应用昆虫学报 *Chinese Journal of Applied Entomology* 2017, 54(3): 506–514. DOI: 10.7679/j.issn.2095–1353.2017.062

白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的种群空间生态位研究*

路纪芳[1,2**] 蔡静芸[1] 展茂魁[1] 王小艺[2***]
唐艳龙[2] 王 健[1] 司徒春南[1]

（1. 遵义市林业科学研究所，遵义 563002；2. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所，北京 100091）

摘 要 **【目的】** 为了明确白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* Fairmaire 幼虫及其天敌在寄主树上的分布规律和相互关系。**【方法】** 对天津和北京两个地区绒毛白蜡 *Fraxinus velutina* 和辽宁地区水曲柳 *F. mandshurica* 上白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的种群生态位进行研究。**【结果】** 白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的数量均随着寄主树干高度的增加而逐渐减少，但在不同寄主树种上的分布范围不同。绒毛白蜡上的分布范围较广，而在水曲柳主干上的分布高度相对较低。天敌对白蜡窄吉丁幼虫在空间资源的利用上也存在差异。在天津地区，白蜡吉丁柄腹茧蜂 *Spathius agrili* Yang（膜翅目：茧蜂科）和啄木鸟（䴕形目：啄木鸟科）的跟随作用最强，且白蜡吉丁柄腹茧蜂与啄木鸟之间对空间资源的利用存在激烈竞争。在北京地区，啄木鸟的跟随作用最强，病原微生物、扁胫旋小蜂、白蜡吉丁柄腹茧蜂之间对空间和营养资源利用的竞争较激烈。而在辽宁地区，白蜡窄吉丁幼虫和天敌的分布范围较窄，各类天敌在空间上对寄主幼虫的跟随作用不是很明显，但不同天敌种类之间对空间和营养资源的利用也存在竞争。**【结论】** 研究结果为白蜡窄吉丁的综合治理和天敌资源的保护利用提供了理论依据。

关键词 吉丁甲科，白蜡，垂直分布，种间竞争

Spatial population niche of *Agrilus planipennis* Fairmaire larvae and their natural enemies

LU Ji-Fang[1,2**] CAI Jing-Yun[1] ZHAN Mao-Kui[1] WANG Xiao-Yi[2***]
TANG Yan-Long[2] WANG Jian[1] SITU Chun-Nan[1]

(1. Zunyi Institute of Forestry, Zunyi 563002, China; 2. Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China)

Abstract **[Objectives]** To explore the distribution and correlation of *Agrilus planipennis* Fairmaire larvae and their natural enemies on the host tree. **[Methods]** the spatial population niche of *A. planipennis* larvae and their natural enemies were studied on *Fraxinus velutina* in Tianjin and Beijing Cites, as well as on *F. mandshurica* in Liaoning Province. **[Results]** The results showed that the number of *A. planipennis* larvae and its natural enemies decreased gradually with the height of host trees, but the vertical distribution ranges of *A. planipennis* larvae and its natural enemies were different between different host trees, *F. mandshurica* and *F. velutina*. Distribution scope of *A. planipennis* larvae and its natural enemies on *F. velutina* was wider than that on *F. mandshurica*. The synchrony of varied natural enemies to *A. planipennis* larvae and their utilization on space and nutrition were also different. In Tianjin area, both parasitoid *Spathius agrili* Yang (Hymenoptera: Braconidae) and predator woodpeckers (Piciformes: Picidae) had strong synchrony to *A. planipennis* larvae and thus showed intensive competition for space and host resources. Woodpeckers revealed the strongest synchrony to its prey in Beijing. While the

*资助项目 Supported projects：美国农业部动农业研究局（USDA-ARS）项目（58-8010-5-001F）
**第一作者 First author，E-mail: senbaoljf20052186@126.com
***通讯作者 Corresponding author，E-mail: xywang@caf.ac.cn
收稿日期 Received：2016-06-06，接受日期 Accepted：2016-12-08

competition among pathogen, *Metapelma* sp. (Hymenoptera: Eupelmidae) and *S. agrili* was intense. In Liaoning, distribution scope of *A. planipennis* larvae and its natural enemies was narrower than that in Beijing and Tianjin, so the synchrony of natural enemies to host larvae were not such apparent. But competitions for space and host resources were also tense among different natural enemies. **[Conclusion]** These findings provide supports for the EAB management and natural enemies' conservation and utilization.

Key words Bupretidae, ash, vertical distribution, interspecific competition

白蜡窄吉丁 *Agrilus planipennis* Fairmaire，异名 *A. marcopoli* Obenberger，英文名称为 Emerald ash borer（EAB），又名花曲柳窄吉丁、梣小吉丁，属鞘翅目 Coleoptera 吉丁甲科 Buprestidae（于诚铭，1992；Haack *et al.*，2002；路纪芳等，2012）。该虫主要危害木犀科 Oleaceae 白蜡属 *Fraxinus* spp.树木，分布在树干 0~3.4 m 的高处，集中分布在 1~2 m 的主干，因其隐蔽性强，防治极为困难（Wang *et al.*，2010；路纪芳等，2012）。

生态位（Ecological niche）是指在生态因子变化幅度中，能被生物占据、利用或适应的部分，以表明物种在其生物群落中的位置和作用，它描述了物种对环境资源的利用状况，揭示了种间竞争的关系（孙儒泳，2001；宋冀营等，2005；郑挺等，2014）。目前，生态位概念在研究物种种间关系上已得到广泛应用，在有害生物综合治理方面，通过比较生态位宽度和重叠指数异同，不仅可以反映出各物种间的竞争共存机制和复合危害特点，同时可以为害虫的综合防治提供理论依据（路纪芳，2012；张大治，2012）。本研究根据生态位的理论，从空间资源利用上分析了天津、北京和辽宁 3 个地区白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的结构和种间关系，为害虫的综合治理和天敌的保护利用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　样地情况

样地分别位于我国天津市大港区官港森林公园、北京市西山林场和辽宁省丹东市凤城市赛马镇南庙村。天津地区：38°56′ N，117°29′ E，调查样地为树种单一的绿化林地，树种为绒毛白蜡，林地内的郁闭度为 0.6，寄主树种的平均胸径为 6.75 cm；北京地区：40°00.571′ N，116°11.226′ E，调查样地为混交林，主要树种为洋白蜡、绒毛白蜡，林地内的郁闭度为 0.55，寄主树种的平均胸径为 6.58 cm；辽宁地区：40°52.823′ N，124°16.419′ E，调查样地为次生混交林，主要树种为水曲柳，林地内郁闭度为 0.8，寄主树种的平均胸径为 8.37 cm。

1.2　实验方法

2010 年 4 月，在我国天津、北京和辽宁丹东 3 个地区的实验样地内随机抽取 20 株白蜡树作为样木，在每株样木上编号标记。

辽宁省丹东市的样地内主要寄主树种为我国本土树种水曲柳，受害较轻，因此，2010 年 4 月在样地内采用环割寄主树作为诱木的方法引诱成虫。该环割方法为：在距离寄主树基部 20 cm 的主干上环割，环割宽度为 10~20 cm，并在树干 50~200 cm 高度范围内用白色接缝纸带缠绕，纸带间留有小缝隙，用来引诱成虫产卵（图 1）。

A　　B

图 1　环割树木或缠纸带引诱白蜡窄吉丁成虫产卵

Fig. 1　Girdling tree or wrapping paper on trunk for attracting *Agrilus planipennis* adults laying eggs

A. 环割样树；B. 缠纸带样树。

A. Girdling tree; B. Wrapping paper on trunk.

白蜡窄吉丁幼虫取食的坑道顶端宽度（x）与其体重（y）之间的关系符合幂数函数：$y=0.001427x^{2.3960}$（r=0.9967），而体重（y）与其虫龄之间的关系符合指数函数：$y=e^{-9.3586+1.5909x}$（r=0.9967），由以上两个公式可以通过幼虫坑道顶端宽度确定虫龄（Wang *et al.*，2008，2013）。因此，调查样地内样树分两次砍伐：当年 11 月份幼虫钻入蛹室开始越冬后（坑道内的虫态为幼虫）和翌年 4 月份成虫羽化前（坑道或蛹室内的虫态为老熟幼虫或蛹）。每次砍伐样木 10 株，砍伐样木前测量并记录每株样树的胸径。样木处理方法为：伐倒后的样树截成适当长度（1.3～2.0 m）的木段，并对每段样木标号，从基部段向上依次编为 1 号样段（No. 1），2 号样段(No. 2)，3 号样段（No. 3），准确记录木段的长度和木段中部直径。把做好标记的木段带回实验室内解剖，解剖木段时记录幼虫所在位置坑道的宽度、木段上白蜡窄吉丁幼虫的总数量、存活和死亡的幼虫数量，及每头死亡幼虫的死亡原因（路纪芳等，2013）。

1.3 分析方法

生态位宽度（Niche width or niche breadth）是生物利用资源多样性的一个指标，表明一个物种在具有不同数量单位的资源序列上的分布（陈常铭，1990；孙儒泳，2001；刘春燕等，2012）。生态位重叠（Niche overlap）是指在一个资源序列上，两个物种利用相同等级资源而相互重叠的情况，反应了生态位的分离和重叠情况（宋冀营等，2007）。本文中的生态位宽度和生态位重叠采用徐汝梅（1987）提出的公式进行计算分析：

$$B=1/\left(s\sum_{i=1}^{s}P_{\mathrm{i}}^{2}\right),$$

$$a_{\mathrm{ij}}=\sum_{h=1}^{n}p_{\mathrm{ih}}p_{\mathrm{jh}}(B_{\mathrm{i}})。$$

式中：B 代表生态位宽度，取值范围为[1/s，1]；S 代表资源集合中的总单元数；P_{i} 代表在一个资源集合中，物种在第 i 单元所占的比例。由于每株树均截成 3 段，因此，资源集合 s 为 3。a_{ij} 代表物种 i 与物种 j 的生态位相似度；P_{ih} 和 P_{jh} 代表物种 i 和物种 j 在资源序列第 h 个单元中的比例；

生态位相似性比例（Proportional similarity）指在一个资源序列中，两个物种利用资源的相似程度，是对生态位重叠指数的进一步反映（沈佐锐，2009；袁菲等，2011）。

$$PS=1-\frac{1}{2}\sum\left|P_{\mathrm{ij}}-P_{\mathrm{hj}}\right|。$$

式中：PS 代表物种 i 与物种 j 的相似程度，具有域值[0,1]；P_{ij} 和 P_{hj} 代表在资源单位 j 中，第 i 和 h 所占的比例。

2 结果与分析

2.1 白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的垂直分布

天津、北京和辽宁 3 个样地内白蜡窄吉丁幼虫及其天敌在树干不同高度的分布调查结果显示，3 个样地内白蜡窄吉丁幼虫天敌的种类不同，但幼虫及其天敌均主要分布在树干 2.5 m 以下，且随着树干高度的增高幼虫的数量逐渐减少（图 2）。北京地区样地内白蜡窄吉丁幼虫的天敌种类最丰富，有 6 种，啄木鸟的数量最多，天津地区有 4 种天敌，白蜡吉丁柄腹茧蜂数量较多，而辽宁地区的天敌种类最少，数量也较少。

另外，3 个调查样地内天敌起作用的时期也有所不同。天津和北京地区调查样地内的天敌主要在 3~4 龄幼虫期起作用，而 1~2 龄幼虫期几乎没有天敌。而辽宁地区 1~2 龄幼虫期有 2 种天敌，3~4 龄幼虫期有 4 种天敌，整个幼虫期天敌的比例较低。

2.2 白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的生态位

本研究以寄主树种作为栖息地，以寄主树干的垂直高度作为资源序列进行划分，用生态位宽度、生态位重叠和生态位相似比例来描述白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的垂直分布。下面是 3 个调查样地内白蜡窄吉丁幼虫及其天敌在树干不同部分的生态位分析结果。

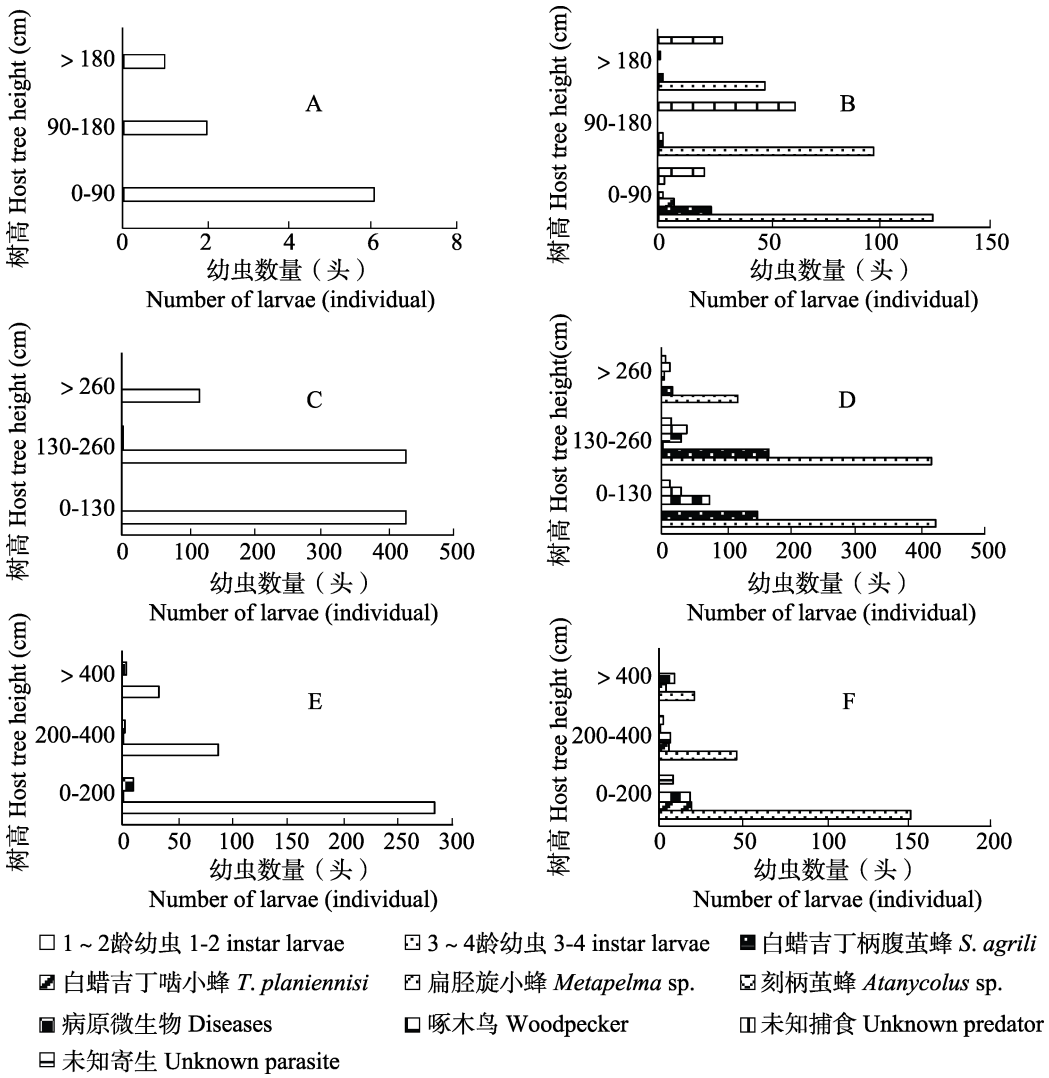

图 2　白蜡窄吉丁幼虫及其天敌在树干不同高度的垂直分布

Fig. 2　Vertical distribution of *Agrilus planipennis* larvae and their natural enemies at different heights on host tree trunks

A. 天津地区 1~2 龄幼虫及其天敌的分布；B. 天津地区 3~4 龄幼虫及其天敌的分布；C. 北京地区 1~2 龄幼虫及其天敌的分布；D. 北京地区 3~4 龄幼虫及其天敌的分布；E. 辽宁地区 1~2 龄幼虫及其天敌的分布；F. 辽宁地区 3~4 龄幼虫及其天敌的分布；微生物主要包括白僵菌、绿僵菌和细菌。下图同。

A. Vertical distribution of *A. planipennis* 1st-2nd instars larvae and natural enemies in Tianjin; B. Vertical distribution of *A. planipennis* 3rd-4th instars larvae and natural enemies in Tianjin; C. Vertical distribution of *A. planipennis* 1st-2nd instars larvae and natural enemies in Beijing; D. Vertical distribution of *A. planipennis* larvae and natural enemies in Beijing; E. Vertical distribution of *A. planipennis* 1st-2nd instar larvae and natural enemies in Liaoning; F. Vertical distribution of *A. planipennis* 3rd-4th instar larvae and natural enemies in Liaoning. Diseases include *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae* and bacteria. The same below.

2.2.1　天津地区　天津地区调查样地内白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的生态位分析结果显示，白蜡窄吉丁幼虫的生态位宽度值为 0.83，表明在寄主树干上的分布较广。1~2 龄幼虫期天敌的生态位宽度值较低，均为 0.33，说明它们在树干上的分布比较集中。3~4 龄幼虫期的 5 种天敌中，啄木鸟和白蜡吉丁柄腹茧蜂的生态位宽度值较大，为 0.87 和 0.74，表明它们的分布较广，而扁胫旋小蜂的生态位宽度最小，为 0.33，表明它的分布比较集中（表 1、表 2）。

表 1 天津地区白蜡窄吉丁 1~2 龄幼虫及其天敌的生态位宽度和生态位重叠

Table 1 Niche width and niche overlap of *Agrilus planipennis* 1st-2nd instar larvae and their natural enemies in Tianjin

	生态位宽度 Niche width	生态位重叠 Niche overlap		
		白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	白蜡吉丁柄腹茧蜂 *S. agrili*	病原微生物 Diseases
白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	0.83	1.00	0.37	0.37
白蜡吉丁柄腹茧蜂 *S. agrili*	0.33	0.15	1.00	0.33
病原微生物 Diseases	0.33	0.15	0.33	1.00

表 2 天津地区白蜡窄吉丁 3~4 龄幼虫及其天敌的生态位宽度和生态位重叠

Table 2 Niche width and niche overlap of *Agrilus planipennis* 3rd-4th larvae and their natural enemies in Tianjin

	生态位宽度 Niche width	生态位重叠 Niche overlap				
		白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	白蜡吉丁柄腹茧蜂 *S. agrili*	扁胫旋小蜂 *Metapelma* sp.	病原微生物 Diseases	啄木鸟 Woodpeckers
白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	0.83	1.00	0.35	0.36	0.35	0.32
白蜡吉丁柄腹茧蜂 *S. agrili*	0.74	0.31	1.00	0.37	0.33	0.30
扁胫旋小蜂 *Metapelma* sp.	0.33	0.15	0.17	1.00	0.09	0.16
病原微生物 Diseases	0.62	0.27	0.28	0.18	1.00	0.24
啄木鸟 Woodpeckers	0.87	0.34	0.35	0.41	0.34	1.00

天敌的分布与寄主幼虫的分布紧密相关，各天敌与寄主幼虫之间的生态位重叠值均大于或等于 0.30。除此之外，各天敌相互之间也会有生态位重叠，1~2 龄幼虫期病原微生物对白蜡吉丁柄腹茧蜂的生态位重叠值较大，为 0.33，表明两者对空间资源的共享程度较大。3~4 龄幼虫期，啄木鸟的分布最广，与其它天敌的生态位重叠值较大，表明它与其它天敌之间对空间资源的共享程度均较大。扁胫旋小蜂的数量极少，与其它天敌间对空间的共享较低（表 1、表 2）。

白蜡窄吉丁幼虫及其天敌间的生态位相似比例计算结果显示，1~2 龄幼虫期，白蜡吉丁柄腹茧蜂和病原微生物间的生态位相似比例为 1.00，表明它们对空间和食物资源的竞争很激烈。3~4 龄幼虫期，啄木鸟和白蜡吉丁柄腹茧蜂间的生态位相似比例最大，为 0.90，表明它们对空间和食物资源的竞争激烈。而扁胫旋小蜂和病原微生物之间的生态位相似比例最小，在对空间资源的利用上分离，没有竞争（表 3）。

2.2.2 北京地区 北京地区调查样地内的白蜡窄吉丁幼虫的生态位宽度值为 0.89，在树干上的分布比较广，与天津地区样地相似。1~2 龄幼虫期没有发现天敌。3~4 龄幼虫期，啄木鸟的生态位宽度值最大，为 0.82，表明它在树干上的分布较广。其次是白蜡吉丁柄腹茧蜂和白蜡吉丁啮小蜂，分别为 0.45 和 0.51。扁胫旋小蜂、刻柄茧蜂和病原微生物的生态位宽度最小，均为 0.33，它们在树干上的分布较集中（表 4）。

该调查样地内各天敌之间，白蜡吉丁啮小蜂对扁胫旋小蜂、病原微生物的生态位重叠值相同，均为 0.40，表明它们对空间资源共享程度相同。其次，白蜡吉丁柄腹茧蜂与病原微生物间的生态位重叠值为 0.38，表明它们对空间资源共享程度也较大。而刻柄茧蜂与白蜡吉丁啮小蜂、扁胫旋小蜂和病原微生物之间的生态位重叠值为 0，表明它们相互之间在空间分布上分离，没有重叠（表 4）。

1~2 龄幼虫期没有发现天敌，因此没有生态位相似比例值。3~4 龄幼虫期，白蜡吉丁柄腹茧蜂与病原微生物、白蜡吉丁啮小蜂和扁胫旋小蜂

表 3　天津地区白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的生态位相似比例

Table 3　Proportional similarity of *Agrilus planipennis* larvae and their natural enemies in Tianjin

	白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	白蜡吉丁柄腹茧蜂 *S. agrili*	扁胫旋小蜂 *Metapelma* sp.	病原微生物 Diseases	啄木鸟 Woodpeckers
白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	1.00				
白蜡吉丁柄腹茧蜂 *S. agrili*	0.94	1.00			
扁胫旋小蜂 *Metapelma* sp.	0.44	0.50	1.00		
病原微生物 Diseases	0.77	0.77	0.28	1.00	
啄木鸟 Woodpeckers	0.93	0.90	0.47	0.70	1.00

主对角线右上方为 1~2 龄幼虫期寄主幼虫及其天敌的生态位相似比例，左下方为 3~4 龄幼虫期的相似比例。下表同。The data in upper-right and lower-left are proportional similarity of host larvae and their natural enemies from 1st-2nd instar and 3rd-4th instar, respectively. The same below.

表 4　北京地区白蜡窄吉丁 3~4 龄幼虫及其天敌的生态位宽度和生态位重叠

Table 4　Niche width and niche overlap of *Agrilus planipennis* 3rd-4th instar larvae and their natural enemies in Beijing

	生态位宽度 Niche width	生态位重叠 Niche overlap						
		白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	白蜡吉丁柄腹茧蜂 *S. agrili*	白蜡吉丁啮小蜂 *T. planipennisi*	扁胫旋小蜂 *Metapelma* sp.	刻柄茧蜂 *Atanycolus* sp.	病原微生物 Diseases	啄木鸟 Woodpeckers
白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	0.89	1.00	0.39	0.39	0.41	0.16	0.41	0.30
白蜡吉丁柄腹茧蜂 *S. agrili*	0.45	0.19	1.00	0.31	0.38	0.03	0.38	0.10
白蜡吉丁啮小蜂 *T. planipennisi*	0.51	0.22	0.35	1.00	0.40	0.00	0.40	0.14
扁胫旋小蜂 *Metapelma* sp.	0.33	0.15	0.29	0.26	1.00	0.00	0.33	0.06
刻柄茧蜂 *Atanycolus* sp.	0.33	0.06	0.02	0.00	0.00	1.00	0.00	0.09
病原微生物 Diseases	0.33	0.15	0.29	0.26	0.33	0.00	1.00	0.18
啄木鸟 Woodpeckers	0.82	0.27	0.18	0.22	0.15	0.21	0.15	1.00

之间的生态位相似比例值较大，表明它们之间对空间资源的利用竞争激烈。白蜡吉丁啮小蜂与扁胫旋小蜂、病原微生物之间的生态位相似比例值次之，啄木鸟与扁胫旋小蜂、病原微生物对空间资源的利用竞争较小，而刻柄茧蜂与白蜡吉丁啮小蜂、扁胫旋小蜂和病原微生物之间在空间资源的利用上没有竞争（表 5）。

2.2.3　辽宁地区　辽宁地区调查样地内白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的生态位宽度和生态位重叠结果显示，白蜡窄吉丁幼虫在树干上的分布较集中。1~2 龄幼虫期，病原微生物的生态位宽度值最大，其次是白蜡吉丁啮小蜂。3~4 龄幼虫期，病原微生物的生态位宽度也最大，为 0.85，其次是白蜡吉丁啮小蜂，生态位宽度为 0.69，啄木鸟的生态位宽度值最小，为 0.33，表明它在树干上的分布较集中（表 6，表 7）。

1~2 龄幼虫期，病原微生物对白蜡吉丁啮小蜂的生态位重叠值最大，为 0.34，表明它们之间对空间资源的共享程度较大。3~4 龄幼虫期，病原微生物和白蜡吉丁啮小蜂对未知寄生物的生

表 5 北京地区白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的生态位相似比例

Table 5 Proportional similarity of *Agrilus planipennis* larvae and their natural enemies in Beijing

	白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	白蜡吉丁柄腹茧蜂 *S. agrili*	白蜡吉丁啮小蜂 *T. planipennisi*	扁胫旋小蜂 *Metapelma* sp.	刻柄茧蜂 *Atanycolus* sp.	病原微生物 Diseases	啄木鸟 Woodpeckers
白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	1.00						
白蜡吉丁柄腹茧蜂 *S. agrili*	0.60	1.00					
白蜡吉丁啮小蜂 *T. planipennisi*	0.68	0.85	1.00				
扁胫旋小蜂 *Metapelma* sp.	0.46	0.86	0.78	1.00			
刻柄茧蜂 *Atanycolus* sp.	0.18	0.07	0.00	0.00	1.00		
病原微生物 Diseases	0.46	0.86	0.78	1.00	0.00	1.00	
啄木鸟 Woodpeckers	0.73	0.33	0.41	0.19	0.26	0.19	1.00

表 6 辽宁地区白蜡窄吉丁 1~2 龄幼虫及其天敌的生态位宽度和生态位重叠

Table 6 Niche width and niche overlap of *Agrilus planipennis* 1st-2nd instar larvae and their natural enemies in Liaoning

	生态位宽度 Niche width	生态位重叠 Niche overlap		
		白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	白蜡吉丁啮小蜂 *T. planipennisi*	病原微生物 Diseases
白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	0.61	1.00	0.33	0.28
白蜡吉丁啮小蜂 *T. planipennisi*	0.60	0.32	1.00	0.26
病原微生物 Diseases	0.78	0.36	0.34	1.00

表 7 辽宁地区白蜡窄吉丁 3~4 龄幼虫及其天敌的生态位宽度和生态位重叠

Table 7 Niche width and niche overlap of *Agrilus planipennis* 3rd-4th instar larvae and their natural enemies in Liaoning

	生态位宽度 Niche width	生态位重叠 Niche overlap				
		白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	白蜡吉丁啮小蜂 *T. planipennisi*	病原微生物 Diseases	啄木鸟 Woodpeckers	未知寄生 Unknown parasitoid
白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	0.63	1.00	0.32	0.27	0.13	0.36
白蜡吉丁啮小蜂 *T. planipennisi*	0.69	0.35	1.00	0.29	0.13	0.37
病原微生物 Diseases	0.85	0.37	0.36	1.00	0.16	0.38
啄木鸟 Woodpeckers	0.33	0.07	0.06	0.06	1.00	0.08
未知寄生 Unknown parasitoid	0.53	0.30	0.28	0.24	0.13	1.00

态位重叠值均较大，分别为 0.38，0.37，表明它们之间对空间资源的利用程度大。而啄木鸟对白蜡吉丁啮小蜂、病原微生物和未知寄生的生态位重叠值较小，表明它们在空间分布上分离（表 6、表 7）。

1~2 龄幼虫期，白蜡吉丁啮小蜂和病原微生物之间的生态位相似比例指数较大，为 0.74，表明两者在空间资源利用上的竞争较激烈。3~4 龄

幼虫期，白蜡吉丁啮小蜂和病原微生物、未知寄生之间的生态位相似比例均较大，为 0.84，0.88，说明它们在空间资源利用上的竞争比较激烈。而啄木鸟和白蜡吉丁啮小蜂、病原微生物之间的生态位相似比例值最小，均为 0.19，表明它们对空间资源的利用竞争小（表 8）。

表 8　辽宁地区白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的生态位相似比例

Table 8　Proportional similarity of *Agrilus planipennis* larvae and their natural enemies in Liaoning

	白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	白蜡吉丁啮小蜂 *T. planipennisi*	病原微生物 Diseases	啄木鸟 Woodpeckers	未知寄生 Unknown parasitoid
白蜡窄吉丁幼虫 *A. planipennis* larvae	1.00				
白蜡吉丁啮小蜂 *T. planipennisi*	0.94	1.00			
病原微生物 Diseases	0.82	0.88	1.00		
啄木鸟 Woodpeckers	0.21	0.19	0.19	1.00	
未知寄生 Unknown parasitoid	0.90	0.84	0.72	0.25	1.00

3　结论与讨论

本研究通过对天津、北京和辽宁 3 个地区调查样地内白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的生态位分析，明确了它们在寄主树种上的垂直分布规律，及各天敌之间对空间资源的利用。3 个调查样地内白蜡窄吉丁幼虫和天敌的数量均随着寄主树干高度的增高而逐渐减少，但不同龄期幼虫和不同寄主上的分布范围不同。3 个调查样地内，与 1~2 龄幼虫期相比，3~4 龄幼虫期天敌种类丰富，数量多，是控制白蜡窄吉丁种群数量的关键阶段，且天敌对空间资源利用上存在差异。天津样地内，白蜡吉丁柄腹茧蜂和啄木鸟对空间资源利用上存在强烈的竞争。北京样地内，啄木鸟的生态位宽度最大，而对空间和食物资源利用竞争最激烈的是白蜡吉丁柄腹茧蜂和白蜡吉丁啮小蜂。在辽宁调查样地内，白蜡吉丁啮小蜂和病原微生物对空间资源的利用上存在激烈的竞争。从 3 个调查样地内的生态位分析结果，可以看出寄生性天敌昆虫白蜡吉丁柄腹茧蜂和白蜡吉丁啮小蜂的数量较大，可以作为控制白蜡窄吉丁种群数量的优势天敌类群，生产上可通过大量繁育这 2 种天敌进行野外释放，降低该虫的危害。

Jennings 等（2013）研究了啄木鸟的捕食作用对林间白蜡窄吉丁种群动态的影响，结果表明啄木鸟会取食已经被天敌寄生的白蜡窄吉丁幼虫或蛹。本研究没有考虑该因素，把啄木鸟取食的幼虫或蛹全部认定为健康虫体，可能会导致天敌昆虫的生态位宽度偏低。啄木鸟的致死作用主要通过树干上的啄痕来判断，不能确定其种类。本研究中的微生物主要是白僵菌和细菌等，表中各天敌的生态位宽度是指由天敌作用致死的白蜡窄吉丁幼虫的生态位。

利用天敌控制害虫要求天敌和所作用的害虫虫期必须相吻合，因此，天敌和害虫的时间和空间生态位是种群系统中天敌因子研究的一个重要问题（庞雄飞和尤民生，1996；郑琼华等，2001）。本研究通过分析不同地区白蜡窄吉丁幼虫及其天敌的空间生态位，得到它们在寄主树种上的分布规律及各天敌之间的竞争作用，只有空间上的生态位重叠，而缺少时间重叠的分析。

另外，生态系统中的每一个物种都有一定的分布范围，各个种的种群分布数据通常是取自某一地区，这些数据所测得的生态位重叠值只能反映各物种在生态因子梯度上某一范围内的生态位相似性，为“部分重叠”（林开敏和郭玉硕，2001）。本研究采用的分析方法为“部分重叠”，只反映了天津、北京和辽宁特定一个地区的生态

位相似性，若要得到各物种在整个生态因子梯度上的生态位相似性，还需要对各物种在各自所有分布区内的种群分布进行调查，得到各物种的“全重叠值”。

参考文献 (References)

Chen CM, 1990. Ecological niche//China Agriculture Encyclopedia (insect volume). Beijing: Agriculture Publishing House. 343–344. [陈常铭, 1990. 生态位中国农业百科全书 (昆虫卷). 北京: 农业出版社. 343–344.]

Haack RA, Jendek E, Liu HP, Marchant KR, Petrice TR, Poland TM, Ye H, 2002. The emerald ash borer: a new exotic pest in North America. *Newsletter of the Michigan Entomological Society*, 47(3/4): 1–5.

Jennings DE, Gould JR, Vandenberg JD, Duan JJ, Shrewbury PM, 2013. Quantifying the impact of woodpecker predation on population dynamics of the emerald ash borer (*Agrilus planipennis*). *PLoS ONE*, 8(12): 1–9.

Lin KM, Guo YS, 2001. The research advances on niche theory and its application. *Journal of Fujian College of Forestry*, 21(3): 283–287. [林开敏, 郭玉硕, 2001. 生态位理论及其应用研究进展. 福建林学院学报, 21(3): 283–287.]

Liu CY, Liu H, Zeng L, Lu YY, 2012. Research on spatial niche between two vegatable leafminers and their parasitoids. *Journal of Enviornmental Entomology*, 34(1): 14–21. [刘春燕, 柳浩, 曾玲, 陆永跃, 2012. 两种斑潜蝇及其寄生蜂空间生态位的研究. 环境昆虫学报, 34(1): 14–21.]

Lu JF, Wang XY, Yang ZQ, 2012. Research progress on the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, in China. *Chinese Journal of Spplied Entology*, 49(3): 673–680. [路纪芳, 王小艺, 杨忠岐, 2012. 中国白蜡窄吉丁研究进展. 应用昆虫学报, 49(3): 673–680.]

Lu JF, Wang ZY, Yang ZQ, Wei K, Yang YL, Wang J, Situ CN, Fu FY, 2013. Life table of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae), based on special time survey data. *Acta Entomologica Sinica*, 56(11): 1294–1305. [路纪芳, 王智勇, 杨忠岐, 魏可, 杨远亮, 王健, 司徒春南, 付甫永, 2013. 基于特定时间调查数据组建的白蜡窄吉丁种群生命表. 昆虫学报, 56(11): 1294–1305.]

Lu JF, 2012. Studies on the key factors of population fluctuation for emerald ash borer *Agrilus planipennis* Fairmaire(Coleoptera: Buprestidae). Master dissertation. Beijing: Chinese Academy of Forestry. [路纪芳, 2012. 白蜡窄吉丁自然种群变化的关键因子研究. 硕士学位论文. 北京: 中国林业科学研究院.]

Pang XF, You MS, 1996. Insect Community Ecology. Beijing: China Agriculture Press. 128–145. [庞雄飞, 尤民生, 1996. 昆虫群落生态学. 北京: 中国农业出版社. 128–145.]

Shen ZR, 2009. Insect ecology ecological principles of TPM. Beijing: China Agricultural University Press. 83–91. [沈佐锐, 2009. 昆虫生态学及害虫防治的生态学原理. 北京: 中国农业大学出版社. 83–91.]

Song JY, Luo YQ, Shi J, Yan XS, Chen WP, Jiang P, 2005. Niche characteristics of boring insects within *Pinus massoniana* infected by *Bursaphelenchus xylophilus*. *Journal of Beijing Forestry University*, 27(6): 108–111. [宋冀营, 骆有庆, 石娟, 严晓素, 陈卫平, 蒋平, 2005. 松材线虫染病松树上钻蛀性昆虫生态位的研究. 北京林业大学学报, 27(6): 108–111.]

Sun RY, 2001. Principles of Animal Ecology (3rd edition). Beijing: Beijing Normal University Publishing Group. 29–30. [孙儒泳, 2001. 动物生态学原理 (第三版). 北京: 北京师范大学出版社. 29–30.]

Wang XY, Yang ZQ, Gould JR, Zhang YN, Liu GJ, Liu ES, 2010. The biology and ecology of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis*, in China. *Journal of Insect Science*, 128(10): 1–23.

Xu RM, 1987. Insect Population Ecology. Beijing: Beijing Normal University Publishing Group. 303–316. [徐汝梅, 1987. 昆虫种群生态学. 北京: 北京师范大学出版社. 303–316.]

Yuan F, Luo YQ, Shi J, Heliovaara K, 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, Heliovaara K, 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.]

Yu CM, 1992. *Agrilus marcopoli* Obenberger// Xiao GR (ed.). Forest Insects of China (2nd edition). Beijing: China Forestry Publishing House. 400–401. [于诚铭, 1992. 中国森林昆虫(第二版). 北京: 中国林业出版社. 400–401.]

Zhang DZ, 2012. Spatial niches of *Caragana korshinskii* seed pests in desert steppe landscape of Ningxia Northwest China. *Chinese Journal of Ecology*, 31(11): 2841–2847. [张大治, 2012. 宁夏荒漠草原景观柠条种实害虫的空间生态位. 生态学杂志, 31(11): 2841–2847.]

Zheng QH, Huang J, You MS, Fu JW, 2001. Niches of *Aleurotuberculatus takahashi* and its natural enemies. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 23(1): 75–79. [郑琼华, 黄建, 尤民生, 傅建炜, 2001. 高氏瘤粉虱及其天敌的生态位. 江西农业大学学报, 23(1): 75–79.]

Zheng T, Lin YS, Cao WQ, Zhang WJ, Zheng LM, Wang YJ, Yang WD, 2014. Ecosystem structure and function in northern Beibu Gulf: Zooplankton spatial niche and its differentiation. *Acta Ecologica Sinica*, 34(13): 3635–3649. [郑挺, 林元烧, 曹元清, 张文静, 郑连明, 王宇杰, 杨位迪, 2014. 北部湾北部生态系统结构与功能—浮游动物空间生态位及其分化. 生态学报, 34(13): 3635–3649.]