

四種蟲害誘導之植物揮發性成分對天敵之誘效評估

董耀仁¹ 黃紹毅^{2,*}

摘要

董耀仁、黃紹毅。2016。四種蟲害誘導之植物揮發性成分對天敵之誘效評估。台灣農業研究 65(2):173–183。

本研究使用 4 種經昆蟲取食傷害誘導後會產生之植物揮發性成分水楊酸甲酯、順式 3-己烯-1-醇、2-苯乙醇及沉香醇，搭配黃色黏板於行政院農委會農業試驗所(梅園、枇杷、玉米及萵苣田區) 調查所捕獲之天敵種類及數量，調查中主要捕獲之天敵種類有小黑花蝽象、六條瓢蟲、花虻及膜翅目寄生蜂等。4 種成分中，僅水楊酸甲酯對小黑花蝽象具顯著誘引效果，而所有成分對六條瓢蟲、花虻及膜翅目寄生蜂等其他天敵皆無明顯誘引效果。經過進一步調查發現，水楊酸甲酯對於小黑花蝽象之誘引效果會因濃度不同而有所差異，其中以 99.0% 水楊酸甲酯效果最好 (5.2 隻/黏板)，其次為 1.0% (4.9 隻/黏板) 及 0.1% (4.8 隻/黏板)，3 者均顯著高於對照組 (0.9 隻/黏板)。將水楊酸甲酯與其他成分混合後，與順式 3-己烯-1-醇混合可捕獲最多小黑花蝽象 (3.3 隻/黏板)，其次為僅使用水楊酸甲酯之處理組 (3.2 隻/黏板)，兩者間無顯著差異，但皆顯著高於對照組 (0.6 隻/黏板)。在 2014 及 2015 年 1–2 月間於梅園連續進行 4 wk 調查後，水楊酸甲酯處理組於各時間點捕獲小黑花蝽象之數量均顯著高於對照組。而除了梅園外，水楊酸甲酯於枇杷、玉米及萵苣田 3 種不同作物之環境中，亦可有效誘引小黑花蝽象。綜合上述之結果，水楊酸甲酯具有作為小黑花蝽象田間誘引劑之開發潛力，但必須考慮到不同濃度以及與不同化學成分混合後對於誘引效果之影響。

關鍵詞：蟲害誘導之植物揮發性成分、水楊酸甲酯、小黑花蝽象、誘引劑。

前言

植物在生長發育的過程中會釋放揮發性有機化合物，植食性昆蟲可以利用這些物質來尋找寄主植物 (Jolivet 1998)。當植物受植食性昆蟲危害後，所產生的揮發性成分除了量較平時更多外，組成亦不相同，而此類揮發性成分被稱為蟲害誘導之植物揮發性成分 (herbivore induced plant volatiles)。而天敵則會利用蟲害誘導之植物揮發性成分尋找寄主/食餌，對於植物而言可達到降低蟲害之目的 (Pare & Tumlinson 1999; Howe & Jander 2008)。

目前已知多種植物遭受昆蟲危害時會釋放出水楊酸甲酯 (methyl salicylate) (Scutareanu *et al.* 1997; Dicke *et al.* 1998; van Poecke *et*

al. 2001)。多篇研究顯示，水楊酸甲酯可誘引草蛉 (*Chrysopa nigricornis* Burmeister)、褐草蛉 (*Hemerobius* sp.)、大眼長蝽 (*Geocoris pallens* Stal)、盲蝽 (*Deraeocoris brevis* Uhler)、食蚜虻科 (Syrphidae) 的花虻、食蟻瓢蟲 (*Stethorus punctum picipes* Casey)、小黑花蝽象 (*Orius tristicolor* White) 及智利捕植蟻 (*Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot) 等多種捕食性天敵 (James 2003a, 2003b; De Boer & Dicke, 2004; James & Price 2004; James 2005)。

除水楊酸甲酯外，2-苯乙醇 (2-Phenyl-ethanol) 對草蛉 (*Chrysopa carnea* Steph) 及粉斑瓢蟲 (*Coleomegilla maculata* DeGeer)

投稿日期：2015 年 9 月 2 日；接受日期：2015 年 10 月 1 日。

* 通訊作者：oleander@dragon.nchu.edu.tw

¹ 農委會農業試驗所應用動物組助理研究員。台灣 台中市。

² 國立中興大學昆蟲學系教授。台灣 台中市。

亦具誘引作用 (Zhu *et al.* 1999)。順式 3-己烯-1-醇 (cis-3-Hexen-1-ol) 則可誘引小繭蜂科 (Broconidae)、縷小蜂科 (Myrmaridae)、花虻、食蟻瓢蟲及小黑花蝽象等多種天敵 (James 2005; Williams *et al.* 2008; Yu *et al.* 2008)。而沉香醇 (Linalool) 亦為多種植物受昆蟲危害後所釋放的揮發性成分，被認為可能參與植物的間接防禦作用 (Yang *et al.* 2013)。Kessler & Baldwin (2001) 研究證實沉香醇施用於煙草上可提高大眼長蝽對煙草天蛾 (*Manduca sexta* Linnaeus) 卵的捕食率。此外，沉香醇搭配黃色黏板於黑楊 (*Populus nigra* Italica) 林區誘引到之姬蜂科 (Ichneumonidae) 寄生蜂的數目，較正己烷對照組多 6 倍 (McCormick *et al.* 2014)。

寄生性或捕食性天敵在搜尋寄主/食餌的過程中，首先是寄主/食餌棲所的確證，天敵可藉由蟲害誘導之植物揮發性成分進行寄主/食餌的搜尋與定位 (Dicke 2015)。Mallinger *et al.* (2011) 於大豆田之研究結果顯示，施用水楊酸甲酯可吸引大豆蚜 (*Aphis glycines* Matsu-mura) 的天敵，並降低田間大豆蚜族群，顯示蟲害誘導之植物揮發性成分可吸引天敵並降低害蟲的族群，近年來開始有相關研究探討如何將蟲害誘導之植物揮發性成分應用於農業上，希望能夠增強對害蟲的生物防治 (Penaflor & Bento 2013)。惟在國內此領域尚無研究。因此，本試驗將於農業試驗所測試水楊酸甲酯、順式 3-己烯-1-醇、2-苯乙醇及沉香醇此 4 種蟲害誘導之植物揮發性成分於田間誘引天敵之效果，以獲得這些成分於田間誘引天敵之資料，並探討其應用於國內害蟲防治的可行性。

材料與方法

供試藥劑、使用資材及試驗地點

水楊酸甲酯 (methyl salicylate)，純度 99.0%；順式 3-己烯-1-醇 (cis-3-hexen-1-ol)，純度 98.0%；2-苯乙醇 (2-phenylethanol)，純度 99.0%；沉香醇 (linalool)，純度 97.0% 及乙醇 (ethanol absolute)，純度 $\geq 99.9\%$ ，均購自台灣默克股份有限公司，天敵調查用黃色黏板 (長

28.0 cm，寬 16.5 cm) 購自振詠興業有限公司，透明含蓋玻璃管 (直徑 1.5 cm，長 4.5 cm) 購自美國 Kimble 公司。

天敵調查方法參考 James (2003b)，利用蟲害誘導之植物揮發性成分 (裝於透明含蓋玻璃管) 搭配黃色黏板懸掛於田間來誘捕天敵。試驗之設置為將 3 mL 供試成分裝於透明含蓋玻璃管內，於玻璃管蓋上開直徑 0.3 cm 圓孔供氣味散出，以 50 cm 單螺線纏繞綁住玻璃管後，使玻璃管依附於黏板上，並使單螺線穿過黃色黏板上圓形開孔將整個裝置懸掛於試驗田區之植株樹枝上 (梅及枇杷)，或以支架進行懸掛 (玉米及萵苣，因作物本身無法進行懸掛) (圖 1)。

試驗地點選定人為操作干擾少以及對天敵不利影響較少的田區，以降低人為因素對於調查結果的影響，4 塊田區分別為農業試驗所 (台中市霧峰區中正路 189 號) 梅園 (plum, 1.1 ha)、枇杷園 (loquat, 0.5 ha)、玉米田 (maize, 0.3 ha) 及萵苣田 (lettuce, 0.3 ha)，上述 4 塊田區分屬果樹、糧食及蔬菜 3 類不同作物環境。梅園及枇杷園為多年育種園區，少用化學藥劑且田區以機械除草方式管理對天敵影響小，玉米及萵苣田亦分別為育種及種源活化用田區，雖屬短期作物但生長期間亦少用化學藥劑且使用機械除草。各田區試驗進行時，植物之生長狀況及害蟲發生概況分別如次，梅園：開花結果期，主要發生害蟲為薊馬、蚜蟲及葉蟬；枇杷園：開花結果期，主要發生害蟲為薊馬；玉米田：成熟期，主要發生害蟲為薊馬及蚜蟲；萵苣田：開花期，主要發生害蟲為薊馬及蚜蟲。此外，上述 4 塊田區於調查期間皆未施用化學藥劑。

不同蟲害誘導之植物揮發性成分對天敵誘引效果

為明瞭 4 種蟲害誘導之植物揮發性成分對天敵的誘引效果，於梅園中心 (長 60 m，寬 60 m) 選定 50 株梅樹 (東西向 10 株，南北向 5 株，每株彼此間隔距離 5 m 以上)，將分別含有未稀釋之水楊酸甲酯、順式 3-己烯-1-醇、2-苯乙醇及沉香醇的黃色黏板，以及未含有任何成分之對照組黃色黏板，隨機懸掛於選定梅

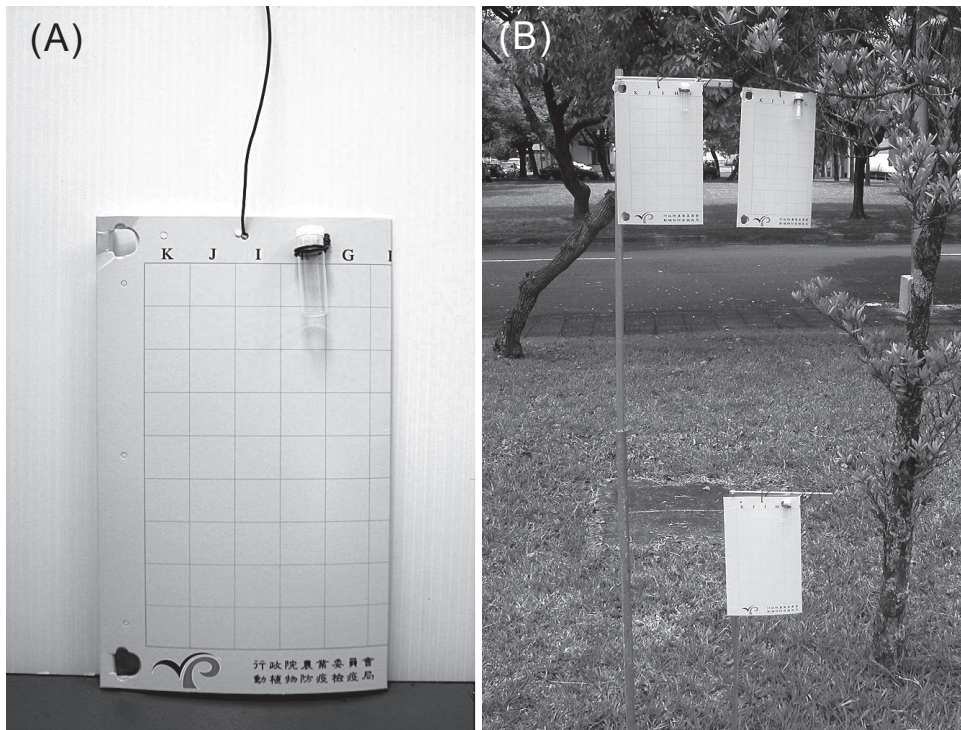


圖 1. (A) 蟲害誘導之植物揮發物性成分與黃色黏板之搭配以及 (B) 黏板於不同作物田區懸掛高度示意圖。

Fig. 1. The photographs of (A) the combination of a herbivore-induced plant volatile and a yellow sticky paper, and (B) the schematic diagram of the heights of yellow sticky papers hung in different farmlands.

樹的樹枝上，懸掛高度約 1.7 m。經 2 wk 後，將黏板帶回試驗室觀察，並記錄黏板上所捕獲之天敵種類及數量，本試驗 10 重複。

不同濃度水楊酸甲酯對天敵誘引效果

為明瞭水楊酸甲酯不同濃度是否影響對天敵之誘引效果，參考 James (2006) 對金眼草蛉誘引效果試驗中所使用之水楊酸甲酯濃度 (99.0、10.0 及 1.0%)，並且再多選用 0.1% 之濃度，其中 10.0、1.0 及 0.1% 三種濃度為將水楊酸甲酯以乙醇稀釋。於梅園中心選定 60 株梅樹 (東西向 12 株，南北向 5 株，每株間彼此間隔距離 5 m 以上)，將搭配不同濃度水楊酸甲酯之黃色黏板、搭配僅含有乙醇之黃色黏板、以及未搭配供試成分之對照組黃色黏板，隨機懸掛於選定梅樹的樹枝上，懸掛高度約 1.7 m。經 2 wk 後，將黏板帶回試驗室觀察，並記錄黏板上所捕獲天敵之種類及數量，本試驗 10 重複。

水楊酸甲酯混合不同蟲害誘導之植物揮發性成分後對天敵誘引效果

為測試混合它種蟲害誘導之植物揮發性成分能否提高水楊酸甲酯對天敵的誘引效果，參考 Maeda *et al.* (2015) 於葡萄園測試多種蟲害誘導之植物揮發性成分混合時，是否較單一成分使用時增強對食蟻瓢蟲誘引效果試驗所使用之等比例混合方式。於梅園中心選定 50 株梅樹 (東西向 10 株，南北向 5 株，每株間彼此間隔距離 5 m 以上)，將分別搭配未稀釋水楊酸甲酯、水楊酸甲酯 1:1 混合順式 3-己烯-1-醇、水楊酸甲酯 1:1 混合 2-苯乙醇及水楊酸甲酯 1:1 混合沉香醇之黃色黏板及未搭配供試成分之對照組黃色黏板，隨機懸掛於選定梅樹的樹枝上，懸掛高度約 1.7 m。經 2 wk 後，將黏板帶回試驗室觀察，並記錄黏板上所捕獲天敵之種類及數量，本試驗 10 重複。

水楊酸甲酯於不同作物田區對天敵誘引試驗

為明瞭不同作物環境是否影響水楊酸甲酯對天敵之誘引效果，分別於農業試驗所枇杷園、玉米田及萵苣田 3 類不同作物田區進行試驗。枇杷園試驗設置為於枇杷園中心 (長 25 m，寬 25 m) 選定 20 株枇杷樹 (東西向 5 株，南北向 4 株，每株彼此間隔 5 m 以上)，將搭配未稀釋水楊酸甲酯之黃色黏板與未搭配供試成分之對照組黃色黏板，隨機懸掛於選定枇杷樹的樹枝上，懸掛高度約 1.7 m。經 2 wk 後，將黏板帶回試驗室觀察，並記錄黏板上所捕獲天敵之種類及數量，本試驗 10 重複。玉米田試驗設置為於玉米田中心 (長 25 m，寬 25 m) 設立 20 根支架 (長 25 cm，高 1.7 m，東西向設立 5 根，南北向 4 根，每支架彼此間隔 5 m 以上)，將搭配未稀釋水楊酸甲酯之黃色黏板與未搭配供試成分之對照組黃色黏板，隨機懸掛於選定支架上。經 2 wk 後，將黏板帶回試驗室觀察，並記錄黏板上所捕獲天敵之種類及數量，本試驗 10 重複。萵苣田試驗設置為於萵苣田中心 (長 25 m，寬 25 m) 設立 20 根支架 (長 25 cm，高 80 cm，東西向設立 5 根，南北向 4 根，每支架彼此間隔 5 m 以上)，將搭配未稀釋水楊酸甲酯之黃色黏板與未搭配供試成分之對照組黃色黏板，隨機懸掛於選定支架上。經 2 wk 後，將黏板帶回實驗室觀察，並記錄黏板上所捕獲天敵之種類及數量，本試驗 10 重複。

水楊酸甲酯誘引小黑花蝽象連續調查試驗

為測試水楊酸甲酯是否可穩定有效的誘引小黑花蝽象，分別於 2014 年及 2015 年兩個年度同一時期 (1-2 月間) 於梅園進行調查試驗。試驗設置為於梅園中心 (長 25 m，寬 25 m) 選定 20 株梅樹 (東西向 5 株，南北向 4 株，每株彼此間隔 5 m 以上)，將搭配未稀釋水楊酸甲酯之黃色黏板及未搭配供試成分之對照組黃色黏板，隨機懸掛於選定梅樹的樹枝上，懸掛高度約 1.7 m。經 1 wk 後，將黏板帶回試驗室觀察，並記錄黏板上所捕獲天敵之種類及數量，

每 wk 調查 1 次，連續調查 4 wk，本試驗 10 重複。

統計分析

本試驗所得各項試驗資料均以 SAS-EG (Version 4.1, 2006) 統計分析軟體進行分析，不同蟲害誘導之植物揮發性成分對天敵誘引效果試驗、不同濃度水楊酸甲酯對天敵誘引效果試驗及水楊酸甲酯混合不同蟲害誘導之植物揮發性成分後對天敵誘引效果試驗等 3 試驗所得之試驗資料，於進行變方分析 (analysis of variance; ANOVA) 後，再以最小顯著差異性測驗 (least significant difference test; LSD test) 分析其差異顯著性。水楊酸甲酯於不同作物田區對天敵誘引試驗及水楊酸甲酯誘引小黑花蝽象連續調查試驗之試驗資料，則以 *t*-test 分析水楊酸甲酯處理組與對照組平均值間是否存在差異。

結果

不同蟲害誘導之植物揮發性成分對天敵誘引效果

水楊酸甲酯、順式 3-己烯-1-醇、2-苯乙醇及沉香醇 4 種蟲害誘導之植物揮發性成分中，僅水楊酸甲酯對小黑花蝽象有顯著誘引效果，平均每黏板所捕獲的小黑花蝽象數量為 2.5 隻，顯著高於對照組的 0.4 隻；除小黑花蝽象外，4 種蟲害誘導之植物揮發性成分對六條瓢蟲 (*Cheilomenes sexmaculata* Fabricius)、變斑隱勢瓢蟲 (*Cryptogonus orbiculus* Gyllenhal)、太田隱勢瓢蟲 (*Cryptogonus ohtai* Sasaji)、花虻及膜翅目的寄生蜂等天敵無明顯誘引效果 (表 1)。

不同濃度水楊酸甲酯對天敵誘引效果

99.0% 水楊酸甲酯所捕獲之小黑花蝽象數量 (5.2 隻/黏板) 最高，其次為 1.0% (4.9 隻/黏板) 及 0.1% (4.8 隻/黏板) 水楊酸甲酯處理組，以上 3 處理組所捕獲之小黑花蝽象數量皆顯著高於對照組 (0.9 隻/黏板)。10.0% 水楊酸甲酯處理組 (2.1 隻/黏板) 所捕獲之小黑花蝽象數量雖較對照組多，但彼此無顯著差異。此外，

表 1. 水楊酸甲酯、順式 3-己烯-1-醇、2-苯乙醇及沉香醇於梅園中誘引天敵之效果。

Table 1. The effectiveness [means (\pm SE)] of methyl salicylate, cis-3-hexen-1-ol, 2-phenylethanol, and linalool on attracting natural enemies in plum orchard^z.

Natural enemy (species, genus, family or order)	Mean number of natural enemies (\pm SE)				
	Methyl salicylate	Cis-3-hexen-1-ol	2-Phenylethanol	Linalool	Control
<i>Orius</i>	2.5 (0.4) a ^y	0.9 (0.4) b	0.8 (0.2) b	0.7 (0.2) b	0.4 (0.2) b
Coccinellidae	4.3 (0.7) ab	2.9 (0.3) b	5.0 (0.8) a	4.3 (0.9) ab	5.8 (0.8) a
<i>Cheilomenes sexmaculata</i>	3.9 (0.5) ab	2.9 (0.3) b	4.7 (0.9) ab	3.9 (0.6) ab	5.5 (0.8) a
<i>Cryptogonus orbiculus</i>	0.2 (0.1) a	0.0 (0.0) a	0.2 (0.1) a	0.3 (0.2) a	0.2 (0.2) a
<i>Cryptogonus ohtai</i>	0.2 (0.1) a	0.0 (0.0) a	0.2 (0.1) a	0.1 (0.1) a	0.0 (0.0) a
Syrphidae	2.3 (1.4) a	1.6 (0.5) a	1.5 (0.4) a	0.9 (0.2) a	0.5 (0.2) a
Hymenoptera	9.5 (0.6) ab	7.4 (0.7) b	10.3 (0.5) a	8.3 (1.1) ab	8.9 (0.9) ab

^z Experiment conducted in a Taiwan Agricultural Research Institute plum orchard.

^y For each natural enemy, means followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ (Fisher's protected LSD test).

99.0% 水楊酸甲酯處理組所捕獲之六條瓢蟲數量 (3.7 隻/黏板) 顯著高於與對照組 (1.8 隻/黏板)，其餘不同濃度處理組所捕獲六條瓢蟲數量雖然較對照組多，但與對照組相比並無顯著差異；而各濃度處理組所捕獲之寄生蜂數量與對照組相比亦皆無顯著差異 (表 2)。

水楊酸甲酯混合不同蟲害誘導之植物揮發性成分後對天敵誘引效果

水楊酸甲酯混合順式 3-己烯-1-醇所捕獲之小黑花蝽象數量 (3.3 隻/黏板) 最多，其次為水楊酸甲酯處理組 (3.2 隻/黏板)，兩者所捕獲之小黑花蝽象數量皆顯著高於對照組 (0.6 隻/黏板)；水楊酸甲酯與 2-苯乙醇及沉香醇混合之處理組所捕獲小黑花蝽象數量 (2.1 隻/黏板) 雖然較對照組 (0.6 隻/黏板) 多，但彼此間無顯

著差異。水楊酸甲酯混合 2-苯乙醇處理組所捕獲之中華斑腿盲蝽象 (*Campylomma chinensis* Schuh) 數量 (1.8 隻/黏板)，顯著高於對照組 (0.9 隻/黏板)，其餘各處理組與對照組間皆無顯著差異。除此之外，水楊酸甲酯混合 2-苯乙醇處理組所捕獲之六條瓢蟲數量 (2.5 隻/黏板) 顯著少於對照組 (5.5 隻/黏板)，而其餘各處理組所捕獲之六條瓢蟲數量，以及各處理組所捕獲之變斑隱勢瓢蟲與太田隱勢瓢蟲數量皆與對照組間無顯著差異。在花虻所捕獲到之數量上，除水楊酸甲酯混合順式 3-己烯-1-醇處理組外 (9.1 隻/黏板)，其餘各處理組所捕獲花虻數量均顯著較對照組 (4.3 隻/黏板) 多，以水楊酸甲酯混合 2-苯乙醇處理組所捕獲到之數量最高 (30.8 隻/黏板)；而各處理組所捕獲之寄生蜂數量與對照組間皆無顯著差異 (表 3)。

表 2. 不同濃度之水楊酸甲酯於梅園中誘引天敵之效果。

Table 2. The effectiveness [means (\pm SE)] of different concentration methyl salicylate on attracting natural enemies in plum orchard^z.

Natural enemy (species, genus, family or order)	Mean number of natural enemies (\pm SE)					
	Methyl salicylate				Alcohol	Control
	99.0%	10.0%	1.0%	0.1%		
<i>Orius</i>	5.2 (1.1) a ^y	2.1 (0.2) b	4.9 (0.5) a	4.8 (1.3) a	0.5 (0.2) c	0.9 (0.3) bc
Coccinellidae	4.0 (0.7) a	2.6 (0.5) ab	3.4 (0.9) ab	2.2 (0.4) b	2.5 (0.3) ab	1.8 (0.4) b
<i>Cheilomenes sexmaculata</i>	3.7 (0.7) a	2.4 (0.5) ab	3.1 (0.7) ab	1.9 (0.5) b	2.3 (0.4) ab	1.8 (0.4) b
Hymenoptera	11.6 (0.9) b	16.0 (1.7) ab	18.1 (1.0) a	15.7 (0.8) ab	16.6 (3.6) ab	15.2 (1.5) ab

^z Experiment conducted in a Taiwan Agricultural Research Institute plum orchard.

^y For each natural enemy, means followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ (Fisher's protected LSD test).

表 3. 水楊酸甲酯等比例混合順式 3-己烯-1-醇、2-苯乙醇或沉香醇後於梅園中誘引天敵之效果。

Table 3. The effectiveness [means (\pm SE)] of methyl salicylate mixed with cis-3-hexen-1-ol, 2-phenylethanol or linalool in 1:1 ratio on attracting natural enemies in plum orchard^z.

Natural enemy (species, genus, family or order)	Mean number of natural enemies (\pm SE)				
	Methyl salicylate	Methyl salicylate/ cis-3-hexen-1-ol	Methyl salicylate/ 2-phenylethanol	Methyl salicylate/ linalool	Control
<i>Orius</i>	3.2 (0.9) a ^y	3.3 (0.9) a	2.1 (0.6) ab	1.7 (0.7) ab	0.6 (0.3) b
<i>Campylomma chinensis</i>	1.8 (1.1) ab	0.5 (0.3) b	3.2 (1.4) a	0.6 (0.3) b	0.9 (0.7) b
Coccinellidae	5.2 (0.9) ab	6.1 (1.1) a	2.8 (0.5) b	4.9 (1.7) ab	5.9 (1.3) a
<i>Cheilomenes sexmaculata</i>	4.8 (0.9) ab	5.2 (1.0) a	2.5 (0.6) b	4.4 (1.7) ab	5.5 (1.3) a
<i>Cryptogonus orbiculus</i>	0.3 (0.2) a	0.5 (0.2) a	0.1 (0.1) a	0.5 (0.2) a	0.3 (0.2) a
<i>Cryptogonus ohtai</i>	0.1 (0.1) a	0.2 (0.1) a	0.3 (0.2) a	0.0 (0.0) a	0.0 (0.0) a
Syrphidae	21.2 (5.7) a	9.1 (2.1) b	30.8 (5.9) a	21.7 (4.1) a	4.3 (0.9) b
Hymenoptera	27.8 (3.3) a	26.5 (3.8) a	22.9 (2.6) a	28.2 (3.1) a	25.8 (2.7) a

^z Experiment conducted in a Taiwan Agricultural Research Institute plum orchard.

^y For each natural enemy, means followed by the same letter are not significantly different at $P < 0.05$ (Fisher's protected LSD test).

水楊酸甲酯於不同作物田區對天敵誘引試驗

水楊酸甲酯搭配黃色黏板於枇杷園所捕獲的小黑花蝽象數量 (3.3 隻/黏板) 顯著較對照組多 (0.5 隻/黏板)；在玉米田水楊酸甲酯處理組所捕獲小黑花蝽象數量 (1.6 隻/黏板) 亦顯著多於對照組 (0.2 隻/黏板)；萵苣田也有同樣的結果，水楊酸甲酯處理組平均每黏板捕獲 5.7 隻小黑花蝽象，而對照組平均每黏板僅捕獲 0.8 隻；除小黑花蝽象外，黏板上亦捕獲六條瓢蟲、花虻及寄生蜂，惟與對照組相較均無顯著差異 (表 4)。

水楊酸甲酯誘引小黑花蝽象連續調查試驗

水楊酸甲酯搭配黃色黏板誘引小黑花蝽象之連續測試中，於 2014 年連續 4 wk 的調查中所捕獲的小黑花蝽象數量 (4.8、2.3、3.0 及 3.8 隻/黏板) 均顯著多於對照組 (1.2、0.3、0.5 及 0.9 隻/黏板)；2015 年水楊酸甲酯處理組所捕獲小黑花蝽象數量 (3.6、2.1、4.1 及 4.8 隻/黏板) 亦均顯著多於對照組 (0.5、0.1、1.1 及 1.7 隻/黏板) (表 5)。

討論

蟲害誘導之植物揮發性成分在植物-害蟲-

表 4. 水楊酸甲酯於枇杷、玉米及萵苣 3 種不同作物田區誘引天敵之效果。

Table 4. The effectiveness [means (\pm SE)] of methyl salicylate on attracting natural enemies in loquat, maize, and lettuce fields^z.

Natural enemy (species, genus, family or order)	Mean number of natural enemies (\pm SE)					
	Loquat		Maize		Lettuce	
	Methyl salicylate	Control	Methyl salicylate	Control	Methyl salicylate	Control
<i>Orius</i>	3.3 (0.7) [*]	0.5 (0.3)	1.6 (0.2) [*]	0.2 (0.1)	5.7 (0.8) [*]	0.8 (0.4)
<i>Campylomma chinensis</i>	0.9 (0.2)	0.8 (0.2)	2.6 (1.4)	1.8 (0.7)	1.4 (0.3)	0.7 (0.2)
Syrphidae	0.9 (0.4)	0.7 (0.4)	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)	0.1 (0.1)
Hymenoptera	10.7 (1.5)	9.4 (1.3)	21.2 (4.6)	17.2 (3.8)	22.2 (2.2)	20.1 (1.8)

^z Experiments conducted in Taiwan Agricultural Research Institute loquat, maize and lettuce field.

^{*} For each natural enemy, the asterisk indicated a significant difference from the control at $P < 0.05$ (t -test).

表 5. 2014 年及 2015 年 1–2 月間連續 4 wk 於梅園中調查水楊酸甲酯對於小黑花蝽象誘引效果之結果。

Table 5. The investigation results [means (\pm SE)] of the effectiveness of methyl salicylate on attracting *Orius* in plum orchard for four successive weeks on January–February in 2014 and 2015^z.

Week	Mean number of natural enemies (\pm SE)			
	2014		2015	
	Methyl salicylate	Control	Methyl salicylate	Control
1	4.8 (1.0) [*]	1.2 (0.6)	3.6 (0.7) [*]	0.5 (0.2)
2	2.3 (0.5) [*]	0.3 (0.2)	2.1 (0.4) [*]	0.1 (0.1)
3	3.0 (1.1) [*]	0.5 (0.3)	4.1 (1.4) [*]	1.1 (0.3)
4	3.8 (0.7) [*]	0.9 (0.3)	4.8 (1.3) [*]	1.7 (0.4)

^z Experiment conducted in a Taiwan Agricultural Research Institute plum orchard.

^{*} For each natural enemy, the asterisk indicates a significant difference from the control at $P < 0.05$ (t -test).

天敵交互作用中扮演重要角色，於農業害蟲防治中具增強寄主植物抗性與生物防治應用之潛力，因此受到學者重視 (War *et al.* 2011; Penaflo & Bento 2013)。此研究呈現出水楊酸甲酯等 4 種蟲害誘導之植物揮發性成分，於台灣田間對天敵誘引的調查試驗結果。

於試驗中，水楊酸甲酯、順式 3-己烯-1-醇、2-苯乙醇及沉香醇 4 種蟲害誘導之植物揮發性成分，搭配黃色黏板使用後主要捕獲之天敵有小黑花蝽象、六條瓢蟲、花虻及寄生蜂等。雖然 4 種成分對六條瓢蟲、花虻及寄生蜂等天敵並無明顯誘引效果，但水楊酸甲酯對小黑花蝽象則具有顯著的誘引效果。

在國外研究中水楊酸甲酯可誘引多種天敵 (James 2003a, 2003b; De Boer & Dicke 2004; James & Price 2004; James 2005)，雖然本研究於水楊酸甲酯不同施用濃度的試驗與水楊酸甲酯混合不同蟲害誘導之植物揮發性成分的試驗中，水楊酸甲酯處理組顯著誘引六條瓢蟲與花虻，但在枇杷、玉米及萵苣不同作物田區之試驗中，其對於除了小黑花蝽象外之天敵的誘引效果則不顯著。順式 3-己烯-1-醇、2-苯乙醇及沉香醇在國外研究中指出對不同天敵具誘引效果 (Zhu *et al.* 1999; James 2005; Williams *et al.* 2008; Yu *et al.* 2008; McCormick *et al.* 2014)，但本試驗與對照組相較之下，此 3 種成分對天敵並無顯著誘引效果。James (2005) 指出天敵生理狀態、季節、作物生長時期或其他內在或外在因子皆可能會影響蟲害誘導之植物揮發性成分對天敵的誘引效果。在本試驗中

選用的作物及其生長狀況、進行調查的時間以及園區或田區中蟲害發生的情形等因素，皆可能對結果造成影響。

水楊酸甲酯在國外於室內嗅覺反應與田間調查研究中能誘引數種小黑花蝽象，包括 *O. laevigatus* Fieber、*O. tricolor* 及 *O. similis* Zheng (James 2003b; James 2005; Yu *et al.* 2008; Lee 2010; Stepanycheva *et al.* 2014)。本研究於梅園試驗中亦證實水楊酸甲酯對小黑花蝽象具誘引效果，99.0、1.0 及 0.1% 水楊酸甲酯處理組捕獲之小黑花蝽象數量均顯著高於對照組，10.0% 水楊酸甲酯處理組捕獲之小黑花蝽象數量雖然較對照組多但無顯著差異。James (2006) 研究報告指出 99.0% 水楊酸甲酯較 10.0% 及 1.0% 水楊酸甲酯捕獲更多草蛉 (*Chrysopa oculata* Say)；De Boer & Dicke (2004) 將水楊酸甲酯以正己烷稀釋成不同濃度 (0.02、0.2、2、20、200 及 2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$)，並以 Y 型管測試其對智利捕植蝽之誘引效果，結果顯示水楊酸甲酯於 0.2–200 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 濃度範圍內對智利捕植蝽具誘引效果，其中以 2 $\mu\text{g mL}^{-1}$ 處理組對智利捕植蝽誘引效果最好。濃度太低 (0.02 $\mu\text{g mL}^{-1}$) 完全無誘引效果，而濃度太高 (2,000 $\mu\text{g mL}^{-1}$) 則反而有忌避效果，顯示出水楊酸甲酯對天敵的誘引效果會因使用濃度不同而改變。本試驗中 0.1% 水楊酸甲酯即對小黑花蝽象有顯著誘引效果，且其誘引效果與 99.0% 和 1.0% 無顯著差異，於田間應用時可採用較低濃度以降低施用成本。

當植物遭受害蟲危害時所誘導產生的揮發性成分不只 1 種，混合這些成分有可能較單獨使用 1 種成分對天敵有更好的誘引效果，亦可能誘引到更多種的天敵 (Kaplan 2012)。順式 3-己烯-1-醇、順式-乙酸-3-己烯酯 (cis-3-hexenyl acetate) 及水楊酸甲酯於前人研究中皆對食蟻瓢蟲具誘引效果 (James & Price 2004; James 2005)。Maeda *et al.* (2015) 於葡萄園以黃色黏板搭配等比例混合的順式 3-己烯-1-醇、順式-乙酸-3-己烯酯及水楊酸甲酯，發現混合後顯著較單獨使用 1 種成分時捕獲更多的食蟻瓢蟲。此外，Tóth *et al.* (2009) 亦發現添加醋酸可增加苯乙醛 (phenylacetaldehyde) 對草蛉 (*Chrysoperla carnea sensu lato*) 的誘引效果，上述成分中再加入水楊酸甲酯時誘效可再提升。本試驗中水楊酸甲酯混合其餘 3 種蟲害誘導之植物揮發性成分，並不能顯著增加對小黑花蝽象、中華斑腿盲蝽、六條瓢蟲等瓢蟲及寄生蜂的捕獲數量；且當水楊酸甲酯混合順式 3-己烯-1-醇後，與單獨僅使用水楊酸甲酯相比，對花蛇的捕獲數量反而顯著的降低。由試驗結果可得知，水楊酸甲酯混合其他蟲害誘導之植物揮發性成分後會影響其對天敵的誘引效果，因田間害蟲發生並不一定只有 1 種，因此於田間應用時除了考量提升對標的天敵的誘效外，仍需考量對其他種天敵的影響。而從試驗結果可發現，水楊酸甲酯等比例混合順式 3-己烯-1-醇較僅使用水楊酸甲酯處理組捕獲更多小黑花蝽象，雖然於分析結果中兩者無顯著差異。然而，是否可藉由調整二者混合之比例達到提升對小黑花蝽象之誘引效果，則有待後續試驗確認。

James (2006) 於未噴施化學藥劑之葡萄園以黃色黏板搭配水楊酸甲酯對金眼草蛉 (*Chrysopa oculata* Say) 進行調查，結果於連續 5 wk 的調查中，前 3 wk 水楊酸甲酯處理組之黃色黏板上金眼草蛉數量較對照組多 5–8 倍。金眼草蛉是北美地區田間蚜蟲及葉蟬等害蟲之重要捕食性天敵，亦是華盛頓州地區啤酒花田及葡萄園保育生物防治計畫中重要的天敵 (James 2003a, 2003b, 2006)。而除金眼草蛉外，水楊酸甲酯亦被證實可誘引草蛉 (*C.*

nigricornis) 並增加其於水楊酸甲酯處理田區的數量，水楊酸甲酯被認為有極大的潛力作為害蟲防治的資材，不論是作為誘引劑監測草蛉或其他田間天敵，亦或是增加天敵的族群數量及提升生物防治效果 (James 2003a, 2003b; James & Price 2004)。Kruidhof *et al.* (2015) 指出棲所的結構和化學複雜性可能會影響寄生性天敵對蟲害誘導之植物揮發性成分的反應程度及尋找寄主的效率，顯示作物環境的差異可能會影響蟲害誘導之植物揮發性成分對天敵的誘效。惟本試驗於梅、枇杷、玉米及萵苣等 4 種不同類作物田區試驗中，水楊酸甲酯搭配黃色黏板均顯著較對照組黏板捕獲更多小黑花蝽象，顯示利用水楊酸甲酯於田區誘引小黑花蝽象的應用潛力。2014 年及 2015 年兩年同時期於梅園連續 4 wk 的調查試驗中，水楊酸甲酯處理組黃色黏板每週均較對照組黏板顯著捕獲更多小黑花蝽象且兩年試驗結果一致，亦顯示水楊酸甲酯對小黑花蝽象具有穩定誘效，我們認為水楊酸甲酯具有應用作為小黑花蝽象田間誘引劑之潛力。

小黑花蝽象被公認為最能壓制薊馬密度之天敵，除捕食薊馬外，小黑花蝽象亦可捕食粉蝨、蚜蟲、葉蟬等小型害蟲以及蛾類、甲蟲或其他昆蟲的卵，是台灣田野間常見的捕食性天敵，並已應用於農業害蟲生物防治 (Wang *et al.* 2002; Lu *et al.* 2011)。Kelly *et al.* (2014) 於蕃茄園施用水楊酸甲酯，發現可提高人工飼養的捕食性蝽象 (*Podisus maculiventris* Say) 釋放於蕃茄園後的停留率，並增加對煙草天蛾的捕食，說明可利用水楊酸甲酯提高人工飼養天敵釋放於田間防治害蟲的效果。本試驗中水楊酸甲酯對小黑花蝽象具穩定誘引效果，未來若能運用水楊酸甲酯吸引田區周圍之小黑花蝽象進入田區，監測小黑花蝽象田間密度來決定釋放時機，並利用水楊酸甲酯提高釋放之小黑花蝽象於田區的停留率等方式，將可提高小黑花蝽象對田區害蟲之生物防治效果並減少後續其他防治措施之投入。

綜合試驗結果，水楊酸甲酯於不同類別作物田區皆可有效誘引小黑花蝽象，雖然因使用濃度不同或與它種蟲害誘導之植物揮發性成分

混合會影響其誘效，但整體而言水楊酸甲酯相當具有開發作為小黑花蟻象田間誘引劑之潛力。

引用文獻

- De Boer, J. G. and M. Dicke. 2004. The role of methyl salicylate in prey searching behavior of the predatory *Phytoseiulus persimilis*. *J. Econ. Entomol.* 30:255–271.
- Dicke, M. 2015. Herbivore-induced plant volatiles as a rich source of information for arthropod predators: Fundamental and applied aspects. *J. Indian Inst. Sci.* 95:35–42.
- Dicke, M., J. Takabayashi, M. A. Posthumus, C. Schutte, and O. E. Krips. 1998. Plant-phytoseiid interactions mediated by herbivore-induced plant volatiles: Variation in production of cues in response of predatory mites. *Exp. Appl. Acarol.* 22:311–333.
- Howe, G. A. and G. Jander. 2008. Plant immunity to insect herbivores. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59:41–66.
- James, D. G. 2003a. Field evaluation of herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects: Methyl salicylate and the green lacewing, *Chrysopa nigricornis*. *J. Chem. Ecol.* 29:1601–1609.
- James, D. G. 2003b. Synthetic herbivore-induced plant volatiles as field attractants for beneficial insects. *Environ. Entomol.* 32:977–982.
- James, D. G. 2005. Further field evaluation of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects. *J. Chem. Ecol.* 31:481–494.
- James, D. G. 2006. Methyl salicylate is a field attractant for the goldeneye lacewing, *Chrysopa oculata*. *Biocontrol Sci. Technol.* 16:107–110.
- James, D. G. and T. S. Price. 2004. Field-testing of methyl salicylate for recruitment and retention of beneficial insects in grapes and hops. *J. Chem. Ecol.* 30:1613–1628.
- Jolivet, P. 1998. Interrelationship between Insects and Plants. CRC Press. Boca Raton, FL. 309 pp.
- Kaplan, I. 2012. Attracting carnivorous arthropods with plant volatiles: The future of biocontrol or playing with fire? *Biol. Control* 60:77–89.
- Kelly, J. L., J. R. Hagler, and I. Kaplan. 2014. Semiochemical lures reduce emigration and enhance pest control in open-field predator augmentation. *Biol. Control* 71:70–77.
- Kessler, A. and I. T. Baldwin. 2001. Defensive function of herbivore-induced plant volatile emissions in nature. *Science* 291:2141–2144.
- Kruidhof, H. M., A. L. Roberts, P. Magdaraog, D. Munoz, R. Gols, L. E. M. Vet, T. S. Hoffmeister, and J. A. Harvey. 2015. Habitat complexity reduces parasitoid foraging efficiency, but does not prevent orientation towards learned host plant odours. *Oecologia* 3346. <http://link.springer.com/article/10.1007/s00442-015-3346-y> (visit on 6/30/2015)
- Lee, J. C. 2010. Effect of methyl salicylate-based lures on beneficial and pest arthropods in strawberry. *Environ. Entomol.* 39:653–660.
- Lu, C. T., Y. C. Chiu, M. Y. Hsu, C. L. Wang, and F. C. Lin. 2011. Using cysts of brine shrimp, *Artemia franciscana*, as an alternative source of food for *Orius strigicollis* (Poppius) (Hemiptera: Anthocoridae). *J. Taiwan Agric. Res.* 60:300–308. (in Chinese with English abstract)
- Maeda, T., H. Kishimoto, L. C. Wright, and D. C. James. 2015. Mixture of synthetic herbivore-induced plant volatiles attracts more *Stethorus punctum picipes* (Casey) (Coleoptera: Coccinellidae) than a single volatile. *J. Insect Behav.* 28:126–137.
- Mallinger, R. E., D. B. Hogg, and C. Gratton. 2011. Methyl salicylate attracts natural enemies and reduces populations of soybean aphids (Hemiptera: Aphididae) in soybean agroecosystems. *J. Econ. Entomol.* 104:115–124.
- McCormick, A. C., S. Irmisch, A. Reinecke, G. A. Boeckler, D. Veit, M. Reichelt, B. S. Hansson, J. Gershenzon, T. G. Köllner, and S. B. Unsicker. 2014. Herbivore-induced volatile emission in black poplar: Regulation and role in attracting herbivore enemies. *Plant Cell Environ.* 37:1909–1923.
- Pare, P. W. and J. H. Tumlinson. 1999. Plant volatiles as a defense against insect herbivores. *Plant Physiol.* 121:325–332.
- Penaflo, M. F. G. V. and J. M. S. Bento. 2013. Herbivore-induced plant volatiles to enhance biological control in agriculture. *Neotrop. Entomol.* 42:331–343.
- Scutareanu, P., B. Drukker, J. Bruin, M. A. Posthumus, and M. W. Sabelis. 1997. Volatiles from *Psylla*-infested pear trees and their possible involvement in attraction of anthocorid predators. *J. Chem. Ecol.* 23:2241–2260.
- Stepanycheva, E. A., M. O. Petrova, T. D. Chermenskaya, I. V. Shamshev, and I. M. Pazyuk. 2014. The behavioral response of the predatory bug *Orius laevigatus* Fieber (Heteroptera, Anthocoridae) to synthetic volatiles. *Entomol. Rev.* 94:1053–1058.

- Tóth, M., F. Szentkirályi, J. Vuts, A. Letardi, M. Tabilio, G. Jaastad, and G. Knudsen. 2009. Optimization of a phenylacetaldehyde-based attractant for common green lacewings (*Chrysoperla carnea* s.l.). *J. Chem. Ecol.* 35:449–458.
- van Poecke, R. M. P., M. A. Posthumus, and M. Dick. 2001. Herbivore-induced volatile production by *Arabidopsis thaliana* leads to attraction of the parasitoid *Cotesia rubecula*: Chemical, behavioral, and gene expression analysis. *J. Chem. Ecol.* 27:1911–1928.
- Wang, C. L., P. C. Lee, and Y. J. Wu. 2002. Rearing and utilization of *Orius strigicollis* for the control of thrips. p.157–174. *in*: Proceeding of Symposium on the Biological Control of Agricultural Insects and Mites. November 21–22, 2002. Taichung, Taiwan. Formosan Entomol. Spec. Pub. 3. Taichung, Taiwan. (in Chinese with English abstract)
- War, A. R., H. C. Sharma, M. G. Paulraj, M. Y. War, and S. Ignacimuthu. 2011. Herbivore induced plant volatiles: Their role in plant defense for pest management. *Plant Signal Behav.* 6:1973–1978.
- Williams, L., C. Rodriguez-Saona, S. C. Castle, and S. Zhu. 2008. EAG-active herbivore-induced plant volatiles modify behavioral responses and host attack by an egg parasitoid. *J. Chem. Ecol.* 34:1190–1201.
- Yang, T., G. Stoopen, M. Thoen, G. Wieggers, and M. A. Jongsma. 2013. Chrysanthemum expressing a linalool synthase gene ‘smells good’, but ‘tastes bad’ to western flower thrips. *Plant Biotechnol. J.* 11:875–882.
- Yu, H., Y. Zhang, K. Wu, X. W. Gao, and Y. Y. Guo. 2008. Field-testing of synthetic herbivore-induced plant volatiles as attractants for beneficial insects. *Environ. Entomol.* 37:1410–1415.
- Zhu, J., A. A. Cosse, K. S. B. Obrycki, and T. C. Baker. 1999. Olfactory reactions of the twelve-spotted lady beetle, *Coleomegilla maculate* and the green lacewing, *Chrysoperla carnea* to semiochemicals released from their prey and host plant: Electroantennogram and behavioral responses. *J. Chem. Ecol.* 25:1163–1177.

Evaluation of the Effectiveness of Four Herbivore-Induced Plant Volatiles on Attracting Natural Enemies

Yaw-Jen Dong¹ and Shaw-Yhi Hwang^{2,*}

Abstract

Dong, Y. J. and S. Y. Hwang. 2016. Evaluation of the effectiveness of four herbivore-induced plant volatiles on attracting natural enemies. *J. Taiwan Agric. Res.* 65(2):173–183.

Four synthetic herbivore-induced plant volatiles (methyl salicylate, cis-3-hexen-1-ol, 2-phenyl-ethanol, and linalool) were field-tested for the effectiveness in attracting natural enemies at the Taiwan Agricultural Research Institute. *Orius*, *Cheilomenes sexmaculata*, flower flies (Syrphidae), and Hymenoptera parasitoids which are major natural enemies can be trapped by yellow sticky papers. In four volatiles tested, only methyl salicylate significantly attracted *Orius*. All volatiles showed no significant attraction to *Cheilomenes sexmaculata*, Syrphidae, and Hymenoptera parasitoids. Furthermore, the attractions of methyl salicylate to *Orius* were different at different concentrations. Besides 10.0% methyl salicylate (2.1/trap), 99.0% (5.2/trap), 1.0% (4.9/trap), and 0.1% (4.8/trap) methyl salicylate attracted significantly more *Orius* than control (0.9/trap). Comparing with control (0.6/trap), more *Orius* were significantly trapped on yellow sticky papers in the treatments with a mixture of methyl salicylate and cis-3-hexen-1-ol (3.3/trap) and with methyl salicylate only (3.2/trap). Investigations conducted at a plum orchard for four successive weeks in 2014 and 2015 showed that methyl salicylate attracted significantly more *Orius* than control at every time point. In addition, yellow sticky paper with methyl salicylate also trapped significantly more *Orius* than control in loquat, maize and lettuce fields. In summary, methyl salicylate has the potential to be a field attractant against *Orius*. However, the influences of methyl salicylate at different concentrations and mixed with other herbivore-induced plant volatiles need to be considered.

Key words: Herbivore induced plant volatiles, Methyl salicylate, *Orius*, Attractant.

Received: September 2, 2015; Accepted: October 1, 2015.

* Corresponding author, e-mail: oleander@dragon.nchu.edu.tw

¹ Assistant Research Fellow, Applied Zoology Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Taichung, Taiwan, ROC.

² Professor, Department of Entomology, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.