沙棘木蠹蛾成虫种群发生动态与性诱剂诱捕剂监测技术*

高成龙[1**] 杜凯名[1] 王胜梅[1] 张连生[2] 马云波[2] 陆鹏飞[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. 辽宁省朝阳市建平县森林病虫害防治检疫站，建平 122400）

摘 要 **【目的】** 沙棘木蠹蛾 *Eogystia hippophaecolus* (Hua, Chou, Fang *et* Chen)是严重危害沙棘林的重大钻蛀性害虫。在辽宁建平，4 年 1 代，幼虫 16 龄。本试验旨在研究辽宁建平沙棘木蠹蛾的成虫发生规律，明确其幼虫虫口数量与成虫诱捕量之间的关系，为建立基于“3S”和昆虫性信息素诱捕耦合的虫灾监测技术提供基础数据。**【方法】** 于栽植的健康沙棘根部接入不同虫龄的幼虫，统计可发育为老熟幼虫，入土化蛹并羽化为成虫的幼虫龄期范围。设定样地，采用随机抽样法调查各样地幼虫数量并悬挂性信息素诱捕器对成虫进行监测。将成虫诱捕量与不同龄期范围的幼虫数量进行曲线回归分析，获得监测林间幼虫数量的最优模型。**【结果】** 5 月下旬时已达 12~16 龄的幼虫均可在当年发育为老熟幼虫，入土化蛹并羽化为成虫。沙棘木蠹蛾在辽宁建平经历 3 个羽化高峰，在不同乡镇，其成虫期长短有较大差别（76~95 d 不等）。当年 13~16 龄幼虫数量与成虫诱捕量的二次函数拟合效果最佳，即 $y=0.001x^2+0.321x+38.783$，$R^2=0.649$，$P<0.05$。**【结论】** 明确了沙棘木蠹蛾幼虫在辽宁建平当年可入土化蛹并羽化为成虫的龄期范围，确定了其在 3 个试验地的成虫期和羽化高峰，构建了通过性信息素诱捕成虫以监测林间幼虫虫口数量的数学模型，为航空、航天遥感的虫灾监测提供技术支撑。

关键词 沙棘木蠹蛾，性信息素，诱捕量，虫口数量，相关性

Population dynamics of *Eogystia hippophaecolus* in Liaoning province

GAO Cheng-Long[1**] DU Kai-Ming[1] WANG Sheng-Mei[1] ZHANG Lian-Sheng[2]
MA Yun-Bo[2] LU Peng-Fei[1] LUO You-Qing[1***]

(1. Beijing Key Laboratory for Forest Pest Control, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China;
2. The Forest Quarantine Station of Jianping County in Liaoning Province, Jianping 122400, China)

Abstract **[Objectives]** To investigate the frequency of occurrence of *Egystia hippophaecolus* (Hua, Chou, Fang *et* Chen) adults and the correlation between numbers of larvae and numbers of adults caught in sex pheromone traps. To provide baseline data for the establishment of"3S" and sex pheromone trap monitoring techniques. *E. hippophaecolus* is a wood-boring insect that damages shrubs. Its larval development can be divided into 16 instars, and it needs 4 years per generation in Liaoning province. **[Methods]** We introduced each instar larvae to the roots of planted healthy seabuckthorn shrubs and monitored pupation and molting over a year to determine the final stadium. We used random sampling to determine the numbers of larvae in each sample and suspended pheromone traps to trap adults. Curvilinear regression analysis was used to develop an optimal model of the relationship between the number of adults trapped with sex pheromone baits in the current year and the number of larvae in different stadia. **[Results]** 12-16th instar larvae mature in late May after which they burrow into the soil to pupate and molt into adults. There were three adult molting peaks in Jianping county, Liaoning province. The

*资助项目 Supported projects：林业公益性行业科研专项（201404401）
**第一作者 First author，E-mail：gaocl890907@163.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

adult period was quite variable (76 to 95 days). In all regression equations there was a significant relationship between numbers of 13-16th instar larvae and numbers of trapped adults; the highest R^2 values were obtained from the quadratic function, $y=0.001x^2+0.321x+38.783$, $R^2=0.649$, $P<0.05$. **[Conclusion]** *E. hippophaecolus* larvae can pupate and molt into adults in Liaoning province. Adult periods were variable and there were three molting peaks. A mathematical model of the relationship between numbers of larvae and adults will be useful for using remote sensing technology to monitor the abundance of this pest.

Key words *Eogystia hippophaecolus*, sex pheromone, population monitoring, population, correlation

沙棘木蠹蛾 *Eogystia hippophaecolus* (Hua, Chou, Fang *et* Chen)属鳞翅目（Lepidoptera）木蠹蛾科（Cossidae）。近几年来，沙棘木蠹蛾在陕西、山西、内蒙古、辽宁、宁夏和河北等主要沙棘种植区大面积发生。其幼虫 16 龄，在根部危害近 3 年之久，初孵幼虫主要钻蛀树干的韧皮部，达到一定虫龄后转移至根部危害，而调查幼虫虫口数量需要将沙棘全株拔离地面，此时获得的 1~16 龄幼虫均涵盖其中，但当年通过性信息素诱捕到的成虫并非 1~16 龄幼虫羽化而来，因此，如何将性信息素监测量与当年可羽化的幼虫虫口数量进行耦合，是当前该研究的瓶颈。

辽宁省建平县曾拥有沙棘林 1 530 hm^2（含沙棘-杨树混交林 825 hm^2），是世界上最大的人工沙棘林，近些年由于干旱和沙棘木蠹蛾暴发，沙棘死亡率逐渐上升，造成沙棘果近乎绝收，给沙棘产业的发展带来了空前的灾难（路常宽等，2004）。早期人们对沙棘木蠹蛾的生物学特性（宗世祥等，2006a）、危害特性（宗世祥等，2005）、成虫行为学特征（路常宽等，2004），以及综合控制技术（骆有庆等，2007）进行了大量的研究报道，但由于沙棘生长特性及沙棘木蠹蛾危害特性的限制，使得很多常规方法都无法有效的监测预报林间幼虫数量。

昆虫性信息素研究的迅速开展是从 1959 年在蚕蛾中鉴定出第一个性信息素开始，它具有经济、高效、简便、安全、环保等特点，而且灵敏度高、专一性强、不伤害天敌，满足了林业可持续发展的要求。随着国内外对其研究与应用的发展，每年至少有 2 000 万种性信息素被应用于害虫监测和大量诱捕技术中，涉及的对象也较为广泛，如森林害虫、农业害虫、园艺害虫等（胡玉伟等，2013）。沙棘木蠹蛾性信息素的人工合成（成小芳等，2007）、林间诱蛾活性试验（宗世祥等，2006b），以及性诱剂在沙棘木蠹蛾监测和控制中的应用（宗世祥等，2010）等各项技术都已趋于成熟，但有关其性信息素的应用都仅限于大量诱捕、发生期以及发生量的监测方面，准确评估林间幼虫虫口数量的研究仅在食叶害虫方面有少量报道（吕中明等，1999；张爱兵等，2001；刘雪锋，2011）。建立幼虫数量与成虫诱捕量之间的耦合关系，能够大大降低人工调查虫口数量的劳动强度和成本，也可以将性信息素监测技术从定性（只关注能否监测到害虫）转变为定量（通过监测量推算林间实际幼虫虫口数量）。

食叶性害虫可以根据失叶率来判断植物受害程度，将失叶率与成虫诱捕量进行耦合，从而达到监测幼虫数量、受害程度的目的，而钻蛀性害虫主要危害林木枝梢及树干，幼虫虫口数量调查难度相对较大，且受害前期没有明显特征，不易被察觉。鉴于此，本研究应用三角形黏胶诱捕器于辽宁省建平县的沙棘林监测沙棘木蠹蛾的成虫期；调查记录当年可发育为老熟幼虫，入土化蛹并羽化为成虫的龄期范围，并结合田间幼虫数量的调查，将幼虫数量与成虫诱捕量进行耦合，旨在探明二者之间的关系，构建数学模型，为沙棘木蠹蛾的监测预警提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在辽宁省建平县的 3 处沙棘林中，其平均海拔 700 m 以上，年平均气温 7.6℃，年平均降水量 487 mm。其中义成功乡的试验地主要以沙棘为主，其中混有少量杨树 *Populus* L.、

榆树 *Ulmus pumila* L.，有虫株率达 47%，沙棘受害率较高，白山乡及奎德素镇的试验地为沙棘和杨树间种，有虫株率分别为 31%、29%，沙棘受害率较低。

1.2　当年可羽化的沙棘木蠹蛾幼虫龄期评估

2015 年 4 月 5 日，从野外挖取地径为 5~6 cm 的健康无虫害沙棘 24 棵，截冠，移栽至苗圃，2 棵为 1 组，共 12 组，组间分别用挡板隔开并嵌入地面以下 10 cm，地下和地上均用纱网进行隔离。于 4 月上旬从试验地周边挖取受害沙棘，获得 11~14 龄幼虫（每个虫龄的幼虫数量≥60 头，2014 年预试验证实，5 月下旬已达 1~10 龄的幼虫当年不能发育为老熟幼虫，15~16 龄幼虫一定可以化蛹并羽化为成虫），待沙棘成活长出新叶后，将 4 个虫龄的幼虫分别接入 12 组健康沙棘根部位置，并覆上薄土，每个虫龄做 3 个重复，每隔 3~5 d 观察沙棘木蠹蛾羽化的情况并记录，从 5 月下旬至 9 月初持续观察。

1.3　幼虫虫口数量调查

1.3.1　样地内受害沙棘总数　2015 年 5—9 月，在建平县白山乡、义成功乡、奎德素镇分别设定 10 块 30 m×30 m 样地，样地间隔大于 30 m。采用随机抽样法，于每块样地抽取 100 棵沙棘，根据其根和干部是否有虫粪判断该样树是否受害，计算有虫株率，进而通过样地内沙棘总株数，推算出受害沙棘总株数（S）。

1.3.2　样地内受害沙棘单株幼虫数量　每处试验地随机抽取 50 棵受害沙棘植株（根据根部及干部是否有虫粪），收集根部和干部所有幼虫，参考沙棘木蠹蛾幼虫虫龄的相关研究（宗世祥等，2006c），测量其头壳宽来确定虫龄，计算受害沙棘单株 i 龄幼虫平均虫口数量(P_i)，i 代表沙棘木蠹蛾幼虫虫龄。

1.3.3　样地内 i 龄幼虫虫口数量　公式为：$D=P_i\times S$；D 和 P_i 表示代表同 1.3.2。

1.4　野外诱捕

1.4.1　诱芯和诱捕器　本试验所使用的诱芯由北京格瑞碧源有限公司生产，采用白色新型复合橡胶为载体，根据产品说明，其主要成分有顺-7-十四碳烯醇乙酸酯，反-7-十四碳烯醇乙酸酯、顺-7-十四碳烯醇、反-7-十四碳烯醇，持效期在 20~30 d。2015 年 5 月购置诱芯，密闭存放于－20℃冰箱内待用，田间置放每 20 d 更换一次。三角形粘胶诱捕器购置于同一公司，有效粘胶面积为 18 cm×25 cm，胶板每隔 1 d 更换一次。

1.4.2　诱捕器设置与调查　2015 年 5—9 月，在 2.2 试验样地中，每样地中心悬挂一个三角形黏胶诱捕器配 1 个诱芯，悬挂高度为 1.2 m。试验期间样地内无任何灯诱、喷洒农药等防治措施。放置诱捕器后，每隔 1 d 调查 1 次诱捕到的雄蛾数量，并记录数据，从 5 月 22 日至 8 月 30 日持续调查。

1.5　数据相关性耦合方法

所得数据采用了 Excel 2016 中的散点图绘制以及 SPSS 18.0 软件回归分析的曲线估计进行数据整理和分析。

2　结果与分析

2.1　幼虫当年可羽化龄期估计

2015 年于苗圃饲养的 12~14 龄幼虫可在当年发育为老熟幼虫，入土化蛹并羽化为成虫（表 1）。由此推测，野外通过性信息素诱捕到的沙棘木蠹蛾成虫是由当年 5 月下旬时已达 12 ~ 16 龄的幼虫最终化蛹并羽化而来。

表 1　沙棘木蠹蛾羽化情况
Table 1　Emergence date of *Eogystia hippophaecolus*

虫龄（龄）Larva instar (instar)	羽化量（头）Number of emergence (quantity)			均值 Mean± SD	是否羽化 Emergence or no
	1	2	3		
11	0	0	0	0±0	否 No
12	8	7	5	7±1	是 Yes
13	12	11	8	10±2	是 Yes
14	9	12	10	10±1	首 Yes

2.2　沙棘木蠹蛾成虫发生期监测

2015 年 5 月 22 日悬挂含沙棘木蠹蛾诱芯的

三角形诱捕器进行成虫诱捕监测，结果表明，白山、奎德素、义成功试验地的成虫始见期分别为 5 月 28 日、6 月 1 日和 6 月 4 日，随后诱捕量呈上升趋势；共经历了 3 个羽化高峰，在最后一个羽化高峰期结束之后，成虫诱捕量迅速下降至成虫期结束；3 个试验地的沙棘木蠹蛾羽化期分别为 76、79、95 d，累计诱捕的成虫数量分别为 657 头、836 头和 1 565 头（图 1）。

以上说明，在辽宁省建平县沙棘木蠹蛾共经历 3 个羽化高峰；在不同乡镇，沙棘木蠹蛾的成虫发生规律具有一定的差异性，羽化高峰的时间和成虫期长短均有较大差别。

2.3 幼虫虫口数量与成虫诱捕量相关性分析

在辽宁建平，沙棘木蠹蛾 4 年 1 代，幼虫 16 龄，当年诱捕的成虫并非林间所有幼虫最终化蛹并羽化而来，由 2.2 可推测 5 月下旬 12~16 龄的幼虫可以发育为老熟幼虫并化蛹羽化为成虫。本文将各样地的 11~16 龄、12~16 龄、13~16 龄和 14~16 龄幼虫数量与成虫诱捕量进行相关性分析，发现 4 个龄期阶段的幼虫数量与诱捕量均显著相关（表 2）。

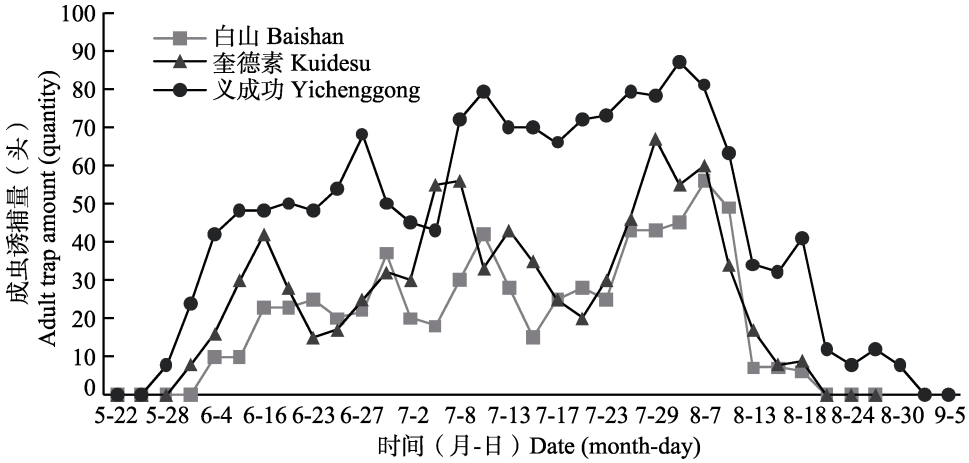

图 1 不同试验地成虫期诱捕量

Fig. 1 Number of adults trapping in different study area

表 2 幼虫虫口数量与成虫诱捕量相关性

Table 2 The correlation between the number of larvae and trapped adult

		11~16 龄幼虫数量 Number of 11-16 instar larvae	12~16 龄幼虫数量 Number of 12-16 instar larvae	13~16 龄幼虫数量 Number of 13-16 instar larvae	14~16 龄幼虫数量 Number of 14-16 instar larvae
成虫诱捕量 Adult trapping amount	皮尔逊相关性 Pearson correlation	0.804**	0.731**	0.804**	0.666**

**表示在 0.01 水平上显著相关。

** indicates significant correlation at the level of α=0.01.

选取相关性最好的 13~16 龄幼虫数量为因变量，单个诱捕器总诱捕量为自变量，建立直角坐标系，绘制散点图并插入趋势线（图 2），其线性方程为 y=0.488x+31.764，R^2=0.647。

利用 SPSS18.0 以线性、二次、指数、幂函数对 4 组数据拟合，求出方程和曲线的 R^2 值（表 3）。结果显示，4 组数据的曲线估计中，二次函数 R^2 值均为最高，4 个龄期阶段的幼虫数量与单个诱捕器总诱捕量的拟合度为 13~16 龄>11~16 龄>12~16 龄>14~16 龄。由此，2015 年 5 月下旬，林间已达 13~16 龄的幼虫数量可用二次函数 $y = 0.001x^2 + 0.321x + 38.783$（$R^2$=0.649）对其进行有效的监测。

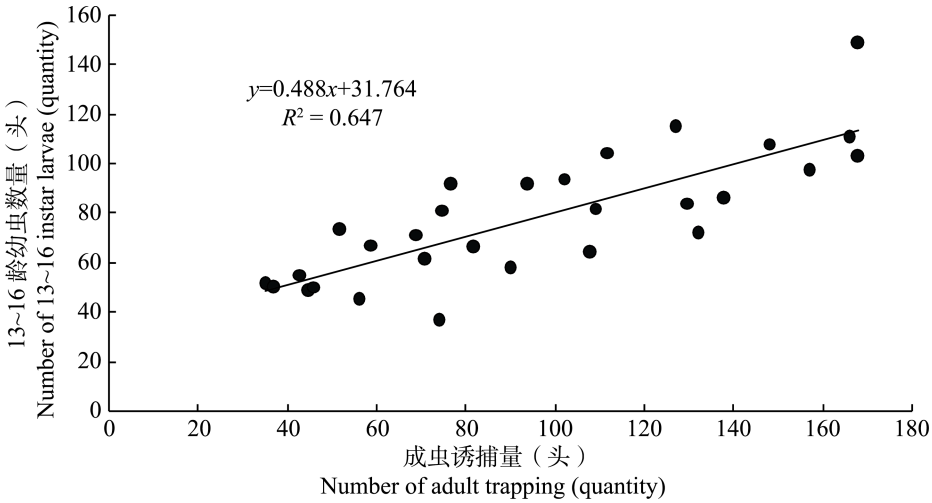

图 2　幼虫数量与诱捕量散点图

Fig. 2　Scatter plot of the number of larvae and trapping

表 3　幼虫虫口数量与诱捕量的回归方程

Table 3　The regression equation of the larvae number and adults trapping

幼虫数量 Number of larvae	线性函数 Linear function	指数函数 Exponential function	幂函数 Power function	二次函数 Quadratic function
11~16 龄 11-16 instars	$y = 1.026x + 44.545$	$y = 65.134e^{0.007x}$	$y = 7.388x^{0.647}$	$y = 0.001x^2 + 0.846x + 52.113$
	$R^2 = 0.631$	$R^2 = 0.591$	$R^2 = 0.581$	$R^2 = 0.631$
12~16 龄 12-16 instars	$y = 0.678x + 50.697$	$y = 60.155e^{0.006x}$	$y = 9.396x^{0.549}$	$y = -0.001x^2 + 0.923x + 40.348$
	$R^2 = 0.534$	$R^2 = 0.508$	$R^2 = 0.516$	$R^2 = 0.536$
13~16 龄 13-16 instars	$y = 0.488x + 31.764$	$y = 41.179e^{0.006x}$	$y = 6.719x^{0.539}$	$y = 0.001x^2 + 0.321x + 38.783$
	$R^2 = 0.647$	$R^2 = 0.629$	$R^2 = 0.6133$	$R^2 = 0.649$
14~16 龄 14-16 instars	$y = 0.203x + 17.391$	$y = 21.068e^{0.005x}$	$y = 5.247x^{0.424}$	$y = 0.002x^2 + 0.257x + 36.767$
	$R^2 = 0.443$	$R^2 = 0.394$	$R^2 = 0.333$	$R^2 = 0.518$

以上回归方程中 P 值均小于 0.05。

$P < 0.05$ in the regressions above.

3　讨论

害虫预测是进行害虫综合治理的必要前提，只有对害虫的发生预测准确及时，才能正确地拟定综合防治计划和措施，经济有效地压低害虫发生数量。昆虫性信息素无论在农业（王容燕等，2014）还是林业（王禄等，2012），都已广泛应用于预测害虫发生的起始期、高峰期以及消退期，以便全面掌握害虫的发生规律从而适期防治（焦晓国等，2006），其发展创造了显著的经济效益、社会效益以及生态效益。本试验研究发现，沙棘木蠹蛾在 3 个不同试验地的成虫发生期、羽化高峰期均有较大差异。因此，在使用信息素对沙棘木蠹蛾成虫进行诱捕监测时，应结合不同林分的受灾程度和环境因素，切不可一成不变，以偏概全。

温度是影响昆虫羽化的关键因素，对昆虫的生长发育、基本行为都会产生很大的影响（陈爱娥等，2014），且在昆虫的适温区，其发育速率随着温度的升高而呈线性增长，所以常使用有效积温法则来描述温度对昆虫发育速率的影响。在苗圃饲养的沙棘木蠹蛾幼虫中，12~16 龄的幼虫可在当年发育为老熟幼虫后入土化蛹并羽化为成虫，将野外该龄期内幼虫数量与诱捕量进行回归分析，R^2=0.536，拟合度差，但 13~16 龄幼虫数量与诱捕量拟合后，R^2=0.649，拟合度好。导

致这一结果的原因可能是野外样地的海拔较高，且沙棘林内混交有杨树，具有一定的遮阴效果，林内气温相对较低。由此致使沙棘木蠹蛾幼虫的生长发育周期变长，5 月下旬时已达 12 龄的幼虫不能在当年发育为老熟幼虫，入土化蛹并羽化为成虫。

昆虫发育过程中，由于每个虫龄间幼虫发育速率的差异和种间竞争等原因，种群数量始终处于变化之中，但应用种群数量动态模拟模型可以有效地估算出昆虫世代间的变化规律（赵中华和沈佐锐，1999）。沙棘木蠹蛾在空间上的分布和变化具有一定的规律性（宗世祥等，2005），如果能够准确的把握其不同虫龄间的幼虫在林间的数量变化规律，就可通过监测林间部分龄期的幼虫数量推算出总的幼虫数量，为监测提供更为有效的。

早期可通过性信息素对沙棘木蠹蛾的成虫始见期、高峰期、末期等进行监测，但无法准确的估计幼虫数量，而本文通过构建数学模型对林间幼虫的数量有了一个较为准确的监测，为掌握林间的虫害发生情况提供了一个更为简便、快捷的调查方法。随着信息技术的发展，“3S”、人工智能、数据处理等信息技术已逐渐应用于病虫害的监测预警中（张云慧和程登发，2013），如利用昆虫雷达对迁飞性害虫的迁飞行为进行实时监测（Riley，1989；Cheng *et al.*，2002；Chapman *et al.*，2011），利用高光谱和低空遥感技术对病虫害的发生进行监测（Cap *et al.*，2013），对于指导害虫的治理都逐渐发挥着重要的作用。通过性信息素对沙棘木蠹蛾幼虫数量的地面监测，给未来结合网络信息技术、高空影像耦合模型提供了有力的数据支撑。

参考文献 (References)

Chen AE, Zheng WW, Zhang HY, 2014. Effects of temperature on eclosion of *Bactrocera minax*. *Journal of Environmental Entomology*, 36(1): 12–16. [陈爱娥, 郑薇薇, 张宏宇, 2014. 温度与柑桔大实蝇羽化关系研究. 环境昆虫学报, 36(1): 12–16.]

Cheng DF, WU KM, Tian Z, Tian Z, Wen LP, Shen ZR, 2002. Acquisition and analysis of migration data from the digitized display of a scanning entomological radar. *Computers and Electronics in Agriculture*, 35: 63–75.

Chapman JW, Drake VA, Reynolds RD, 2011. Recent insights from radar studies of insect flight. *Annual Review of Entomology*, 56: 337–356.

Cheng XF, Wang JM, Zhang JT, 2007. Synthesis and field tests of sex attractant for *Holcocerus hippophaecolus* (Lepidoptera: Cossidae). *Scientia Silvae Sinicae*, 43(5): 74–77. [成小芳, 王金明, 张金桐, 2007. 沙棘木蠹蛾性信息素的合成与林间诱蛾活性试验. 林业科学, 43(5): 74–77.]

Cap XR, Luo Y, Zhou YL, Duan XY, Cheng DF, 2013. Detection of powdery mildew in two winter wheat cultivars using canopy hyperspectral reflectance. *Crop Protection*, 45: 124–13.

Hu YW, Guan CX, Xu HL, Lin MJ, An YX, Zhang ZL, 2013. Monitoring and mass annihilation of sex pheromones on pest management. *Guangdong Agricultural Sciences*, (16): 81–86. [胡玉伟, 管楚雄, 许汉亮, 林明江, 安玉兴, 张志林, 2013. 害虫性信息素种群监测和大量诱杀技术的应用. 广东农业科学, (16): 81–86.]

Jiao XG, Xuan WJ, Sheng CF, 2006. Research advances in applying sex pheromones to forecasting and prediction of insect pests. *Plant Protection*, 32(6): 9–13. [焦晓国, 宣维健, 盛承发, 2006. 性信息素在害虫测报中的应用研究进展. 植物保护, 32(6): 9–13.]

Lu CK, Zong SX, Luo YQ, Xu ZC, Ma CD, Zhao HY, 2004. Adult behaviors and sex attraction of *Holcocerus hippophaecolus* (Lepidoptera: Cossidae). *Journal of Beijing Forestry University*, 26(2): 79–83. [路常宽, 宗世祥, 骆有庆, 许志春, 马超德, 赵怀玉, 2004. 沙棘木蠹蛾成虫行为学特征及性诱效果研究. 北京林业大学学报, 26(2): 79–83.]

Liu XF, 2011. Monitoring and forecasting of *Dendrolimus punctatus* by sex pheromone. *Hunan Forestry Science & Technology*, 38(2): 17–20. [刘雪锋, 2011. 性信息素引诱监测预报马尾松毛虫试验. 湖南林业科技, 38(2): 17–20.]

Luo YQ, Zong SX, Xu ZC, Zhang JT, Lu CK, Zhang LS, 2007. Integrated management of *Holcocerus hippophaecolus* (Lepidoptera: Cossidae). *Scientia Silvae Sinicae*, 43(11): 146–150. [骆有庆, 宗世祥, 许志春, 张金桐, 路常宽, 张连生, 2007. 沙棘木蠹蛾综合控制技术研究. 林业科学, 43(11): 146–150.]

Lv Zm, Gao LJ, Li XY, 1999. Population density Forecasting of *Lymantria dispar* by sex pheromone. *Jilin Forestry Science and Technology*, (3): 19–21. [吕中明, 高立军, 李晓颖, 1999. 利用性诱剂预测舞毒蛾的种群密度. 吉林林业科技, (3): 19–21.]

Riley JR, 1989. Remote sensing in entomology. *Annual Review of Entomology*, 34(1): 247–271.

Wang L, Liu ZZ, Wang YJ, Xu J, Feng LY, 2012. Application of Sex attractant on monitoring and forecasting of *Hyphantria cunea*.

Journal of Shandong Forestry Science and Technology, (6): 64–67. [王禄, 刘在哲, 汪玉静, 胥静, 逄丽艳, 2012. 性诱剂在美国白蛾预测预报中的应用. 山东林业科技, (6): 64–67.]

Wang RY, Li XH, Ma J, Gao B, Chen SL, 2014. Monitoring and control of the sweet potato weevil *Cylas formicarius* with pheromone traps in Fujian, China. *Plant Protection*, 40(2): 161–165. [王容燕, 李秀花, 马娟, 高波, 陈书龙, 2014. 应用性诱剂对福建甘薯蚁象的监测与防治研究. 植物保护, 40(2): 161–165.]

Zhang AB, Tan SJ, Gao W, Li DM, Tu JB, Wang R, Hao Q, Cheng LS, Chen LM, 2001. Monitoring of *Dendrolimus punctatus* with synthetic sex pheromone. *Entomological Knowledge*, 38(3): 211–214. [张爱兵, 谭声江, 高伟, 李典谟, 涂金波, 汪润, 郝强, 程兰生, 陈立明, 2001. 应用性外激素监测马尾松毛虫发生数量的初步研究, 昆虫知识, 38(3): 211–214.]

Zong SX, Jia FY, Lu YQ, Luo YQ, Xu ZC, Zhang LS, Liang SJ, 2005. Harm characteristics and population dynamics of *Holcocerus hippophaecolus*. *Journal of Beijing Forestry University*, 277(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, Luo YQ, Lu CK, Xu ZC, Zhang LS, 2006a. Preliminary study on biological characteristic of *Holcoceres hippophaecolus*. *Scientia Silvae Sinicae*, 42(1): 29–84. [宗世祥, 骆有庆, 路常宽, 许志春, 张连生, 2006. 沙棘木蠹蛾生物学特性的初步研究. 林业科学, 42(1): 79–84.]

Zong SX, Luo YQ, Xu ZC, Zhang JT, Cheng XF, Zhang LS, Liang SJ, Yao GL, 2006b. Field trapping trials of sex pheromone for *Holcocerus hippophaecolus*(Lepidoptera: Cossidae). *Journal of Beijing Forestry University*, 28(6): 110–112. [宗世祥, 骆有庆, 许志春, 张金桐, 成小芳, 张连生, 梁树军, 姚国龙, 2006. 沙棘木蠹蛾性信息素林间诱蛾活性试验. 北京林业大学学报, 28(6): 110–112.]

Zong SX, Luo YQ, Xu ZC, Wang T, 2006c. Preliminary study on different larval instars of seabuckthorn carpenter moth, *Holcocerus hippophaecolus*. *Chinese Bulletin of Entomology*, 43(5): 626–631. [宗世祥, 骆有庆, 许志春, 王涛, 2006. 沙棘木蠹蛾幼虫龄期的初步研究. 昆虫知识, 43(5): 626–631.]

Zong SX, Zhou J, Luo YQ, Zhang LS, Yao GL, Zong DL, Liu ZX, Wang YK, Cui JJ, 2010. Application of sex attractant in the monitoring and control of *Holcocerus hippophaecolus*. *Entomology Knowledge*, 47(6): 1217–1220. [宗世祥, 周娇, 骆有庆, 张连生, 姚国龙, 宗德禄, 刘振新, 王英凯, 崔建军, 2010. 性诱剂在沙棘木蠹蛾监测和控制中的应用. 昆虫知识, 47(6): 1217–1220.]

Zhang YH, Cheng DF, 2013. Progress in monitoring and forecasting of insect pests in China. *Plant Protection*, 39(5): 55–61. [张云慧, 程登发, 2013. 突发性暴发性害虫监测预警研究进展. 植物保护, 39(5): 55–61.]

Zhao ZH, Shen ZR, 1999. The application of insect population dynamics simulation models. *Journal of Plant Protection*, 26(1): 13–19. [赵中华, 沈佐锐, 1999. 昆虫种群发育数量动态的模拟模型及其应用. 植物保护学报, 26(1): 13–19.]