

入侵种松针鞘瘿蚊在山东省黄岛区的发现与初步研究^{*}

焦继鹏^{1**} 武海卫² 任利利¹ 陈汝敏³ 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. 山东省林业科学研究院, 济南 250014; 3. 黄岛区林业局, 青岛 266400)

摘 要 【目的】明确危害我国青岛地区 3 种针叶树的害虫是松针鞘瘿蚊 *Thecodiplosis japonensis*, 研究其形态特征、危害特点及扩散方式, 以期为该虫的发生监测及防治提供理论基础。【方法】对采自黑松 *Pinus thunbergii* 和赤松 *P. densiflora* 上瘿蚊的卵、幼虫、蛹及成虫进行观察、拍照和比对。制做玻片观察幼虫剑骨片的形态特征。用扫描电子显微镜观察幼虫头部表面超微结构。提取其基因组 DNA, 利用通用引物扩增线粒体细胞色素氧化酶亚基 I (CO I) 序列并测序, 与 NCBI 数据库中已有序列比对。统计受害枝中单枝瘿瘤数量及每瘿瘤内幼虫数量, 计算针叶被害率和每瘿瘤幼虫数目的相关性。观察交配、产卵行为并持续记录其生活史。【结果】老熟幼虫剑骨片和成虫翅脉的形态特征均符合 *Thecodiplosis japonensis* 的描述; 基于 CO I 基因序列构建邻接法系统发育树 (NJ 树) 显示, 山东青岛瘿蚊样本与日本 *T. japonensis* 样本聚成一支, 置信度为 100%, 明确了外来入侵种松针鞘瘿蚊已在我国山东黄岛地区定殖。目前该虫主要危害黑松 *Pinus thunbergii*、赤松 *P. densiflora* 和油松 *P. tabulaeformis*, 幼虫在当年生松针基部为害形成虫瘿并在其中取食, 使松针停止生长, 而导致被害针叶较健康针叶显著缩短, 逐渐枯黄脱落。【结论】本文首次明确在黄岛区危害 3 种松树树种的针叶造瘿类害虫为松针鞘瘿蚊, 描述其生物学特性及危害特征。DNA 比对结果对开发松针鞘瘿蚊分子快速鉴定技术提供依据, 为疫情的早期监测提供理论基础和参考。**关键词** 松针鞘瘿蚊, 鉴定, 形态特征, 危害特性

Reports on the discovery and preliminary studies of the invasive species *Thecodiplosis japonensis* (Uchida & Inouye) in Huangdao area of Shandong province

JIAO Ji-Peng^{1**} WU Hai-Wei² REN Li-Li¹ CHEN Ru-Min³ LUO You-Qing^{1***}

(1. Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Shandong Academy of Forestry, Jinan 250014, China; 3. Huangdao District Forestry Bureau, Qingdao 266400, China)

Abstract [Objectives] This study was to identify the pest attacking three pine species in Qingdao being *Thecodiplosis japonensis*, and to study its morphological characteristics, distribution and damage characteristics to provide references for its monitor, control and prevention. [Methods] The eggs, larvae, pupae and adults of *T. japonensis* on *Pinus thunbergii* and *P. densiflora* in Shandong province were observed, photographed and compared. The morphological characteristics of sternal “Y” shaped spatula of the mature larvae were observed. The head ultrastructure of the mature larvae was observed by scanning electron microscopy. The genomic DNA was extracted and amplified by the universal primers. The sequence of the mitochondrial cytochrome oxidase subunit I (CO I) was sequenced and compared with the sequence in the NCBI database. The number of attacked needles and larvae per gall of each collected branches were counted, the correlation between the

*资助项目 Supported projects: 国家公益性行业科研专项 “重大森林虫灾监测预警的关键技术研究” (201404401); 北京市科技计划项目 “影响北京生态安全的重大钻蛀性害虫防控技术与示范” (Z171100001417005)

**第一作者 First author, E-mail: 1161126283@qq.com

***通讯作者 Corresponding author, E-mail: youqingluo@126.com

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

damage rate of the needles and the number of larvae per gall was calculated. Observe mating and oviposition behavior, and record its life history continuously. [Results] The morphological characteristics of sternal “Y” shaped spatula of the mature larvae and wing veins of adults were consistent with the description of *T. japonensis*. Neighbor-Joining phylogenetic tree was built based on the CO I gene sequences, and the result indicated that specimen from Qingdao were gathered in the same branch with *T. japonensis* from Japan, with the bootstrap value of 100%. It is clear that the alien invasive species *T. japonensis* has been colonized in Huangdao area of Shandong province. *T. japonensis* attack *P. thunbergii*, *P. densiflora* and *P. tabulaeformis* mainly. Galls were formed by larvae feeding at the base of the needle in the current-year shoots. Infested needles stopped growing and becoming shorter than normal, and then withered and died gradually. [Conclusion] We proved that the pest damaging three pines in Huangdao district was *T. japonensis*, and described its biological characteristics in details. These results could provide references for the rapid identification of *T. japonensis*, and would provide the theoretical basis and reference for early monitoring.

Key words *Thecodiplosis japonensis*, identification, morphological characteristics, damage features

松针鞘瘿蚊 *Thecodiplosis japonensis* Uchida & Inouye, 1955, 异名: *T. pinicola* (Skuhřavá, 1986)。隶属于双翅目 (Diptera) 瘿蚊科 (Cecidomyiidae) 鞘瘿蚊属 (*Thecodiplosis*), 英文名为 Pine needle gall midge。

瘿蚊科在全世界已知有 10 亚科, 783 属, 约 6 000 余种。该科昆虫体形小, 多为 2~3 mm; 雄虫触角具环毛, 翅上显著纵脉不超过 5 条。由于许多种类的幼虫取食植物组织, 形成虫瘿, 故通称为瘿蚊。瘿蚊科是双翅目中具有重要经济意义的大科, 许多种类为农、林业的重要害虫, 例如: 刺槐叶瘿蚊 *Obolodiplosis robiniae* (国内较为关注的入侵害虫)、小麦瘿蚊 *Mayetiola destructor*、麦红吸浆虫 *Sitodiplosis mosellana*、亚洲稻瘿蚊 *Orseolia oryzae*、非洲稻瘿蚊 *Orseolia oryzivora* 等; 也有部分种类为益虫 (马双敏等, 2008)。

鞘瘿蚊属 (*Thecodiplosis*, Kieffer) 在世界 (东亚、欧洲、北美等地) 范围内已知有 6 种, 寄主均为松属植物 (*Pinus* (Pinaceae), Linn.), 且均以幼虫取食针叶基部组织形成虫瘿。欧洲报道 1 种为 *T. brachyntera* (Schwäg), 主要危害欧洲赤松 *P. sylvestris*, 也有少部分报道其危害欧洲黑松 *P. nigra*、扭叶松 *P. contorta* 和中欧山松 *P. mugo* (Barnes, 1951; Skuhřavý, 1994; Glynn and Lindelöw, 2002; Skuhřavá et al., 2008)。北美报道有 4 种, 每种在自然条件下与寄主植物一一对应: *T. brachynteroides* (Osten-Sacken, 1862)

主要危害弗吉尼亚松 *P. virginiana*; *T. pinirigidae* (Packard, 1878) 主要危害刚松 *P. rigida* (Gagné, 1989); *T. piniradiatae* (Snow and Mills, 1900) 主要危害辐射松 *P. radiata*; *T. piniresinosae* (Kearby and Benjamin, 1963) 主要危害脂松 *P. resinosa*; 东亚报道 1 种松针鞘瘿蚊 *T. japonensis*, 主要危害赤松 *P. densiflora* 和黑松 *P. thunbergii* (Uchida and Inouye, 1955)。

松针鞘瘿蚊原产于东亚, 属初期性害虫, 受害后树势衰弱, 极易受到次期性病虫危害。1901 年在日本被首次发现 (属日本的本土种) (Sasaki, 1901), 且在 1955 年被首次描述 (Uchida and Inouye, 1955)。据文献记载, 该虫于 1924—1925 年间在韩国形成第一次大暴发。1929 年在韩国首尔市和全南省被发现; 1930 年该虫在釜山发现 (Kim, 1955), 并于 1936—1946 年间暴发成灾; 1964 年报道该虫在丹阳发生 (Park et al., 1985); 该虫是韩国危害黑松和赤松最为严重的害虫 (Lee, 1981), 对韩国的生态环境和经济发展造成巨大的损害。1990 年在济州岛发现, 随后相继扩散至韩国各地 (Lee, 1994)。

松针鞘瘿蚊 2~3 年连续危害会导致松林显著衰弱; 当年生枝条枯梢率达 50% 的植株可致死。侵入新的地方后, 开始为害单个树木并逐渐扩大形成片状, 扩散 5~7 年后达到为害高峰期, 严重时导致 30% 林木的枯死。该虫以幼虫匿居在寄主松针基部内, 导致针叶基部膨大形成虫瘿, 受害松针明显缩短, 逐渐枯黄脱落, 严重影响松

树正常生长。研究证明该虫属初期性害虫, 被其危害后植株树势衰弱、易被次期性害虫危害, 并导致植株死亡; 严重危害时单独也可在当年危害松树致死 (Skuhravá and Roques, 2000)。

Furuno 和 Sone (1978) 接种试验表明, 松针鞘瘿蚊可危害多种松属植物。被危害松针基部产生瘿瘤的寄主多属于欧洲赤松亚派, 包括: 脂松 *P. resinosa*, 欧洲黑松 *P. nigra*, 欧洲山松 *P. mugo*, 岛松 *P. insularis*, 美国大果松 *P. coulteri*, 欧洲赤松 *P. sylvestris*, 琉球松 *P. luchuensis*, 辐射松 (澳洲、南非) *P. radiata*, 黄山松 *P. taiwanensis*, 日本黑松 *P. thunbergii*, 马尾松 *P. massoniana*, 赤松 *P. densiflora* 和油松 *P. tabulaeformis*。

松针鞘瘿蚊主要随寄主植物或者带土植株的调运进行远距离人为传播, 自然传播主要依靠成虫的飞翔进行 (Ko and Lee, 1975)。2006 年在我国山东省青岛市黄岛区薛家岛凤凰山南沿海防护林首次发现黑松和赤松受瘿蚊属害虫危害, 且呈现扩散蔓延态势, 至 2014 年薛家岛全部沿海防护林黑松、赤松和部分油松 (行道树) 陆续出现大范围针叶枯萎凋落现象, 对当地沿海防护林造成严重危害。由于该虫成虫和幼虫体型微小, 且整个幼虫期生活在松针基部瘿瘤内, 隐蔽性强, 极易随寄主植物或带土植株传播危害。加之目前我国对其生物学特性、适生性、防治技术等方面的研究少、认知度低等原因, 极大的增加了检测、检疫和防治的难度。本研究利用形态学、分子生物学和危害特征分析的方法对其进行鉴定。

1 材料与方法

1.1 虫源采集

样品采集于黄岛区薛家岛街道办事处 (35°58'14"N, 120°11'28"E), 受害寄主包括黑松、赤松和油松 (行道树)。2016 年 11 月幼虫下树入土越冬之前, 将受害松枝密封包装带回北京林业大学森林保护学科检疫实验室, 剥开虫瘿, 用解剖针挑出幼虫, 放入酒精中保存。2017

年 6 月初在受害严重的松树下取地表 10 cm 土样, 用网筛筛离土壤和蛹。于 2017 年 6 月 1 日至 6 月 15 日羽化高峰期, 在受害严重的林分中扫网捕捉成虫, 放入钻有小孔的指形管中, 带回实验室供后续试验。

1.2 形态特征观察

使用 Leica M205FA 体式显微镜对松针鞘瘿蚊的卵、幼虫、蛹及成虫形态特征进行观察、拍照和比对。

玻片染色标本观察: 将松针鞘瘿蚊老熟幼虫在 10% 的氢氧化钠溶液内浸泡, 在 60°C 烘箱内烘 12 h 直至虫体透明。从碱液中取出泡好的虫体, 置载玻片上, 用蒸馏水清洗 3 次, 用小刀在解剖镜下将虫体从侧面切开, 用解剖针将内脏剔除干净, 用蒸馏水将其漂洗数次, 干净为止, 只保留下虫体表皮。将漂洗干净的虫体从蒸馏水中取出, 依次放入 75%, 90%, 95% 的酒精内, 梯度脱水 15 min, 随后在无水乙醇中脱水两遍, 每次 10 min。取出虫体, 置于装有碱性品红液 (0.5 g 碱性品红溶于 100 mL 无水乙醇) 的凹型载玻片内染色, 盖上盖玻片, 室温静置 12 h。将虫体从染色液中取出, 放入装有石碳酸: 二甲苯混合液 (1:2) 的凹玻片内, 褪去虫体表面浮色, 至虫体着色适当为止。将虫体移入二甲苯液内片刻, 使其透明。将虫体置于载玻片上, 以二甲苯保湿, 在解剖镜下将虫体背、腹面展平, 整姿。将多余的二甲苯用吸水纸吸掉, 在虫体上滴 1 滴加拿大树胶, 轻轻盖上盖玻片, 自然干燥。使用 UV-C 光学共聚焦显微成像系统 (北京合众视野) 观察并记录剑骨片形态特征。

扫描电子显微镜观察: 将松针鞘瘿蚊老熟幼虫首先在盛装有 45% 的酒精的超声波清洗仪中清洗, 酒精梯度脱水后, 用导电胶带黏贴于样品台上置于空气中自然干燥 24 h 后, 用离子溅射仪喷金处理。使用日立电子扫描显微镜 (Hitachi S-3400N) 观察松针鞘瘿蚊幼虫头部表面超微结构。

1.3 分子鉴定

试验中每样分别取各种群中剑骨片形态特征一致的新鲜幼虫 5 头。

DNA 提取：使用微量 DNA 提取试剂盒 AxyPrep Multisource Genomic DNA Miniprep Kit (Axygen®, USA) 提取样品 DNA；在超微量紫外线分光光度计 NanoDrop-8000 (Thermo Fisher Scientific Inc.) 下检测样品 DNA 浓度。

PCR 扩增：本实验以上述方法提取的 DNA 为模板，扩增线粒体 CO I 基因片段。引物合成 (Uechi *et al.*, 2003)：正向 5'-GGATCACCTG-ATATAGCATTCCC-3' (CO I S)；反向 5'-CCCG-GTAAAATTAAAA-TATAAACTTC-3' (CO I A)。PCR 扩增体系为：Prime Star Mix (Tsing Ke, cat#R045) 25 μ L, 正向引物 2 μ L, 反向引物 2 μ L, DNA 模板 2 μ L 和超纯水 19 μ L 共 50 μ L。PCR 反应程序为：首先 98℃ 预变性 2 min；随后 98℃ 下变性 10 s, 55℃ 退火 5 s, 72℃ 延伸 10 s, 共进行 30 次循环；最后在 72℃ 延伸 2 min；4℃ 保存。

PCR 扩增产物测序：PCR 扩增完成的产物送北京擎科新业生物技术有限公司进行双向测序。

序列分析：下载 NCBI 数据库中 *T. japonensis* CO I 序列 (439 bp)，与 *Contarinia* (康瘿蚊属)、*Pseudasphondylia* (伪安瘿蚊属)、*Asphondylia* (波瘿蚊属) 等瘿蚊科 16 个种用 MEGA7 软件聚类分析，分析方法为邻接法 (Neighbor-Joining)，外群为 *Cydistomyia duplonotata* 和 *Atylotus miser*。

1.4 生物学与危害症状观察

2016 年 10—11 月，幼虫未离开虫瘿进入土壤越冬之前，随机选取受害黑松和油松，采集树冠中部受害枝条，将受害松枝带回实验室，统计受害枝条瘿瘤数量和每瘿瘤内幼虫数量，计算针叶被害率和每瘿瘤幼虫数目的相关关系。

2017 年 6 月上旬，野外观察其自然状态下交配、产卵行为。2017 年 6 月至 2017 年 10 月，每周从黄岛区采集受害黑松枝条，解剖观察幼虫发育情况及各龄期形态。

2 结果与分析

2.1 形态特征

卵 椭圆形，中部微弯曲，黄色；长约 0.5 mm，宽约 0.1 mm (图 1)。卵产于两针叶之间，

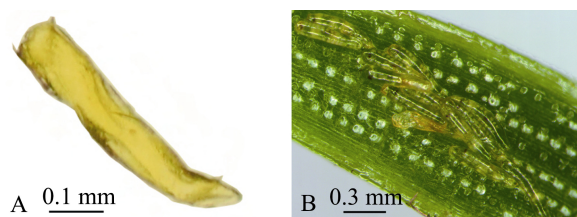


图 1 松针鞘瘿蚊卵

Fig. 1 Egg of *Thecodiplosis japonensis*

A. 剖腹卵；B. 松针之间卵。

A. Egg inside oviducts; B. Eggs between pine needles.

待幼虫孵后，卵壳留在原处。

幼虫：共 3 龄，无足；初龄幼虫无尾突且为后气门式呼吸；2 龄幼虫具气门并为侧气门式呼吸；3 龄幼虫 2.8~3 mm 长，黄色，末腹节着生尾突，前胸腹板着生有“Y”形剑骨片，为弹跳用，是该属幼虫重要的鉴定形态特征 (图 3)；老熟幼虫头部着生一对触角 (2 节)，口器咀嚼式，具非骨化的上唇、上颚、下颚和下唇，有栓锥形和腔锥形感器分布 (图 4)。

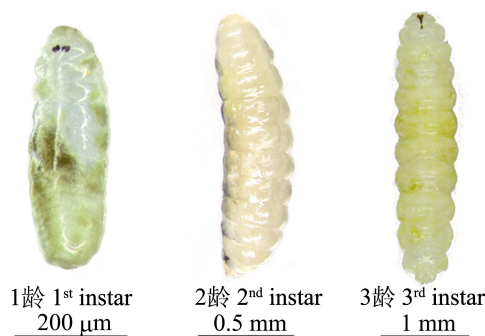


图 2 不同虫龄幼虫的形态特征

Fig. 2 Morphological characteristics of different instar larvae

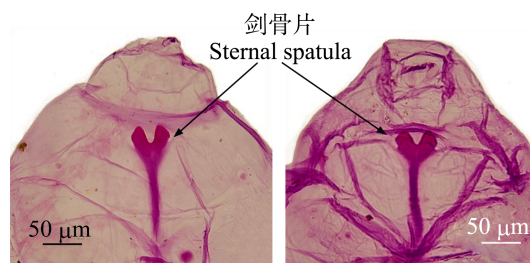


图 3 前胸腹板“Y”形剑骨片

Fig. 3 Sternal “Y” shaped spatula of *Thecodiplosis japonensis*

左：腹面观；右：背面观。

Left: Ventral view; Right: Dorsal view.

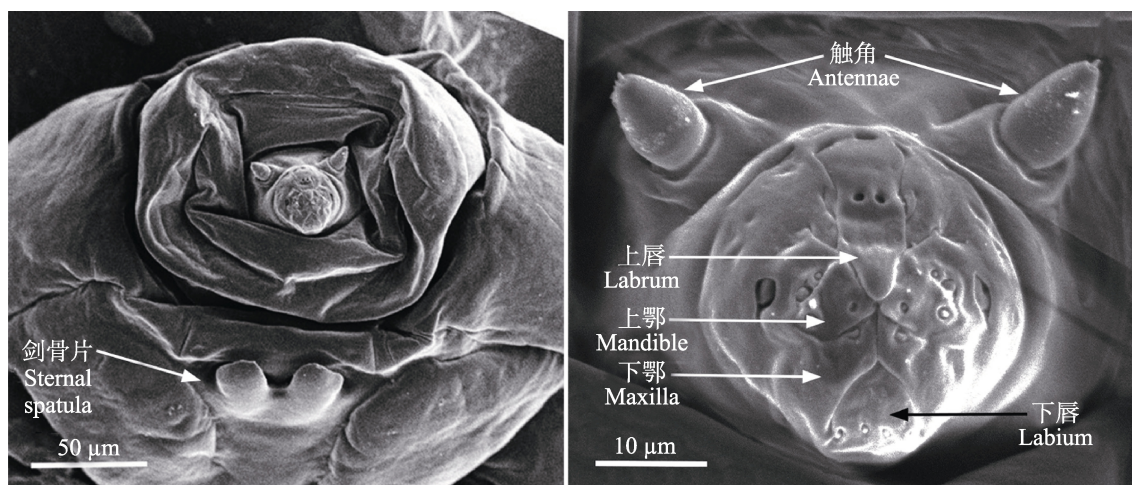


图 4 3 龄幼虫头部显微结构

Fig. 4 Microstructure of *Thecodiplosi japonensis* 3rd instar larval head

蛹：纺锤形，黄色，长约为 2.5~3 mm；头部顶端具一对刺突；足细长，明显超过翅（图 5）。



图 5 蛹的形态特征

Fig. 5 Morphological characteristics of pupa

成虫：雌虫身长约为 2.5~3 mm，体黄色至黄褐色，被毛；复眼黑色，下唇须 3 节；触角 14 节；雄虫触角较长，端鞭节具一个被毛的突起，每个鞭节由两个球状小节组成，每个小节都有一轮环状毛；雌虫触角各节简单，每节间距相对较大。雌虫具有中等长度的产卵器；翅膀长度约为 2.3 mm；翅脉简单（图 6）。翅 R1 脉在 C 脉中点前与 C 脉相接，R5 脉在翅顶与 C 脉相接，Cu 脉二分叉分别成 CuA1 和 CuA2（图 7）。

与近缘种的主要区别，见表 1。

2.2 分子鉴定

与 *Contarinia* (康瘿蚊属)、*Pseudasphondylia*

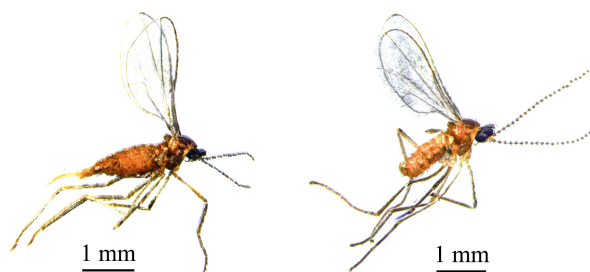


图 6 成虫

Fig. 6 Adult

左：雌虫；右：雄虫。Left: Female; Right: Male.

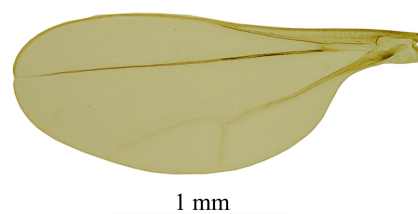


图 7 翅脉

Fig. 7 Wing veins

(伪安瘿蚊属)、*Asphondylia* (波瘿蚊属) 等瘿蚊科 16 个种进行聚类分析，我国山东危害黑松和油松的 2 个种群均以 100% 的置信系数与 *T. japonensis* 聚成一总支（图 8）。经过基于 CO I 基因序列的 DNA 条码分析，证实在山东发现的瘿蚊即为松针鞘瘿蚊。

2.3 危害特征

该虫在山东青岛主要危害黑松、赤松和油松。幼虫在松针基部形成虫瘿并在其中吸取汁液

表 1 松针鞘瘿蚊与近缘种的主要区别
Table 1 Main differences between *Thecodiplosis japonensis* and related species

特征 Features	<i>T. japonensis</i>	<i>T. brachyntera</i>	<i>T. piniradiatae</i>	<i>T. piniresinosae</i>
幼虫剑骨片 Sternal patula of larva	“Y”形	无剑骨片	“Y”形开口角度显著小且浅	“Y”形开口角度显著小
成虫翅脉 Wing veins of adult	Cu 脉二分叉分别成 CuA1 和 CuA2	Cu 脉二分叉分别成 CuA1 和 CuA2	Cu 脉不分叉	Cu 脉不分叉
危害特征 Damage features	每瘿瘤多头幼虫	每瘿瘤一头幼虫	每瘿瘤一头幼虫	—

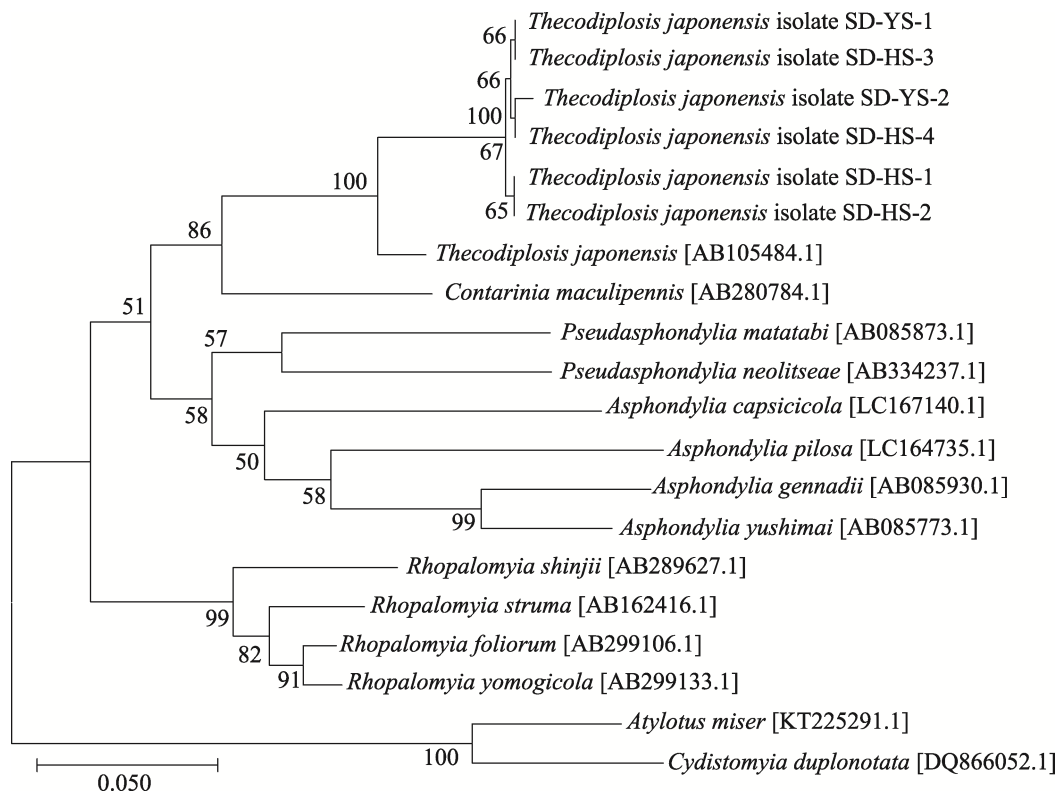


图 8 邻接法构建的松针鞘瘿蚊 CO I 序列系统发育树

Fig. 8 Phylogenetic tree reconstructed using NJ based on CO I sequence of *Thecodiplosis japonensis*

Thecodiplosis japonensis isolate: SD-HS: 山东黑松松针鞘瘿蚊样本; *Thecodiplosis japonensis* isolate: SD-YS: 山东油松松针鞘瘿蚊样本; *Thecodiplosis japonensis* isolate: SD-HS: *T. japonensis* specimen from *P. thunbergii* in Shandong province; *Thecodiplosis japonensis* isolate: SD-YS: *T. japonensis* specimen from *P. tabulaeformis* in Shandong province.

为害 (图 9:A)。针叶基部形成的虫瘿于 6 月下旬开始膨大, 导致松针停止生长而使被害针叶较健康针叶显著缩短 (图 9:B, E), 并在冬季枯死 (图 9:C)。虫瘿多发生在树冠上部, 虫情严重时树体顶端部位几乎全部枯死 (图 9:D)。黑松和油松每虫瘿内虫口频次分布如图 10 所示, 每虫瘿内幼虫从 1~21 头不等, 多集中在 4~8 头, 其中黑松每虫瘿内幼虫出现 6 头次数最多, 油松每虫瘿内幼虫出现 4 头次数最多。黑松和油松单

枝针叶被害率和每瘿瘤幼虫数目的相关关系如图 11 所示, 随针叶被害率增加, 每针叶瘿瘤内幼虫数目呈上升趋势。

2.4 生物学特性

在我国山东黄岛区, 松针鞘瘿蚊一年发生一代, 以幼虫于土中越冬, 次年 5 月化蛹; 成虫 5 月底至 6 月羽化 (表 2)。羽化后雌虫吸引雄虫在地面完成交尾 (图 12:左), 雌雄成虫寿命短、

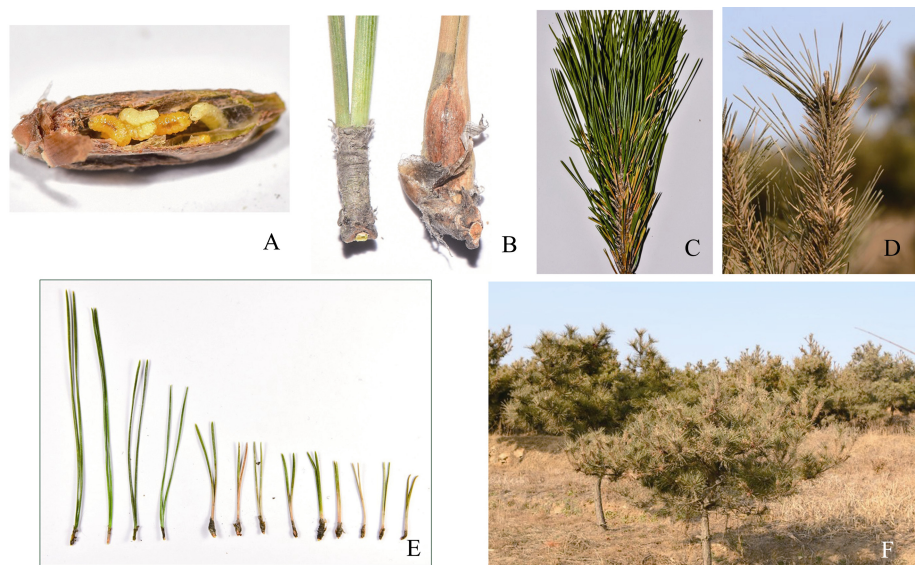


图 9 危害症状

Fig. 9 The damage features of *Thecodiplosis japonensis*

A. 瘿瘤内多头幼虫；B. 两针叶底部愈合肿大；C, D. 受害松针冬季枯死；
E. 被害松针显著缩短；F. 被害松树树势衰弱。

A. Several larvae gathered in one gall; B. Two needles fused and swollen baselly; C, D. Infested needles wither and die in winter; E. Infested needles distinctly shorter than normal ones; F. Infested trees become weak.

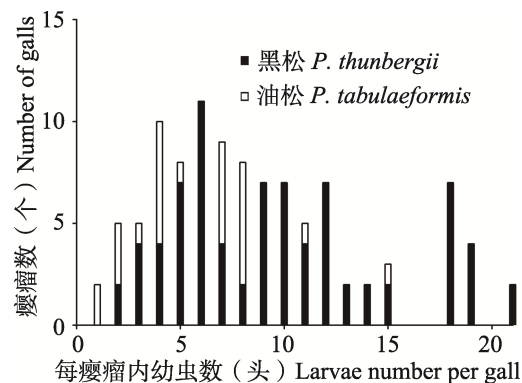


图 10 受害黑松和油松每瘿瘤内虫口数的频次分布

Fig. 10 The frequency distribution of the number of insects in the black pine and Chinese pine

仅 1 d；雌成虫寻找适宜寄主（黑松或赤松），将卵产于当年生松针之间（图 12：右），多在黄昏前至午夜。卵期约一周，初孵幼虫移动至松针基部并逐渐形成虫瘿，多只幼虫在同一虫瘿中危害。1 龄幼虫发生期为 6 月上旬至 9 月中旬，2 龄幼虫发生期为 8 月中旬至 10 月上旬，3 龄幼虫发生期为 9 月中旬至次年 5 月下旬。老熟幼虫秋、冬季离开虫瘿进入土壤越冬。每瘿瘤内幼虫数目与虫口密度相关。单虫瘿中幼虫较多的群

体，个体偏小，趋向于羽化出更多的雌虫。虫瘿形成后，松针停止生长，显著短于健康松针。

3 讨论

鞘瘿蚊属在世界范围内已知的各种之间都非常相似，其老熟幼虫剑骨片和成虫翅脉微小差异研究的较多，*T. japonensis* 老熟幼虫剑骨片呈“Y”形，欧洲种 *T. brachyntera* 老熟幼虫没有剑骨片，北美种 *T. piniradiatae* 和 *T. piniresinosae* 老熟幼虫有剑骨片，但“Y”形开口角度大小和深浅各不相同。受害针叶基部瘿瘤内的幼虫个数也不相同，山东受害针叶每瘿瘤内幼虫个数从 1~21 头不等；而被 *T. brachyntera* 危害的欧洲赤松针叶形成的瘿瘤中仅有 1 头幼虫，少数有 2~3 头。被 *T. piniradiatae* 危害的辐射松针叶形成的瘿瘤中同样仅有 1 头幼虫，少数中有 2 头（Barnes, 1951；Skuhravý, 1994）。

松针鞘瘿蚊老熟幼虫在土中越冬长达 5~6 个月，整个幼虫期都极其隐蔽。其成虫寿命极短，自然传播主要靠成虫的飞翔进行，无气流影响的

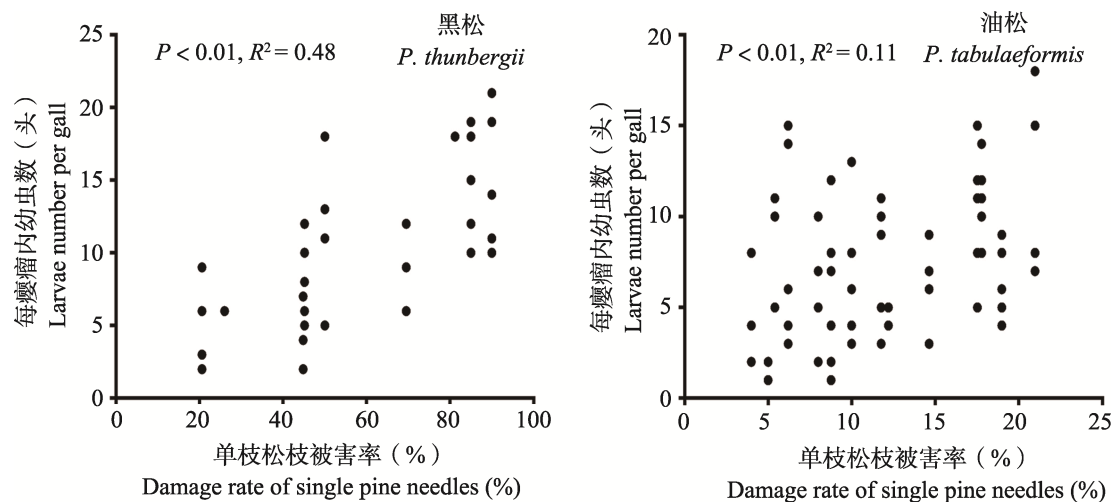


图 11 单枝针叶被害率和每瘿瘤幼虫数目的相关关系
Fig. 11 The relationship between the damage rate of single pine needles and the number of larvae per gall

表 2 松针鞘瘿蚊的生活史
Table 2 The life history of *Thecodiplosis japonensis*

虫态 Stage	5 月 May			6 月 June			7 月 July			8 月 Aug.			9 月 Sep.			10 月 Oct.			11 月—翌年 Nov.—Next year				
	上 中 下			上 中 下			上 中 下			上 中 下			上 中 下			上 中 下			上 中 下				
	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L	F	M	L		
成虫 Adult			+		+	+																	
卵 Egg			●		●	●	●																
1、2 龄幼虫 1 st and 2 nd instar larvae					—	—	—	—		—	—	—		—	—	—		—	—	—			
3 龄幼虫 3 rd instar larve		±	±	±										±	±		±	±	±		±	±	±

+: 成虫 Adult; ●: 卵 Egg; —: 1、2 龄幼虫 1st and 2nd instar larvae; ±: 3 龄幼虫 3rd instar larve; F: 上旬 The first ten days of the month; M: 中旬 The middle ten days of the month; L: 下旬 The last ten days of the month.



图 12 松针鞘瘿蚊交尾产卵
Fig. 12 *Thecodiplosis japonensis* copulating and depositing eggs

左：交尾；右：产卵。

Left: Copulating; Right: Female depositing eggs.

条件下，最远飞行距离为 500 m，风速超过 6.1 m/s 时成虫停止飞翔行为 (Ko and Lee，

1975)，成虫和幼虫体微小，远距离主要随受害植株或与其同苗圃的土壤调运等人为传播，例如黑松或赤松苗木、盆景和土壤。

该虫已在山东黄岛区自然条件下严重危害黑松、赤松和油松，进一步扩散将会对我国北方及东部沿海地区松树栽植区，特别是天然次生油松林带来巨大的威胁。构建生物入侵的早期预警体系是有效预防与控制外来有害物种入侵最有效的方法和手段，国内该虫目前仅入侵山东黄岛区，及时对其进行评估与分析，预测其发生危害的可能性、发生危害的范围与程度，制定可行的预防与控制措施，以规避其可能产生的风险。

由于瘿蚊科昆虫形态普遍比较小，在不同的

发育阶段形态结构变化很大,不同地理分布的同种昆虫形态也有差异,根据形态特征鉴定时会比较困难,特别是亲缘关系较近的昆虫早期阶段(卵、幼虫、蛹),形态非常相似,使我们很难对其进行快速准确的鉴定。采用限制性片段长度多态性分析(Restriction fragment length polymorphism, RFLP)、扩增片段长度多态性(Amplified fragment length polymorphism, AFLP)、核酸序列分析(DNA sequence analysis)等以DNA为基础的技术,陆续开发了各种入侵生物快速检测与监测技术,有灵敏度高、特异性强、安全及快速的优点,在海关检疫和微小昆虫检测及普查等方面发挥了重要作用,开发松针鞘瘿蚊分子快速鉴定技术,将对其进行快速有效的扩散监测。

本文首次对入侵我国的松针鞘瘿蚊进行形态学描述及分子生物学鉴定,明确了在我国黄岛区危害3种松树的害虫为入侵害虫——松针鞘瘿蚊。研究结果可对松针鞘瘿蚊的检验检疫和监测预警提供基础,为其在我国发生的早期防治提供理论参考。

参考文献 (References)

- Barnes HF, 1951. Gall Midges of Economic Importance. London: Crosby Lockwood and Son Ltd. 52–210.
- Furono T, Sone K, 1978. Studies on the insect damage upon the pine species imported in Japan. (No. 5) On Japanese pine needle gall midge, *Thecodiplosis japonensis* Uchida et Inouye. *Bulletino of Kyoto University Forests*, 50: 12–23.
- Glynn C, Lindelöw Å, 2002. Defoliation by the needle-shortening pine gall midge, *Thecodiplosis brachyntera*, on pines in central sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17(2): 150–157.
- Gagné RJ, 1989. The Plant-feeding Gall Midges Of North America. New York: Cornell University Press. 342–385.
- Kim CW, 1955. *Thecodiplosis pinicola* n. sp. *Bulletin of the Coll. Lit. Sci.*, Korea University, 1: 1–12.
- Kearby WH, Benjamin DM, 1963. A new species of *Thecodiplosis* (Diptera: Cecidomyiidae) on red pine in Wisconsin. *The Canadian Entomologist*, 95(4): 414–417.
- Ko JH, Lee BY, 1975. Influence of the wind on the dispersion of the pine gall-midge (*Thecodiplosis japonensis*)-tested in the wind tunnel. *Korean Journal of Entomology*, 5(1): 13–16.
- Lee BY, 1994. Ecological characteristics of the local pine needle gall midge, *Thecodiplosis japonensis*, population in Cheju Island. Research Reports of the Forestry Research Institute (Seoul), No. 49: 65–72.
- Lee SH, 1981. Biology and Control of Pine Gall midge. Seoul, Republic Korea: Office of Forestry.
- Ma SM, Yu H, Li CC, Yang MZ, 2008. Plant gall. *Chinese Bulletin of Entomology*, 45(2): 330–335. [马双敏, 虞泓, 李晨程, 杨明挚, 2008. 植物虫瘿. 昆虫知识, 45(2): 330–335.]
- Osten-Sacken CR, 1862. Catalogue of the described Diptera of North America. Smithsonian Institution.
- Park KN, Miura T, Hirashima Y, 1985. Outbreaks history and present status of the pine needle gall midge in Korea. *Esakia*, (23): 115–118.
- Packard Jr AS, 1878. Some characteristics of the central zoo-geographical province of the United States. *The American Naturalist*, 12(8): 512–517.
- Skuhravá M, 1986. Cecidomyiidae. Catalogue of Palaearctic Diptera, 4. Budapest: Akadémiai Kiadó. 72–297.
- Skuhravý V, 1994. On the differences between *Thecodiplosis brachyntera* schwäg. and *Thecodiplosis japonensis* uch. Et in. (Diptera, Cecidomyiidae) on the genus *Pinus*. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz*, 67(7): 156–161.
- Skuhravá M, Skuhravý V, Skrzypczyńska M, Szadziewski R, 2008. Gall midges (Cecidomyiidae, Diptera) of Poland, *Pryszczarki polski*(Cecidomyiidae, Diptera). *Annals of the Upper Silesian Museum (Entomology)*, 16: 5–160.
- Snow WA, Mills H, 1900. The destructive diplosis of the Monterey pine. *Ent. News*, 11: 6–489.
- Skuhravá M, Roques A, 2000. Palaearctic Dipteran Forest Pests. Budapest: Manual of Palaearctic. 651–692.
- Sasaki C, 1901. Insect Pests Of Japanese Trees. Tokyo: Tokyo Seibido Publication. 107–109.
- Uchida T, Inouye M, 1955. Eine neue *Thecodiplosis*-Art (Dip., Itonididae). *Insecta Matsumurana*, 19(1/2): 44–50.
- Uechi N, Tokuda M, Yukawa J, Kawamura F, Teramoto KK, Harris KM, 2003. Confirmation by DNA analysis that *Contarinia maculipennis* (Diptera: Cecidomyiidae) is a polyphagous pest of orchids and other unrelated cultivated plants. *Bulletin of Entomological Research*, 93(6): 545–551.