

受害兴安落叶松挥发物混合物对林间昆虫的诱集^{*}

李菁^{**} 骆有庆 石娟^{***}

(北京林业大学教育部森林培育与保护重点实验室 北京 100083)

摘 要 植株释放的挥发物能够调节寄主、害虫及天敌三者关系,是植物与害虫协同进化的产物。兴安落叶松挥发物种类虽已确定,但这些物质,特别是受害植株所释放的挥发物对林间昆虫的影响尚不清楚。本研究在3种林龄林分内设置携带受害兴安落叶松枝叶挥发物的诱捕器以考察其对林间昆虫的影响。结果表明挥发物混合物对昆虫诱集效果良好,特别是对天牛类及叶甲类。林龄并未对挥发物的引诱效果造成显著影响,可能与本研究年龄组的划分标准有关。文章指出应将诱集昆虫群落进一步细化,并对关键种或类群进行电生理方面的深入探讨。本文也指出了受害兴安落叶松挥发物混合物发展为植物源农药的前景。

关键词 兴安落叶松, 挥发物, 诱集, 昆虫, 林龄

The effects of volatile organic compounds of damaged dahurian larch on forest insects

LI Jing^{**} LUO You-Qing SHI Juan^{***}

(Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract Volatile organic compounds (VOCs) evolved during the coevolution of plants and pests and mediate relations among host plants, herbivores and natural enemies. Although the VOCs of *Larix gmelini* have been identified, their effects, especially from damaged trees on forest insects, are not yet clear. In order to better understand these effects, VOCs from damaged *L. gmelini* were placed in 3 forest types. The results show that the VOCs were an obvious attractant for forest insects, especially longhorned beetles and leaf beetles. Forest age did not influence these effects significantly, possibly because of the classification of age groups used in the study. The attracted insects require further identification to shed light on the electrophysiological responses of key populations. The potential of VOCs as a future phyto-pesticide is discussed.

Key words *Larix gmelini*, VOCs, attracting, insects, forest age

挥发物混合物 (volatile organic compounds, VOCs) 是由植物新陈代谢产生并释放到环境中的挥发性气体,能够对植食性昆虫与其寄主植物间的联系进行一定的调节 (Pophof *et al.*, 2005), 同时也能增强植物对昆虫、植食性害虫以及病原菌的抵抗力。害虫诱发的 VOCs 释放还能吸引其天敌 (Hilker *et al.*, 2002), 甚至能够刺激临近植物产生相似的生理生化改变以抵御害虫 (Dicke *et al.*, 1990; Bruin *et al.*, 1995; Takabayashi and

Dicke, 1996)。在具有特异性的前提下, 某些 VOCs 可为昆虫选择和逃避寄主提供线索 (De Morales *et al.*, 2001)。

兴安落叶松挥发物成分主要为萜烯类物质, 包括 α -萜烯、 β -萜烯、罗勒烯、桉烯、3-萜烯、水芹烯以及 α -非兰烯等 (郭廷翹等, 1996; 严善春等, 1999)。国内学者以落叶松毛虫 (严善春等, 2007; 刘英胜等, 2009)、落叶松鞘蛾 (杨慧, 2008; 严善春等, 2008, 2009)、落叶松球果花蝇 (Yan *et al.*,

^{*} 资助项目: 林业公益性行业科研专项项目 (200904029)、北京林业大学中芬合作项目 Biodiversity and Forest Pests Problem in Northeast China (BIOPROC 1114201)、中央高校基本科研业务费专项 (TD2010-4)。

^{**} E-mail: jinglilyq@126.com

^{***} 通讯作者, E-mail: shi_juan@263.net

收稿日期: 2011-01-20, 接受日期: 2011-03-25

1999)等典型害虫为研究对象,探讨了挥发物混合物对其生理、生化及生态等方面的影响。但集中于某一种或一类昆虫的研究结果并不能反映 VOCs 的真正作用,还需查明它对林内不同类型昆虫的影响。同时,由于年龄、地形、海拔、干扰等因素造成的林分差异也不可忽视。本文首次选取受害兴安落叶松针叶 VOCs 作为引诱剂,在不同年龄兴安落叶松纯林内悬挂窗式诱捕器以考查对昆虫的引诱作用,也探讨了年龄对诱集效果的影响。本研究旨在为更深入具体地探讨兴安落叶松挥发物对林内昆虫的影响提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

阿尔山林业局(119°51′~120°57′ E,47°07′~47°55′ N)位于内蒙古自治区东北部,隶属于大兴安岭林管局。林区海拔 820~1 745 m。林区经营总面积 $4.84 \times 10^5 \text{ hm}^2$,有林地面积 $3.45 \times 10^5 \text{ hm}^2$,活立木总蓄积 $2.28 \times 10^7 \text{ m}^3$,森林覆盖率 71.3%,林区优势树种为兴安落叶松(*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.)和白桦(*Betula platyphylla* Suk.)。本区属寒温带大陆性季风气候,年均温 -3.2°C ,年平均降水量 452.1 mm,无霜期 100~120 d。

表 1 挥发物混合物成分与含量
Table 1 The components and contents of VOCs

单体名称 Volatile	纯度 (%) Purity (%)	比例 (%) Proportion (%)	供应商 Supplier	混合物中含量 (μL) Content (μL)
α-蒎烯 α-pinene	98	39.50	Fluka, 西班牙	4 637.1
莰烯 Camphene	95	21.42	Aldrich, 德国	2 514.0
β-蒎烯 β-pinene	99	14.95	Alfa Aesar, 英国	1 755.3
3-蒎烯 3-carene	90	12.57	Aldrich, 德国	1 475.4
1-己醇 1-hexanol	99	11.56	Alfa Aesar, 英国	1 357.5
合计 Total				11 739.3

注:表中单体体积浓度为 0.5%。
Volatiles in the table all have a volume concentration of 0.5%.

1.2 样地选择与试验设计

本研究选取 5 种受害兴安落叶松针叶挥发物单体作为混合物的成分,首先用正己烷稀释为体积比 0.5%。将 5 种单体按表 1 中含量(郭连翘等,1996;严善春,1999)混合后加至 15 mL 缓释瓶制成诱芯。缓释瓶购自北京中捷四方公司,材料为聚乙烯。按照表 1 中挥发物的总体积,空白对照为 11.7393 mL 溶剂正己烷。

采用窗式诱捕器进行舞毒蛾成虫的诱集,其中,诱捕器的十字形挡板由有机玻璃支撑,规格为 29.5 cm × 19.0 cm × 0.2 cm,挡板与收集装置用铁片固定。诱芯固定于中部的挡板处。收集装置内加入水、食盐以及肥皂水以对诱集的昆虫进行防腐。

本研究在 3 种林型进行,每种类型设置 3 个重复(表 2)。每个样地内设置 3 个诱捕器与 1 个

空白对照。诱捕器在林内直线状排列,悬挂于树干 1.3 m 向阳处。2 个诱捕器之间距离至少 100 m,样地间距大于 2 km。9 个样地内共设置 36 个诱捕器。基于往年对该地区昆虫动态的监测,本试验于 2009 年 7 月 28 日至 9 月 1 日进行,每周进行 1 次昆虫收集和诱芯更换。室内对所有收集的昆虫进行分类鉴定,不能定名的昆虫至形态种水平即可。

1.3 统计分析

选用 Shannon-Wiener 指数(H')与 Pielous 指数(E)对林分昆虫群落的多样性和均匀度进行测度。

利用 ANOVA 对各项指数进行差异性分析,有显著差异的处理进行 LSD 多重比较并将显著性水平 $\alpha \leq 0.05$ 定义为具有统计学意义。

表 2 标准地概况
Table 2 Sites description

林型 Forest type	林班 Block	编号 Samples	海拔 (m) Elevation (m)	林龄 Age	树高 (m) Height (m)	胸径 (cm) Diameter (cm)
幼龄林 Young forest	立新 14	1	929	17	7.9	12.8
	立新 2-5	2	941	17	8.3	14.5
	立新 2-4	3	931	17	8.1	12.9
中龄林 Middle-aged forest	古尔班 98	4	931	29	12.9	19.1
	古尔班 97	5	938	29	13.7	21.2
	古尔班 96	6	946	29	14.8	19.7
成熟林 Mature forest	立新 3	7	901	34	15.9	22.8
	伊尔施 54	8	921	34	16.6	23.5
	伊尔施 53	9	913	34	16.1	23.3

2 结果与分析

2.1 物种组成

本试验中,携带挥发物混合物的诱捕器共得到昆虫标本 6 606 个,隶属于 11 目 193 种。诱捕的昆虫以鞘翅目和膜翅目种类最多,均达 72 种,数量也分别为 3 403 和 1 358 只。双翅目昆虫有 26 种 1 570 只。鳞翅目和同翅目昆虫种类和数量较少。姬蜂类种类最多,共 19 种 610 只。天牛类 16 种 1 525 只,其中仅黑胫宽花天牛 *Evodinus interrogationis* (L.) 就达 1 174 只。叶甲类共收集 10 种,1 116 只。蛇蛉目、蜉蝣目、毛翅目及脉翅目等均仅有 1 种出现,且数量均小于 15 只,可视为偶见类群。对照诱捕器收集到的昆虫种类和数量较少,仅 342 只,属 9 目 73 种。优势类群同为黑胫宽花天牛与叶甲类。

2.2 昆虫数量的时间梯度

从数量上讲,诱捕器对林内昆虫的诱集呈现出了先升后降的趋势(图 1)。8 月 4 日诱集数量达 1 423 只,并于 8 月 11 日达到最大值 1 486 只,而最小值 696 只出现在 9 月 1 日。对照诱捕器的诱集效果明显不如前者,但发展趋势相似。极值 84 与 29 只分别出现在 8 月 11 日和 9 月 1 日。

2.3 多样性的年龄梯度

对于诱捕器诱集的昆虫群落,多样性在成熟林和中龄林内水平最高,分别达 2.17 与 2.14,幼龄林次之($P > 0.05$)达 1.96,空白对照内的昆虫多样性仅 1.86,显著低于中龄林与成熟林($P < 0.05$)。昆虫群落的均匀度在各地类型间差别

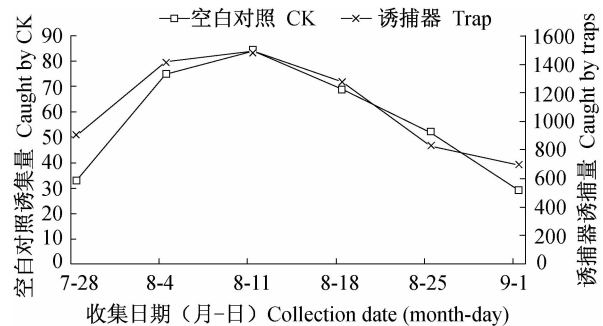


图 1 时间梯度下的昆虫诱集量

Fig. 1 The attracted insects in a time gradient

不显著($P > 0.05$),并呈现中龄林 > 成熟林 > 对照 > 幼龄林的规律,最大值达 0.89,最小值仅 0.8 (表 3)。

表 3 不同林型多样性指数

Table 3 Diversity indices in different forests

林分类型 Forest types	Shannon-Wiener 指数 Shannon-Wiener index	Pielous 指数 Pielous index
幼龄林 Young forest	1.96 ± 0.13ab	0.80 ± 0.05a
中龄林 Middle-aged forest	2.14 ± 0.12a	0.89 ± 0.04a
成熟林 Mature forest	2.17 ± 0.05a	0.81 ± 0.06a
对照林分 CK	1.86 ± 0.05b	0.81 ± 0.02a

注:表中数字为平均值 ± SD,同列数据后标不同字母表示处理间差异显著($P < 0.05$)。

Data are means ± SD, and followed by different letters in the same column indicate significant difference at 0.05 level.

3 小结与讨论

3.1 昆虫群落的反应

携带挥发物混合物的诱捕器的昆虫诱集量显著大于空白对照,但两者分布规律相同,极值出现时间也吻合。空白对照基本反映了自然条件下林间昆虫分布状况,这表明受害兴安落叶松挥发物混合物对昆虫不仅诱集效果良好,也具有一定的监测作用。本研究中昆虫群落的多样性在 3 种林分内差别不大,表明年龄对挥发物混合物的效果无显著影响。

挥发物混合物所诱集的昆虫需进行类群划分以查明受影响较大的昆虫类群,为进一步研究,特别是对诱集昆虫中优势种群的防治管理提供参考。有学者按照营养与取食关系将稻田节肢动物分为 3 个营养层(基位物种,中位物种,顶位物种)和不同的功能集团(郝树广等,1998),这简化了物种间复杂的网络关系,逐步取代了对单一物种的研究,从而克服了物种鉴定这一昆虫群落学研究中的难题。因此,本研究收集到的昆虫群落也可借鉴此进行分类细化。

3.2 挥发物混合物的应用

作为对植食性昆虫危害的响应机制,植物合成并释放出挥发物混合物以保证本种群的延续(Turlings *et al.*, 1990; McCall *et al.*, 1993)。受到这些混合物刺激后,相关的基因转录(Paschold *et al.*, 2006)以及激素的分泌(Arimura *et al.*, 2002; Engelberth *et al.*, 2004)会发生一定的变化。另外,与植物抵抗力有关的代谢物包括萜类化合物(Ruther and Kleier, 2005)、蛋白酶抑制剂(Tscharntke *et al.*, 2001)和酚类化合物(Baldwin and Schultz, 1983)也会随之改变。大量室内或野外试验都证明了 VOCs 在影响植物抵御机制上的作用(De Moraes *et al.*, 1998, 2001; Kost and Heil, 2006)。本研究表明受害兴安落叶松挥发物混合物对林内昆虫诱集效果良好,并以对林木具有明显危害性的天牛类与叶甲类为主。因此,利用挥发物混合物诱捕昆虫可视为对林木的一种保护措施。

植物源杀虫剂是利用具有杀虫活性的植物次生代谢物质制成的杀虫剂,在农作物病虫害防治中具有环境友好、毒性普遍较低、不易产生抗药

性、无农药富集等优点(倪斌, 2003)。受害兴安落叶松的挥发物混合物对昆虫具有较好的诱集性,窗式诱捕器又能将其很好的杀灭,两者结合后使之发展为植物源杀虫剂成为可能,但成本控制及其工业化生产等问题仍需考虑。

3.3 本研究有待改进之处

本文首次考察了受害兴安落叶松挥发物混合物对落叶松林间昆虫的诱集作用,并发现了若干对其有显著反应的类群。而本研究也有诸多尚待完善之处,需在今后的试验中逐步改进和解决。

首先,林龄的划分应更趋于合理。由于建国初期原生木材砍伐量过大等客观原因,本研究所所在林区林龄普遍偏小,严重缺乏成熟林和过熟林。林区相对较为成熟的林分均在 40 年左右,大部分为 34~35 年的中等成熟林分,也决定了本研究划分林龄梯度的不尽合理。因此,今后的深入研究应着眼于当地的林分组成情况,适当扩大林型间的年龄梯度,以更科学合理的进行样地划分,使结果更科学。

开展收集的时间应根据不同昆虫的生物习性加以调整,本研究选取的时间段是阿尔山林区大多数昆虫的最佳活动时间,这可能错过了某些昆虫类群的活动期而造成诱捕数据的不完整。因此,应该进一步扩大设置诱捕器的时间跨度。例如,可从 5 月中下旬某些昆虫类群开始首次出现时即进行诱捕,并一直延续至 9 月末所有昆虫均进入不活动期。另外,由于该地区 5 月下旬或 9 月末都可能出现降雪,因此应注意对诱捕器的及时收集和维护。

参考文献 (References)

- Arimura G, Ozawa R, Nishioka T, Boland W, Koch T, Künemann F, Takabayashi J, 2002. Herbivore-induced volatiles induce the emission of ethylene in neighboring lima bean plants. *Plant J.*, 29 (1):87—98.
- Baldwin IT, Schultz JC, 1983. Rapid changes in tree leaf chemistry induced by damage: evidence for communication between plants. *Science*, 221 (4607):277—279.
- Bruin J, Sabelis MW, Dicke M, 1995. Do plants tap SOS signals from their infested neighbours? *Trends Ecol. Evol.*, 10 (4):167—170.
- De Moraes CM, Lewis WJ, Pare PW, Alborn HT, Tumlinson JH, 1998. Herbivore-infested plants selectively attract

- parasitoids. *Nature*, 393 (6685):570—573.
- De Moraes CM, Mescher MC, Tumlinson JH, 2001. Caterpillar-induced nocturnal plant volatiles repel conspecific females. *Nature*, 410 (6828):577—580.
- Dicke M, Sabelis MW, Takabayashi J, Bruin J, Posthumus MA, 1990. Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: prospects for application in pest control. *J. Chem. Ecol.*, 16 (11):3091—3118.
- Engelberth J, Alborn HT, Schmelz EA, Tumlinson JH, 2004. Airborne signals prime plants against insect herbivore attack. *PNAS*, 101 (6):1781—1785.
- Hilker M, Kobs C, Varama M, Schrank K, 2002. Insect egg deposition induces *Pinus sylvestris* to attract egg parasitoids. *J. Exp. Biol.*, 205(4):455—461.
- Kost C, Heil M, 2006. Herbivore-induced plant volatiles induce an indirect defence in neighbouring plants. *J. Ecol.*, 94 (3):619—628.
- McCall PJ, Turlings TCJ, Lewis WJ, Tumlinson JH, 1993. Role of plant volatiles in host location by the specialist parasitoid *Microplitis croceipes* cresson (Braconidae: Hymenoptera). *J. Insect Behav.*, 6 (5):625—639.
- Paschold A, Halitschke R, Baldwin IT, 2006. Using ‘mute’ plants to translate volatile signals. *Plant J.*, 45 (2):275—291.
- Pophof B, Stange G, Abrell L, 2005. Volatile organic compounds as signals in a plant-herbivore system: electrophysiological responses in olfactory sensilla of the moth *Cactoblastis cactorum*. *Chem. Senses*, 30 (1):51—68.
- Ruther J, Kleier S, 2005. Plant-plant signaling: ethylene synergizes volatile emission in *Zea mays* induced by exposure to (Z)-3-hexen-1-ol. *J. Chem. Ecol.*, 31 (9):2217—2222.
- Takabayashi J, Dicke M, 1996. Plant—carnivore mutualism through herbivore-induced carnivore attractants. *Trends Plant Sci.*, 1(4):109—113.
- Tscharntke T, Thiessen S, Dolch R, Boland W, 2001. Herbivory, induced resistance, and interplant signal transfer in *Alnus glutinosa*. *Biochem. Syst. Ecol.*, 29 (10):1025—1047.
- Turlings TCJ, Tumlinson JH, Lewis WJ, 1990. Exploitation of herbivore-induced plant odors by host-seeking parasitic wasps. *Science*, 250 (4985):1251—1253.
- Yan SC, Sun JH, Hu YY, Chi DF, Sun F, 1999. Response test of cone flies (*Strobilomyia* spp.) to Dahurian larch cone volatiles. *Entomol. Sin.*, 6(4):329—335.
- 郭廷翹, 岳书奎, 刘宁, 郭雪飞, 郭秀华, 滕文霞, 平桂英, 1996. 落叶松针叶气味与松毛虫危害的关系. 东北林业大学学报, 24(4):80—86.
- 郝树广, 张孝羲, 程遐年, 罗跃进, 田学志, 1998. 稻田节肢动物群落营养层及优势功能集团的组成与多样性动态关系. 昆虫学报, 41(4):343—353.
- 刘英胜, 严善春, 程红, 王琪, 文攀, 王艳军, 2009. 落叶松毛虫对兴安落叶松 9 种挥发性物质的行为反应. 林业科学, 45(4):72—77.
- 倪斌, 2003. 中国植物源杀虫剂研究进展. 安徽农学通报, 13(7):155—159.
- 严善春, 刘英胜, 王琪, 程红, 张健, 迟德富, 2007. 落叶松毛虫对兴安落叶松 6 种挥发物的触角电位反应. 林业科学, 43(7):55—60.
- 严善春, 胡隐月, 孙江华, Alain R, 孙凡, 1999. 落叶松挥发性物质与球果花蝇危害的关系. 林业科学, 35 (3):58—62.
- 严善春, 杨慧, 高璐璐, 王志波, 毛洪波, 2008. 落叶松挥发物及 7 种药剂对兴安落叶松鞘蛾嗅觉和产卵反应的影响. 林业科学, 44(12):83—87.
- 严善春, 杨慧, 高璐璐, 王志波, 毛洪波, 2009. 兴安落叶松鞘蛾对寄主挥发物的反应. 林业科学, 45(5):94—101.
- 杨慧, 2008. 兴安落叶松鞘蛾对寄主挥发物的反应及其触角感器研究. 硕士学位论文. 哈尔滨:东北林业大学.