Received：2017-09-28，接受日期 Accepted：2017-11-01

infesting period of *S. noctilio* occurs earlier than that of *S. nitobei* in our study area. The sex (female: male) ratio of *S. noctilio* was 0.604 whereas that of *S. nitobei* was 0.174. The niches of each species differed. **[Conclusion]** *S. noctilio* and *S. nitobei* had relatively abundant resources and lower than average population densities, causing the spatial niche of each species to diverge. We suspect that competition between these species is relatively low in the early stage of colonization by *S. noctilio*. Aggregation indices indicate that both species have an aggregated distribution.

Key words *Pinus sylvestris* var. *mongolica, Sirex noctilio* Fabricius, *Sirex nitobei* Matsumura, spatial distribution, population niche

樟子松 *Pinus sylvestris* var. *mongolica* Litv 又名海拉尔松，属于松科 Pinaceae 松属 *Pinus*，是欧洲赤松 *Pinus sylvestris* L.的变种，半干旱草原区营造防风固沙林、农田、草场防护林、水土保持林和用材林的主要树种。具有喜光、耐寒、抗旱、适应性强、速生等优良特性。近年来随着樟子松人工林面积的逐年扩大，一些早期引种的樟子松人工林出现了早衰现象（移小勇等，2006）。

松树蜂 *Sirex noctilio* Fabricius 和新渡户树蜂 *Sirex nitobei* Matsumura 均属于膜翅目 Hymenoptera、广腰亚目 Symphyta、树蜂总科 Siricoidea、树蜂科 Siricidae、树蜂属 *Sirex* Linnaeus。松树蜂是国际重大林业检疫性害虫，主要危害松属树种 *Pinus*，特别是辐射松 *P. radiata*；也危害云杉属 *Picea*、冷杉属 *Abies*、落叶松属 *Larix* 以及美国松（花旗松）*Pseudotsuga menziesii* 等（Slippers *et al.*，2011）。松树蜂原产于欧亚大陆和北非，现已传入 9 个国家，对入侵地的松属植物造成毁灭性损害。我国于 2013 年在黑龙江省首次发现松树蜂，寄主为樟子松，现已对东北地区樟子松人工林造成危害。新渡户树蜂属于我国土著害虫，可危害华山松 *Pinus armandii*、油松 *Pinus tabuliformis* Carrière、落叶松 *Larix* spp．等寄主（萧刚柔等，1983）。

松树蜂 1 年可完成 1 ~ 3 代，通常情况下 1 年 1 代（Morgan，1968；Morgan and Griffith，1989；Farji-Brener and Corley，1998）。我国关于新渡户树蜂的生物生态学习性并没有系统的报道。2 种树蜂的共生菌均属于淀粉韧革菌属（*Amylostereum*）（Coutts and Dolezal，1969；Talbot，1977）真菌，松树蜂的共生菌为 *Amylostereum areolatum*（Fr.）Boidin（Basidiomycotina: Corticiaceae），新渡户树蜂的共生菌为 *A. areolatum*（Nielsen *et al.*，2009；Slippers *et al.*，2011）和 *Amylostereum chailletii*（Pers.: Fr.）Boid.（Fitza，2016）。两种害虫的雌虫产卵时将体内贮藏的共生菌菌丝片段和分节孢子、毒素以及虫卵一并注入寄主体内（Coutts and Dolezal，1969；Talbot，1977），毒素粘液可以促进共生菌 *A. areolatum* 孢子生长，使其在寄主内快速占据生态位。昆虫、毒素和病原共生真菌三者相互配合，协同危害寄主树木，使树木加速死亡，也是两种树蜂种群间可能产生相互影响的重要因素之一。

生态位的研究是探讨生物群落物种之间相互关系的一种重要方法（朱春全，1993；李契等，2003）。它涉及到自然资源的分配和利用、物种之间的竞争和共存、生物在环境中的地位和作用等问题（王凤等，2006）。生态位是多维生态位的重要组成部分，表示种群内一个物种的资源利用情况（李德志等，2006；袁菲等，2011），在不同种害虫种群之间生态位的关系研究中，不仅揭示了混合种群各物种间的竞争共存机制和复合危害特点，同时也为害虫的综合治理提供了理论依据。

在我国，松树蜂和新渡户树蜂共同危害樟子松，而且可在同一株寄主内完成生活史。国内对于松树蜂和新渡户树蜂的生物学，生态学特性等研究较少，也未曾有关于樟子松林内不同树蜂种群生态位的研究。本文依据种群生态位理论，从时间、空间资源利用等角度，研究了入侵种松树蜂和土著种新渡户树蜂种群之间的联系和竞争共存机制，以期为虫害防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

金宝屯林场位于内蒙古自治区通辽市科尔沁左翼后旗东南部。2015 年 7 月初，课题组成员在金宝屯林场东风营林区踏查时发现松树蜂和新渡户树蜂可同时危害樟子松，且处于危害初期。本试验选择树蜂危害的第 1 和第 5 两个小班作为调查样地，第 1 小班为樟子松、杨树（较少）和油松的混交林，第 5 小班为樟子松和油松混交林。样地林缘多虫害木，中部少，树龄 30 年左右，第 1 代，树高约 8~13 m，胸径约 4~26 cm 不等。

1.2 调查方法

1.2.1 危害情况 在 2016、2017 年 5 至 9 月树蜂的羽化期间，对内蒙古自治区科尔沁左翼后旗东风营林区两个小班的樟子松林内的松树蜂和新渡户树蜂危害情况进行调查。根据样地面积和樟子松分布情况，以小班为单位，在第 1 小班和第 5 小班各设置了 5 个大小为 30 m × 30 m 的样方，连续两年进行每木检尺调查；记录样方内每木的树势（危害等级）及其在样方内的相对位置，树蜂羽化孔和产卵流脂点数量。将受害樟子松按胸径以 2 cm 为单位划分为不同等级，统计两种树蜂的危害情况。同时记录其他钻蛀性害虫的羽化孔种类和数量。不同虫种危害状判断依据为：树蜂羽化孔为正圆形，直径在 3~7 mm，羽化孔周围树皮与木质部结合紧密，韧皮部中无坑道或虫粪；小蠹羽化孔为直径 1 mm，呈正圆形；松幽天牛危害主要集中于树干基部，羽化孔为椭圆形；松阴吉丁羽化孔主要为 D 字形或半月形（王立祥等，2017）。

1.2.2 羽化期观测 在样地中，挑选有产卵流脂点但无羽化孔（当年未羽化）和有流脂点且带羽化孔（去年已羽化）的被害樟子松各 30 株，伐倒后带回室外搭建的可受阳光直射的检疫篷内截段饲养。分别记录每段虫害木羽化出的松树蜂和新渡户树蜂的数量、雌雄比和雌雄成虫的寿命等直到整个羽化期结束，并推断在同一寄主（樟子松）上的羽化盛期、当年危害时期顺序。

1.2.3 羽化孔位置标记 于 2016、2017 年 5 至 9 月（2 种树蜂的羽化期）在第 1 小班的样方外，随机选择被两种树蜂危害的樟子松 10 株（有产卵流胶点无羽化孔），以 1 m 为单位进行切割，为保证观察的准确性，每段都单独放置在高度为 1.5 m 的纱网中进行饲养，每天观察并收集纱网内羽化的松树蜂和新渡户树蜂。由于两种树蜂的羽化孔均为正圆形且大小非常相似，每隔 1 h 分时段收集羽化树蜂并用不同记号标记区分。

在羽化末期用硫酸纸包围木段，松树蜂羽化孔标记为圆形，新渡户树蜂羽化孔标记为三角形，将羽化孔相对位置还原到平面坐标上，对树蜂的种类、数量和分布进行列表统计。

1.3 数据统计

1.3.1 空间分布格局 采用聚集度指标法分析计算两种树蜂种群在林间的空间分布格局。主要利用扩散系数（c）、丛生分布指数（I）、Cassie 指标（Ca）、负二项分布指标（K）、Lioyd 聚块性指数（M^*/m）等。 的以 m 为每块标准地樟子松上两种树蜂的羽化孔和流脂点和的密度 s^2 为方差，来判断两种树蜂的种群的空间分布格局。

1）扩散系数 $c=\frac{s^2}{m}$；$c>1$，为聚集分布，$c=1$，为随机分布，$c<1$，为均匀分布；

2）丛生分布 $I=\frac{s^2}{M}-1$；$I>0$，为聚集分布，$I=0$，为随机分布，$I<0$，为均匀分布；

3）Cassie 指标 $Ca=\frac{\left(s^2-m\right)}{m^2}$；$Ca>0$，为聚集分布，$Ca=0$，为随机分布，$Ca<0$，为均匀分布；

4）负二项分布指标 $K=\frac{m}{\left(\frac{s^2}{m}-1\right)}$；$K$ 值越小，聚集度越大，当 K 值趋近于 ∞ 时，呈泊松分布，一般认为 K 值小于 8 时，均呈聚集分布；

5）Lioyd 聚块性指数 M^*/m，$M^*=$

$m+\frac{s^2}{m}-1$；$M^*/m>1$，为聚集分布，$M^*/m=1$，为随机分布，$M^*/m<1$，为均匀分布。

1.3.2　种群生态位　根据不同时期两种树蜂种群在樟子松上不同高度的羽化情况和生态位各指标的计算公式，可以计算出两种树蜂的时空生态位，计算公式如下：

1）生态位宽度：Levins（1968）

$$B=1/\left(S\sum_{i=1}^{n}P_i^2\right)$$

式中，B 为物种的生态位宽度；S 为资源集合中的总单元数；P_i 为在一个资源集合中，物种在第 i 单元中所占的比例。

2）生态位重叠：Levins（1968）

$$a_{ij}=\sum_{h=1}^{n}P_{ih}P_{jh}\left(B_i\right)$$

a_{ij} 为第 i 个物种对物种 j 的生态位重叠；P_{ih}，P_{jh} 分别是第 i 和第 j 个物种在资源集第 h 个单元中的比例。B_i 为第 i 种的生态位宽度。

3）生态位相似比例：Levins（1968）

$$PS=1-\frac{1}{2}\sum_{h=1}^{n}\left|P_{ih}-P_{jh}\right|$$

PS 为生态位相似比例；P_{ih}，P_{jh} 为在资源单元 h 中，第 i 和 j 所占的比例。

4）种间竞争系数：May（1975）

$$\alpha=\sum P_iP_j\Big/\left(\sqrt{\sum P_i^2}\sqrt{P_j^2}\right)$$

α 为种间竞争系数；P_i，P_j 分别表示物种 i 和物种 j 在各资源序列中的比例。

2　结果与分析

2.1　林间樟子松受害情况

样地每木检尺的调查结果显示，样地内衰弱木所占比例较大，一部分被两种树蜂和其他钻蛀性害虫如天牛、吉丁、小蠹入侵危害。其他没有明显虫害危害痕迹的衰弱木，推测由于气候条件不适等原因引起，也可促进害虫的入侵。2016 年至 2017 年调查发现（表 1），两小班的樟子松有虫株率在 2 年间明显升高，危害木平均虫口密度下降，推测两种树蜂处于危害初期，可利用资源相对丰富；其他钻蛀性害虫天牛、吉丁、小蠹危害率也显著升高。

不同径级樟子松受两种树蜂危害情况如图 1 所示，松树蜂和新渡户树蜂倾向于危害胸径在 16.01~20.00 cm 左右的樟子松；在胸径大于 24.00 cm 和小于 6.00 cm 的樟子松上危害较少。

2.2　林间两种树蜂的空间分布格局

以两种树蜂危害樟子松的主要特征——羽化孔和产卵流脂点为依据，判断两者在林间分布格局如表 2 所示。丛生分布指标 $I>0$、聚块性指标 $M^*/m>1$、$Ca>0$、扩散系数 $C>1$、负二项分布指标 $K>0$，各项空间分布型聚集度指标符合聚集分布，说明两种树蜂在樟子松上总体呈聚集分布，且树蜂的危害多集中于相邻树上。

2.3　两种树蜂生态位的对比

2.3.1　两种树峰成虫的时间生态位　两种树蜂的羽化期如图 2 所示，松树蜂羽化期集中在 6 月

表 1　样地受害情况

Table 1　The damage situation of site samples

小班 Sub-compartment	年份 Year	有虫株率 Ratio of infested trees (%)	平均虫口密度（头/株） Average poplation densities (adults/tree)	其他钻蛀性害虫危害率 Other borers infested ratio of trees (%)
1	2016	4.05±2.52	28.35±10.86	9.14±2.17
	2017	10.33±3.75	22.96±8.45	15.47±3.94
5	2016	3.36±7.56	19.86±9.09	3.94±1.94
	2017	9.19±5.09	19.52±2.94	8.46±4.26

上表的调查结果为去除伐桩和倒木的樟子松的受害情况。

The above investigation on the damage of *P. sylvestris* var. *mongolica* is after removing the stump and downed logs.

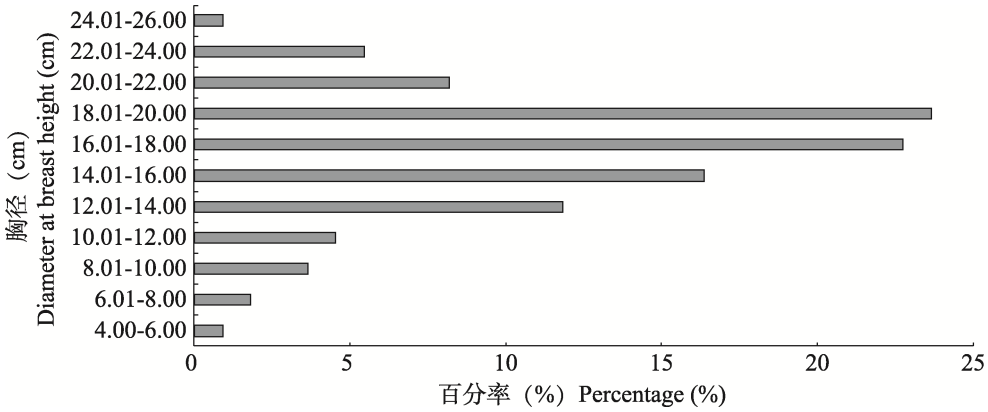

图 1　不同胸径樟子松上两种树蜂的分布

Fig. 1　The distributing proportion of *Sirex noctilio* and *Sirex nitobei* in *Pinus* of different diameter at breast height

表 2　2 种树蜂种群空间分布

Table 2　Spatial distribution pattern of *Sirex* populations

样方 Quadrat	*m*	s^2	*C*	*I*	*Ca*	*K*	*M*/m*	分布型 Distribution
1-1	4.13	189.93	45.99	44.99	10.89	0.09	49.12	聚集 Aggregation
1-2	2.00	78.86	39.43	38.43	19.22	0.05	40.43	聚集 Aggregation
1-3	2.85	56.07	19.67	18.67	6.55	0.15	21.52	聚集 Aggregation
1-4	1.18	16.65	14.11	13.11	11.11	0.09	14.29	聚集 Aggregation
1-5	2.61	78.31	30.00	29.00	11.11	0.09	31.61	聚集 Aggregation
5-1	3.66	116.43	31.81	30.81	8.42	0.12	34.47	聚集 Aggregation
5-2	0.66	12.61	19.11	18.11	27.44	0.04	18.77	聚集 Aggregation
5-3	2.10	54.62	26.01	25.01	11.91	0.08	27.11	聚集 Aggregation
5-4	2.20	39.61	18.00	17.00	7.73	0.13	19.20	聚集 Aggregation
5-5	1.31	31.71	24.20	23.20	17.71	0.06	24.51	聚集 Aggregation

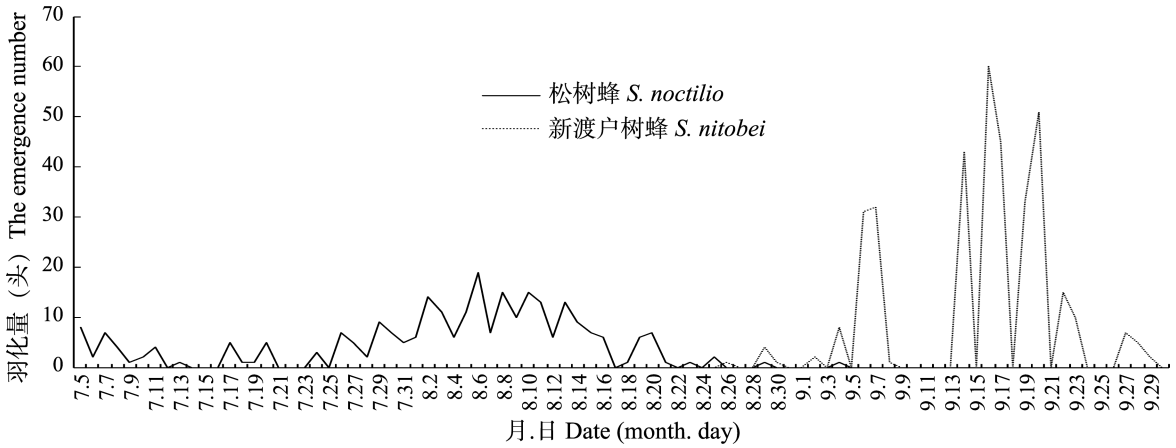

图 2　成虫羽化期内两种树蜂的羽化总量

Fig. 2　The emergence amount of *Sirex* during the adult moulting period

底到 9 月初，羽化高峰在 8 月 6 日左右；新渡户树蜂羽化期集中在 8 月底到 9 月底，羽化高峰在 9 月 16 日左右。两种树蜂羽化期仅有小部分重合，可以初步推断在研究的林分中，松树蜂的侵入时间早于新渡户树蜂，且两种树蜂的羽化高峰期错开。

松树蜂和新渡户树蜂雌雄成虫羽化情况如图 3，松树蜂的雌、雄性比为 0.604，新渡户树蜂的雌、雄性比为 0.175。由于两种树蜂在气候条件不适即阴天、下雨情况下不羽化，故图 3 中新渡户树蜂 9 月 9 日至 13 日雌雄成虫的羽化量均为 0。

两种树蜂成虫的羽化期集中在 6 至 9 月，生态位各指标计算结果显示（表 3），两种树蜂的时间生态位宽度相差较大，相似性比例较低为 0.0202，且重叠指数很小；说明这两种树蜂成虫寻找新寄主的高峰期相对错开。从时间生态位角度分析其种间竞争系数仅为 0.0259；说明同一时期内，两种树蜂不存在强烈竞争。

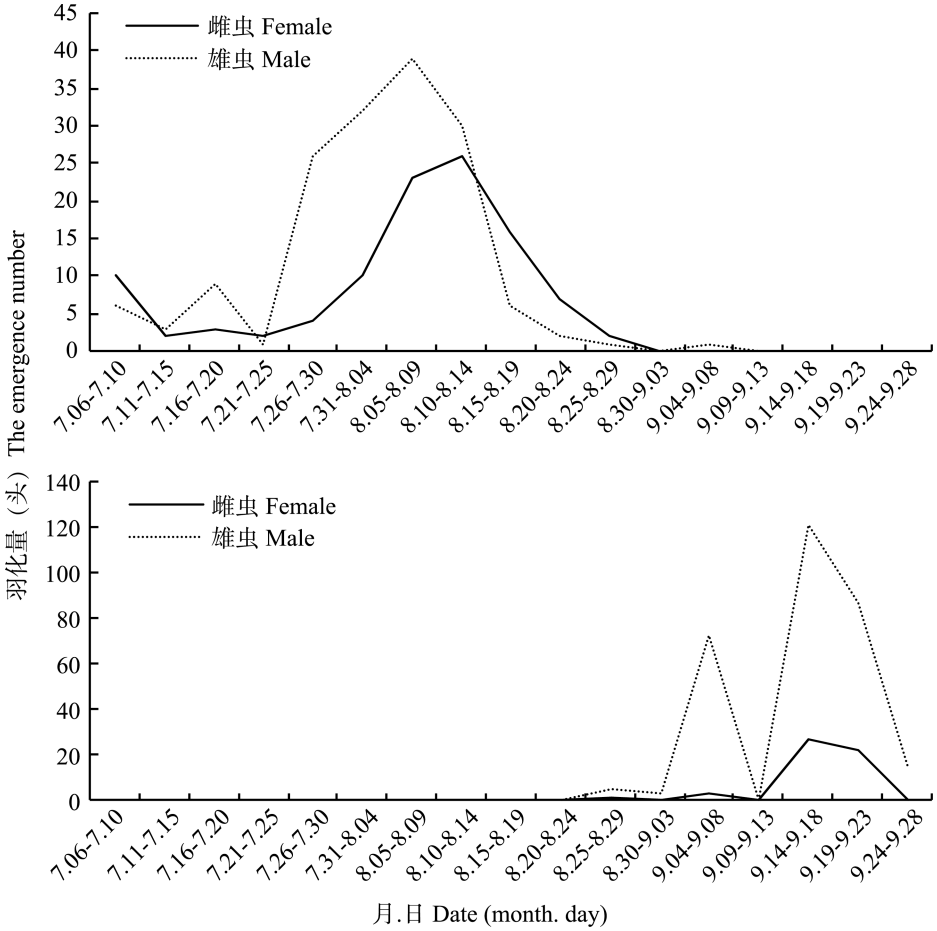

图 3　成虫羽化期内松树蜂和新渡户树蜂雌雄虫的羽化量

Fig. 3　The emergence number of female comparing with male *Sirex noctilio* and *Sirex nitobei* during the adult moulting period

表 3　时间生态位指标

Table 3　Temporal niche of *Sirex noctilio* and *Sirex nitobei*

害虫种类 Species	生态位宽度 Niche breadth		生态位重叠 Niche overlap		生态位相似比例 Niche proportion similarity		种群竞争系数 Interspecific competition coefficient	
	松树蜂 *S. noctilio*	新渡户树蜂 *S. nitobei*	松树蜂 *S. noctilio*	新渡户树蜂 *S. nitobei*	松树蜂 *S. noctilio*	新渡户树蜂 *S. nitobei*	松树蜂 *S. noctilio*	新渡户树蜂 *S. nitobei*
松树蜂 *S. noctilio*	0.6507	-	1	0.0022	1	0.0202	1	0.0259
新渡户树蜂 *S. nitobei*	-	0.1667	0.0085	1	0.0202	1	0.0259	1

2.3.2 两种树峰的空间生态位 统计不同高度两种树峰的分布情况结果如图 4 所示。松树蜂羽化孔主要分布在 0.2~4.2 m，集中分布于 0.2~1.2 m；且随树高升高，松树蜂羽化孔数量减少，4.0 m 以上很少有树蜂危害情况；新渡户树蜂羽化孔主要分布在 0.2~3.2 m，集中分布在 1.3~2.2 m，4.0 m 以上基本没有新渡户树蜂危害。松树蜂的羽化孔相对新渡户树蜂分布偏低。

根据统计结果，10 株樟子松共截成 40 段，来自 4 株树的 7 个木段被松树蜂单独危害，来自 3 株树的 5 个木段被新渡户树蜂单独危害，来自 2 株树的 2 个木段有 2 种树蜂共存，可以看出松树蜂和新渡户树蜂虽然都可危害樟子松，但是多为松树蜂或者新渡户树蜂独立危害，即使在同一木段上同时存在两种树蜂，松树蜂数量也小于新渡户树蜂数量（松树蜂：新渡户树蜂=25：64 和 2：23）。计算两种害虫的空间生态位如表 4 所示。

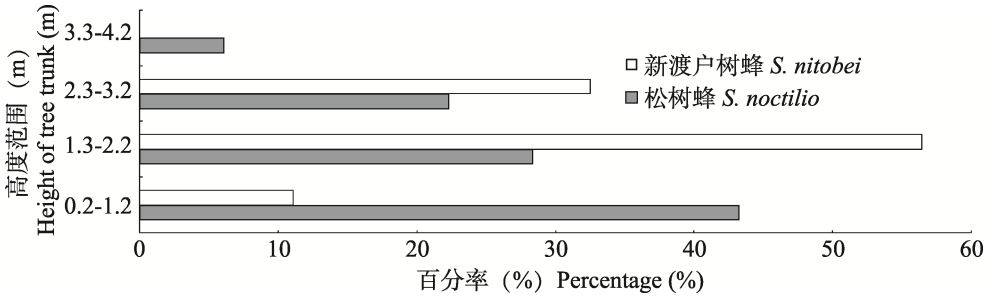

图 4 不同高度树蜂的分布

Fig. 4 The distributing proportion of *Sirex noctilio* and *Sirex nitobei* in different height of tree trunk

表 4 空间生态位指标

Table 4 Spatial niche of *Sirex noctilio* and *Sirex nitobei*

害虫种类 Species	生态位宽度 Niche breadth		生态位重叠 Niche overlap		生态位相似比例 Niche proportion similarity		种群竞争系数 Interspecific competition coefficient	
	松树蜂 *S. noctilio*	新渡户树蜂 *S. nitobei*	松树蜂 *S. noctilio*	新渡户树蜂 *S. nitobei*	松树蜂 *S. noctilio*	新渡户树蜂 *S. nitobei*	松树蜂 *S. noctilio*	新渡户树蜂 *S. nitobei*
松树蜂 *S. noctilio*	0.2783	–	1	0.0111	1	0.1824	1	0.2627
新渡户树蜂 *S. nitobei*	–	0.2516	0.0100	1	0.1824	1	0.2627	1

松树蜂的生态位宽度稍高于新渡户树蜂，分布比新渡户树蜂更为分散。松树蜂对新渡户树蜂的生态位重叠指数很小；说明它们在生态位上的竞争关系较弱，即使能同时危害樟子松，分布位置也存在着一定的差异。由生态位相似性比例 0.1824 和种群竞争系数 0.2627 可以看出，两种害虫的生态位较分离，且处于定殖初期，林间可利用资源相对丰富，不存在强烈的竞争关系。

如图所示 5，松树蜂的生态位宽度指数随高度升高而下降，新渡户树蜂生态位宽度指数随高度升高而升高。

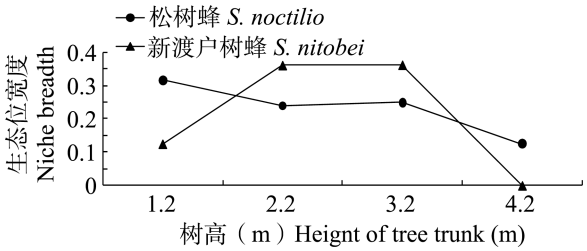

图 5 不同树高树蜂的生态位宽度变化

Fig. 5 Niche breadth of *Sirex* in different height of tree trunk

3 讨论

本研究以金宝屯林场东风营林区樟子松混

交林中的两树蜂种群为研究对象，将树蜂寄主樟子松在空间上分割为垂直高度和水平径级两个单元进行生态位研究（刘丽，2008）。根据聚集度各项指标（谢宗强和刘正宁，1999）得出，目前松树蜂和新渡户树蜂在林间的危害属于聚集分布，即相对集中危害相邻樟子松。在接下来连续几年的样地调查中，随着样地受害树木增多，持续观测松树蜂和新渡户树蜂的空间分布格局在未来的变化，并对比 Lantschner 和 Corley（2015）研究的松树蜂空间分布模式，可用于估计种群密度和扩散趋势，掌握害虫发生期及其在林内的分布规律，提高对其防治的精确度。

昆虫种群生态位与种群的扩散活动能力有直接关系（宗世祥等，2005），由于松树蜂和新渡户树蜂属近源种，其幼虫期和蛹期均在树体内部危害，无法从虫体形态或者坑道形状、走向、大小等直观特征准确辨别，无法像其他研究一样对各个虫态的生态位变化进行统计，故本文选择持续观察并分别标记成虫羽化孔的方法对两种树蜂的生态位进行定量描述。两种树蜂的羽化孔均为正圆形，本文对树蜂羽化孔的大小进行统计的结果表明其直径大小区间有重合，加大了统计的难度，因此本文选择挑选样树进行单个木段独立标记的方法进行统计。

沈绍伟（2017，未见刊）对同属的两种小蠹在云南松主干上的时空生态位进行统计分析，研究发现两种小蠹在云南松的生长季节能同时危害，危害期均较长，危害部位具有很大的相似性；在树干的中下部主要以横坑切梢小蠹为主，在树干的中上部是云南切梢小蠹居多。本文同样对同属的松树蜂和新渡户树蜂进行探究，根据成虫的发生期可以看出，松树蜂的侵入时间要早于新渡户树蜂，两种树峰的时间生态位明显分离。空间生态位上，两种树蜂很少在同一寄主的同一部位共存，松树蜂危害的部位稍低于新渡户树蜂。由于该样地处于树蜂危害的初期阶段，可利用资源相对丰富，且林间虫口密度相对较低，种间竞争系数较低，两种树蜂的危害不存在强烈的竞争关系。松树蜂的生态位宽度随高度增加而减小，新渡户树蜂则相反；通过对比 Rawlings 和 Wilson（1949）研究的松树蜂集中危害的部位，得出与其类似的结果，推断松树蜂更倾向于偏树干下部危害。多数学者对生态位的研究，通常只考虑生物群落中两个种群之间的关系（师光禄等，2003；张锋等，2015），由于本文中的两种害虫同时携带共生菌，随产卵一起注入寄主树木体内（Kobayashi *et al.*，1978；李大鹏等，2015），且树内栖真菌也会影响松树蜂的空间分布（王立祥等，2017），共生菌占据的生态位会直接影响树蜂的生态位，所以接下来的工作要结合共生菌不同种类的生态位和趋避机制进一步探究其相互影响关系。

松树蜂作为外来入侵种，在国内定殖不久，利用生态位概念分析入侵物种与土著物种间的竞争与共生关系，探索外来物种种群入侵形成机理，对于指导外来有害生物的防治工作将带来新的思路。

参考文献 (References)

Coutts MP, Dolezal J, 1969. Emplacement of fungal spores by the woodwasp, *Sirex noctilio*, during oviposition. *Forest Science*, 15(4): 412–416.

Farji-Brener AG, Corley JC, 1998. Successful invasions of hymenopteran insects into NW Patagonia. *Ecología Austral*, 8(2): 237–249.

Fitza KNE, Tabata M, Kanzaki N, Kimura K, Garnas J, Bernard S, 2016. Host specificity and diversity of *Amylostereum* associated with Japanese siricids. *Fungal Ecology,* 24: 76–81.

Kobayashi T, Sasaki K, Enda N, 1978. Correlation between *Sirex nitobei* and *Amylostereum areolatum*, associated with the death of Japanese pine trees during winter season. *Journal of the Japanese Forestry Society*, 60(11): 405–411.

Lantschner MV, Corley JC, 2015. Spatial pattern of attacks of the invasive woodwasp *Sirex noctilio*, at landscape and stand scales. *PLoS ONE*, 10(5): 1–14.

Levins R, 1968. Evolution in changing environments: Some theoretical explorations by Richard Levins. *American Anthropologist*, 71(6): 1194–1195.

Liu DZ, Liu KY, Zang RG, Wang XP, Sheng LJ, Zhu ZL, Shi Q, Wang CA, 2006. Development of the modern niche theory and its main representative genres. *Scientia Silvae Sinicae*, 42(8): 88–94. [李德志, 刘科轶, 臧润国, 王绪平, 盛丽娟, 朱志玲, 石强, 王长爱, 2006. 现代生态位理论的发展及其主要代表流派. 林业科学, 42(8): 88–94.]

Li DZ, Shi Q, Zang RG, Wang XP, Sheng LJ, Zhu ZL, Wang CA, 2006. Models for niche breadth and niche overlap of species or populations. *Scientia Silvae Sinicae*, 42(7): 95–103. [李德志, 石强, 臧润国, 王绪平, 盛丽娟, 朱志玲, 王长爱, 2006. 物种或种群生态位宽度与生态位重叠的计测模型. 林业科学, 42(7): 95–103.]

Li J, Zhu JZ, Zhu QK, 2003. A review on niche theory and niche metrics. *Journal of Beijing Forestry University*, 25(1): 100–107. [李契, 朱金兆, 朱清科, 2003. 生态位理论及其测度研究进展. 北京林业大学学报, 25(1): 100–107.]

Li DP, Shi J, Luo YQ, 2015. Mutualism between the Eurasian woodwasp, *Sirex noctilio* (Hymenoptera: Siricidae) and its fungal symbiont *Amylostereum areolatum* (Russulales: Amylostereaceae). *Acta Entomologica Sinica*, 58(9): 1019–1029. [李大鹏, 石娟, 骆有庆, 2015. 松树蜂与其共生真菌的互利共生关系. 昆虫学报, 58(9): 1019–1029.]

Liu L, 2008. Niche and monitoring techniques on main bark beetles in natural spruce forests in Qinghai. Master thesis. Beijing: Beijing Forestry University. [刘丽, 2008. 青海云杉天然林小蠹虫种类、生态位与监测技术研究. 硕士学位论文. 北京: 北京林业大学.]

Liu L, Yan W, Luo YQ, Wu J, Li ZY, Ma JH, 2007. Spatial niches of bark beetle population in *Picea crassifolia* natural forests. *Journal of Beijing Forestry University*, 29(5): 165–169. [刘丽, 阎伟, 骆有庆, 吴坚, 李镇宇, 马建海, 2007. 青海云杉天然林内小蠹种群空间生态位的研究. 北京林业大学学报, 29(5): 165–169.]

May RM, 1975. Some notes on estimating the competition matrix. *Ecology*, 56(3): 737–741.

Morgan FD, 1968. Bionomics of Siricidae. *Annual Review of Entomology*, 13: 239–256.

Morgan FD, Griffith JA, 1989. Forty years of *Sirex noctilio* and *Ips grandicollis* in Australia. *New Zealand Journal of Forestry*, 19(2/3): 198–209.

Nielsen C, Williams DW, Hajek AE, 2009. Putative source of the invasive *Sirex noctilio* fungal symbiont, *Amylostereum areolatum*, in the eastern United States and its association with native siricid woodwasps. *Mycological Research*, 113(11): 1242–1253.

Rawlings GB, Wilson NM, 1949. *Sirex noctilio* as a beneficial and destructive insect to *Pinus radiata* in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry*, 6(1): 20–29.

Shi GL, Xi YB, Wang HX, Li ZY, Xia NB, 2003. The niche of important pests and natural enemies and competition among the species in jujube orchard ecosystem. *Scientia Silvae Sinicae*, 39(5): 78–86. [师光禄, 席银宝, 王海香, 李镇宇, 夏乃斌, 2003. 枣园生态系统中主要害虫、天敌生态位及种间竞争的研究. 林业科学, 39(5): 78–86.]

Slippers B, De Groot P, Wingfield M J, 2011. The *Sirex* Woodwasp and Its Fungal Symbiont. New York: Springer. 159–166.

Talbot P, 1977. The *Sirex -Amylostereum- Pinus* association. *Annual Review of Phytopathology*, 15(1): 41–54.

Wang F, Ju RT, Li YZ, Du MZ, 2006. Niche concept and its application in insect ecology. *Chinese Journal of Ecology*, 25(10): 1280–1284. [王凤, 鞠瑞亭, 李跃忠, 杜予州, 2006. 生态位概念及其在昆虫生态学中的应用. 生态学杂志, 25(10): 1280–1284.]

Wang LX, Ren LL, You CJ, Zhou F, Shi J, Luo YQ, 2017. The mycobiota of *Pinus sylvestris* trunk invaded by *Sirex noctilio*. *Mycosystema*, 36(4): 444–453. [王立祥, 任利利, 游崇娟, 周丰, 石娟, 骆有庆, 2017. 松树蜂入侵樟子松的内栖真菌区系. 菌物学报, 36(4): 444–453.]

Xiao GR, Wu J, 1983. The *Sirex* woodwasps of China. *Forest Research*, 19(zj): 1–29. [萧刚柔, 吴坚, 1983. 中国树蜂科昆虫研究. 林业科学研究, 19(zj): 1–29.]

Xie ZQ, Liu ZY, 1999. Spatial distribution pattern of *Cathaya argyrophylla* population. *Acta Botanica Sinica*, 41(1): 95–101. [谢宗强, 刘正宇, 1999. 银杉种群的空间分布格局. 植物学报, 41(1): 95–101.]

Yi XY, Zhao HL, Cui JY, Li YQ, Zuo XA, Zhuo H, 2006. Growth of small area *Pinus sylvestris* var. *mongolica* artificial forest under different densities in Horqin Sandy Land, North of China. *Acta Ecologica Sinica*, 26(4): 1200–1206. [移小勇, 赵哈林, 崔建垣, 李玉强, 左小安, 卓鸿, 2006. 科尔沁沙地不同密度(小面积)樟子松人工林生长状况. 生态学报, 26(4): 1200–1206.]

Zhang F, Hong B, Li YM, Zhang SL, 2015. Spatio temporal niche analysis of dominant pests and natural enemies of *Caragana korshinskii*. China Society of Plant Protection. 294–300. [张锋, 洪波, 李英梅, 张淑莲, 2015. 柠条优势害虫与天敌时空生态位分析. 中国植物保护学会. 294–300.]

Yuan F, Luo YQ, Shi J, Kari H, 2011. Spatial ecological niche of main insect borers in larch of Aershan. *Acta Ecologica Sinica*, 31(15): 4342–4349. [袁菲, 骆有庆, 石娟, Kari Heli(o)vaara, 2011. 阿尔山落叶松主要蛀干害虫的种群空间生态位. 生态学报, 31(15): 4342–4349.]

Zhu CQ, 1993. Niche theory and its application in forest ecology. *Chinese Journal of Ecology*, (4): 41–46. [朱春全, 1993. 生态位理论及其在森林生态学研究中的应用. 生态学杂志, (4): 41–46.]

Zong SX, Jia FY, Luo YQ, Xu ZC, Zhang LS, Liang SJ, 2005. Harm characteristics and population dynamics of *Holcocerus hippophaecolus*. *Journal of Beijing Forestry University*, 27(1): 70–74. [宗世祥, 贾峰勇, 骆有庆, 许志春, 张连生, 梁树军, 2005. 沙棘木蠹蛾危害特性与种群数量的时空动态研究. 北京林业大学学报, 27(1): 70–74.]

Zong SX, Yao GL, Luo YQ, Xu ZC, Wang T, 2005. Niche of main boring pests in *Hippophae rhamnoidea*. *Acta Ecologica Sinica*, 25(12): 3264–3270. [宗世祥, 姚国龙, 骆有庆, 许志春, 王涛, 2005. 沙棘主要蛀干害虫种群生态位. 生态学报, 25(12): 3264–3270.]