一种红脂大小蠹天敌切头郭公虫 *Clerus* sp. 生物学初探*

王海河[1] 董刚毅[1] 徐冰冰[2] 刘柱东[2**]

(1.山西省关帝林局屯兰川林场 太原 030208;
2.中国科学院动物研究所虫害鼠害综合治理国家重点实验室 北京 100101)

摘 要 红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* LeConte,原产于北美,于20世纪80年代随木材贸易传入我国山西,是一种危害油松、白皮松、华山松等松科植物的毁灭性入侵害虫。本文对红脂大小蠹天敌切头郭公甲虫 *Clerus* sp. 的基本生物学特征进行了初步探讨。野外诱捕发现,红脂大小蠹诱剂3-蒈烯能诱捕到切头郭公甲虫 *Clerus* sp.,并观察到此郭公甲虫紧抱红脂大小蠹的捕食行为及红脂大小蠹头部被切下的残骸。诱捕动态监测表明切头郭公甲虫与红脂大小蠹的发生在时间和数量上具有跟随关系。室内测定结果显示切头郭公甲虫平均体重约15.5 mg且个体大小与捕食能力呈正相关。切头郭公虫平均存活时间约38 d,10 d内平均每头郭公虫捕食3头红脂大小蠹,最多达8头。行为嗅觉试验表明切头郭公虫 *Clerus* sp. 对红脂大小蠹诱芯反应敏感,红脂大小蠹信息素组分frontalin不能增加其对红脂大小蠹诱芯的敏感性。本研究初步探明了红脂大小蠹天敌切头郭公虫 *Clerus* sp. 生物学特征,其较长捕食周期和较强的捕食能力决定其可作为红脂大小蠹的生物防治因子具有一定的优势和较好的天敌应用前景。

关键词 红脂大小蠹,天敌昆虫,切头郭公虫 *Clerus* sp.,生物学特征

Biological study of the decapitator checkered beetle *Clerus* sp., a natural enemy of the invasive bark beetle *Dendroctonus valens*

WANG Hai-He[1] DONG Gang-Yi[1] XU Bing-Bing[2] LIU Zhu-Dong[2**]

(1. Tunlanchuan Forest Station, Guandi Forest Bureau, Taiyuan 030208, China; 2. State Key Laboratory of Integrated Management of Pest Insects and Rodents, Institute of Zoology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract The red turpentine beetle *Dendroctonus valens* LeConte, native to North America, is one of the most destructive invasive forest pests in China, having killed more than 6 million pine trees since its first outbreak in 1999. Most research has focused on the chemical communication of this species and relatively little is known about its natural enemies. In this paper we investigate the potential of using the decapitator checkered beetle (*Clerus* spp.) to control the red turpentine beetle. Field trapping showed that *Clerus* sp. is attracted to a lure (3-carene) extracted from *D. valens* and that some *D. valens* bark beetles were decapitated. Moreover, decapitator beetles took flight out about one week after the flight of *D. valens* and its numbers were correlated with those of *D. valens*. Laboratory experiments showed that decapitator beetles weigh about 15.5 mg on average and that its predatory capability was significantly correlated with its body weight. Decapitators survived, on average, 38 d and the longest-lived survived 53 d, and could prey on an average of three *D. valens* adults per 10 days (range 1 to 8 individuals). Olfactory assays showed that decapitator beetles were attracted to a lure for *D. valens* and that the *D. valens* aggregation pheromone frontalin did not increase the attractiveness of the lure. These results show the potential of using *Clerus* sp. to biologically control the invasive bark beetle *D. valens* in China.

Key words invasive bark beetle *Dendroctonus valens*, natural enemy, the decapitator checkered beetle *Clerus* sp., biological characteristics

* 资助项目:北京市自然科学基金(6112019)和人力资源和社会保障部留学回国人员科技活动择优资助。

**通讯作者,E-mail:liuzd@ioz.ac.cn

收稿日期:2012-04-13,接受日期:2012-08-08

红脂大小蠹 *Dendroctonus valens* LeConte,又名强大小蠹,在我国为一新记录的外来入侵种(杨星科,2005)。红脂大小蠹原产北美,20 世纪 80 年代从美国西海岸经未处理的原木传入我国山西(Yan *et al.*,2005),于 1998 年在我国山西林区大规模暴发成灾。到目前为止,红脂大小蠹在我国已经扩散到邻近的陕西、河北、河南、内蒙 4 省区,近年在北京近郊门头沟也发现了它的危害(Sun *et al.*,2004;潘杰等,2010;魏建荣等,2010)。红脂大小蠹在北美有记录的寄主植物种类就高达 40 多种,主要危害松科植物,有时也危害云杉和冷杉(Smith,1971)。在我国,目前已知主要寄主树种为油松、白皮松和华山松。截止 2004 年,其发生面积超过 525 hm^2,枯死松树达 600 多万株(苗振旺等,2001),给我国林业经济的发展造成严重损失。油松(*Pinus tabuliformis* Carrière)是我国北方的主要造林和绿化树种,面临着红脂大小蠹危害的潜在风险。特别是北京地区自 2005 年首次在门头沟西峰寺林场发现红脂大小蠹以来,相继又在清水林场、小龙门、戒台寺多处被监测到,严重影响到北京地区林业生产和生态安全。

当前,对红脂大小蠹的相关研究主要集中在红脂大小蠹本身及其与寄主植物的关系两个营养级,而对第三营养级昆虫天敌的报道较少(苗振旺等,2001;杨忠岐,2004;魏建荣等,2010)。林科院尝试饲养天敌大唼蜡甲成虫并进行了野外释放,发现其对红脂大小蠹有一定的控制作用(赵建兴等,2008)。自 2004 年以来,我们一直致力于红脂大小蠹治理的相关研究,进行了大量的野外诱捕。于 2010 年野外诱捕收集红脂大小蠹时,诱捕到一些郭公虫,并发现其将红脂大小蠹的头胸连接处切断并取食。在 2011 年的野外诱捕工作中,我们特意收集和饲养了该甲虫,并请中国科学院动物研究所鞘翅昆虫分类研究组杨干燕博士进行种类鉴定,只能鉴定到属,和 *Clerus dealbatus* 形态相似,暂以 *Clerus* sp. 称之,根据其捕食特征——将红脂大小蠹头胸连接处切断,命名切头郭公虫(decapitator checkered beetle)。

郭公虫 checkered beetle,属鞘翅目(Coleoptera)郭公虫科(Cleridae)昆虫,约 3 000 种,是重要的捕食性天敌(蔡邦华,1973)。国内外常见的捕食性郭公虫有异色郭公虫、蚁形郭公虫、疑山郭公虫、拟蚁态郭公虫、亚纹郭公虫、绣纹郭公虫、中华食蜂郭公虫等,其捕食对象主要有小蠹(柏肤小蠹、纵坑切梢小蠹、松齿小蠹、落叶松八齿小蠹、南部松大小蠹)及天牛(松墨天牛和双条杉天牛)等(叶辉等,1999;杨燕燕等,2004;孙冬迎等,2008),对小蠹和天牛害虫具有一定的控制作用。2010 和 2011 年,我们对红脂大小蠹和切头郭公虫进行了野外动态和捕食等相关生物学特性的初步研究,发现其是红脂大小蠹的主要天敌昆虫,具有应用的前景,现将初步结果整理报道如下。

1 材料与方法

1.1 切头郭公虫 *Clerus* sp. 的基本特征及捕食能力

将林间诱捕到的切头郭公虫逐一称量体重(分析天平,精度 1/10 000 g),用小培养皿(直径 3.5 cm,高 1.2 cm)单皿饲养,定期更换其食物红脂大小蠹,记录每个切头郭公虫的存活时间。另外随机选取 20 只切头郭公虫,称重后于小培养皿中观察其在 10 d 内捕食红脂大小蠹成虫的数量,评估其捕食能力,分析切头郭公虫个体大小与捕食能力的关系。

1.2 切头郭公虫 *Clerus* sp. 野外诱捕动态

2010 和 2011 年 5 月到 6 月期间于红脂大小蠹扬飞盛期,在红脂大小蠹发生地山西古交屯兰川林场(N 37°48′,E 111°57′,海拔 1 400 m),设置诱捕器,利用红脂大小蠹标准诱芯 3-蒈烯(从山西绿宙生物技术有限公司购买)诱捕红脂大小蠹和切头郭公甲虫 *Clerus* sp.(30 个重复),监测二者种群动态。定期查看记录红脂大小蠹及其切头郭公虫的诱捕数量。

1.3 切头郭公虫 *Clerus* sp. 的 Y-tube 嗅觉行为测定

利用 Y-tube 嗅觉仪验证郭公虫的猎物定位能力。Y-tube 嗅觉仪尺寸:主干长 20 cm,两臂各长 10 cm,内径 16 mm。实验分 3 组:1)CK(正己烷,HPLC 级,Sigma 公司)× SB(标准诱芯 3-carene,从山西绿宙生物技术有限公司购买);2)CK × SB + F(含红脂大小蠹聚集信息素 frontalin 的标准诱芯,浓度 0.05 ng/μL);3)SB × SB + F。由于诱捕到的郭公甲虫数量有限,郭公虫实验后 1 d 继续用于它组嗅觉实验。实验时,将供试溶液 10 μL 滴加到小滤纸片(长 2 cm,宽 1 cm),20 s 后,待溶剂

挥发,将添加信息化合物的滤纸片分别放入 Y-tube 的两臂末端连接的玻璃球内,主干末端通过硅胶管连接大气采样仪(QC-1 型,北京市劳动保护科学研究所),气流 150 mL/min,每组试验后用无水乙醇清洗 Y-tube 备用。

2　结果与分析

2.1　切头郭公虫 *Clerus* sp. 的基本特征及捕食能力

切头郭公虫体长约 1 cm,背部鞘翅有花黑相间条纹、腹部呈红色,体重平均约 15.5 mg,其形态及捕食红脂大小蠹行为如图 1。红脂大小蠹头胸连接处是比较脆弱的部位,郭公虫能切断其头部,然后取食红脂大小蠹虫体。实验室用红脂大小蠹成虫饲喂郭公虫,发现其平均存活时间达 38 d,最长达 53 d(表 1)。捕食实验表明切头郭公虫平均每 10 d 捕食 3 头红脂大小蠹,最多达到 8 头(表 1)。回归分析显示郭公甲虫的个体大小与捕食量呈显著的正相关关系($y = 0.0907x + 1.2667$, $R^2 = 0.6046$, $P = 0.001$)(图 2)。

表 1　切头郭公虫 *Clerus* sp. 生物学特征

Table 1　Biological characteristics of the decapitator checkered beetle *Clerus* sp.

	重复数 (N)	平均值 Average (mean ± SE)	最小值 Minimum	最大值 Maximum
体重 Body weight(mg)	22	15.5 ± 1.25	7.1	27.7
存活时间 Survival time(d)	22	38.1 ± 2.76	14	53
捕食量 Preys consumed(individual/10 d)	14	3.1 ± 0.51	1	8



图 1　切头郭公虫 *Clerus* sp. 形态及其捕食状

Fig. 1　The decapitator checkered beetle *Clerus* sp. and its preying on the bark beetle

2.2　切头郭公虫 *Clerus* sp. 和红脂大小蠹的野外诱捕动态

在 2010 和 2011 年 5 月初到 6 月初,监测了红脂大小蠹和郭公虫 *Clerus* sp. 种群发生动态(图 3),发现红脂大小蠹的扬飞时间比郭公虫约早一个星期。切头郭公虫种群和红脂大小蠹的发生时间上具有一定的跟随关系。并且,二者在种群数量上也具有相关性,表现为红脂大小蠹数量越多,诱捕到的切头郭公虫的数量也越多(2010: $y = 0.1438x + 3.1144$, $R^2 = 0.394$, $P = 0.257$; 2011: $y = 0.0344x - 0.6591$, $R^2 = 0.9914$, $P < 0.001$),2011 年的结果表现更为明显(图 4)。此外,在野外诱捕的过程中,在诱捕到红脂大小蠹和郭公甲虫的诱杯中观察到此郭公虫正紧抱红脂大小蠹的捕食行为和红脂大小蠹头部被切掉后的残骸。

2.3　切头郭公虫的 *Clerus* sp. 的嗅觉行为测定

Y 型嗅觉仪行为试验表明,与对照正己烷相比,红脂大小蠹标准诱芯和含有红脂大小蠹聚集信息素的标准诱芯对郭公虫更具吸引作用(CK × SB: $X^2 = 12.7$, $P < 0.0001$; CK × SB + F: $X^2 =$

9.1, $P < 0.01$)；但是红脂大小蠹聚集信息素 frontalin 不能增加标准诱芯的吸引效果($X^2 = 0.2$, $P < 0.0001$)(表 2)。

表 2 切头郭公虫 *Clerus* sp. 嗅觉反应生物测定

Table 2 Olfactory response of the decapitator checkered beetle *Clerus* sp.

数量(头) Number (individual)	对照 × 3-蒈烯 (CK × SB)			对照 × 3-蒈烯 frontalin 混合物(CK × SB + F)			3-蒈烯 ×3-蒈烯 frontalin 混合物(SB × SB + F)		
	对照 (CK)	3-蒈烯 (SB)	卡方 χ^2	对照 (CK)	3-蒈烯 frontalin 混合物 (SB + F)	卡方 χ^2	3-蒈烯 (SB)	3-蒈烯 frontalin 混合物 (SB + F)	卡方 χ^2
郭公虫 *Clerus* sp.	8	30	12.7***	6	22	9.1**	22	25	0.2

注：**和***分别表示在 0.01 和 0.001 水平上差异显著。CK、SB 和 F 分别表示对照(正己烷)、标准诱芯(3-蒈烯)和红脂大小蠹信息素 frontalin。

** and *** indicate significant difference at 0.01 and 0.001 level, respectively. CK, SB and F are hexane, 3-carene, and frontalin, respectively.

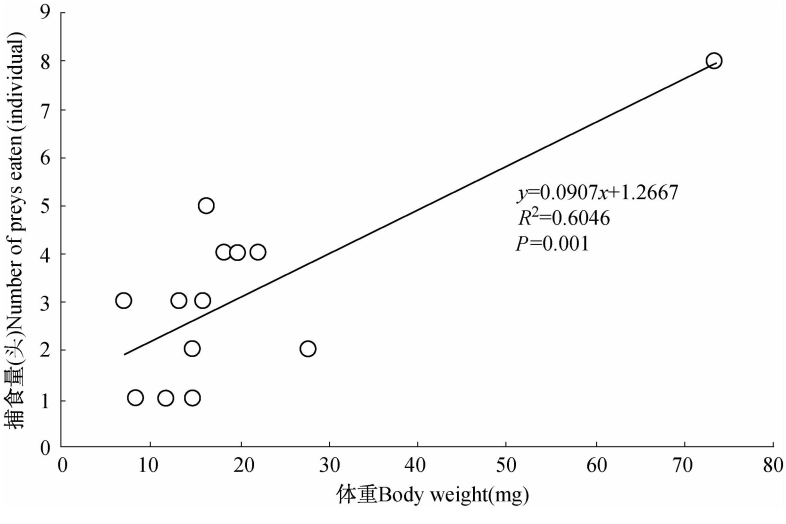


图 2 切头郭公虫 *Clerus* sp. 体重与捕食量的关系

Fig. 2 Relationship between body weight and predation of the decapitator checkered beetle *Clerus* sp.

3 讨论

红脂大小蠹自在我国山西暴发成灾以来，相关的研究主要集中在基于以红脂大小蠹治理为理念的化学生态学研究(Sun *et al.*, 2004; Zhang and Sun, 2006; Shi and Sun, 2010; Liu *et al.*, 2011)，对红脂大小蠹相关天敌关注较少。我们的研究发现切头郭公虫 *Clerus* sp. 是红脂大小蠹的重要天敌昆虫，探讨了其捕食能力、其与红脂大小蠹的跟随关系、及其搜索定位猎物的化学信息，初步研究表明切头郭公虫具有作为天敌因子防治红脂大小蠹的应用潜力。

野外诱捕的过程中，观察到切头郭公虫紧抱红脂大小蠹搏斗的捕食行为，并发现有红脂大小

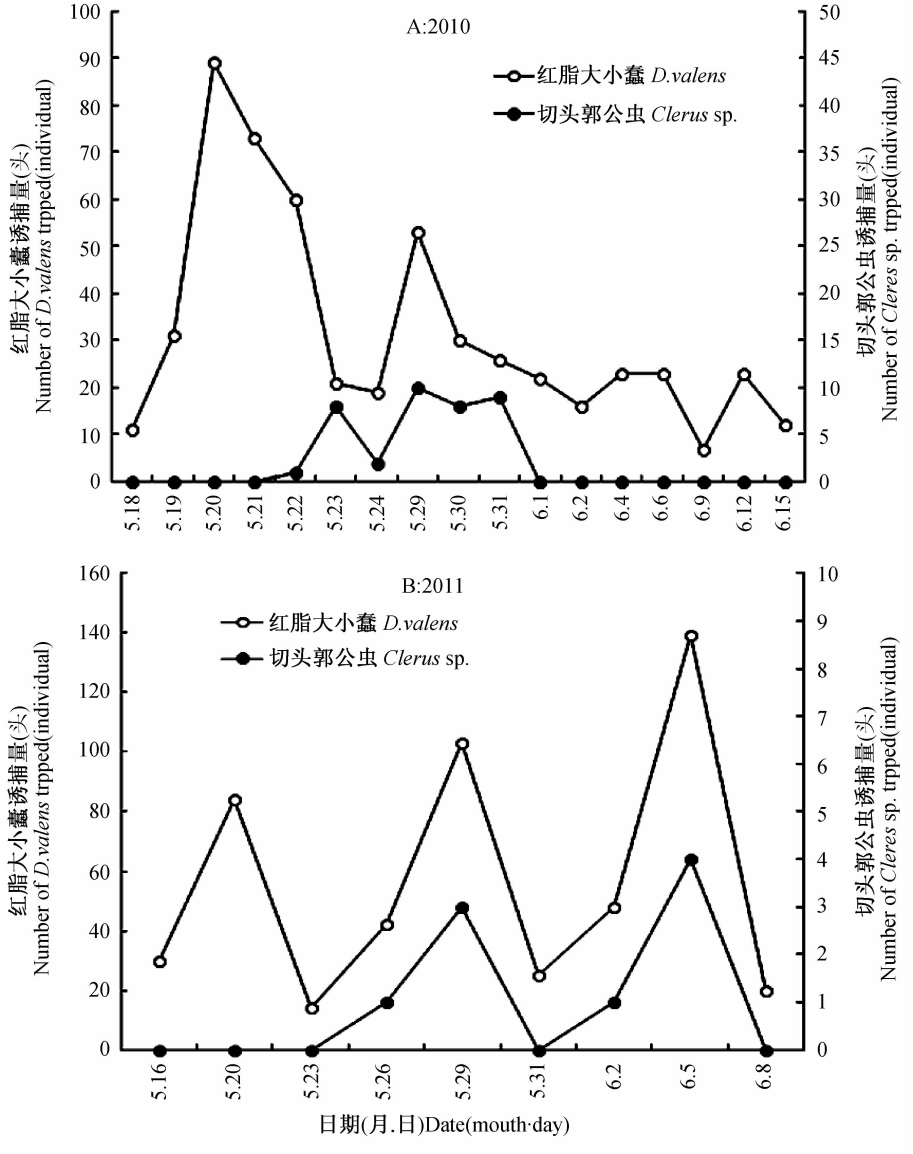


图 3　红脂大小蠹和切头郭公虫 *Clerus* sp. 种群动态监测

Fig. 3　The trapping dynamics of the bark beetle *Dendroctonus valens* and its natural enemy *Clerus* sp.

蠹成虫头部被切断的残骸(图 1),明确了切头郭公虫的天敌地位。室内评估了切头郭公虫的存活时间、个体大小,分析了切头郭公虫的捕食能力,发现切头郭公虫平均每 10 d 捕食 3 头红脂大小蠹,捕食时间平均长达 38 d。据此,最保守估计,每头郭公虫成虫至少能消灭 10 头红脂大小蠹成虫,其捕食能力甚是强大! 一头红脂大小蠹雌虫平均产卵 100 粒左右(Liu *et al.*, 2011),每捕食一头红脂大小蠹成虫,就能大大降低大小蠹的危害。切头郭公虫 *Clerus* sp. 由于其成虫存活期长、捕食能力强,将有可能成为红脂大小蠹防治的一种主要昆虫天敌。下阶段,如能对切头郭公虫的生活史进行系统深入的研究,摸清其生物学特性,解决人工大量饲养的难题,将对红脂大小蠹的生物防治起到重要的作用。

其次,红脂大小蠹标准诱芯 3-蒈烯能诱捕到这种郭公虫 *Clerus* sp.,其扬飞在时间上要比红脂大小蠹晚一个星期,并且在红脂大小蠹扬飞高峰期的后期,便不能再诱捕到郭公虫,证实切头郭公虫 *Clerus* sp. 和红脂大小蠹在发生时间上具有跟随

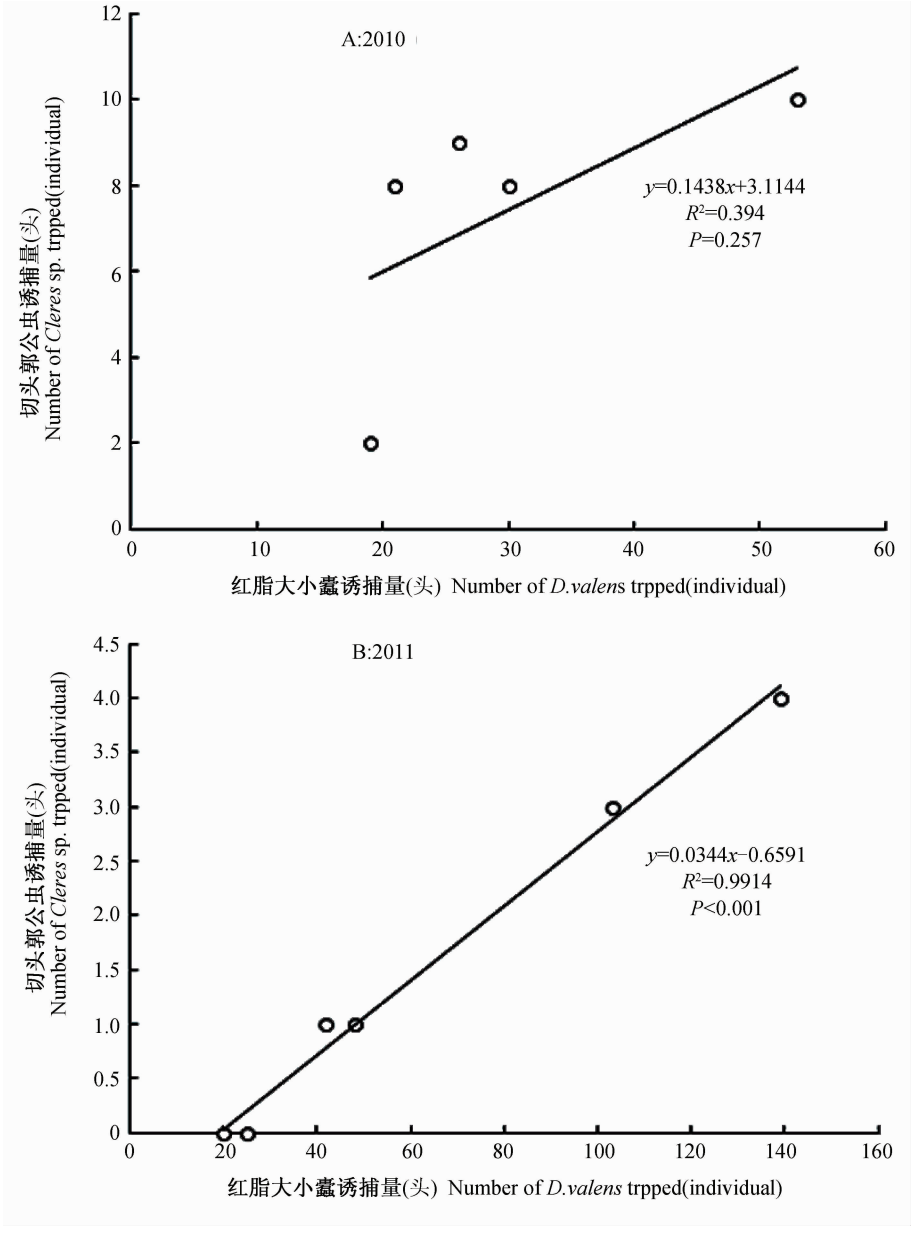


图 4 切头郭公虫 *Clerus* sp. 与红脂大小蠹诱捕量的数量相关性

Fig. 4 Regression between the decapitator checkered beetle *Clerus* sp. and *Dendroctonus valens* captures

关系。进一步分析发现二者在发生数量上也具有跟随关系,在红脂大小蠹种群扬飞越多时,诱捕到的切头郭公虫的数量也越多。二者在时间和发生数量上的跟随关系表明切头郭公虫 *Clerus* sp. 具有作为红脂大小蠹的主要天敌昆虫防治红脂大小蠹的潜力。诱捕后切头郭公虫能存活 38 d 左右,这段时期也是红脂大小蠹防治的关键时期。红脂大小蠹 5 月下旬扬飞,进攻危害新寄主,在两个星期内开始产卵,幼虫孵化后加剧危害。如若切头郭公虫能在红脂大小蠹产卵前大量捕食红脂大小蠹成虫,将对红脂大小蠹的生物防治具有实际意义。切头郭公虫在时间和数量上与红脂大小蠹的跟随关系,将保证切头郭公虫对红脂大小蠹种群的最大压制。并且,还观察到切头郭公虫也捕食红脂大小蠹幼虫,能够对红脂大小蠹种群进行全面的有效控制。

最后,我们对切头郭公虫 *Clerus* sp. 搜索猎物的化学通讯联系作了初步探讨。当前关于天敌昆

虫的化学通讯的研究和植食性昆虫相比少了很多。植物在遭受害虫的进攻后释放某些特殊的化学气味,这些气味能引诱天敌昆虫(Dannon *et al.*, 2010;Dicke and Baldwin,2010)。此外植食性昆虫的某些信息素也能被天敌昆虫利用来定位寄主(Huigens *et al.*,2009;Uma and Weiss,2010)。本研究中,野外诱捕和室内嗅觉行为测定结果表明是红脂大小蠹植物源诱芯 3-蒈烯,而不是诱集到的红脂大小蠹,对切头郭公虫起到了引诱作用。切头郭公虫对红脂大小蠹植物源诱芯 3-蒈烯反应敏感,而 3-蒈烯是植物产生的次生防御物质,推测它能间接利用植物受害产生的挥发物来搜索猎物,提高捕食效率。当红脂大小蠹聚集信息素 frontalin 添加到诱芯 3-蒈烯中,不能显著增强其对郭公虫的吸引能力。frontalin 是红脂大小蠹雌虫产生的信息素,它能起到聚集信息素和性信息素的双重作用,本研究明确了 frontalin 不能被用于搜索定位猎物。当然,红脂大小蠹在危害的过程中还产生马鞭草烯酮、马鞭草烯醇、桃金娘烯醛和桃金娘烯醇等别的化学信息物质(Shi and Sun, 2010)。切头郭公虫是否利用这些物质来搜索定位红脂大小蠹尚不得而知,需进一步深入研究。

参考文献(References)

Dannon EA, Tamò M, Van Huis A, Dicke D, 2010. Effects of volatiles from *Maruca vitrata* larvae and caterpillar-infested flowers of their host plant *Vigna unguiculata* on the foraging behavior of the parasitoid *Apanteles taragamae*. *J. Chem. Ecol.*, 36(10):1083 – 1091.

Dicke M, Baldwin IT, 2010. The evolutionary context for herbivore-induced plant volatiles: beyond the 'cry-for-help'. *Trends Plant Sci.*, 15(3):167 – 175.

Huigensa ME, Pashalidoua FG, Qian MH, Bukovinszkya T, Smida HM, van Loona JJA, Dickea M, Fatourosa NE, 2009. Hitch-hiking parasitic wasp learns to exploit butterfly antiaphrodisiac. *PNAS*, 106(3):820 – 826.

Liu ZD, Wang B, Xu BB, Sun JH, 2011. Monoterpene variation mediated attack preference evolution of the bark beetle *Dendroctonus valens*. *PLoS ONE*, 6(7):e22005.

Shi ZH, Sun JH, 2010. Quantitative variation and biosynthesis of hindgut volatiles associated with the red turpentine beetle, *Dendroctonus valens* LeConte, at different attack phases. *Bull. Entomol. Res.*, 100(3):273 – 277.

Smith RH, 1971. Red turpentine beetle. USDA Forest Pest Leaflet. 55. 9.

Sun JH, Miao ZW, Zhang Z, Zhang ZN, Gillette NE, 2004. Red turpentine beetle, *Dendroctonus valens* LeConte (Coleoptera: Scolytidae), response to host semiochemicals in China. *Environ. Entomol.*, 33(2):206 – 212.

Uma DB, Weiss M, 2010. Chemical mediation of prey recognition by spider-hunting wasps. *Ethology*, 116(1):85 – 95.

Yan ZL, Sun JH, Owen D, Zhang ZN, 2005. The red turpentine beetle, *Dendroctonus valens* LeConte (Scolytidae): an exotic invasive pest of pine in China. *Biodiv. Conserv.*, 14(7):1735 – 1760.

Zhang LW, Sun JH, 2006. Electrophysiological and behavioral responses of *Dendroctonus valens* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) to candidate pheromone components identified in hindgut extracts. *Environ. Entomol.*, 35(5):1232 – 1237.

蔡邦华, 1973. 昆虫分类学(中册). 北京:科学出版杜. 32 – 33.

苗振旺, 周维民, 霍履远, 王晓丽, 范俊秀, 赵明梅, 2001. 强大小蠹生物学特性研究. 山西林业科技,(1): 34 – 37.

潘杰, 王涛, 宗世祥, 温俊宝, 骆有庆, 2010. 北京地区红脂大小蠹空间分布型与抽样技术研究. 昆虫知识, 47(6):1189 – 1193.

孙冬迎, 马深成, 孔新建, 杨广海, 周成刚, 2008. 捕食性郭公虫生物学和生态学研究概况. 中国森林病虫,27(6):27 – 30.

魏建荣, 丁保福, 唐艳龙, 赵建兴, 杨忠岐, 2010. 红脂大小蠹的捕食性天敌—— 大唼蜡甲发育和温度的关系研究. 林业科学研究, 23(3):478 – 480.

杨星科, 2005. 外来入侵种——强大小蠹. 北京:中国林业出版社. 106.

杨燕燕, 李照会, 王入港, 董宇奎, 2004. 异色郭公虫对柏肤小蠹的捕食作用研究. 山东农业科学,(6):40 – 42.

杨忠岐, 2004. 利用天敌昆虫控制我国重大林木害虫研究进展. 中国生物防治, 20(4):221 – 227.

叶辉, 王文, 孙绍芳, 1999. 蚁形郭公虫生物学研究. 昆虫知识, 36(2):86 – 88.

赵建兴, 杨忠岐, 李广武, 魏建荣, 2008. 大唼蜡甲人工大量饲养的主要影响因素及其控制. 环境昆虫学报, 30(4):336 – 343.