

國立臺灣大學生物資源暨農學院植物醫學碩士學位學程



碩士論文

Master Program for Plant Medicine
College of Bioresources and Agriculture
National Taiwan University
Master Thesis

以低風險防治資材管理荔枝椿象（半翅目：荔椿科）

Management for the litchi stink bug (*Tessaratomia papillosa*
(Drury)) (Hemiptera: Tessaratomidae) using low-risk insecticides

蔡尚諺

Shang-Yan Tsai

指導教授：許如君 博士

Advisor: Ju-Chun Hsu, Ph.D.

中華民國 109 年 8 月

August 2020

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

以低風險防治資材管理荔枝椿象
(半翅目：荔枝椿科)

Management for the litchi stink bug (*Tessaratoma papillosa* (Drury))
(Hemiptera: Tessaratomidae) using low-risk insecticides

本論文係蔡尚諺（學號 R03645012）在國立臺灣大學植物醫學碩士學位學程完成之碩士學位論文，於民國 109 年 6 月 10 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明。

口試委員：

許如君 博士 許如君 (指導教授)
國立臺灣大學昆蟲學系 教授

吳文哲 博士 吳文哲
國立臺灣大學昆蟲學系 名譽教授

黃毓斌 博士 黃毓斌
行政院農業委員會農業試驗所 副研究員

張萃嫻 博士 張萃嫻
國立屏東科技大學植物醫學系 副教授

莊益源 博士 莊益源
國立中興大學昆蟲學系 副教授

碩士學位學程主任 李旭印 (簽名)

誌謝



我於在職進修碩士的這幾年，面對家庭、工作及失敗的實驗所帶來的挫折，好幾次我都想要放棄學業，但家人和公司都是盡全力的支持我，老師及同學也給我許多很好建議及幫助，才讓我能夠完成這篇論文，我真的感謝我的指導教授許如君老師的指導，也非常感謝老師能夠包容我在職的身分，非常感謝吳文哲老師幫我細心修正論文並且給予許多寶貴意見，感謝邱名鍾博士及張嘉鴻先生指導我論文內的統計部分。感謝吳文哲老師、黃毓斌博士、張萃嫻老師及莊益源老師擔任我的口試委員。也要感謝昌昱、昱先、俊瑩、庭維、依奇、佳馨及婉頤教我許多實驗操作、論文撰寫及簡報技巧，感謝經常支援及給予協助的工讀生庭毅、耕樵、佳翰、證翔、鈞鼎及上虹，也感謝口試當天幫忙我很多的懋男、鴻銘及紀瑄，謝謝大家，我很榮幸能有機會在我們實驗室學習。謝謝藥毒所費雯綺所長及應用組蔣永正組長同意我至藥毒所實習，感謝楊秀珠博士讓我在她的實驗室實習，讓我能夠有更多田間試驗實務經驗，讓我受用無窮，並且順利取得植醫實習必修學分。謝謝在我實習時指導過我的謝再添博士及黃莉欣博士，也感謝帶我的怡婷學姐、小羊學姐、紅帽學長及思葳學姐。在台中實習的時光，我過得非常快樂且經常想念。

非常感謝彰化縣政府農業局提供的荔枝椿象卵塊，沒有這些試驗材料，我沒有辦法完成我的論文，因為我自己捕捉的數量無法讓我進行完所有的實驗。

我也要感謝公司支持我在職進修碩士，尤其是我全心全力衝刺實驗時，幾乎把手邊的事情都分給同事，非常感謝同事幫我們分擔這麼多業務，讓我在那一段每天都在做實驗的日子裡，能夠專心的衝刺實驗。

感謝老婆及兩個女兒，給予我的鼓勵及支持，謝謝妳們體諒我這幾年忙碌的在

職生時期，沒有你們的支持，我是沒辦法堅定地繼續走下去的。

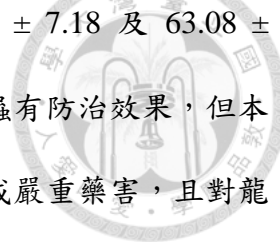
我非常享受在植物保護產業的工作，這一個規模不大卻十分重要的行業需要相當多的專業知識，所以期待自己能夠持續學習並成長。感謝所有指導過我的產業界及學術界的前輩、老師及同學，完成這篇論文不是我學習的終點，而是另一段學習的起點！



中文摘要



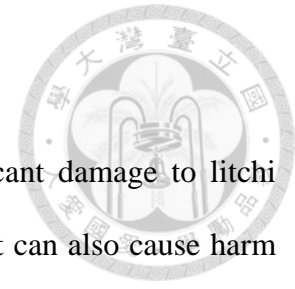
荔枝椿象 (*Tessaratoma papillosa* (Drury, 1770)) 不僅造成荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 及龍眼 (*Dimocarpus longan* Lour.) 嚴重的損失，其分泌之臭液，亦危及民眾安全，研究荔枝椿象各種防治方法為重要的課題。本論文以賽洛寧 (lambda-cyhalothrin)、第滅寧 (deltamethrin)、芬殺松 (fenthion) 及亞滅培 (acetamiprid) 四個已核准於荔枝及龍眼的化學殺蟲劑對荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂 (*Anastatus formosanus* Crawford) 進行感受性實驗，局部滴定法生物檢定實驗中，一齡若蟲對第滅寧感受性最高，成蟲對芬殺松感受性最高，而荔枝椿象一齡若蟲及成蟲對亞滅培的感受性最差；但在龍眼苗盆栽試驗中，以亞滅培登記濃度 50 mg/L 施藥 7 天後對荔枝椿象一齡若蟲防治率為 $93.44 \pm 2.61\%$ 。因此，推論上述化學殺蟲劑對荔枝椿象防治效果均良好。但對平腹小蜂的毒性高於荔枝椿象成蟲及若蟲，平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培的 48 小時後半數致死劑量 LD_{50} 介於 0.0298~0.8268 ng/parasitoid，該些劑量皆低於荔枝椿象成蟲對此等有效成分之半數致死劑量 LD_{50} 32.92~420.2 ng/insect 且略低於荔枝椿象一齡若蟲，其 LD_{50} 範圍介於 0.0392~8.556 ng/insect。本論文另外以低風險資材，如礦物油 (mineral oil)、苦楝油 (neem oil) 及脂肪酸鉀鹽 (potassium salts of fatty acids, FAPS) 進行相關實驗，發現以浸漬方式施用脂肪酸鉀鹽 4,900 ppm 能造成荔枝椿象一齡若蟲 100% 死亡率，且效果是低風險資材中最好的。此外，脂肪酸鉀鹽對平腹小蜂的 48 小時半致死濃度為 7,266 mg/L，高於荔枝椿象一齡及三齡若蟲的 694.5 及 665.1 mg/L，相較於化學藥劑而言，脂肪酸鉀鹽對平腹小蜂相對較安全。龍眼苗盆栽試驗中，脂肪酸鉀鹽 4,900 mg/L 對荔枝椿象一齡若蟲防治率為 $80.28 \pm 6.97\%$ ，脂肪酸



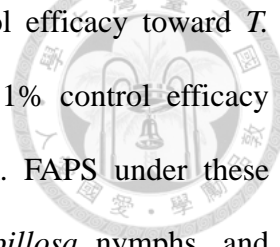
鉀鹽 9,800 mg/L 對荔枝椿象三及五齡若蟲防治率分別為 80.06 ± 7.18 及 $63.08 \pm 3.11\%$ 。脂肪酸鉀鹽登記濃度 4,900~9,800 mg/L 對荔枝椿象若蟲有防治效果，但本研究試驗結果顯示，脂肪酸鉀鹽對玉荷包品種荔枝的花器會造成嚴重藥害，且對龍眼幼果造成輕微藥害，建議可以針對聚集於葉部之若蟲局部施用，避免傷害到花器及幼果。

關鍵詞：不列管農藥、脂肪酸鉀鹽、卵寄生蜂、相容性、荔枝椿象。

ABSTRACT



Tessaratoma papillosa (Drury, 1770) not only causes significant damage to litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) and longan (*Dimocarpus longan* Lour.) but can also cause harm to humans because of the irritating and corrosive effluvial fluid they excrete. Therefore, it is critical to develop methods for managing *T. papillosa*. This study tested the susceptibility of *T. papillosa* and parasitoid wasps (*Anastatus formosanus* Crawford) toward four chemical insecticides registered for use on litchi and longan (namely, lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion, and acetamiprid). Topical bioassay results showed that *T. papillosa* first-instar nymphs and adults had the highest respective susceptibility toward deltamethrin and fenthion, and both exhibited the lowest susceptibility toward acetamiprid. However, results of greenhouse trials conducted on longan plants indicated that acetamiprid had $93.44 \pm 2.61\%$ control efficacy toward *T. papillosa* first-instar nymphs. In summary, these four chemical insecticides show high control efficacy toward *T. papillosa*, but the 48-hour LD₅₀ values for the four chemical insecticides in *A. formosanus* ranged from 0.0298~0.8268 ng/parasitoid, which was lower than the LD₅₀ values for *T. papillosa* first-instar nymphs and adults, namely 0.0392~8.556 and 32.92~420.2 ng/insect, respectively. Additional dipping assay experiments testing the control efficacy of low-risk agents mineral oil, neem oil and potassium salts of fatty acids (FAPS) found that 4,900 ppm FAPS caused 100% mortality in *T. papillosa* first-instar nymphs, displaying the highest efficacy of all concentrations. Moreover, the 48-hour LC₅₀ values of FAPS in *A. formosanus* was 7,266 mg/L, higher than the 48-hour LC₅₀ values of FAPS in *T. papillosa* first- and third-instar nymphs, namely 606.6 and 665.1 mg/L. Compared with the aforementioned four chemical pesticides, FAPS is a relatively safe agent for use on *A. formosanus*. Results of greenhouse trials conducted on longan



plants indicated that 4,900 ppm FAPS had $80.28 \pm 6.97\%$ control efficacy toward *T. papillosa* first-instar nymphs, and 80.06 ± 7.18 and $63.08 \pm 3.11\%$ control efficacy toward *T. papillosa* third- and fifth-instar nymphs at 9,800 ppm. FAPS under these concentrations showed promising control efficacy toward *T. papillosa* nymphs, and greenhouse trials conducted on litchi plants showed that FAPS caused serious phytotoxic effects on litchi flowers and slight phytotoxic effects on longan young fruits. Therefore, growers should avoid applying FAPS to litchi and longan flowers and young fruits.

Key words: exempted product, potassium salts of fatty acids, egg parasitoid wasp, compatibility, the litchi stink bug.

目錄

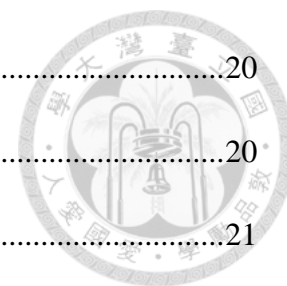


| | |
|------------------------|------|
| 口試委員會審定書 | i |
| 誌謝 | ii |
| 中文摘要 | iv |
| ABSTRACT | vi |
| 目錄 | viii |
| 表目錄 | xi |
| 圖目錄 | xiii |
| 第一章 前言 | 1 |
| 第二章 往昔研究 | 4 |
| 2.1 荔枝椿象之基礎生物學 | 4 |
| 2.2 荔枝椿象生活史及發生時期 | 4 |
| 2.3 荔枝椿象為害 | 5 |
| 2.4 荔枝椿象的經濟重要性 | 5 |
| 2.5 荔枝椿象防治方法 | 6 |
| 2.5.1 耕作防治 | 6 |
| 2.5.2 物理防治 | 6 |
| 2.5.3 生物防治 | 6 |
| 2.5.4 化學藥劑防治 | 8 |
| 2.5.5 低風險資材防治 | 11 |
| 第三章 材料與方法 | 15 |
| 3.1 蟲源 | 15 |



| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 3.1.1 | 荔枝椿象一齡若蟲..... | 15 |
| 3.1.2 | 荔枝椿象三、五齡若蟲及成蟲..... | 15 |
| 3.1.3 | 平腹小蜂..... | 15 |
| 3.2 | 供試藥劑..... | 15 |
| 3.3 | 供試昆蟲飼養..... | 16 |
| 3.3.1 | 荔枝椿象..... | 16 |
| 3.3.2 | 平腹小蜂..... | 16 |
| 3.4 | 賽洛寧、第滅寧、芬殺松、亞滅培對荔枝椿象及平腹小蜂之生物檢定..... | 16 |
| 3.4.1 | 賽洛寧濃度配置..... | 17 |
| 3.4.2 | 第滅寧濃度配置..... | 17 |
| 3.4.3 | 芬殺松濃度配置..... | 17 |
| 3.4.4 | 亞滅培濃度配置..... | 18 |
| 3.5 | 低風險防治資材對一齡荔枝椿象若蟲藥效實驗..... | 18 |
| 3.6 | 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象及平腹小蜂之生物檢定..... | 18 |
| 3.6.1 | 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象一齡若蟲半致死濃度及 90% 致死濃度..... | 19 |
| 3.6.2 | 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象三齡若蟲半致死濃度及 90% 致死濃度..... | 19 |
| 3.6.3 | 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象成蟲半致死濃度及 90% 致死濃度..... | 19 |
| 3.6.4 | 脂肪酸鉀鹽對平腹小蜂半致死濃度及 90% 致死濃度..... | 19 |
| 3.7 | 荔枝椿象若蟲盆栽防治效果試驗..... | 19 |
| 3.7.1 | 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象一、三、五齡若蟲盆栽防治效果試驗..... | 19 |
| 3.7.2 | 亞滅培對荔枝椿象一齡若蟲盆栽防治效果試驗..... | 20 |
| 3.8 | 脂肪酸鉀鹽藥害試驗..... | 20 |

| | | |
|----------------|----------------------------------|----|
| 3.8.1 | 脂肪酸鉀鹽對荔枝花穗藥害試驗..... | 20 |
| 3.8.2 | 脂肪酸鉀鹽對龍眼葉片藥害試驗..... | 20 |
| 3.8.3 | 脂肪酸鉀鹽對臺灣欒樹葉片藥害試驗..... | 21 |
| 3.8.4 | 脂肪酸鉀鹽對龍眼果實藥害試驗..... | 21 |
| 3.9 | 統計分析 | 21 |
| 第四章 結果 | | 23 |
| 4.1 | 賽洛寧、第滅寧、芬殺松、亞滅培對荔枝椿象及平腹小蜂之生物檢定 | 23 |
| 4.2 | 低風險資材對一齡荔枝椿象若蟲藥效實驗 | 24 |
| 4.3 | 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象及平腹小蜂之生物檢定 | 24 |
| 4.4 | 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象一、三、五齡若蟲盆栽防治效果試驗 | 25 |
| 第五章 討論 | | 27 |
| 第六章 參考文獻 | | 72 |
| 第七章 附錄 | | 77 |



表目錄



| | |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 表一、一齡荔枝椿象若蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的感受性 | 31 |
| 表二、一齡荔枝椿象若蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的感受性 | 32 |
| 表三、荔枝椿象成蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的感受性 | 33 |
| 表四、荔枝椿象成蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的感受性 | 34 |
| 表五、平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的感受性 | 35 |
| 表六、平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的感受性 | 36 |
| 表七、一齡荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對化學藥劑的 24 小時 LD ₅₀ 毒性因子 | 37 |
| 表八、一齡荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對化學藥劑的 48 小時 LD ₅₀ 毒性因子 | 38 |
| 表九、一齡荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對化學藥劑的 24 小時 LD ₉₀ 毒性因子 | 39 |
| 表十、一齡荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對化學藥劑的 48 小時 LD ₉₀ 毒性因子 | 40 |
| 表十一、苦楝油、礦物油及脂肪酸鉀鹽對一齡荔枝椿象若蟲藥效在施藥後 24 小時及 48 小時後的觀察 | 41 |
| 表十二、脂肪酸鉀鹽對一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂測試後 24 小時的 | |

| | |
|-----------------------------------------------------|----|
| 感受性 | 42 |
| 表十三、脂肪酸鉀鹽對一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂測試後 48 小時的 感受性 | 43 |
| 表十四、荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對脂肪酸鉀鹽的 24 小時毒性因子 | 44 |
| 表十五、荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對脂肪酸鉀鹽的 48 小時毒性因子 | 45 |
| 表十六、在玉荷包荔枝盆栽測試脂肪酸鉀鹽對一、三、五齡荔枝椿象若蟲的防治效 果 | 46 |
| 表十七、在玉荷包荔枝盆栽測試亞滅培對一齡荔枝椿象若蟲的防治效果 | 47 |
| 表十八、脂肪酸鉀鹽對玉荷包荔枝花穗藥害情形 | 48 |
| 表十九、脂肪酸鉀鹽對龍眼果實藥害情形 | 49 |
| 表二十、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培核准濃度對荔枝椿象一齡若蟲及成蟲的 藥效因子 | 50 |

圖目錄



| | |
|---------------------------------------------------------|----|
| 圖一、一齡荔枝椿象若蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的 LD ₅₀ | 51 |
| 圖二、一齡荔枝椿象若蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的 LD ₉₀ | 52 |
| 圖三、一齡荔枝椿象若蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的 LD ₅₀ | 53 |
| 圖四、一齡荔枝椿象若蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的 LD ₉₀ | 54 |
| 圖五、荔枝椿象成蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的 LD ₅₀ | 55 |
| 圖六、荔枝椿象成蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的 LD ₉₀ | 56 |
| 圖七、荔枝椿象成蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的 LD ₅₀ | 57 |
| 圖八、荔枝椿象成蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的 LD ₉₀ | 58 |
| 圖九、平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的 LD ₅₀ | 59 |
| 圖十、平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的 LD ₉₀ | 60 |
| 圖十一、平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的 LD ₅₀ | 61 |
| 圖十二、平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的 LD ₉₀ | 62 |
| 圖十三、苦楝油、礦物油及脂肪酸鉀鹽對一齡荔枝椿象若蟲藥效在施藥後 24 小時 | |

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| 及 48 小時後的觀察 | 63 |
| 圖十四、脂肪酸鉀鹽對一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂測試後 24 小時的 感受性 LC ₅₀ | 64 |
| 圖十五、脂肪酸鉀鹽對一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂測試後 24 小時的 LC ₉₀ | 65 |
| 圖十六、脂肪酸鉀鹽對一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂測試後 48 小時的 感受性 LC ₅₀ | 66 |
| 圖十七、脂肪酸鉀鹽對一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂測試後 48 小時的 LC ₉₀ | 67 |
| 圖十八、在玉荷包荔枝盆栽測試脂肪酸鉀鹽對一、三、五齡荔枝椿象若蟲的防治效 果 | 68 |
| 圖十九、在玉荷包荔枝盆栽測試亞滅培對一齡荔枝椿象若蟲的防治效果 | 69 |
| 圖二十、脂肪酸鉀鹽對玉荷包荔枝花穗藥害情形 | 70 |
| 圖二十一、脂肪酸鉀鹽對龍眼果實藥害情形 | 71 |




第一章 前言



荔枝椿象 (*Tessaratoma papillosa* (Drury, 1770)) 經常造成荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.) 及龍眼 (*Dimocarpus longan* Lour.) 的經濟損失，亦常造成果實品質降低或失去商品價值 (張，1997)，平均造成荔枝及龍眼減產 20~30%，嚴重時甚至造成 70~90% 的損失 (未具名，1959, 1966; 趙等，1964; 林，1997)。荔枝椿象亦會媒介龍眼簇葉病 (longan witches' broom) (陳等，1992; 許等，1993)，該病害平均造成龍眼減產 10~20%，嚴重時可能減產 50% (陳等，1990)。荔枝因汁多味美，果肉香甜，深受國人喜愛，內銷需求高且價格穩定，年產值約為新臺幣 42 億元 (農糧署，2018b)，收穫面積約一萬公頃 (農糧署，2018a)。龍眼有少部分提供消費者鮮食之用，但主要用途為加工成龍眼乾，年產值約新臺幣 30 億 (農糧署，2018b)，亦為常見的庭園樹及行道樹，經濟栽培收穫面積約一萬公頃 (農糧署，2018a)。此外，龍眼蜜為最受國人喜愛的蜂蜜產品，約有新臺幣 20 億之年產值 (盧，2017)。而荔枝椿象為害的龍眼、荔枝及蜂蜜產業之年產值合計約近新臺幣 100 億，因此為重要之經濟害蟲。此外，荔枝椿象分泌的臭液，會腐蝕農事操作者及行道樹旁民眾的皮膚，也會對眼睛造成刺激及傷害 (陳與劉，1987)。因此，荔枝椿象的管理，為植物醫學迫切值得研究的重要課題。

目前我國核准於荔枝及龍眼的椿象類防治化學殺蟲劑並未於臺灣進行過田間試驗，僅是以延伸使用的方式由荔枝及龍眼既有登記的藥效報告推估而核准的 (防檢局，2020a)。雖然中國大陸地區已有許多不同化學殺蟲劑針對荔枝椿象的藥效報導 (未具名，1959, 1966; 陳等，1989; 李等，2002; 蔡，2007; 孫等，2010; 黎等，2015; 劉等，2017)，但並沒有針對臺灣地區採集的荔枝椿象進行相關化學藥



劑藥效試驗或生物檢定研究。為了降低對化學殺蟲劑的依賴，目前政府、學界、研究機構及民眾都在鼓勵施放卵寄生蜂來防治荔枝椿象（張與陳，2018）。平腹小蜂 (*Anastatus* spp.) 為目前已商業化生產的寄生性天敵，小蜂能夠產卵於荔枝椿象的卵裡面，使得荔枝椿象無法正常孵化，進而達到生物防治效果（蒲等，1962）。目前農民仍主要以化學防治來管理荔枝椿象，但化學藥劑會為害平腹小蜂或造成不良影響（許與張，1988；黃等，1992；吳等，2019），目前並沒有平腹小蜂對化學藥劑相關的感受性研究。雖然中國大陸地區已有許多關於化學殺蟲劑對平腹小蜂的影響及生物檢定實驗（黃等，1992；鄭與謝，2005），但並未針對目前臺灣地區施放的平腹小蜂種類進行實驗。目前僅有苗栗區農業改良場以賽洛寧 (lambda-cyhalothrin)、第滅寧 (deltamethrin)、亞滅培 (acetamiprid) 及丁基加保扶 (carbosulfan) 對平腹小蜂的接觸殘留毒試驗研究（吳等，2019），卻沒有半致死劑量生物檢定實驗，因此本論文進行化學殺蟲劑對荔枝椿象及平腹小蜂的感受性實驗，取得半致死劑量，以了解化學殺蟲劑對平腹小蜂的風險。

農委會宣示「10年化學農藥減半」政策，除強化作物有害生物綜合管理技術研發，也積極公告及鼓勵採用低風險防治資材（鄒等，2020）。但目前所公告的免登記植物保護資材或低風險殺蟲劑，皆沒有針對荔枝椿象的藥效報告或是對平腹小蜂危害的相關研究。

為瞭解目前核准的化學殺蟲劑對荔枝椿象防治效果及平腹小蜂可能的毒性，並尋找對環境更友善、對哺乳類相對安全且對平腹小蜂風險較低的荔枝椿象防治資材，本論文針對已核准於荔枝及龍眼，且較常被使用的化學殺蟲劑賽洛寧、第滅寧、芬殺松 (fenthion)、亞滅培及低風險資材生物檢定中對荔枝椿象效果最佳的免登記植物保護資材脂肪酸鉀鹽 (potassium salts of fatty acids, FAPS) 對於荔枝椿

象、平腹小蜂 (*Anastatus formosanus* Crawford) 及其主要寄主植物包含荔枝、龍眼及臺灣欒樹 (*Koelreuteria henryi* Dümmer), 分別進行感受性實驗、盆栽藥效試驗及對寄主植物的藥害試驗, 以了解常使用的化學殺蟲劑以及脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象的藥效、對平腹小蜂的風險及對作物的藥害情形。

第二章 往昔研究



2.1 荔枝椿象之基礎生物學

荔枝椿象 (*Tessaratoma papillosa* (Drury)) 屬於半翅目 (Hemiptera) 荔椿科 (Tessaratomidae)，被認為原產自中國大陸地區之害蟲，文獻紀錄其分佈於中國大陸地區、印度、印尼、馬來西亞、越南、菲律賓、斯里蘭卡、泰國、巴基斯坦及臺灣 (Hsiao, 1977; Chen, 1984; Nanta, 1988; Moizuddin *et al.*, 1992)。過去荔枝椿象於臺灣之分布僅侷限於金門，但 2009 年於高雄市前鎮區龍眼樹上發現荔枝椿象，為臺灣本島首次荔枝椿象的發現紀錄 (張與陳, 2018)。目前荔枝椿象已遍佈全臺，常見於荔枝 (*Litchi chinensis* Sonn.)、龍眼 (*Dimocarpus longan* Lour.) 及臺灣欒樹 (*Koelreuteria henryi* Dümmer) 上。雄成蟲體長 21~26 mm，體寬 12.5~15 mm、雌成蟲體長 24~28 mm，體寬 13.5~16 mm，雌蟲體型較大，蟲體為黃褐色盾型，翅膜片透明淡褐色，具紅色單眼及 4 節黑褐色觸角，後胸側板上具臭腺開口，腹面披覆蠟粉成白色，雄蟲腹部最後一節有凹陷的交尾構造 (謝, 1957)。荔枝椿象卵直徑為 2.5~2.7 mm，以 14 顆卵聚成一卵塊，產下之卵顏色會逐漸從綠色轉為淡黃色，再轉為深褐色或黃褐色，快要孵化時會轉為粉紅色 (洪, 2006)。荔枝椿象卵孵化率高於 90% (劉, 1965)，存活率高於 95%，族群趨勢指數 (index of population trend) 為 84 (謝等, 2004)，一隻雌成蟲平均一生約能產下 140 顆卵 (劉, 1965)。初孵化之一齡若蟲為鮮紅色，馬上會轉為黑色或深灰色，複眼鮮紅明顯，橢圓形之體長約 5 mm。二齡若蟲體長約 8 mm，腹部背面有兩條白色條紋。三齡若蟲已達 10~12 mm，但中胸背板尚未有翅芽。四齡若蟲體長 14~16 mm，已有翅芽。五齡若蟲體長 18~20 mm，翅芽已發展至第三腹節中間，羽化前蟲體會披滿白色蠟粉 (洪, 2006; 張與陳, 2018)。

2.2 荔枝椿象生活史及發生時期

荔枝椿象一年發生一個世代，生活史包含卵、五個齡期若蟲及成蟲。荔枝椿象卵於 20°C 需要 20.1 天孵化，25°C 時需 12.6 天孵化，27°C 時需 9.5 天孵化，30°C 時則只需 7.8 天孵化 (劉等, 1966)。當溫度達到 15°C 以上，荔枝椿象成蟲即開始交尾產卵 (楊等, 1994)，於中國大陸地區海南省一月開始產卵，二月到四月為盛卵期，若蟲出現於一至四月，三月為若蟲期高峰 (王等, 2010)。綜

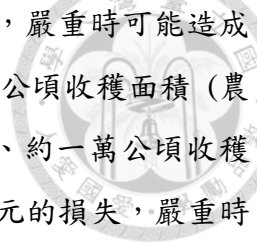
合田間採集觀察、農友通報、改良場及農試所公開網路訊息，臺灣的荔枝椿象於南部約於一月中下旬開始交尾，二月開始產卵，三月至四月為盛卵期，中部則是二月中開始交配，二月底開始產卵，三月中至四月為盛卵期。當代成蟲從六月開始出現，越冬後的成蟲出現於翌年一至八月 (洪，2006)。中國大陸地區廣東一齡若蟲期為 21 天，二齡若蟲期 8 天，三齡若蟲期 10 天，四齡若蟲期 17 天，五齡若蟲期則為 26 天，成蟲的壽命最短 203 天，最長 371 天，平均為 311 天，完成一個世代平均需 367 天 (劉，1965)。

2.3 荔枝椿象為害

經濟為害方面，荔枝椿象主要危害無患子科 (Sapindaceae) 的龍眼及荔枝 (楊等，1994)，在我國也常見其棲息於同為無患子科之臺灣欒樹及無患子 (*Sapindus mukorossi* Gaertn)，亦會棲息或越冬於咖啡 (*Coffea arabica* L.)、橄欖 (*Canarium album* Lour.)、鳥欖 (*Canarium* sp.)、桃 (*Prunus persica* Stokes)、梅 (*Prunus mume* Sieb. & Zucc.)、梨 (*Pyrus serotina* Rehder)、檬果 (*Mangifera indica* L.) 及某些柑橘類作物等 (謝，1957；劉，1965)。荔枝椿象成蟲及若蟲都會以刺吸式口器為害植株之花穗、幼果及枝條，吸取維管束汁液，尤其偏好危害花梢及嫩梢 (劉，1965；劉與古，2000；謝等，2004)。受害部位枯萎、褐黑化、生長部位無法發展甚至枯死，往往造成花器嚴重損害、落花、落果、果實變形或造成小果而失去商品價值 (張，1997)；荔枝椿象受到驚擾時，會分泌主要由烷烴 (alkanes)、烯烴 (alkenes) 和醇類 (alcohol) 等化合物組成的臭液來防衛 (Zhang *et al.*, 2009)，該液體具腐蝕及刺激性，不但會危及民眾及農事操作者的健康，亦可能會造成嫩葉、嫩梢、花穗及果實灼傷，因而造成變色枯萎或果實使其失去商品價值。除直接刺吸為害外，三至五齡荔枝椿象若蟲及成蟲會媒介龍眼簇葉病 (longan witches' broom) (陳等，1992；許等，1993)，造成葉捲曲、葉肉出現黃綠色小斑、葉質脆化、簇葉、樹梢叢生、花梗不能伸展而密集聚集、提早落花、罹病花器發育不良或畸形、花穗無法發育成果實，縱使結實，果實卻少且小、果肉無味失去商品價值 (陳等，1990)。

2.4 荔枝椿象的經濟重要性

荔枝椿象的為害造成果實失去商品價值或減產 (張，1997)，平均能造成龍眼及荔枝減產二至三成，嚴重時則達七至九成的損失 (未具名，1959，1966；趙等，1964；林，1997)，且媒介之龍眼簇葉病平均讓龍眼減產一至二成，嚴重時甚至減



產五成 (陳等, 1990), 荔枝椿象可能帶來平均三到五成的損失, 嚴重時可能造成失收。以荔枝新臺幣 42 億元年產值 (農糧署, 2018b)、約一萬公頃收穫面積 (農糧署, 2018a) 及龍眼新臺幣 30 億元年產值 (農糧署, 2018b)、約一萬公頃收穫面積 (農糧署, 2018a) 來計算, 則可能造成新臺幣 21.6~36 億元的損失, 嚴重時甚至造成整個荔枝及龍眼產業 72 億元全部的損失。此外, 過去農民可能因為荔枝椿象管理不佳或是沒有抓準防治時機, 造成開花期荔枝椿象肆虐, 因此違規於開花期進行化學防治, 造成蜜蜂化學殺蟲劑中毒而大量死亡, 影響到年產值新臺幣 20 億之龍眼蜜產業 (盧, 2017)。

2.5 荔枝椿象防治方法

2.5.1 耕作防治

平時應注意田間衛生, 適時妥善處理落葉及落果, 並應適當修枝、疏花及疏果。荔枝椿象偏好含氮量高的幼嫩組織, 合理施用不過量的氮肥, 可以增硬植物組織並減少荔枝椿象取食機會 (劉與古, 2000)。

2.5.2 物理防治

荔枝椿象若蟲有聚集性, 卵以 14 顆聚集排列成一卵塊 (劉, 1965; 王等, 2010), 可清除卵塊及若蟲, 降低族群數量。除卵時仔細檢查葉背, 因為 80% 的卵是產於葉背 (未具名, 1959)。據本實驗室團隊實際田間走訪之觀察結果, 2019 年 3~4 月荔枝椿象產卵盛期, 於荔枝園間有發現成蟲但鮮少發現卵塊及若蟲。與荔枝園主人訪談後, 推測應是因我國政府收購荔枝椿象卵塊政策奏效, 以經濟誘因鼓勵農民勤於物理防治, 進而大幅降低田間出現若蟲及荔枝椿象卵塊頻率。荔枝椿象成蟲具有分散性 (王等, 2010), 雖較難一次大量捕捉, 但一隻雌成蟲平均能夠產下 140 顆卵 (劉, 1965), 故捕捉成蟲亦是相當有效的防治工作。根據中國大陸學者於廣西進行的研究, 荔枝椿象成蟲交尾高峰是 4 到 5 月, 每天交尾的最高峰是在早上 9~11 點, 其次是下午一點。交尾時間從早上六點到晚上七點, 超過 50% 的成蟲每次交尾持續 10~11 個小時 (劉等, 2012), 可利用交尾的時間進行捕捉 (未具名, 1959)。

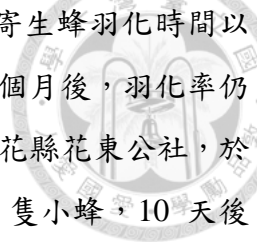
2.5.3 生物防治

目前已被報導之荔枝椿象生物防治, 包括病原性天敵、捕食性天敵, 及卵寄生性天敵。病原性天敵包含田間常見之淡紫青霉 (*Paecilomyces lilacinus* (Thom))

(林, 1959)、綠殭菌 *Metarhizium* spp. (梁等, 2009) 及白殭菌 (*Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill.) (王等, 2010)。雖白殭菌田間試驗有 80.3~90.6% 的防治效果 (林, 2005), 但目前國際上尚無荔枝椿象白殭菌或其他防治荔枝椿象之微生物製劑之商品化產品, 且沒有被廣泛應用。捕食性天敵除寬腹螳螂 (*Hierodula patellifera* (Serville)) 及蜘蛛外 (王等, 2010), 某些螞蟻如編織蟻 (*Oecophylla smaragdina*)、巢舉尾蟻 (*Crematogaster rogenhoferi* Mayr) 和大頭家蟻 (*Pheidole* sp.) 亦會取食荔枝椿象的卵 (吳等, 2018), 應注意該些捕食性天敵之保育。

寄生性天敵包含卵寄生蜂平腹小蜂及跳小蜂 (*Ooencyrtus* spp.), 前者因能夠寄生於方便大量飼養之蓖麻蠶卵 (*Philosamia cynthia ricini*), 且具較長壽命、較長產卵期、產卵量大及老熟幼蟲能夠經低溫儲藏仍有高於 95% 以上之孵化率等特色 (蒲等, 1962), 目前已被大量飼養, 應用於田間荔枝椿象之防治。平腹小蜂 (*Anastatus japonicus* Ashmead) 屬於膜翅目 (Hymenoptera) 旋小蜂科 (Eupelmidae) 平腹小蜂屬 (*Anastatus*) 卵寄生蜂, 除了荔枝椿象卵外, 平腹小蜂亦寄生柑橘角肩椿象 (*Rhynchocoris humeralis* (Thunberg))、馬尾松枯葉蛾 (*Dendrolimus punctatus* (Walker))、香蕉弄蝶 (*Erionota torus* Evans)、柞蠶 (*Antheraea pernyi* (Guerin-Meneville))、蓖麻蠶及四黑目天蠶蛾 (*Eriogyna pyretorum* Westwood) 等的卵。平腹小蜂雄成蟲長約 3 mm, 成蟲大小受到寄生之卵影響, 寄生椿象卵之雌成蟲體長約 4 mm。生活史分為卵、三齡期之幼蟲、蛹及成蟲 (黃等, 1974)。於 26~28°C 時, 平腹小蜂經 2 天之卵期, 5~6 天幼蟲期, 5~6 天預蛹期及 6~7 天蛹期, 蛹會從初期淡黃色轉變成深褐色, 最終變成黑色 (黃等, 1974)。平腹小蜂成蟲羽化後, 即交尾和產卵, 雌成蟲只需要交尾一次, 即能產卵達 28 天, 每日約產 4.7 顆卵, 一生平均產卵量約 175.7 顆。小蜂具有向上性, 移動主要以爬行為主, 短距離飛翔及跳躍為輔。成蟲無進食壽命約 3~7 天, 以糖水或蜂蜜水餵食, 雌成蟲壽命約 30~40 天, 雄成蟲壽命則約 5~10 天 (蒲等, 1962)。

1961 年在廣州的調查, 4 月初荔枝椿象卵寄生率不到 8%, 4 月底少於 30%, 5 月上旬仍不到 50%, 5 月中旬以後寄生率則可達 80%, 因此, 若能於早春透過人工施放卵寄生蜂, 應可以達到生物防治的目的 (蒲等, 1962)。目前大多藉由代用寄主的卵大量繁殖, 蓖麻蠶卵 0~5°C 冷藏 60 天, 仍可被小蜂寄生; 將平腹小蜂老熟幼蟲於 0~5°C 冷藏 112 天仍有 95% 的羽化率 (蒲等, 1962); 已



寄生的卵不但可以低溫滯育延後羽化以利保存，還可以預期卵寄生蜂羽化時間以利施放。平腹小蜂一至二齡幼蟲於 10~12°C 低溫條件下儲藏六個月後，羽化率仍有 97.3%，顯示其耐低溫的特性 (黃等, 1974)。1961 年廣東省花縣花東公社，於樹高 5~7 公尺、樹冠直徑 6~8 公尺的荔枝樹，每樹施放 100 隻小蜂，10 天後寄生率 89.5%，對照區只有 32.9% 寄生率 (蒲等, 1962)。深圳光明華僑畜牧場的幼年荔枝樹，每年於二月底至三月約調查荔枝椿象產卵情形後，每株施放 150 隻平腹小蜂三次，每株共放 450 隻，經過六年的調查，放蜂區荔枝椿象卵寄生率 87.18~91.43%，對照區 3.82~20.08% (劉等, 1995)。2000 年在廣西北流潮塘果園 1,430 株、荔寶公司果園 840 株、花果山 1,600 株 8~10 年生不到 200 隻椿象成蟲的荔枝及龍眼樹，於荔枝椿象成蟲產卵初期，每株施放 350~450 隻卵寄生蜂兩次，一株放 700~900 隻。跳小蜂 (*Ooencyrtus corbetti* F.) 放蜂區平均寄生率 94.3%，對照區 18.9%、平腹小蜂放蜂區平均寄生率 82.5%，對照區 10%；釋放小蜂一個多月後，放蜂組每株樹有兩隻荔枝椿象若蟲，對照組每株樹有 28.8% 寄生率 (何等, 2001)。

由以上前人經驗可得知，平腹小蜂已經是發展成熟的荔枝椿象生物防治方法。臺灣這幾年也有許多平腹小蜂的推廣計畫，陸續也看到不少正面結果。

2.5.4 化學藥劑防治

化學藥劑具防治效率高、使用方式簡便、省工及成本相對低廉等優勢，因此化學藥劑仍是主要的防治手段。1958 年開始，荔枝椿象在中國大陸造成嚴重損失，農民早期施用化學藥劑包含靈丹 (lindane) 及滴滴涕 (DDT) 等，但未能有效管理荔枝椿象 (未具名, 1959, 1966)。1960 年開始，有學者研究三氯松 (trichlorfon) 對荔枝椿象的防治效果，在廣州荔枝園分別於三月中旬成蟲逐漸開始交配但尚未產卵時期以及五月上旬荔枝椿象一及二齡若蟲期各施一次三氯松 670 ppm 濃度，共施用兩次，發現防治效果高於 95% (未具名, 1966)。後來也有以三氯松新劑型可溶性粉劑 (soluble powder, SP) 進行之田間試驗，施用後七天防治率 98.24~100% (吳等, 2013)。


另外，前人從不同時期荔枝椿象成蟲之半致死濃度 (median lethal concentration, LC₅₀) 實驗中發現，準備越冬的荔枝椿象成蟲 LC₅₀ 為 470 ppm 濃度，比越冬後準備交尾及產卵的成蟲之 LC₅₀ 96 ppm 濃度高近五倍，作者認為與

其差異 2.5 倍的體脂肪含量有關係 (趙等, 1964)。後人也陸續證實荔枝椿象對三氯松之耐受性 (tolerance), 與越冬前體脂肪增加, 而數量提高之乙酰膽鹼酯酶 (acetylcholinesterase, AChE) 有關 (陳與趙, 1988, 1991)。

除了三氯松外, 陸續有許多試驗研究證實賽洛寧、芬化利 (fenvalerate)、賽滅寧 (cypermethrin)、福化利 (fluvalinate)、tetrachlorvinphos、賽滅寧 (cypermethrin)、陶斯松 (chlorpyrifos)、可尼丁 (clothianidin)、賽速安 (thiamethoxam)、第滅寧、ethofenprox、阿巴汀 (abamectin)、芬普尼 (fipronil) 及谷速松 (azinphos-methyl) 有 90% 或接近 90% 的荔枝椿象防治率。

阿巴汀、百滅寧 (permethrin)、益達胺 (imidacloprid) 及布芬淨 (buprofezin) 防治率則相對較低 (陳等, 1989; 李等, 2002; 蔡, 2007; 孫等, 2010; 黎等, 2015; 劉等, 2017)。我國目前核准於龍眼、荔枝椿象類之化學農用藥劑包含丁基加保扶 (carbosulfan) 48.34% EC、48.34% EW、25 WP、50% WP、亞滅培 20% SP、賽洛寧 1% WP、5% WG、2.8% EC、2.8% SC 及 2.5% ME; 除了以上藥劑外, 登記於荔枝及龍眼上的殺蟲劑有效成分, 尚包括用於防治荔枝細蛾之加保利 (carbaryl)、芬殺松 (fenthion)、益洛寧 (phosmet + lambda-cyhalothrin)、第滅寧、撲滅松 (fenitrothion) 及防治葉蟎類之芬普寧 (防檢局, 2020a)。中國大陸地區長期以來使用的三氯松, 臺灣主管機關並沒有推薦於荔枝及龍眼上, 且三氯松之代謝物二氯松 (Bull and Ridgway, 1969) 被美國環境保護署 (United States of America Environmental Protection Agency, U.S.A. EPA) 列為具有致腫瘤疑慮物質 (USA-EPA, 2018), 臺灣亦已於 1996 年將二氯松列為限定使用範圍農藥, 僅保留鐵罐裝「30% 二氯松煙燻劑」限用於貯菸倉庫內菸甲蟲防治用, 且標示需加註致腫瘤等注意事項 (防檢局, 2020c), 因此臺灣核准三氯松於荔枝椿象防治的機會應不高。亞滅培、賽洛寧、第滅寧及芬普寧為在臺灣有推薦於荔枝及龍眼上, 且根據前人研究顯示對荔枝椿象具防治效果的農藥有效成分, 值得做進一步的研究。

賽洛寧及第滅寧皆為除蟲菊類 (pyrethroid) 殺蟲劑, 為昆蟲之鈉離子通道調節劑 (sodium channel modulators) 之作用機制 (許與吳, 2018)。兩個有效成分 (active ingredient) 皆被美國環境保護署歸納於列為非疑似致癌物質 (group D-not classifiable as to human carcinogenicity/not likely to be carcinogenic to humans) (USA-EPA, 2018)。



賽洛寧成品急性毒性 (acute toxicity) 為中等毒 (moderately hazardous) 到輕毒 (slightly hazardous), 急性經口服毒性 (oral acute toxicity) LD₅₀ 為 >50~≤5,000 mg/kg body weight, 急性經皮膚毒性 (dermal acute toxicity) LD₅₀ 為 >200~≤5,000 mg/kg body weight (WHO, 2010), 賽洛寧進入人體後能夠快速隨著尿液排出, 半衰期 (half-life) 為 14~17 小時, 被吸收的賽洛寧最終會被完全代謝掉 (complete metabolism), 於土壤平均半衰期 (dissipation time 50%, DT₅₀) 為 70.9 天, 對蜜蜂 (*Apis mellifera* L.) 經口服急性毒性 (acute oral toxicity to honey bee) 半致死劑量為 0.91 µg a.i./bee、對蜜蜂接觸急性毒性 (acute contact toxicity to honey bee) 半致死劑量為 0.038 µg a.i./bee (European Commission, 2013)。

第滅寧成品急性毒性為中等毒到低毒 (unlikely to present acute hazard), 急性經口服毒半致死劑量為 >50~>5,000 mg/kg body weight, 急性經皮膚毒半致死劑量為 >200~>5,000 mg/kg body weight (WHO, 2010)。第滅寧進入哺乳類體中後, 75% 會於 24 小時之內經由尿液及排泄物排出體外, 於土壤平均半衰期為 58.2 天, 對蜜蜂經口服急性毒為 0.79 µg a.i./bee、對蜜蜂接觸急性毒性半致死劑量為 0.0015 µg a.i./bee (European Commission, 2018)。

亞滅培屬於尼古丁乙醯膽鹼受器競爭性調節劑 (nicotinic acetylcholine receptor (nAChR) competitive modulators) 之新尼古丁類 (neonicotinoids) 藥劑 (許與吳, 2018), 其成品急性經口服及經皮膚毒半致死劑量為 >2,000~≤5,000 mg/kg body weight 之輕毒農藥 (WHO, 2010)。亞滅培被美國環保署歸納於列為非疑似致癌物質 (USA-EPA, 2018), 進入哺乳類體中後會快速且幾乎全數排出, >96% 會在 24 小時內排出, 於土壤平均半衰期為 5.4 天, 對蜜蜂經口服急性毒半致死劑量為 8.85 µg a.i./bee, 對蜜蜂接觸急性毒性半致死劑量為 9.26 µg a.i./bee (European Commission, 2015)。

除上述文獻有提及之農藥有效成分外, 臺灣荔枝及龍眼農民常用的乙醯膽鹼酯酶抑制劑之有機磷類藥劑 (organophosphates) (許與吳, 2018) 芬殺松亦為值得研究的有效成分, 成品 50% EC 及 50% EW 急性毒性為中等毒, 急性經口服毒性半致死劑量為 >50~≤2,000 mg/kg body weight, 急性經皮膚毒性半致死劑量 LD₅₀ 為 >200~≤2,000 mg/kg body weight (WHO, 2010)。芬殺松被美國環保署歸類為有證據顯示非致癌物質 (group E-evidence of non-carcinogenicity for humans) (USA-EPA,

2018), 80% 芬殺松進入哺乳類體中 20 天後, 會隨著尿液及排泄物排出體外, 在有氧土壤半衰期小於一天, 在厭氧土壤半衰期為 28~60 天, 對蜜蜂接觸急性毒性半致死劑量為 0.16 $\mu\text{g a.i./bee}$ (FAO, 1995)。

這些化學藥劑除上述之特性之外, 對平腹小蜂的影響是非常重要的。三氯松對平腹小蜂的半致死濃度為 17.9 ppm, 中國大陸地區田間施用的濃度比小蜂之半致死濃度高約 56 倍。進一步以三氯松非致死劑量 10 ppm 經由藥膜法對平腹小蜂進行實驗, 發現壽命顯著地從 30.9 ± 0.4 天降低至 6.4 ± 0.4 天、寄生率亦顯著地從 47.5% 降至 30.1% (黃等, 1992)。以三氯松 300 及 150 ppm, 分別於 24 及 48 小時達到 100% 死亡率; 以賽洛寧 25 及 12.5 ppm 對平腹小蜂施藥, 96 小時死亡率分別為 66.67% 及 46.67%; 以第滅寧 25 及 12.5 ppm 對平腹小蜂施藥, 96 小時死亡率分別為 16.67% 及 13.33% (鄭與謝, 2005)。苗栗區農業改良場研究指出, 賽洛寧、第滅寧、亞滅培及丁基加保扶, 分別於施藥 28、14、14 及 42 天後, 其對平腹小蜂的殘留毒才降至小於 25% 的致死率 (吳等, 2019)。由此可得知化學藥劑有可能會對平腹小蜂產生一定程度的死亡及負面影響, 包括降低其壽命以及寄生率等, 進而降低生物防治效果。

2.5.5 低風險資材防治

研究對平腹小蜂安全性相對較高、對環境相對友善、對非目標生物以及哺乳類低毒且低慢性危害風險的荔枝椿象防治資材, 應能有效幫助荔枝及龍眼的荔枝椿象管理工作。印度楝 (*Azadirachta indica* A. Juss.) 種子萃取之植物源 (plant-based) 農藥成分印楝素 (azadirachtin) 具有使昆蟲拒食、不孕、若蟲或幼蟲生長調節及降低壽命的作用 (Ascher, 1993; Riba *et al.*, 2003; Selja^osen and Meadow, 2006)。前人以藥膜法施用印楝素 100 ppm, 發現平腹小蜂暴露藥膜 96 小時後, 死亡率仍只有 3.33% (鄭與謝, 2005)。但印楝素對荔枝椿象的防治效果恐怕不佳, 前人於泰國利用印楝素具系統性之特性, 於荔枝樹樹幹直徑每一公尺注射 0.7 kg 印楝素有效成分, 對荔枝椿象防治效果進行研究, 荔枝樹對印楝素之平均吸收率為 61%, 施藥組平均死亡率為 55%, 高於對照組之 10%, 但防治效果並非相當理想 (Schulte *et al.*, 2006)。且印楝素不易取得, 市場流通率低且不普遍, 印楝素 4.5% EC 成品每年平均僅進口 50 公升 (未具名, 2016, 2017), 以果樹平均每公頃 1,200 公升用水量計算, 推薦稀釋 1,000 倍之使用範圍, 每公頃需要印楝素成

品 1.2 公升，該產品之流通量僅能推廣約 4 公頃荔枝或龍眼樹。經過與農藥販售通路詢價後得知因該產品為天然植物萃取，原料昂貴，成本反應至成品售價，每公升零售價為新臺幣 6,000 元，換算每次施藥成本約為新臺幣 7,200 元，若施用三次總共費用為 21,600 元，費用相當昂貴，若效果不彰，則無法有實際經濟效應，推測為印楝素流通量低且不被農民接受的原因之一。另外，印楝素於我國為登記之農藥有效成分，其使用範圍必須依照農藥管理法之核准使用方法，但目前我國政府並未核准印楝素於荔枝及龍眼上。

農藥中，礦物油是農民清園時普遍會使用的產品，該有效成分雖被登記為農藥，但已被防檢局核准於龍眼及荔枝上，是風險相對低的藥劑，亦為值得研究的成分。相對於農藥而言，目前公告免登記植物保護資材有較低度的管理，使用上可以相對較為彈性。目前免登資材的脂肪酸鉀鹽以及苦楝油分別有 63 張及 17 張 (防檢局, 2020b)，免登證相對較多，市面上有許多不同品牌可以選擇及參考，市場流通也非常普遍，這些資材應該較能有效幫助到荔枝及龍眼農民。

其中脂肪酸鉀鹽是接觸性的廣效型產品藥劑，屬於皂鹽類的一種，在合成化學農藥廣泛流通以前，脂肪酸鉀鹽早已於 1787 年應用於葉蟎、蚜蟲及粉介殼蟲的防治 (Ware and Whitacre, 2004)。有研究指出中國大陸地區早期有使用肥皂水防治荔枝椿象的紀錄 (劉, 1965; 未具名, 1966)。後來陸續有許多文獻證實脂肪酸鉀鹽對多種害蟲具防治效果，以 1,960 及 9,800 ppm 濃度直接對柑橘木蝨 (*Diaphorina citri* Kuwayama) 成蟲蟲體噴施，施藥 48 小時後防治率分別為 90 ± 4 及 100%，以 1,960 ppm 濃度直接對柑橘木蝨若蟲蟲體噴施，施藥 48 小時後防治率為 100% (Hall and Richardson, 2013)；以 4,900~7,350 ppm 濃度脂肪酸鉀鹽或其他皂鹽類產品防治菸草粉蝨 (*Bemisia tabaci* (Gennadius))，可以減少櫛瓜、番茄及聖誕紅盆栽菸草粉蝨為害產生 85~100% 的蜜露量 (Butler *et al.*, 1993)；以 4,900 ppm 濃度脂肪酸鉀鹽進行聖誕紅盆栽銀葉粉蝨 (*Bemisia argentifolii* Bellows & Perring) 藥效試驗，施藥 7 天後，3 場次平均防治率為 75.76% (廖等, 1996)；以 9,800 ppm 濃度脂肪酸鉀鹽進行鼠李 (*Rhamnus cathartica* L.) 盆栽溫室粉蝨 (*Trialeurodes vaporariorum* (Westwood)) 藥效試驗，施藥 15 天後，粉蝨之若蟲由施藥前的每株 423 隻若蟲，降到 59 隻，與空白對照組有顯著差異，但與對照藥劑礦物油、印楝素、賽扶寧 (cyfluthrin)、福化利 (fluvalinate) 及畢芬寧 (bifenthrin)

無顯著差異 ($P < 0.05$) (Miller and Uetz, 1998); 以 9,800 ppm 濃度脂肪酸鉀鹽進行菊花 (*Chrysanthemum × morifolium* Ramat.) 盆栽棉蚜 (*Aphis gossypii* Glover) 藥效試驗, 施藥 3 天後, 由施藥前的每葉 39 隻棉蚜, 降到 0 隻棉蚜, 與空白對照組有顯著差異, 但與對照藥劑礦物油、印棟素、賽扶寧無顯著差異 ($P < 0.05$) (Miller and Uetz, 1998); 以 4,900 ppm 濃度脂肪酸鉀鹽進行蕹菜 (*Ipomoea aquatica* Forsk) 甘薯金花蟲 (*Chaetocnema confinis* Crotch) 田間防治試驗, 發現脂肪酸鉀鹽處理組的食痕指數 (feeding index) 21%, 與對照組 31.5% 有顯著差異 ($P = 0.05$) (施, 2001); 以 9,800 ppm 濃度脂肪酸鉀鹽進行菊花點藤 (*Scindapsus pictus* Hassk.) 盆栽桔臀紋粉介殼蟲 (*Planococcus citri* (Risso)) 藥效試驗, 施藥 4 天後, 桔臀紋粉介殼蟲數量由施藥前的每葉 42 隻, 降到 9 隻, 與空白對照組有顯著差異, 但與對照藥劑礦物油、印棟素及賽扶寧無顯著差異 ($P < 0.05$), 另外, 該研究亦以試驗條件進行彩野草 (*Coleus × hybridus* Voss) 盆栽桔臀紋粉介殼蟲藥效試驗, 11 及 21 天後, 桔臀紋粉介殼蟲數量由施藥前的每葉 47 隻, 分別降至 5 及 0 隻, 與空白對照組有顯著差異, 但與對照藥劑礦物油、印棟素及賽扶寧無顯著差異 ($P < 0.05$) (Miller and Uetz, 1998)。以 9,800 ppm 濃度脂肪酸鉀鹽進行孔雀草 (*Tagetes patula* L.) 盆栽二點葉蟎 (*Tetranychus urticae* Koch), 施藥 3、6 及 11 天後, 二點葉蟎數量由施藥前的每葉 25 隻, 降到 0 隻, 與空白對照組有顯著差異, 但與對照藥劑礦物油、印棟素、阿巴汀、得氯蟎 (dienochlor) 及賽扶寧無顯著差異 ($P < 0.05$) (Miller and Uetz, 1998)。

脂肪酸鉀鹽製造過程是以油和氫氧化鉀混合, 經皂化過程而得之皂鹽類殺蟲劑 (insecticidal soap)。脂肪酸鉀鹽作用機制與有機化學藥劑之毒殺之作用機制不同, 除破壞害蟲之細胞膜, 並破壞昆蟲表皮蠟層, 使之脫水, 並且阻塞其氣孔。脂肪酸對哺乳類經口服急性毒性及經皮膚急性毒性 (大鼠) 半致死劑量 $> 2,000$ mg/kg body weight, 進入哺乳類體後, 脂肪酸會完全被吸受並且轉換為能量, 對蜜蜂經口服急性毒半致死劑量為 $96.04 \mu\text{g a.i./bee}$, 對蜜蜂接觸急性毒性半致死劑量為 $12.5 \mu\text{g a.i./bee}$ (European Commission, 2008)。脂肪酸鹽類廣泛存於動植物體內, 美國環保署將其視為可被應用於食品添加物 (USA-EPA, 1995, 2019), 脂肪酸鉀鹽在土壤中, 150 天內可以完全被分解, 於土壤中半衰期僅 1.5~3 天 (Prats *et al.*, 1999) 且對天敵相對較低毒 (Jansen *et al.*, 2010), 且其藥液乾燥後無殘效的特性更

可能降低天敵暴露於藥劑的時間，因而降低對天敵之風險。

脂肪酸鉀鹽 10,000 ppm 防治桃樹之桃蚜 (*Myzus persicae* (Sulzer)) 田間試驗，脂肪酸鉀鹽約有八成的藥效，雖較 250 ppm 益達胺差，但與礦物油及高嶺土 (kaolin) 皆有效，藥效較空白對照組好，統計上有顯著差異 ($P < 0.05$)，且脂肪酸鉀鹽處理組的七星瓢蟲 (*Coccinella septempunctata* L.)、二星瓢蟲 (*Adalia bipunctata* (L.)) 及多異瓢蟲 (*Hippodamia variegata* (Goeze)) 等捕食性瓢蟲數量與施藥前及空白對照組無顯著差異，而益達胺及礦物油處理組捕食性瓢蟲數量則於施藥後減少，數量低於空白對照組及脂肪酸鉀鹽處理組，統計上有顯著差異 ($P < 0.05$) (Karagounis et al., 2006)；以 2,478 ppm 脂肪酸鉀鹽直接對二點葉蟎 (*Tetranychus urticae* Koch) 噴施，6 天後造成 $83.40 \pm 6.22\%$ 死亡，同樣濃度對其捕食性天敵智利小植綫蟎 (*Phytoseiulus persimilis* Athias-Henriot) 噴施，施藥 5 天後卻僅造成 $24 \pm 5.95\%$ 的死亡 (Tsolakis and Ragusa, 2008)；另一實驗亦顯示，以脂肪酸鉀鹽 9,800 ppm 對大豆蚜 (*Aphis glycines* Matsumura) 直接噴施，施藥 72 小時後，能造成大豆蚜近 90% 的死亡率，與除蟲菊精及礦物油造成的死亡率統計上無顯著差異 ($P < 0.05$)，但相同濃度直接噴施大豆蚜天敵異色瓢蟲 (*Harmonia axyridis* (Pallas)) 一齡幼蟲，僅造成 $40 \pm 10.03\%$ 的死亡率，而除蟲菊精卻造成的 $98.89 \pm 1.11\%$ 的死亡率 ($P < 0.05$) (Kraiss and Cullen, 2008)；另外有研究指出，對寄生蜂縊管蚜繭蜂 (*Aphidius rhopalosiphii* de Stefani-Perez) 施用 9,800 ppm 脂肪酸鉀鹽防治蚜蟲 48 小時後造成 $22 \pm 7.5\%$ 的死亡，相較除蟲菊精造成 100% 死亡率，統計上有顯著差異 ($P < 0.05$) (Jansen et al., 2010)。由前人研究的結果，可得知脂肪酸鉀鹽為對天敵低風險防治資材。

為了瞭解化學藥劑及低風險資材對荔枝椿象及平腹小蜂的藥效以及感受性，本論文進行了相關之感受性實驗以及盆栽試驗。

第三章 材料與方法



3.1 蟲源

3.1.1 荔枝椿象一齡若蟲

荔枝椿象一齡若蟲是由彰化縣政府農業局於 2019 年 3 月到 4 月提供之當地收購的荔枝椿象卵片孵化而來的。收到卵片後，置於實驗室中，並待孵化後，進行荔枝椿象一齡若蟲之各生物檢定實驗及盆栽藥效試驗。荔枝椿象一齡若蟲相關實驗及試驗所使用的蟲源是孵化後七日內的若蟲，以確保實驗及試驗之一齡若蟲為 0~7 日齡。

3.1.2 荔枝椿象三、五齡若蟲及成蟲

荔枝椿象三、五齡若蟲及成蟲採集地點如附錄一。脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象三齡若蟲生物檢定實驗及亞滅培、芬殺松及脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象成蟲生物檢定實驗之供試昆蟲，是於 2018 年 3 月到 7 月於國立臺灣大學校總區 (25.016, 121.539)、臺北市大安區芳蘭路 (25.011, 121.544)、臺北市芝山岩園區 (25.102, 121.531)、臺北市內湖區碧湖公園 (25.082, 121.582) 之臺灣欒樹，採集之各齡期之荔枝椿象若蟲。並將採集之若蟲飼養於臺灣欒樹飼養籠內，待其發育成荔枝椿象三齡若蟲及成蟲，再進行相關之實驗及盆栽試驗。賽洛寧及第滅寧對荔枝椿象成蟲生物檢定實驗之荔枝椿象成蟲，是於 2019 年 2 月於彰化市田尾鄉龍眼樹 (23.917, 120.504) 採集而來的。所有成蟲相關實驗採取雌雄各半的比例。

3.1.3 平腹小蜂

平腹小蜂 (*Anastatus formosanus* Crawford) 是由 2018 年 8 月，在國立臺灣大學校本區中採集之荔枝椿象卵羽化而來的，並以柞蠹卵作為代用寄主，於實驗室進行繼代飼養。該平腹小蜂已經由加拿大學者 Dr. Gary A. P. Gibson 鑑定。所有實驗之平腹小蜂皆使用 0~7 日齡之雌成蜂。

3.2 供試藥劑

為了模擬田間噴藥情形及配合低風險資材接觸性作用方式方能產生藥效的特性，盆栽試驗、低風險資材對一齡荔枝椿象若蟲藥效實驗及脂肪酸鉀鹽相關生物檢定實驗皆使用農藥成品或免登記植物保護資材成品，並且以自來水當溶劑 (Morehead and Kuhar, 2017)：亞滅培成品 20% SP (興農，臺灣)、脂肪酸鉀成品

(potassium salts of fatty acids, FAPS) 49% SL (Gowan Milling, 美國)。空白對照組為了對比盆栽所用之成品具增進其展著性配方，自來水加 polyether-modified organopolysiloxane 93% 展著劑 (石原企業, 日本) 186 mg/L。

供試之化學殺蟲劑屬於神經毒性作用機制，不須包覆荔枝椿象蟲體即能發揮效果，故原體 (technical) 或標準品 (standard) 以丙酮 (actone) 作為溶劑，以局部滴定方式施藥，來精準計算劑量：亞滅培 99.1% 原體 (HeBei YeTian AgroChemicals, China)、礦物油 (mineral oil) 95% EC (龍燈生物科技, 臺灣)、苦楝油 (neem oil) 95% EC (良農現代化農業科技, 臺灣)、賽洛寧 98.7% 標準品、第滅寧 99.7% 標準品及芬殺松 96.2% 標準品皆購自 Sigma-Aldrich Chemie (瑞士)。

3.3 供試昆蟲飼養

3.3.1 荔枝椿象

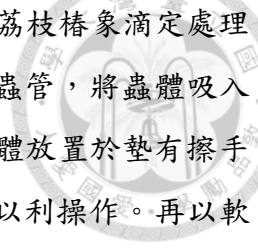
採集之荔枝椿象若蟲皆飼養於簡易溫室裡之 63×63×185 cm 飼養籠 (博視有限公司, 臺灣) 中之 150~180 cm 之臺灣欒樹樹苗。飼養之若蟲如發育成成蟲，則移入 103×103×204 cm 之飼養籠 (博視有限公司, 臺灣)，以確保該飼養之荔枝椿象成蟲為當年羽化之成蟲。臺灣欒樹苗每 1~4 天澆一次水、1~2 週更換新的樹苗，以確保臺灣欒樹有充足的新芽供給荔枝椿象食用。

3.3.2 平腹小蜂

以蓖麻蟬的卵作為代用寄主。飼養於 26 ± 0.5 °C、濕度 60 ± 10%、光照 12 小時之 30×30×30 cm 之飼養籠 (博視有限公司, 臺灣)。每 3~5 天補充純蜜並確保平腹小蜂有充足之食物來源。

3.4 賽洛寧、第滅寧、芬殺松、亞滅培對荔枝椿象及平腹小蜂之生物檢定

標準品或原體以四位數天平秤量重量後，倒入 10 mL 之定量瓶，加丙酮 (Merck, Germany) 至 10 mL，配製成貯櫃溶液 (stock)：賽洛寧 (98.7% 標準品) 秤量 0.1046 g (± 0.5 mg)，配製成 10.32 mg/mL 濃度；第滅寧 (99.7% 標準品) 秤量 0.1026 g (± 0.5 mg) 配製成 10.22 mg/mL 濃度；芬殺松 (96.2% 標準品) 秤量 0.1005 g (± 0.5 mg) 配製成 9.668 mg/mL 濃度；亞滅培 (99.1% 原體) 秤量 0.101 g (± 0.5 mg) 配製成 10 mg/mL 濃度。上述之貯櫃溶液皆保存於 -20 °C 以下之溫度。待實驗進行前，再以貯櫃溶液，以丙酮進行序列稀釋成五個濃度，以局部滴定方式施藥於荔枝椿象胸部背面以及平腹小蜂胸背板。荔枝椿象成蟲滴定藥液量



為 2 μ L，荔枝椿象一齡若蟲及平腹小蜂滴定藥液量為 0.2 μ L。荔枝椿象滴定處理時以手或軟鑷固定蟲體進行滴定；平腹小蜂滴定處理時先以吸蟲管，將蟲體吸入 50 mL 容量之離心管，再將離心管放入碎冰使其昏迷，再將蟲體放置於墊有擦手紙的塑膠片上，塑膠片放置於碎冰上，讓平腹小蜂持續昏迷，以利操作。再以軟鑷逐隻抓取，滴定藥液於平腹小蜂胸背板上，每重覆冷凍昏迷時間為 5 分鐘 (\pm 30 秒)。處理後，荔枝椿象給予保水處理之臺灣欒樹嫩梢、平腹小蜂給予為純蜂蜜，並於施藥 24 及 48 小時後觀察死亡率。對照組以丙酮處理。荔枝椿象一齡若蟲生物檢定進行兩重複，每重複 20 隻；荔枝椿象成蟲生物檢定進行兩重複，每重複 15 隻。平腹小蜂生物檢定進行三重複，每重複 20 隻。

3.4.1 賽洛寧濃度配置

對荔枝椿象一齡若蟲半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 10.32 mg/mL 賽洛寧貯櫃溶液稀釋成 0.2686、0.3761、0.5265、0.7371 及 1.032 mg/L 五個濃度。對荔枝椿象成蟲半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 10.32 mg/mL 賽洛寧貯櫃溶液稀釋成 26.86、37.61、52.65、73.71 及 103.2 mg/L 五個濃度。對平腹小蜂半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 10.32 mg/mL 賽洛寧貯櫃溶液稀釋成 0.0645、0.129、0.258、0.516 及 1.032 mg/L 五個濃度。

3.4.2 第滅寧濃度配置

對荔枝椿象一齡若蟲半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 10.22 mg/mL 第滅寧貯櫃溶液稀釋成 0.06388、0.1278、0.2555、0.511 及 1.022 mg/L 五個濃度。對荔枝椿象成蟲半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 10.22 mg/mL 第滅寧貯櫃溶液稀釋成 3.19、6.39、12.78、25.55 及 51.1 mg/L 濃度。對平腹小蜂半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 10.22 mg/mL 第滅寧貯櫃溶液稀釋成 0.04562、0.09125、0.1825、0.365 及 0.733 mg/L 五個濃度。

3.4.3 芬殺松濃度配置

對荔枝椿象一齡若蟲半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 9.668 mg/mL 芬殺松貯櫃溶液稀釋成 2.517、3.523、4.933、6.906 及 9.668 mg/L 五個濃度。對荔枝椿象成蟲半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 9.668 mg/mL 芬殺松貯櫃溶液稀釋成 9.512、12.68、16.91、22.55 及 30.06 mg/L 五個濃度。對平腹小蜂半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 9.668 mg/mL 芬殺松貯櫃溶液稀釋成



2.517、3.523、4.933、6.906 及 9.668 mg/L 五個濃度。

3.4.4 亞滅培濃度配置

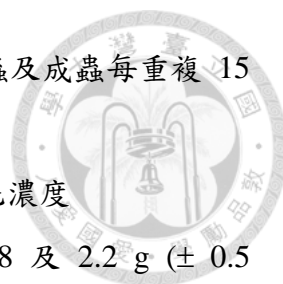
對荔枝椿象一齡若蟲半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 10 mg/mL 亞滅培貯櫃溶液稀釋成 26.03、36.44、51.02、71.43 及 100 mg/L 五個濃度。對荔枝椿象成蟲半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 10 mg/mL 亞滅培貯櫃溶液稀釋成 62.5、125、250、500 及 1,000 mg/L 五個濃度。對平腹小蜂半致死劑量及 90% 致死劑量實驗中，以 10 mg/mL 亞滅培貯櫃溶液 0.0625、0.125、0.25、0.5 及 1 mg/L 五個濃度。

3.5 低風險防治資材對一齡荔枝椿象若蟲藥效實驗

施藥方法修改自 Morehead and Kuhar 於 2017 年以脂肪酸鉀鹽等資材，測試對褐翅椿象 (*Halyomorpha halys* (Stål)) 藥效之浸漬法 (submersion bioassay)。首先以二氧化碳灌入裝荔枝椿象的布丁杯 (外徑 10 × 5.7 cm, 容量 250 mL) 10 秒使其昏迷後，將 20 隻 0~7 日荔枝椿象一齡若蟲放入 30 網目直徑 7 cm 的不鏽鋼茶球內，再浸漬於供試藥劑稀釋溶液 4~5 秒。再將椿象自茶球取出後，自然風乾至表面無明顯水漬之後，再放入布丁杯 (外徑 10 × 5.7 cm, 容量 250 mL) 中，給予保水處理之臺灣欒樹嫩梢，並於施藥 24 及 48 小時後觀察死亡率。選用市面上常見之免登記植物保護資材脂肪酸鉀鹽、苦楝油及常見之低風險農藥礦物油，依照標示上登記之荔枝、龍眼或其他作物害蟲防治濃度進行實驗：脂肪酸鉀鹽 (49% SL) 以四位數天平秤量 10 及 20 g (± 0.5 mg)，再以 1 L 自來水配製成 4,900 及 9,800 mg/L 兩個濃度；苦楝油 (95% EC) 秤量 5 g (± 0.5 mg)，再以 1 L 自來水配製成 4,750 mg/L。礦物油 (95% EC) 秤量 6.6 g (± 0.5 mg)，再以 1 L 自來水配製成 6,270 mg/L；對照組以自來水處理。每處理進行三重複，每重複 20 隻。

3.6 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象及平腹小蜂之生物檢定

實驗施藥方式同 3.5 使用浸漬法，荔枝椿象一、三齡若蟲及平腹小蜂以直徑 7 cm 的茶球處理，荔枝椿象成蟲則以直徑 8 cm 的茶球處理，浸漬於 5 到 6 個不同之脂肪酸鉀稀釋溶液 4~5 秒。施藥後將供試昆蟲自茶球取出後，自然風乾至表面無明顯水漬之後，再放入布丁杯 (外徑 10 × 5.7 cm, 容量 250 mL) 中，荔枝椿象給予保水處理之臺灣欒樹嫩梢、平腹小蜂給予純蜂蜜，並於 24 及 48 小時後觀察死亡率。對照組以自來水處理。試驗濃度經前試驗結果決定 5 到 6 個濃度。



荔枝椿象每處理進行兩重複，一齡若蟲每重複 20 隻、三齡若蟲及成蟲每重複 15 隻。平腹小蜂每處理進行三重複，每重複 20 隻。

3.6.1 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象一齡若蟲半致死濃度及 90% 致死濃度

脂肪酸鉀鹽 (49% SL) 以四位數天平秤量 0.6、1、1.4、1.8 及 2.2 g (± 0.5 mg)，加自來水 1 L 配製成 294、490、686、882 及 1,078 mg/L 五個濃度。

3.6.2 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象三齡若蟲半致死濃度及 90% 致死濃度

脂肪酸鉀鹽 (49% SL) 以四位數天平秤量 1、1.1、1.2、1.7 及 2.6 g (± 0.5 mg)，加自來水 1 L 配製成 490、539、588、833 及 1,274 mg/L 五個濃度。

3.6.3 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象成蟲半致死濃度及 90% 致死濃度

脂肪酸鉀鹽 (49% SL) 以四位數天平秤量 10、15、20、25、30 及 35 g (± 0.5 mg)，加自來水 1 L 配製成 4,900、7,350、9,800、12,250、14,700 及 17,150 mg/L 六個濃度。

3.6.4 脂肪酸鉀鹽對平腹小蜂半致死濃度及 90% 致死濃度

脂肪酸鉀鹽 (49% SL) 以四位數天平秤量 1、2、5、7、10 及 20 g (± 0.5 mg)，加自來水 1 L 配製成 490、980、2,450、3,430、4,900 及 9,800 mg/L 六個濃度。

3.7 荔枝椿象若蟲盆栽防治效果試驗

於溫室內進行，將荔枝椿象一、三及五齡若蟲接種至種植於 15 公升盆之 71~99 cm 高的粉殼龍眼苗 (購自上旺環保有限公司) 至少一天，確認椿象健康且無明顯不健康反應後，供試藥劑以自來水稀釋成特定濃度噴施。並計算每盆之活蟲數，再以數學式 $((1 - (\text{處理組施藥後活蟲數} \times \text{對照組處理前活蟲數}) \div (\text{處理組施藥前活蟲數} \times \text{對照組處理後活蟲數})) \times 100\%$ 計算致死治率。

一個盆栽為一重複，每重複 19~27 隻，每個處理進行三重複，空白對照組施用展著劑 (polyether-modified organopolysiloxane 93%) 以四位數天平秤量 0.4 g (± 0.5 mg)，加自來水 2 L 配製成 186 mg/L 濃度處理。

3.7.1 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象一、三、五齡若蟲盆栽防治效果試驗

脂肪酸鉀鹽 (49% SL) 以四位數天平秤量 20 及 40 g (± 0.5 mg)，加自來水 2 L 配製成 4,900 及 9,800 mg/L 兩個濃度。將植株葉片均勻噴施，當最小逕流量出現就停止施藥，植株葉片數為 208~288，每株噴施藥液量為 106.93 ± 24.86 mL。並於施藥前、施藥後 1 及 3 天觀察其活蟲數。



3.7.2 亞滅培對荔枝椿象一齡若蟲盆栽防治效果試驗

亞滅培 (20% SP) 以四位數天平秤量 0.5 g (± 0.5 mg)，加自來水 2 L 配製成 50 mg/L 濃度。將植株葉片均勻噴施，當最小逕流量出現就停止施藥，植株葉片數為 208~284，每株噴施藥液量為 84.71 ± 6.21 mL。於施藥前、施藥後 1、3 及 7 天觀察其活蟲數。

3.8 脂肪酸鉀鹽藥害試驗

供試藥劑以自來水稀釋成特定濃度，將植株均勻噴施，當最小逕流量出現就停止施藥。在施藥前、施藥之後 3、5、7 及 14 天，調查藥害情形。荔枝花穗、龍眼葉片及臺灣欖樹葉片藥害試驗調查時將藥害嚴重度分為 6 個指數：無明顯藥害 0、輕微黃化 1、輕微焦枯 2、葉緣焦枯或花朵頂燒 (tip burn) 3、嚴重枯萎 4、焦枯 5，花穗藥害嚴重度指數示意圖如附錄二，葉片藥害嚴重度指數示意圖如附錄三。再以數學式 $\Sigma(\text{指數} \times \text{該指數之葉片數或花數}) \div (5 \times \text{總調查葉數或花數})$ 計算葉片、花穗藥害嚴重度 (Miller and Uetz, 1998)。空白對照組施用展著劑 (polyether-modified organopolysiloxane 93%) 以四位數天平秤量 0.4 g (± 0.5 mg)，加自來水 2 L 配製成 186 mg/L 濃度處理。

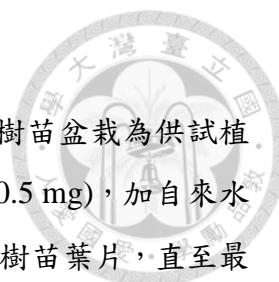
龍眼果實藥害試驗調查時，紀錄任何不正常的果實數量，包括黃化、褐化、乾枯、扭曲、變形及落果等，再以 $\Sigma(\text{不正常果數}) \div \Sigma(\text{調查果數})$ 來計算果實藥害率。

3.8.1 脂肪酸鉀鹽對荔枝花穗藥害試驗

在溫室內進行，以玉荷包品種荔枝苗盆栽為供試植物，一枝荔枝花穗為一處理，每處理為 97~308 蕊，每處理施藥量為 32.54 ± 9.68 mL，每處理進行三重複。脂肪酸鉀鹽 (49% SL) 以四位數天平秤量 20 及 40 g (± 0.5 mg)，加自來水 2 L 配製成 4,900 及 9,800 mg/L 兩個濃度。

3.8.2 脂肪酸鉀鹽對龍眼葉片藥害試驗

在溫室內進行，於 3.7.1 荔枝椿象若蟲盆栽藥效試驗進行時，一併觀察藥害發生情形。脂肪酸鉀鹽 (49% SL) 以四位數天平秤量 20 及 40 g (± 0.5 mg)，加自來水 2 L 配製成 4,900 及 9,800 mg/L 兩個濃度。將植株葉片均勻噴施，當最小逕流量出現就停止施藥，植株葉片數為 208~288，每株噴施藥液量為 106.93 ± 24.86 mL。



3.8.3 脂肪酸鉀鹽對臺灣欒樹葉片藥害試驗

露天環境下進行試驗，以株高 171.67 ± 4.03 cm 之臺灣欒樹苗盆栽為供試植物。將脂肪酸鉀鹽 (49% SL) 以四位數天平秤量 20 及 40 g (± 0.5 mg)，加自來水 2 L 配製成 4,900 及 9,800 mg/L 兩個濃度，均勻噴施臺灣欒樹樹苗葉片，直至最小逕流量出現，即停止施藥，每株噴施 94.04 ± 6.08 mL。一個盆栽為一處理，每處理進行三重複。

3.8.4 脂肪酸鉀鹽對龍眼果實藥害試驗

露天環境下進行試驗，對株高三公尺的龍眼樹，處於 BBCH 715 生長階段 (Pham *et al.*, 2015) 之果實為供試植物。一枝果梢為一處理，每處理為 11~21 顆果實，每處理施藥量為 49.11 ± 2.22 mL，每處理進行三重複。脂肪酸鉀鹽 (49% SL) 以四位數天平秤量 10 及 20 g (± 0.5 mg)，加自來水 1 L 配製成 4,900 及 9,800 mg/L 兩個濃度。

3.9 統計分析

賽洛寧、第滅寧、芬殺松、亞滅培及脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象及平腹小蜂之生物檢定實驗測試濃度及反應蟲數，並以 PoloPlus (LeOra Software) 2.0 版本軟體計算各個藥劑處理在 24 與 48 小時的半致死濃度或劑量及 90% 致死濃度或劑量 (90% lethal concentration (dose), LC₉₀ or LD₉₀)。估計出來的參數與誤差帶入 LD₅₀ (or LC₅₀) ratio test 的公式計算各組間差異的顯著性 (Wheeler *et al.*, 2006)，再用 Bonferroni correction 對 *P* 值做校正，並以 $P < 0.05$ 作為顯著標準。

低風險資材對一齡荔枝椿象若蟲藥效實驗及脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象一、三及五齡若蟲盆栽藥效試驗中，紀錄活蟲數及死蟲數後，以 3.7 之數學公式轉換為致死率，再以賽仕軟體 (statistics analysis system, SAS) 9.4 版本進行單因子變異數分析 (univariate analysis of variance, UNIANOVA) 比較各處理間之死亡率，以 $P < 0.05$ 作為顯著標準。

亞滅培對荔枝椿象一齡若蟲盆栽藥效試驗，以賽仕軟體 9.4 版本進行 *t*-test 比較處理組與空白對照組防治率，以 $P < 0.05$ 作為顯著標準。

脂肪酸鉀鹽對荔枝花穗藥害試驗、對龍眼葉片藥害試驗及對臺灣欒樹葉片藥害試驗以 3.8 的藥害分級指數計數後，以數學模式 $\Sigma(\text{指數} \times \text{該指數之葉片數或花數}) \div (5 \times \text{總調查葉數或花數})$ 計算葉片、花穗藥害嚴重度 (Miller and Uetz,

1998) 計算葉片及花穗的藥害嚴重度百分比，再以賽仕軟體 9.4 版本進行廣義線性模型分析 (generalized linear model, GLM) 對各組間做統計，以 $P < 0.05$ 作為顯著標準。

脂肪酸鉀鹽對龍眼果實藥害試驗調查結果以數學式 $\Sigma(\text{不正常果數}) \div \Sigma(\text{調查果數})$ 計算果實藥害率，再以賽仕軟體 9.4 版本進行 t -test 做統計， $P < 0.05$ 作為顯著標準。

第四章 結果



4.1 賽洛寧、第滅寧、芬殺松、亞滅培對荔枝椿象及平腹小蜂之生物檢定

以局部滴定法分別施用賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培於荔枝椿象一齡若蟲、成蟲及平腹小蜂，並觀察施藥後之死亡率，分析 24 小時感受性之結果如表一、表三、表五、圖一、圖二、圖五、圖六、圖九及圖十，分析 48 小時感受性之結果如表二、表四、表六、圖三、圖四、圖七、圖八、圖十一及圖十二。平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培的 24 及 48 小時之半數致死劑量 LD_{50} 範圍分別介於 0.0318~0.8816 及 0.0298~0.8268 ng/parasitoid (表五及表六)，該等劑量皆低於荔枝椿象成蟲對此等有效成分之 24 及 48 小時半數致死劑量 (24 小時及 48 小時 LD_{50} 範圍分別介於 34.9~596.8 ng/insect 及 32.92~420.2 ng/insect，如表三及表四)。平腹小蜂對這些供試藥劑的 LD_{50} 也低於荔枝椿象一齡若蟲 24 及 48 小時 LD_{50} 值 (介於 0.0442~10.26 及 0.0392~8.556 ng/insect，如表一及表二)。本實驗發現，荔枝椿象一齡若蟲和成蟲對亞滅培之 LD_{50} 是供試藥劑中最高的，24 小時分別介於 10.26 及 596.8 ng/insect (表一及表三)，48 小時分別為 8.556 及 420.2 ng/insect (表二及表四)，然而亞滅培對平腹小蜂的 LD_{50} 卻是第三低的，24 及 48 小時分別為 0.0734 及 0.054 ng/parasitoid (表五及表六)。荔枝椿象成蟲對芬殺松 LD_{50} 是供試藥劑中最低的，24 及 48 小時分別為 34.9 及 32.92 ng/insect (表三及表四)；荔枝椿象一齡若蟲對第滅寧 LD_{50} 是供試藥劑中最低的 24 及 48 小時分別為 0.0442 及 0.0392 ng/insect (表一及表二)。

賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對平腹小蜂的 24 及 48 小時 LD_{90} 分別介於 0.109~1.644 及 0.0976~1.519 ng/parasitoid (表五及表六)，該些劑量皆低於荔枝椿象成蟲及一齡若蟲之 LD_{90} (表一、表二、表三及表四)。荔枝椿象成蟲對此等有效成分之 24 及 48 小時 LD_{90} 範圍分別介於 72.52~2,564 及 63.04~2,150 ng/insect (表三及表四)；荔枝椿象一齡若蟲之 24 及 48 小時 LD_{90} 分別介於 0.1306~33.34 及 0.114~25.96 ng/insect (表一及表二)。本實驗發現，荔枝椿象一齡若蟲和成蟲對亞滅培之 LD_{90} 是供試藥劑中最高的，24 小時分別為 33.34 及 2,564 ng/insect (表一及表三)，48 小時分別為 25.96 及 2,150 ng/insect (表二及表四)，然而亞滅培對平腹小蜂的 24 及 48 小時 LD_{90} 卻是第三低的，分別為 0.216



及 0.207 ng/parasitoid (表五及表六)。

以藥劑對荔枝椿象的 LD₅₀ 及 LD₉₀ 數值為分子，平腹小蜂的 LD₅₀ 及 LD₉₀ 數值為分母計算之比值為毒性因子 (toxicity factor)，其 24 小時結果分別如表七及表九，其 48 小時結果分別如表八及表十，對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培的 24 及 48 小時 LD₅₀ 及 LD₉₀ 毒性比以亞滅培最高，芬殺松最低。對一齡若蟲和平腹小蜂 24 及 48 小時 LD₅₀ 毒性因子，亞滅培分別為 139.7 及 158.4 倍，其餘三個農藥成分毒性差異分別介於 1.261 到 2.233 倍及 1.194 到 2.491 倍 (表七及表八)。以對成蟲相對平腹小蜂 LD₅₀ 毒性因子而言，成蟲和小蜂對亞滅培的毒性反應差異最大，24 及 48 小時毒性因子分別可達 8,130 及 7,781 倍，芬殺松則是最低，卻也達 39.58 及 39.81 倍 (表七及表八)。

賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培的 LD₉₀ 毒性比以亞滅培對荔枝椿象和平腹小蜂間最高，芬殺松最低 (表九及表十)。對一齡若蟲相對平腹小蜂 24 及 48 小時 LD₉₀ 毒性因子，亞滅培分別為 154.3 及 125.4 倍，其餘三個有效成分 24 及 48 小時毒性差異分別介於 1.043~1.32 及 1.031~1.321 倍 (表九及表十)。以對成蟲相對平腹小蜂 LD₉₀ 毒性因子而言，成蟲和小蜂對亞滅培的毒性反應差異最大，24 及 48 小時毒性因子分別可達 11,870 及 10,390 倍，芬殺松則是最低，卻也達 44.11 及 41.5 倍 (表九及表十)。

4.2 低風險資材對一齡荔枝椿象若蟲藥效實驗

將一齡荔枝椿象若蟲浸漬於苦楝油 4,750 mg/L、礦物油 6,270 mg/L、脂肪酸鉀鹽 4,900 及 9,800 mg/L 兩個濃度施藥 24 及 48 小時後藥效實驗結果如表十一。脂肪酸鉀鹽兩個濃度皆對供試昆蟲達到 100% 致死效果。礦物油 6,270 mg/L 及苦楝油 4,750 mg/L 對供試昆蟲施藥 48 小時後致死率分別為 $11.67 \pm 7.64\%$ 及 $26.67 \pm 2.89\%$ 。自來水處理之對照組中，供試蟲的致死率為 0 (表十一)。

4.3 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象及平腹小蜂之生物檢定

荔枝椿象及平腹小蜂對脂肪酸鉀鹽的半數致死濃度 (LC₅₀) 以及 90% 致死濃度 (LC₉₀) 之感受性實驗，施藥後 24 小時結果如表十二、圖十四及圖十五，施藥後 48 小時結果如表十三、圖十六及圖十七。24 及 48 小時的 LC₅₀ 以荔枝椿象成蟲 9,328 及 9,015 mg/L 最高，2,583 及 2,500 mg/L 之平腹小蜂則次之，607.1 及 594.5 mg/L 之一齡荔枝椿象若蟲最低，與三齡荔枝椿象若蟲的 LC₅₀ 數值較相

近，但統計上仍有顯著差異 ($P < 0.05$)，三齡荔枝椿象若蟲 24 及 48 小時 LC_{50} 分別為 719.3 及 665.1 mg/L，遠低於荔枝椿象成蟲以及平腹小蜂之 LC_{50} ，統計上有顯著差異 ($P < 0.05$)，如表十二及表十三。成蟲及一齡若蟲之感受性差異甚大，24 及 48 小時 LC_{50} 差異皆約為 15 倍，24 及 48 小時 LC_{90} 差異則分別約 20 及 18 倍。24 及 48 小時 LC_{90} 以荔枝椿象成蟲 23,800 及 21,610 mg/L 最高，7,849 及 7,266 mg/L 之平腹小蜂則次之，1,175 及 1,123 mg/L 之一齡荔枝椿象若蟲最低，但與 1,232 及 1,197 mg/L 之三齡荔枝椿象若蟲統計上無顯著差異 ($P < 0.05$)，如表十二及表十三。荔枝椿象若蟲之 LC_{90} 遠低於荔枝椿象成蟲以及平腹小蜂之 LC_{90} ，統計上有顯著差異 ($P < 0.05$)，如表十二及表十三。荔枝椿象和平腹小蜂之 LC_{50} 及 LC_{90} 之 24 小時毒性因子如表十四圖十四及圖十五，48 小時之 LC_{50} 及 LC_{90} 毒性因子如表十五、圖十六及圖十七。荔枝椿象一齡若蟲與小蜂 24 及 48 小時 LC_{50} 毒性因子分別為 0.235 及 0.2426 倍 (表十四及表十五)，24 及 48 小時 LC_{90} 毒性因子分別為 0.1497 及 0.1577 倍 (表十四及表十五)。荔枝椿象三齡若蟲與小蜂 24 及 48 小時 LC_{50} 毒性因子分別為 0.2784 及 0.266 倍，24 及 48 小時 LC_{90} 毒性因子分別為 0.1569 及 0.1647 倍 (表十四及表十五)。荔枝椿象成蟲與小蜂 24 及 48 小時 LC_{50} 毒性因子分別為 3.611 及 3.606 倍，24 及 48 小時 LC_{90} 毒性因子分別為 3.032 及 2.974 倍 (表十四及表十五)。

4.4 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象一、三、五齡若蟲盆栽防治效果試驗

在玉荷包荔枝盆栽施用脂肪酸鉀鹽 4,900 及 9,800 mg/L 三天後，一、三及五齡荔枝椿象若蟲之防治率如表十六及圖十八。脂肪酸鉀鹽低濃度及高濃度對一齡若蟲的防治率，分別為 80.28 ± 6.97 及 $88.97 \pm 2.17\%$ ；脂肪酸鉀鹽高濃度對三齡及五齡荔枝椿象若蟲分別為 80.06 ± 7.18 及 $63.08 \pm 3.11\%$ 的防治率 (表十六)；但脂肪酸鉀鹽低濃度對三齡及五齡荔枝椿象若蟲僅有 33.92 ± 2.28 及 $11.68 \pm 4.93\%$ 的防治率 (表十六)。

4.5 亞滅培對荔枝椿象一齡若蟲盆栽防治效果試驗

在玉荷包荔枝盆栽施用亞滅培 50 mg/L 一、三及七天後，荔枝椿象一齡若蟲防治率如表十七及圖十九，分別為 73.35 ± 13.27 、 86.67 ± 8.85 及 $93.44 \pm 2.61\%$ 。

4.6 脂肪酸鉀鹽藥害試驗

施用 4,900 及 9,800 mg/L 脂肪酸鉀鹽對玉荷包花穗造成之藥害嚴重度如表

十八及圖二十。施藥 3、5、7 及 14 天後，脂肪酸鉀鹽 4,900 mg/L，對玉荷包花穗分別造成 50.67 ± 1.76 、 69.79 ± 1.96 、 83.8 ± 6.04 及 $96.35 \pm 1.15\%$ 之藥害嚴重度，而 9,800 mg/L 則分別造成 56.22 ± 3.78 、 91.11 ± 3.38 、 96.69 ± 2.16 及 100% 之藥害嚴重度 (表十八)。

施用脂肪酸鉀鹽 4,900 及 9,800 mg/L，玉荷包葉片、粉殼龍眼葉片及臺灣欖樹葉片於施藥後 14 天則皆沒有發現明顯藥害情形。

施用脂肪酸鉀鹽 4,900 及 9,800 mg/L 對龍眼果實造成藥害之結果如表十九及圖二十一，施藥後分別有 11.71 ± 2.12 及 $20.9 \pm 4.59\%$ 之藥害發生率。

第五章 討論



本論文以目前核准於荔枝椿象防治之亞滅培 50 ppm 進行荔枝椿象盆栽藥效試驗，施藥 7 天後對荔枝椿象一齡若蟲防治率為 $93.44 \pm 2.61\%$ 對荔枝椿象可有效防治。以亞滅培 50 ppm 濃度對比「荔枝椿象對化學藥劑 48 小時的半致死濃度」的「藥效因子 (efficacy factor)」如表二十，亞滅培藥效因子遠低於其他三個成分，為化學殺蟲劑中最低的，由此推測本論文測試的其他三個有效成分「賽洛寧、第滅寧及芬殺松」現行登記濃度對荔枝椿象應亦具有防治效果。

芬殺松的荔枝椿象一齡若蟲藥效因子最高，為 506，高於亞滅培約 87 倍，藥效因子第二高的化學殺蟲劑有效成分為第滅寧，為 476，次低的為 118 的賽洛寧。荔枝椿象成蟲藥效因子由低到高為亞滅培、賽洛寧、第滅寧、及芬殺松，分別為 0.12、0.16、0.43 及 15.2，數值排列順序與一齡若蟲一致，其中芬殺松高於第滅寧約 35 倍。另外，因為亞滅培為系統性的殺蟲劑 (Takahashi *et al.*, 1992)，因此局部滴定法之施藥方式較無法展現藥效，由亞滅培盆栽藥效試驗結果可觀察到，藥效隨著時間提升，顯示具系統性之亞滅培於施藥 7 天後仍可達九成以上之防治效果。


根據前人試驗，施用 6.25~8.33 ppm 賽洛寧 7 天後，對荔枝椿象若蟲及成蟲有 88.79~98.80% 的防治率 (陳等, 1989; 徐等, 2006)，對荔枝椿象四齡以下若蟲有 95.68~98.9% 的防治率 (蔡等, 1998; 林等, 2000; 黎等, 2015); 施用 6.25~10 ppm 第滅寧 7 天後，對荔枝椿象若蟲及成蟲有 93.33~100% 的防治率 (陳等, 1989; 徐等, 2006)，對荔枝椿象四齡以下若蟲有 91.14~93.6% 的防治率，對荔枝椿象成蟲有 98.8% 的防治率 (佔等, 1997; 林等, 2000; 黎等, 2015); 前人試驗雖未研究芬殺松對荔枝椿象防治效果，但許多試驗指出，同為有機磷劑的三氯松防治率為 84.94~100% (趙等, 1964; 蔡等, 1998; 吳等, 2013); 施用 25 ppm 亞滅培 7 天後對荔枝椿象三及四齡若蟲有 87.59% 的防治率 (黎等, 2015)。由本論文之研究結果、藥效因子及前人研究推測，目前核准於荔枝及龍眼的荔枝椿象防治化學藥劑賽洛寧 14 ppm 濃度及亞滅培 50 ppm 濃度對荔枝椿象具有良好防治效果；此外，核准於荔枝及龍眼卻沒推薦防治荔枝椿象的化學藥劑第滅寧 18 ppm 濃度及芬殺松 500 ppm 濃度，對荔枝椿象亦具有防治效果。因此，進行的化學防

治時，我國核准之賽洛寧 14 ppm 濃度、第滅寧 18 ppm 濃度、芬殺松 500 ppm 濃度及亞滅培 50 ppm 濃度應可作為輪替使用的選項之一，但要避免於開花期施用賽洛寧、第滅寧及芬殺松，以免傷害到來訪花之蜜蜂。

化學防治除了要注意影響到蜜蜂以外，還需要注意對平腹小蜂的危害。本論文研究結果指出一齡荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培之 24 及 48 小時 LD₅₀ 及 LD₉₀ 比毒因子皆大於一，顯示該供試之化學殺蟲劑對平腹小蜂的風險較高。前人研究亦指出化學殺蟲劑可能會造成平腹小蜂死亡、壽命變短或寄生率降低等負面影響 (黃等, 1992; 鄭與謝, 2005)。前人以藥膜法施用賽洛寧及第滅寧 12.5 ppm, 平腹小蜂 (*A. japonicus* Ashmead) 曝露後 96 小時後, 賽洛寧處理組死亡率高於第滅寧處理組 (鄭與謝, 2005)。苗栗區農業改良場專訊研究指出, 賽洛寧及第滅寧, 分別需要於施藥後 28 及 14 天後, 其殘留毒對平腹小蜂造成的死亡率才會降至小於 25% (吳等, 2019)。但本論文中發現平腹小蜂對第滅寧的半致死劑量較賽洛寧低, 也就是小蜂對第滅寧感受性較高。賽洛寧消散性較第滅寧較慢 (European Commission, 2013, 2018), 推測可能是造成賽洛寧殘留毒性較長的原因。

在為了保護蜜蜂和平腹小蜂而禁止施用化學殺蟲劑的期間, 可以使用低風險防治資材如脂肪酸鉀鹽防治荔枝椿象若蟲。本論文亦發現脂肪酸鉀鹽 9,800 濃度對三齡以下荔枝椿象若蟲防治效果良好。雖然浸漬法生物檢定中, 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象三齡若蟲 48 小時 90% 致死濃度為 1,197 ppm, 但脂肪酸鉀鹽 4,900 濃度盆栽藥效試驗中防治率卻僅有 $33.92 \pm 2.28\%$, 推測是兩種實驗暴露的方式不一樣所導致的。浸漬法的施藥方式, 會使得荔枝椿象完全暴露於脂肪酸鉀鹽稀釋液中, 而盆栽藥效試驗的荔枝椿象因棲息於枝葉上, 藥液較難觸及荔枝椿象腹面的氣孔, 亦有藏匿於葉背的荔枝椿象不容易接觸到藥液。因此, 田間施藥應盡可能將脂肪酸鉀鹽藥液均勻的噴至若蟲腹面, 使藥液得以堵住若蟲氣孔致死, 進而達到防治效果。盆栽藥效試驗結果顯示, 9,800 ppm 的脂肪酸鉀鹽對三齡以下的荔枝椿象若蟲有八成以上的防治率, 對於五齡若蟲有六成左右的防治率, 而對一齡荔枝椿象若蟲, 僅以 4,900 ppm 的脂肪酸鉀鹽即可達到八成左右的防治率。

脂肪酸鉀鹽浸漬法生物檢定實驗以及盆栽藥效試驗結果皆顯示, 隨著荔枝椿象齡期提升, 脂肪酸鉀鹽對荔枝椿象半致死濃度會提升, 與齡期成正比。推測脂



肪酸鉀鹽防治害蟲時，當蟲體有較大的體型及較厚的外骨骼，會造成脂肪酸鉀鹽更難造成氣孔阻塞及破壞外骨骼，因而需要較高濃度的脂肪酸鉀鹽來進行防治。荔枝椿象成蟲身長約 24~28 mm，而一齡若蟲平均身長僅 5 mm (洪，2006)，差距約五倍，其成蟲及一齡若蟲之 LC₅₀ 比值則達 15 倍。本實驗結果顯示荔枝椿象成蟲 LC₉₀ 為 21,610 ppm，前人以 19,600 ppm 脂肪酸鉀鹽浸漬法對褐翅椿象 (*Halyomorpha halys* (Stål)) 成蟲施藥，僅有 73 ± 3% 的死亡率 (Morehead and Kuhar, 2017)。褐翅椿象成蟲亦非屬小型昆蟲，身長約 12~17 mm (Hoebeke and Carter, 2003)。除研究之荔枝椿象若蟲外，前人研究亦顯示脂肪酸鉀鹽 9,800 ppm 對於多種體型較小的昆蟲及害蟎有防治效果，如粉蝨、蚜蟲、柑桔木蝨、介殼蟲及葉蟎等 (Butler *et al.*, 1993; Miller and Uetz, 1998; Hall and Richardson, 2013)。但體型較大的害蟲如荔枝椿象成蟲及褐翅椿象成蟲恐怕就需要更高的濃度來進行防治，此外，荔枝椿象成蟲常因受驚擾，而飛行逃離，實務上，脂肪酸鉀鹽這類觸殺型防治資材恐怕無法有效的覆蓋於荔枝椿象成蟲蟲體。因此，基於脂肪酸鉀鹽本身特性、登記濃度及荔枝椿象成蟲習性，田間應用上，脂肪酸鉀鹽應不適合防治荔枝椿象成蟲，只適合若蟲的防治。

脂肪酸鉀鹽對一到三齡荔枝椿象若蟲與小蜂 LC₅₀ 毒性因子皆小於 1，相較於賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培，脂肪酸鉀鹽對平腹小蜂較安全，此與前人研究中，指出脂肪酸鉀鹽相較於除蟲菊類殺蟲劑，對天敵的毒性相對較低一致 (Karagounis *et al.*, 2006; Kraiss and Cullen, 2008; Tsolakis and Ragusa, 2008; Jansen *et al.*, 2010)。雖然脂肪酸鉀鹽對平腹小蜂的毒性相較其他化學藥劑來的低，但本論文發現脂肪酸鉀鹽對雌平腹小蜂的 48 小時半致死濃度 2,500 ppm 仍低於目前標向上推薦於各種害蟲防治的兩個濃度 4,900 及 9,800 ppm，因此施藥時若噴施到平腹小蜂，仍可能造成平腹小蜂的死亡。前人以脂肪酸鉀鹽 9,800 ppm 直接噴施柑橘木蝨天敵捕食性天敵 *Cycloneda sanguinea* (L.) 僅造成 15 ± 5% 的死亡，且與空白處理組無顯著差異 ($p < 0.05$)，但對亮腹絨小蜂 (*Tamarixia radiata* (Waterston)) 卻造成 86 ± 9% 死亡 (Hall and Richardson, 2013)。因此，施用脂肪酸鉀鹽時，最好能夠針對荔枝椿象聚集之處噴施，以降低平腹小蜂暴露於脂肪酸鉀鹽的風險，也避免脂肪酸鉀鹽未觸及到荔枝椿象而造成浪費。另外，因為化學殺蟲劑具有殘效，施藥 14~42 天內可能對平腹小蜂造成 25% 以上的死亡 (吳等，2019)，但脂

肪酸鉀鹽於噴施後，藥液乾燥後幾乎不具藥效，因此，平腹小蜂並不會反覆暴露於脂肪酸鉀鹽中，相較化學殺蟲劑而言，脂肪酸鉀鹽仍屬於低風險資材。

本論文發現 4,900 及 9,800 ppm 脂肪酸鉀鹽都會使玉荷包荔枝的花造成嚴重藥害，對龍眼果實亦造成一至二成的藥害率，前人研究亦指出，脂肪酸鉀鹽施用於作物上時，可能會破壞作物表面的蠟質，進而造成藥害，尤其是作物較敏感部位，例如嫩芽、幼葉及花的結論相同 (Miller and Uetz, 1998)。本論文並未發現脂肪酸鉀鹽對荔枝、龍眼或臺灣欒樹的葉片會造成可見藥害，因此，針對荔枝椿象仍建議以局部噴施的方式施用脂肪酸鉀鹽於上述樹種，但要避免噴到花穗。

雖然以脂肪酸鉀鹽當作荔枝椿象防治工具有其限制性，但綜合脂肪酸鉀鹽的安全性、環境友善性、對非目標生物、蜜蜂及平腹小蜂較低風險，仍為值得研究及推廣的資材。且害物整合管理 (integrated pest management, IPM) 強調的不是過度依賴單一防治手段，而是需要應運用各種可能的工具，整合出一整套管理系統去完成害物管理的工作。

對於專業種植的龍眼及荔枝園，我們建議在春天時，於花期前可以施用目前核准於荔枝及龍眼之賽洛寧 14 ppm 濃度、第滅寧 18 ppm 濃度、芬殺松 500 ppm 濃度及亞滅培 50 ppm 濃度防治越冬成蟲。並於產卵期開始施放平腹小蜂，並停止化學防治，同時可以針對聚集於葉部之荔枝椿象若蟲局部噴施，避免傷害到花器及幼果，並配合物理防治及田間衛生，進而降低對化學殺蟲劑的依賴，更可以降低對蜜蜂及平腹小蜂的風險。對於行道樹、校園及社區種植之荔枝、龍眼及臺灣欒樹等不適合進行化學防治的區域，可以施用脂肪酸鉀鹽 4,900 至 9,800 ppm 濃度，並配合物理防治及施放平腹小蜂來進行防治。

表一、一齡荔枝椿象若蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的感受性



Table 1. The susceptibility of *Tessaratoma papillosa* first-instar nymph to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 24 hrs post-treatment

| Insecticide | LD ₅₀ (ng/insect) 95% FL* | LD ₉₀ (ng/insect) 95% FL* | Slop (SE) | χ^2 | DF** |
|--------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------|----------|------|
| Lambda-cyhalothrin | 0.1282 c (0.1132-0.1484) | 0.2932 c (0.2310-0.4410) | 3.56 (0.52) | 1.45 | 3 |
| Deltamethrin | 0.0442 c (0.0294-0.0652) | 0.1306 c (0.0836-0.3478) | 2.72 (0.31) | 4.36 | 3 |
| Fenthion | 1.112 b (0.9734-1.282) | 1.715 b (1.451-2.347) | 6.81 (0.79) | 3.04 | 3 |
| Acetamiprid | 10.26 a (8.674-12.17) | 33.34 a (23.92-63.46) | 2.50 (0.43) | 2.39 | 3 |

LD₅₀ (or LD₉₀) values within each column followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction.

*95% FL, 95% fiducial limits.

**Degree of freedom.

表二、一齡荔枝椿象若蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的感受性



Table 2. The susceptibility of *Tessaratoma papillosa* first-instar nymph to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 48 hrs post-treatment

| Insecticide | LD ₅₀ (ng/insect) 95% FL * | LD ₉₀ (ng/insect) 95% FL * | Slop (SE) | χ^2 | DF** |
|--------------------|------------------------------------------|------------------------------------------|----------------|----------|------|
| Lambda-cyhalothrin | 0.1186 c (0.1052-0.1352) | 0.2614 c (0.2110-0.3722) | 3.73 (0.52) | 0.91 | 3 |
| Deltamethrin | 0.0392 d (0.2320-0.0602) | 0.1140 c (0.0714-0.366) | 2.75 (0.34) | 5.10 | 3 |
| Fenthion | 0.9876 b (0.9090-1.072) | 1.567 b (1.401-1.839) | 6.38 (0.72) | 1.33 | 3 |
| Acetamiprid | 8.556 a (7.106-9.964) | 25.96 a (19.73-43.26) | 2.65 (0.44) | 1.37 | 3 |

LD₅₀ (or LD₉₀) values within each column followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction.

*95% FL, 95% fiducial limits.

**Degree of freedom.

表三、荔枝椿象成蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的感受性



Table 3. The susceptibility of *Tessaratoma papillosa* adult to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 24 hrs post-treatment

| Insecticide | LD ₅₀ (ng/insect) 95% FL* | LD ₉₀ (ng/insect) 95% FL* | Slop (SE) | χ^2 | DF** |
|--------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------|----------|------|
| Lambda-cyhalothrin | 105.4 b (95.18-116.7) | 173.7 c (151.6-214) | 5.90 (0.78) | 0.55 | 3 |
| Deltamethrin | 48.56 c (36.20-71.98) | 246.9 b (140.2-716.4) | 1.82 (0.30) | 2.11 | 3 |
| Fenthion | 34.90 c (30.36-40.12) | 72.52 d (58.14-110.8) | 4.03 (0.72) | 0.24 | 3 |
| Acetamiprid | 596.8 a (265.2-1,288) | 2,564 a (1,217-62,440) | 2.02 (0.35) | 4.37 | 3 |

LD₅₀ (or LD₉₀) values within each column followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction.

*95% FL, 95% fiducial limits.

**Degree of freedom.

表四、荔枝椿象成蟲對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的感受性



Table 4. The susceptibility of *Tessaratoma papillosa* adult to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 48 hrs post-treatment

| Insecticide | LD ₅₀ (ng/insect) 95% FL* | LD ₉₀ (ng/insect) 95% FL* | Slop (SE) | χ^2 | DF** |
|--------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------------|----------------|----------|------|
| Lambda-cyhalothrin | 86.7 b (78.36-95.38) | 136.6 c (120.8-164.8) | 6.49 (0.89) | 1.54 | 3 |
| Deltamethrin | 43.36 c (26.22-89.94) | 229.3 b (104.3-2,270) | 1.77 (0.29) | 3.14 | 3 |
| Fenthion | 32.92 c (28.06-37.68) | 63.04 d (51.90-92.04) | 4.54 (0.86) | 0.29 | 3 |
| Acetamiprid | 420.2 a (287.4-597.2) | 2,150 a (1,343-5,276) | 1.81 (0.33) | 2.89 | 3 |

LD₅₀ (or LD₉₀) values within each column followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction.

*95% FL, 95% fiducial limits.

**Degree of freedom.

表五、平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 24 小時的感受性

Table 5. The susceptibility of *Anastatus formosanus* to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 24 hrs post-treatment

| Insecticide | LD ₅₀ (ng/wasp) 95% FL* | LD ₉₀ (ng/wasp) 95% FL* | Slop (SE) | χ^2 | DF** |
|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------|----------|------|
| Lambda-cyhalothrin | 0.0574 b (0.0484-0.068) | 0.2254 b (0.1712-0.3326) | 2.16 (0.22) | 1.79 | 3 |
| Deltamethrin | 0.0318 c (0.0268-0.0372) | 0.1090 c (0.086-0.1516) | 2.39 (0.25) | 2.09 | 3 |
| Fenthion | 0.8816 a (0.7348-1.038) | 1.644 a (1.329-2.52) | 4.73 (0.47) | 4.76 | 3 |
| Acetamiprid | 0.0734 b (0.0628-0.0856) | 0.2160 b (0.1720-0.2984) | 2.74 (0.29) | 0.82 | 3 |


LD₅₀ (or LD₉₀) values within each column followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction.

*95% FL, 95% fiducial limits.

**Degree of freedom.

表六、平腹小蜂對賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培測試後 48 小時的感受性

Table 6. The susceptibility of *Anastatus formosanus* to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 48 hrs post-treatment



| Insecticide | LD ₅₀ (ng/wasp) 95% FL* | LD ₉₀ (ng/wasp) 95% FL* | Slop (SE) | χ^2 | DF** |
|--------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------------|----------|------|
| Lambda-cyhalothrin | 0.0476 bc (0.0390-0.0572) | 0.1978 b (0.1486-0.3008) | 2.07 (0.24) | 2.15 | 3 |
| Deltamethrin | 0.0298 c (0.0250-0.0348) | 0.0976 c (0.0778-0.1340) | 2.48 (0.26) | 1.68 | 3 |
| Fenthion | 0.8268 a (0.7594-0.8936) | 1.519 a (1.357-1.776) | 4.85 (0.49) | 2.90 | 3 |
| Acetamiprid | 0.0540 b (0.0442-0.065) | 0.2070 b (0.1564-0.3126) | 2.20 (0.26) | 1.15 | 3 |

LD₅₀ (or LD₉₀) values within each column followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction.

*95% FL, 95% fiducial limits.

**Degree of freedom.

表七、一齡荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對化學藥劑的 24 小時 LD₅₀ 毒性因子



Table 7. The toxicity factor of *Tessaratoma papillosa* to *Anastatus formosanus* to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid (LD₅₀) at 24 hrs post-treatment

| Test stage | Toxicity factor (24 hrs LD ₅₀ of insect/24 hrs LD ₅₀ of parasitoid) | | | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|-------------|
| | Lambda-cyhalothrin | Deltamethrin | Fenthion | Acetamiprid |
| first-instar | | | | |
| nymph | 2.233 | 1.389 | 1.261 | 139.7 |
| adult | 1,821 | 1,527 | 39.58 | 8,130 |

表八、一齡荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對化學藥劑的 48 小時 LD₅₀ 毒性因子



Table 8. The toxicity factor of *Tessaratoma papillosa* to *Anastatus formosanus* to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid (LD₅₀) at 48 hrs post-treatment

| Test stage | Toxicity factor (48 hrs LD ₅₀ of insect/48 hrs LD ₅₀ of parasitoid) | | | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|-------------|
| | Lambda-cyhalothrin | Deltamethrin | Fenthion | Acetamiprid |
| first-instar | 2.491 | 1.315 | 1.194 | 158.4 |
| nymph | | | | |
| adult | 1,821 | 1,455 | 39.81 | 7,781 |

表九、一齡荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對化學藥劑的 24 小時 LD₉₀ 毒性因子



Table 9. The toxicity factor of *Tessaratoma papillosa* to *Anastatus formosanus* to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid (LD₉₀) at 24 hrs post-treatment

| Test insect | Toxicity factor (24 hrs LD ₉₀ of insect/24 hrs LD ₉₀ of parasitoid) | | | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|-------------|
| | Lambda-cyhalothrin | Deltamethrin | Fenthion | Acetamiprid |
| first-instar | | | | |
| nymph | 1.320 | 1.198 | 1.043 | 154.3 |
| adult | 770.6 | 2,265 | 44.11 | 11,870 |

表十、一齡荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對化學藥劑的 48 小時 LD₉₀ 毒性因子



Table 10. The toxicity factor of *Tessaratoma papillosa* to *Anastatus formosanus* to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid (LD₉₀) at 48 hrs post-treatment

| Test insect | Toxicity factor (48 hrs LD ₉₀ of insect/48 hrs LD ₉₀ of parasitoid) | | | |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|-------------|
| | Lambda-cyhalothrin | Deltamethrin | Fenthion | Acetamiprid |
| first-instar | | | | |
| nymph | 1.321 | 1.168 | 1.031 | 125.4 |
| adult | 690.5 | 2,349 | 41.50 | 10,390 |

表十一、苦楝油、礦物油及脂肪酸鉀鹽對一齡荔枝椿象若蟲藥效在施藥後 24 小時及 48 小時後的觀察

Table 11. The efficacy of neem oil, mineral oil and potassium salt of fatty acid against *Tessaratoma papillosa* first-instar nymph at 24 and 48 hrs post-treatment

| Active ingredient | Concentration (ppm) | Mortality (%) | |
|-------------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| | | 24 hrs | 48 hrs |
| tap water | - | 0.00 ± 0.00 a | 0.00 ± 0.00 a |
| neem oil | 4,750 | 21.67 ± 7.64 c | 26.67 ± 2.89 c |
| mineral oil | 6,270 | 8.33 ± 5.77 b | 11.67 ± 7.64 b |
| FAPS* | 4,900 | 100.00 ± 0.00 d | 100.00 ± 0.00 d |
| FAPS* | 9,800 | 100.00 ± 0.00 d | 100.00 ± 0.00 d |

Mortality values followed by the different letter(s) are significantly different (univariate analysis of variance, UNIANOVA; $P < 0.05$).

*FAPS: the abbreviation of potassium salts of fatty acids.

表十二、脂肪酸鉀鹽對一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂測試後 24 小時的感受性



Table 12. The susceptibility of various stages of *Tessaratomia papillosa* and *Anastatus formosanus* to potassium salt of fatty acid at 24 hrs post-treatment

| Test insect | LC ₅₀ (mg/L) 95% FL* | LC ₉₀ (mg/L) 95% FL* | Slop (SE) | χ^2 | DF** |
|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|----------|------|
| <i>T. papillosa</i> first-instar nymph | 607.1 d (502.0-717.5) | 1,175 c (991.0-1,916) | 4.47 (0.56) | 3.18 | 3 |
| <i>T. papillosa</i> third-instar nymph | 719.3 c (653.9-802.4) | 1,232 c (1,044-1,648) | 5.48 (0.86) | 2.78 | 3 |
| <i>T. papillosa</i> adult | 9,328 a (7,876-10,760) | 23,800 a (18,460-39,140) | 3.15 (0.57) | 1.32 | 4 |
| <i>A. formosanus</i> | 2,583 b (2,241-2,946) | 7,849 b (6,481-10,150) | 2.66 (0.25) | 1.89 | 4 |

LC₅₀ (or LC₉₀) values within each column followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LC₅₀ ratio test with Bonferroni correction.

*95% FL, 95% fiducial limits.

**Degree of freedom.

表十三、脂肪酸鉀鹽對一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂測試後 48 小時的感受性



Table 13. The susceptibility of various stages of *Tessaratoma papillosa* and *Anastatus formosanus* to potassium salt of fatty acid at 48 hrs post-treatment

| Test insect | LC ₅₀ (mg/L) 95% FL* | LC ₉₀ (mg/L) 95% FL* | Slop (SE) | χ^2 | DF* |
|-------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------|----------|-----|
| <i>T. papillosa</i> first-instar nymph | 594.5 d (536.7-652.9) | 1,123 c (997.7-1,385) | 4.64 (0.57) | 2.79 | 3 |
| <i>T. papillosa</i> third-instar nymph | 665.1 c (594.8-744.4) | 1,197 c (1,003-1,669) | 5.02 (0.87) | 1.91 | 3 |
| <i>T. papillosa</i> adult | 9,015 a (7,563-10,360) | 21,610 a (17,170-33,660) | 3.37 (0.60) | 2.49 | 4 |
| <i>A. formosanus</i> | 2,500 b (2,154-2,852) | 7,266 b (6,009-9,298) | 2.78 (0.28) | 1.67 | 4 |

LC₅₀ (or LC₉₀) values within each column followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LC₅₀ ratio test with Bonferroni correction.

*95% FL, 95% fiducial limits.

*Degree of freedom.

表十四、荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對脂肪酸鉀鹽的 24 小時毒性因子

Table 14. The toxicity factor of *Tessaratomia papillosa* to *Anastatus formosanus* to potassium salt of fatty acid at 24 hrs post-treatment



| Test insect | Toxicity factor | |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| | LC ₅₀ of insect/LC ₅₀ of parasitoid | LC ₉₀ of insect/LC ₉₀ of parasitoid |
| <i>T. papillosa</i> first-instar nymph | 0.2350 | 0.1497 |
| <i>T. papillosa</i> third-instar nymph | 0.2784 | 0.1569 |
| <i>T. papillosa</i> adult | 3.611 | 3.032 |

表十五、荔枝椿象若蟲及成蟲相對於平腹小蜂對脂肪酸鉀鹽的 48 小時毒性因子

Table 15. The toxicity factor of *Tessaratomia papillosa* to *Anastatus formosanus* to potassium salt of fatty acid at 48 hrs post-treatment



| Test insect | Toxicity factor | |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| | LC ₅₀ of insect/LC ₅₀ of parasitoid | LC ₉₀ of insect/LC ₉₀ of parasitoid |
| <i>T. papillosa</i> first-instar nymph | 0.2426 | 0.1577 |
| <i>T. papillosa</i> third-instar nymph | 0.2660 | 0.1647 |
| <i>T. papillosa</i> adult | 3.606 | 2.974 |

表十六、在玉荷包荔枝盆栽測試脂肪酸鉀鹽對一、三、五齡荔枝椿象若蟲的防治效果



Table 16. Efficacy of potassium salt of fatty acid (FAPS) against *Tessaratoma papillosa* nymph on litchi

| Nymph stage | Mortality (%) (Mean \pm SD) * | |
|------------------------|---------------------------------|--------------------|
| | 4,900 mg/L | 9,800 mg/L |
| 1 st instar | 80.28 \pm 6.97 a | 88.97 \pm 2.17 a |
| 3 rd instar | 33.92 \pm 2.28 b | 80.06 \pm 7.18 a |
| 5 th instar | 11.68 \pm 4.93 c | 63.08 \pm 3.11 b |

Means within each column followed by the different letter(s) are significantly different (univariate analysis of variance, UNIANOVA; $P < 0.05$).

*Mortality at 3 days after application.

表十七、在玉荷包荔枝盆栽測試亞滅培對一齡荔枝椿象若蟲的防治效果

Table 17. Efficacy of acetamiprid against *Tessaratoma papillosa* first-instar nymph on litchi



| Treatment | 0 DAA* | | 1 DAA* | | 3 DAA* | | 7 DAA* | |
|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--|
| | No. of nymph | No. of nymph | Efficacy (%) | No. of nymph | Efficacy (%) | No. of nymph | Efficacy (%) | |
| Acetamiprid 50 mg/L | 21.00 ± 1.41 a | 5.33 ± 2.50 b | 73.35 ± 13.27 | 2.67 ± 1.70 b | 86.67 ± 8.85 | 1.33 ± 0.47 b | 93.44 ± 2.61 | |
| CK | 21.00 ± 2.16 a | 20.67 ± 2.36 a | - | 20.67 ± 2.36 a | - | 20.33 ± 1.89 a | - | |

Means followed by the different letter(s) are significantly different (*t*-test; $P < 0.05$).

*Day(s) after application.

表十八、脂肪酸鉀鹽對玉荷包荔枝花穗藥害情形



Table 18. Phytotoxicity of potassium salt of fatty acid (FAPS) to the flowers of litchi

| Day(s) after application | Phytotoxicity severity (%) (Mean \pm SD) | |
|--------------------------|--------------------------------------------|---------------------|
| | 4,900 mg/L | 9,800 mg/L |
| 0 | 0.00 \pm 0.00 a | 0.00 \pm 0.00 a |
| 3 | 50.67 \pm 1.76 b | 56.22 \pm 3.78 b |
| 5 | 69.79 \pm 1.96 c | 91.11 \pm 3.38 c |
| 7 | 83.80 \pm 6.04 d | 96.69 \pm 2.16 d |
| 14 | 96.35 \pm 1.15 d | 100.00 \pm 0.00 d |

Means within each column followed by the different letter(s) are significantly different (Generalized linear model, GLM; $P < 0.05$).

N = 97-308.

表十九、脂肪酸鉀鹽對龍眼果實藥害情形

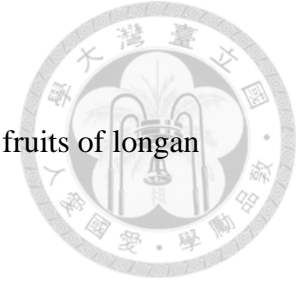


Table 19. Phytotoxicity of potassium salt of fatty acid (FAPS) to the fruits of longan

| Day(s) after application | Phytotoxicity severity (%) (Mean \pm SD) | |
|--------------------------|--------------------------------------------|--------------------|
| | 4,900 mg/L | 9,800 mg/L |
| 0 | 0.00 \pm 0.00 a | 0.00 \pm 0.00 a |
| 3 | 11.71 \pm 2.12 b | 20.90 \pm 4.59 b |
| 5 | 11.71 \pm 2.12 b | 20.90 \pm 4.59 b |
| 7 | 11.71 \pm 2.12 b | 20.90 \pm 4.59 b |
| 14 | 11.71 \pm 2.12 b | 20.90 \pm 4.59 b |

Means within each column followed by the different letter(s) are significantly different (*t*-test; $P < 0.05$).

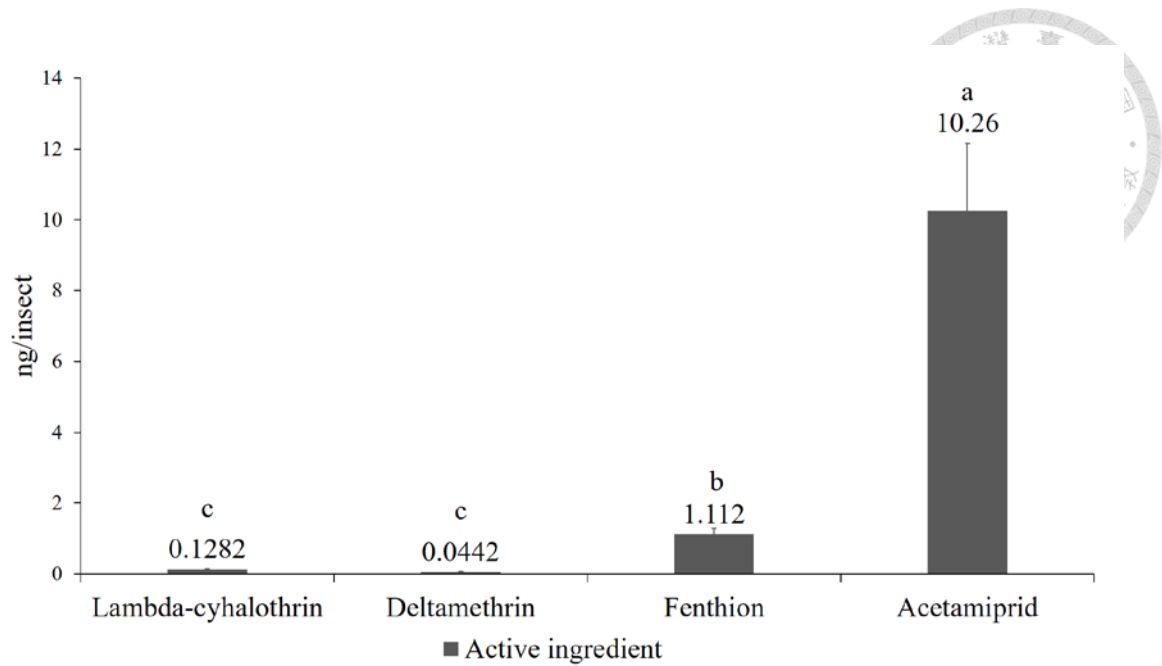
N = 11-21.

表二十、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培核准濃度對荔枝椿象一齡若蟲及成蟲的藥效因子



Table 20. Efficacy factor of recommended concentration to 48 hrs LD₅₀ of *Tessaratoma papillosa* first instar nymph and adult

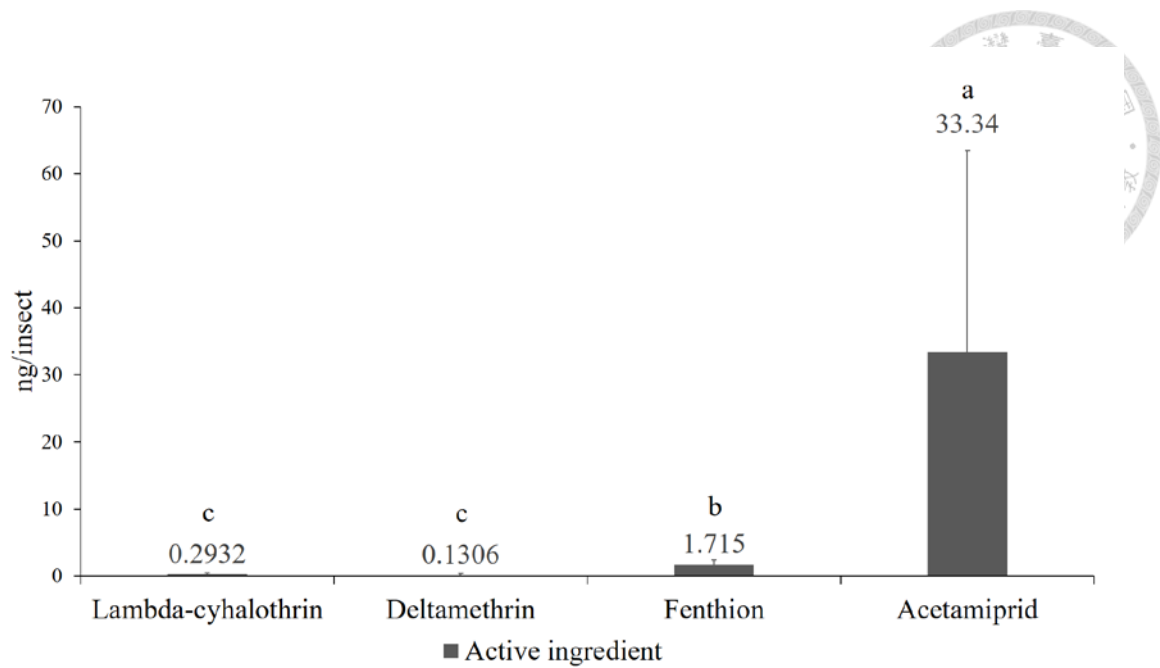
| Test stage | Efficacy factor (Recommended concentration/LD ₅₀ of insect) | | | |
|--------------|------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|-------------|
| | Lambda-cyhalothrin | Deltamethrin | Fenthion | Acetamiprid |
| first instar | 118 | 476 | 506 | 5.8 |
| nymph | | | | |
| adult | 0.16 | 0.43 | 15.2 | 0.12 |



圖一、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對一齡荔枝椿象若蟲測試後 24 小時的 LD₅₀

Figure 1. LD₅₀ of *Tessaratomia papillosa* first-instar nymph to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 24 hrs post-treatment.

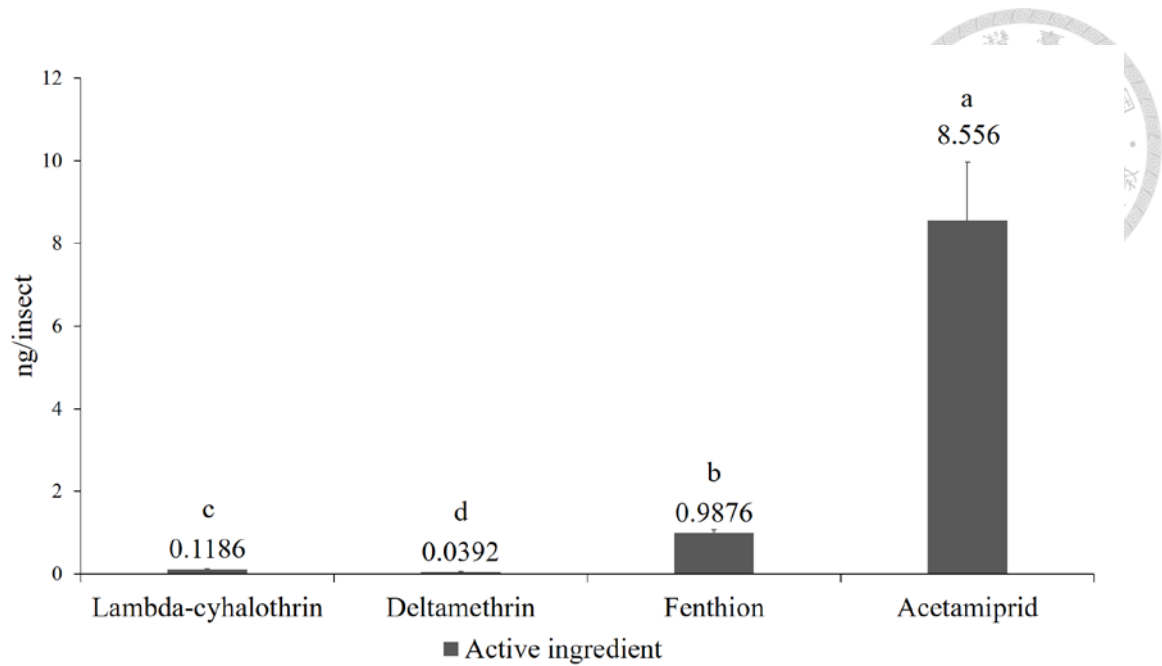
LD₅₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖二、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對一齡荔枝椿象若蟲測試後 24 小時的 LD₉₀

Figure 2. LD₉₀ of *Tessarotoma papillosa* first-instar nymph to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 24 hrs post-treatment.

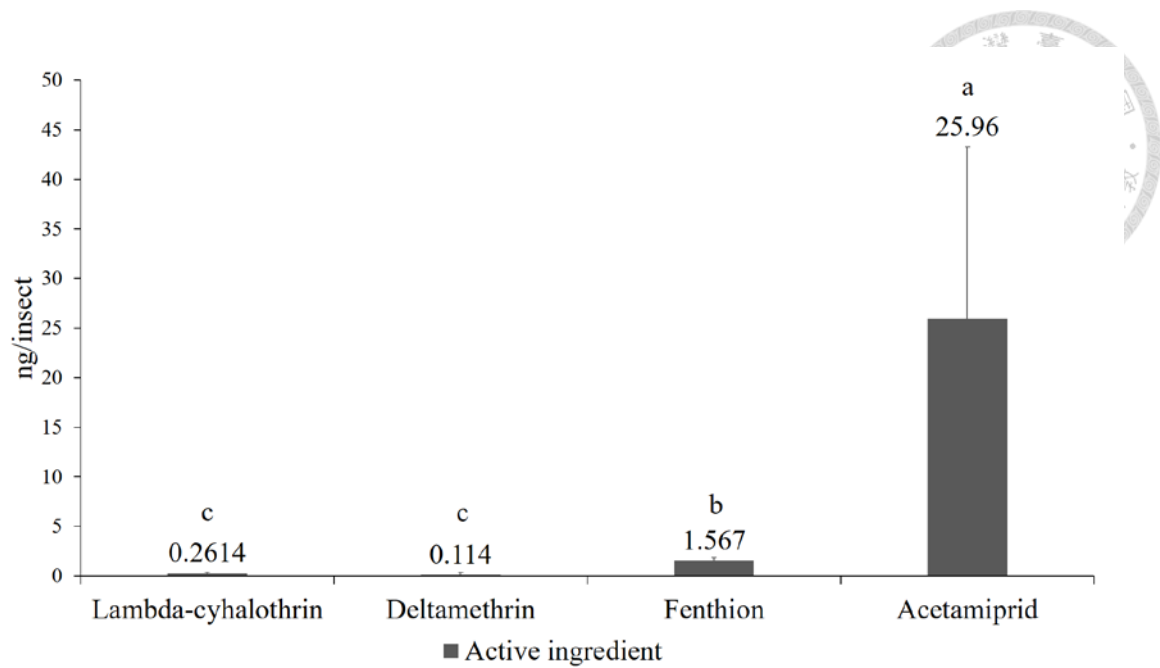
LD₉₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₉₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖三、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對一齡荔枝椿象若蟲測試後 48 小時的 LD₅₀

Figure 3. LD₅₀ of *Tessaratoma papillosa* first-instar nymph to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 48 hrs post-treatment.

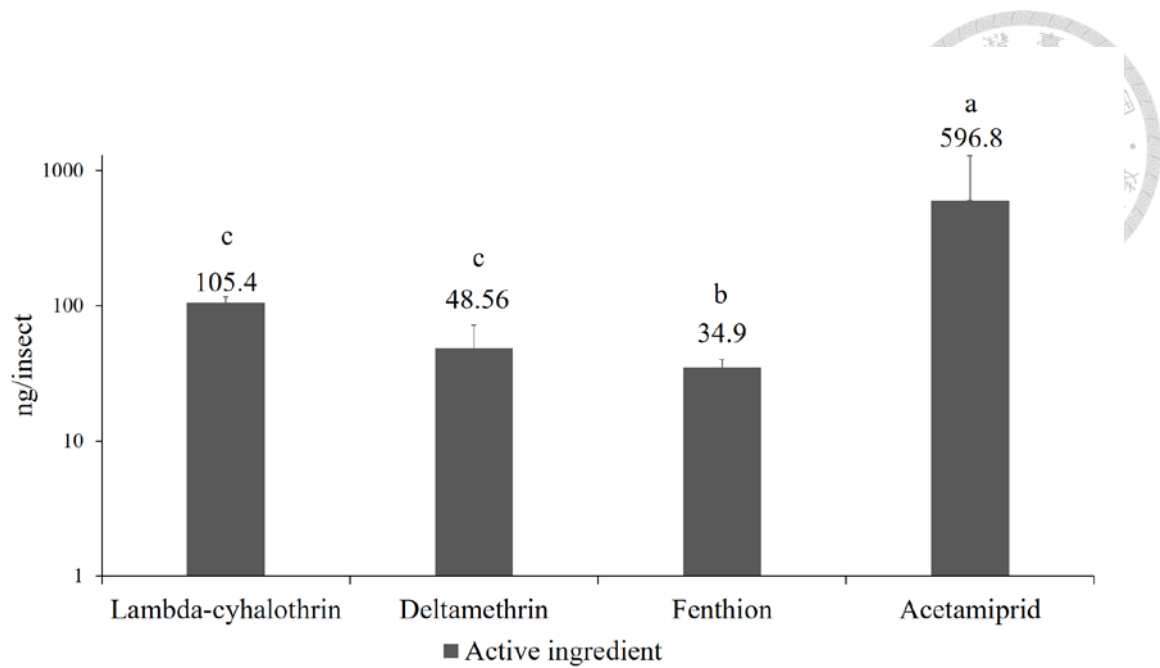
LD₅₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial upper limits of the mean.



圖四、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對一齡荔枝椿象若蟲測試後 48 小時的 LD₉₀

Figure 4. LD₉₀ of *Tessaratoma papillosa* first-instar nymph to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 48 hrs post-treatment.

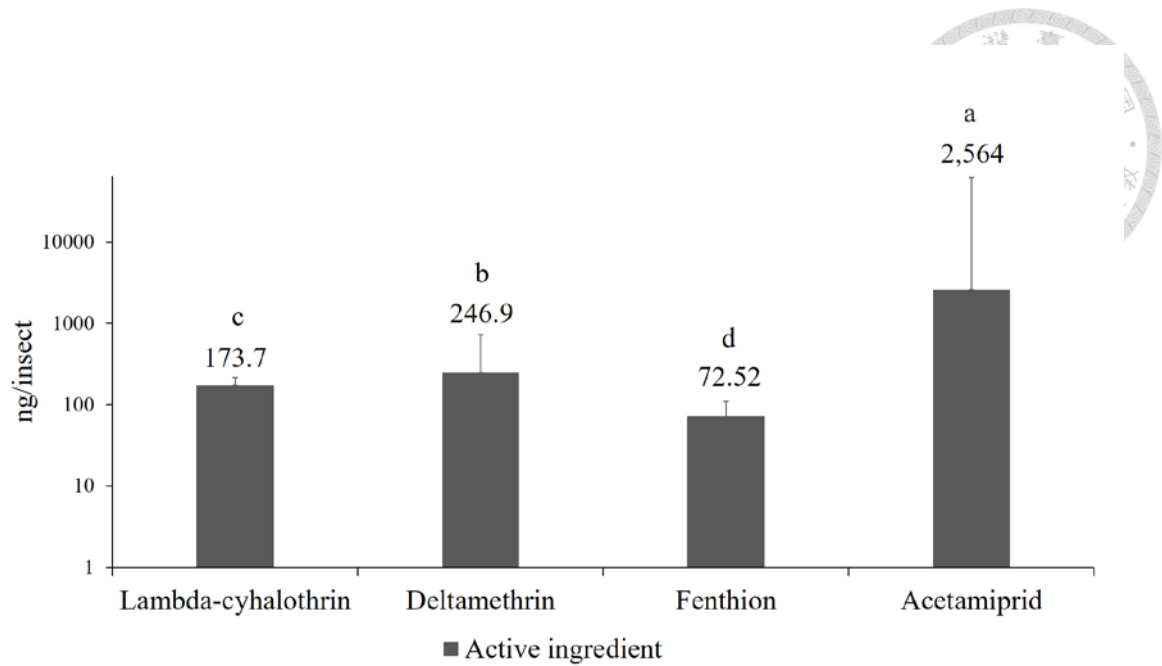
LD₉₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₉₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖五、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對荔枝椿象成蟲測試後 24 小時的 LD₅₀

Figure 5. LD₅₀ of *Tessaratoma papillosa* adult to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 24 hrs post-treatment.

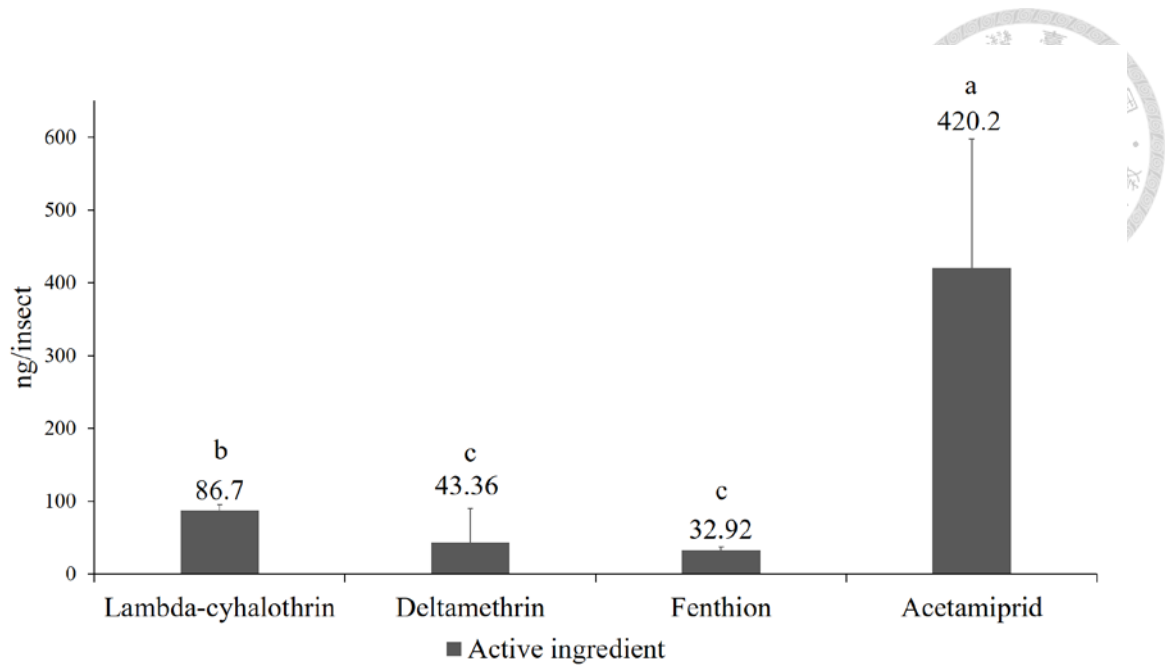
LD₅₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖六、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對荔枝椿象成蟲測試後 24 小時的 LD₉₀

Figure 6. LD₉₀ of *Tessaratoma papillosa* adult to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 24 hrs post-treatment.

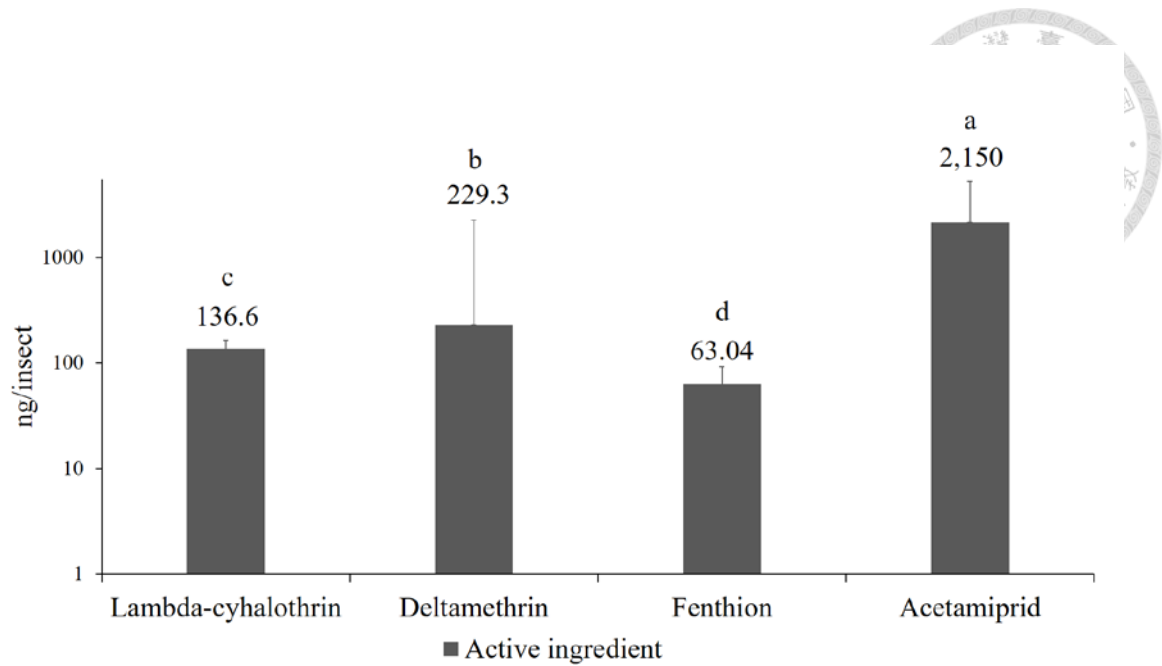
LD₉₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₉₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖七、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對荔枝椿象成蟲測試後 48 小時的 LD₅₀

Figure 7. LD₅₀ of *Tessarotoma papillosa* adult nymph to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 48 hrs post-treatment.

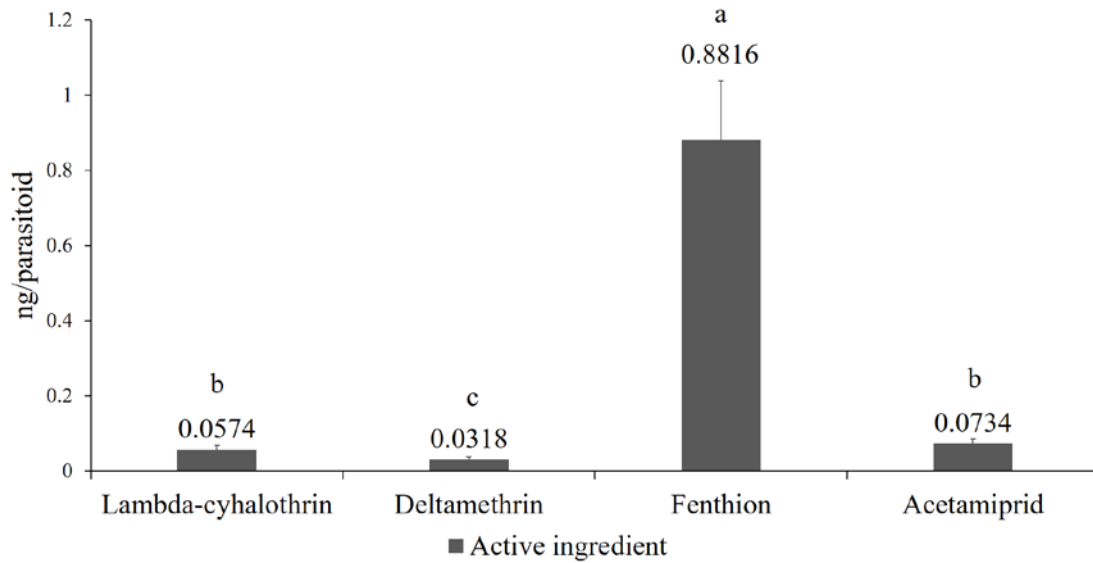
LD₉₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖八、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對荔枝椿象成蟲測試後 48 小時的 LD₉₀

Figure 8. LD₉₀ of *Tessaratoma papillosa* adult nymph to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 48 hrs post-treatment.

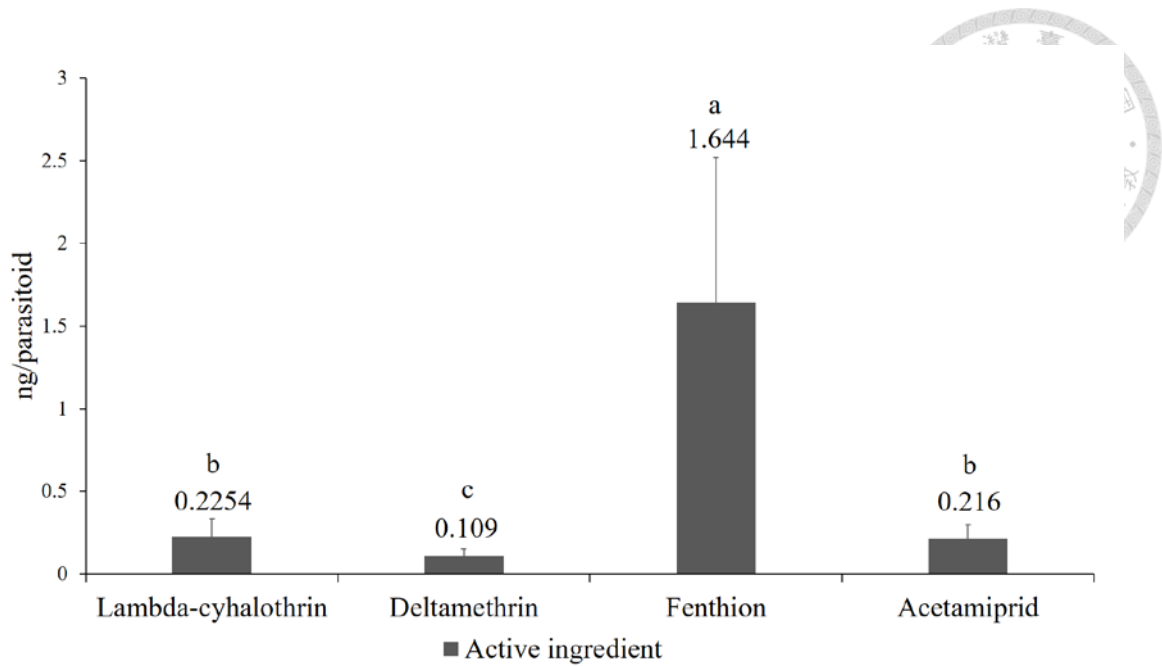
LD₉₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₉₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖九、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對平腹小蜂測試後 24 小時的 LD₅₀

Figure 9. LD₅₀ of *Anastatus formosanus* to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 24 hrs post-treatment.

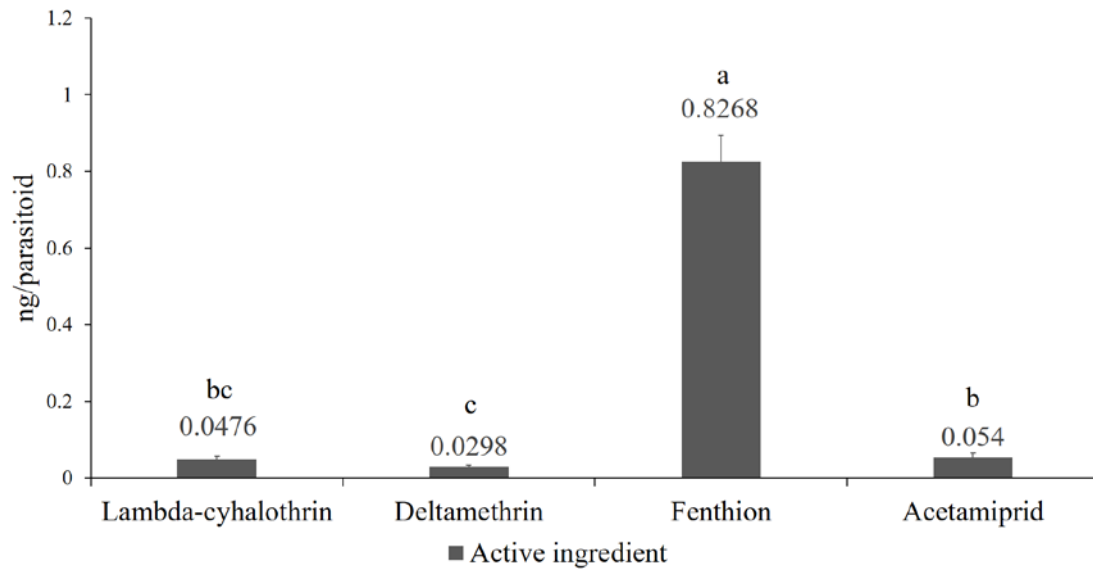
LD₅₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖十、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對平腹小蜂測試後 24 小時的 LD₉₀

Figure 10. LD₉₀ of *Anastatus formosanus* to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 24 hrs post-treatment.

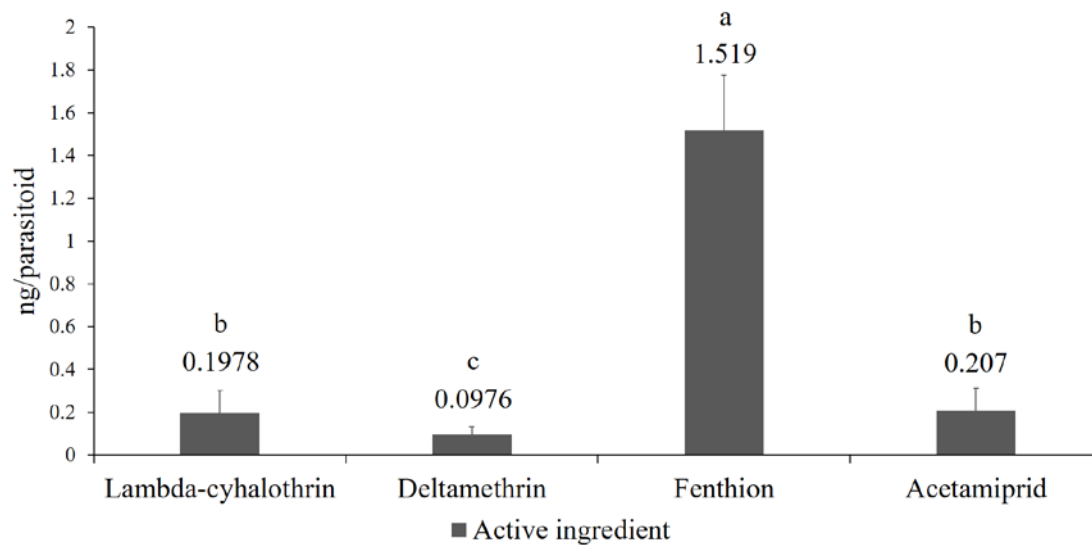
LD₅₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₉₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖十一、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對平腹小蜂測試後 48 小時的 LD₅₀

Figure 11. LD₅₀ of *Anastatus formosanus* to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 48 hrs post-treatment.

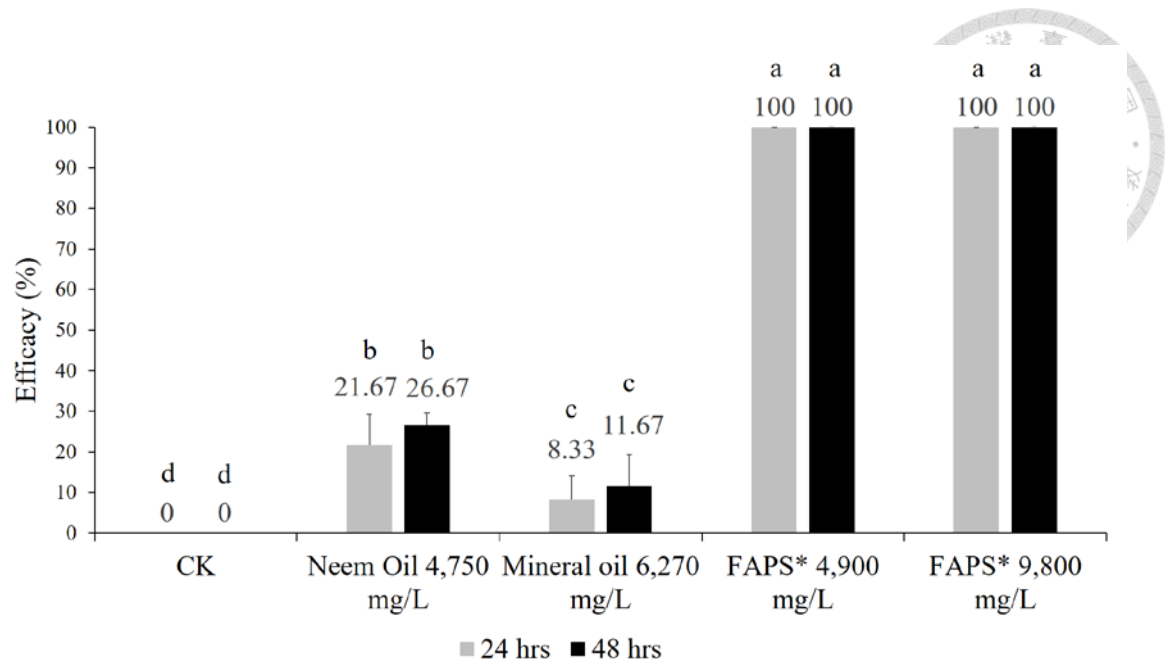
LD₅₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₅₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖十二、賽洛寧、第滅寧、芬殺松及亞滅培對平腹小蜂測試後 48 小時的 LD₉₀

Figure 12. LD₉₀ of *Anastatus formosanus* to lambda-cyhalothrin, deltamethrin, fenthion and acetamiprid at 48 hrs post-treatment.

LD₉₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LD₉₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.

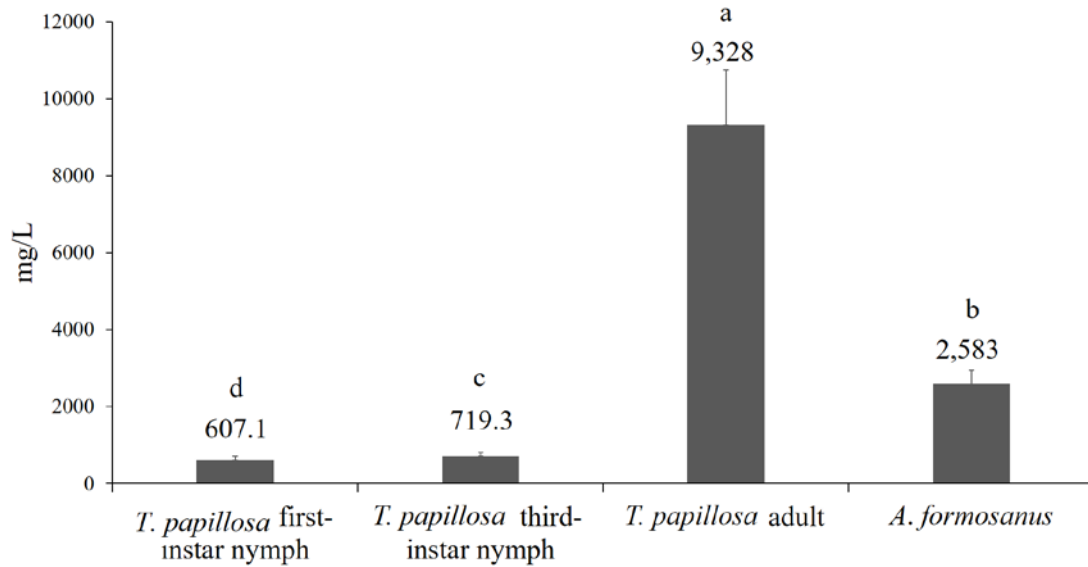


圖十三、苦楝油、礦物油及脂肪酸鉀鹽對一齡荔枝椿象若蟲藥效在施藥後 24 小時及 48 小時後的觀察

Figure 13. The efficacy of neem oil, mineral oil and potassium salt of fatty acid against *Tessaratoma papillosa* at 48 hrs post-treatment

Mortality values followed by the different letter(s) are significantly different (univariate analysis of variance, UNIANOVA; $P < 0.05$). Vertical lines indicate standard error of the mean.

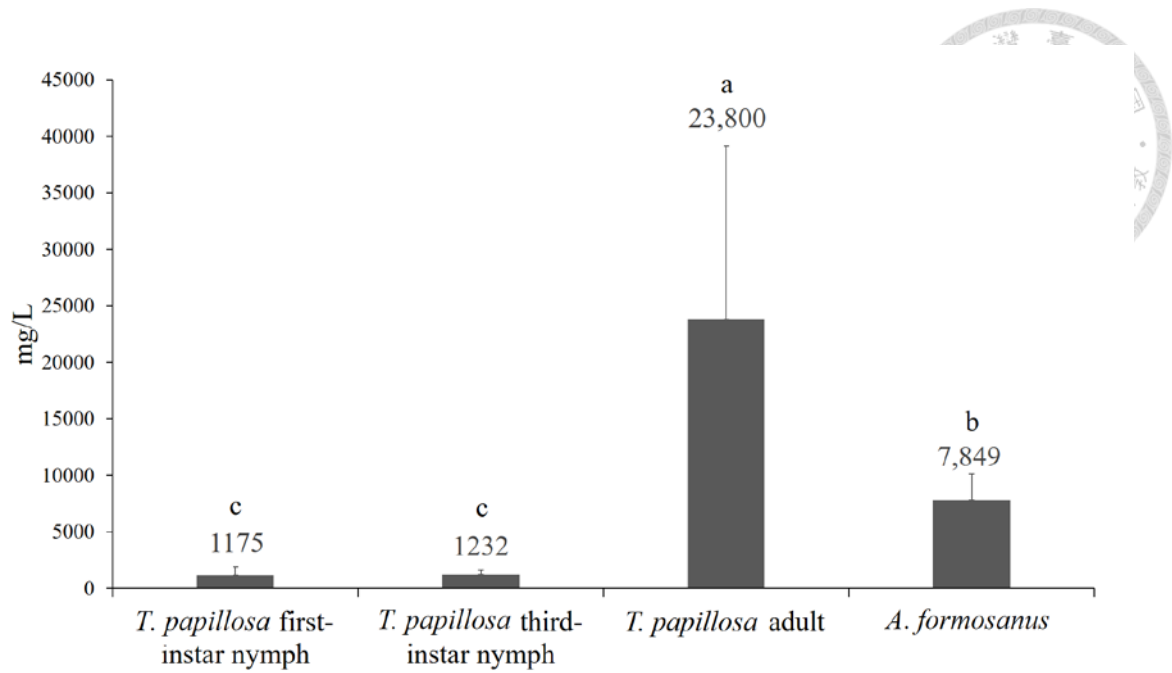
*FAPS: the abbreviation of potassium salts of fatty acids.



圖十四、脂肪酸鉀鹽對一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂測試後 24 小時的感受性 LC₅₀

Figure 14. LC₅₀ of various stages of *Tessarotoma papillosa* and *Anastatus formosanus* to potassium salt of fatty acid at 24 hrs post-treatment

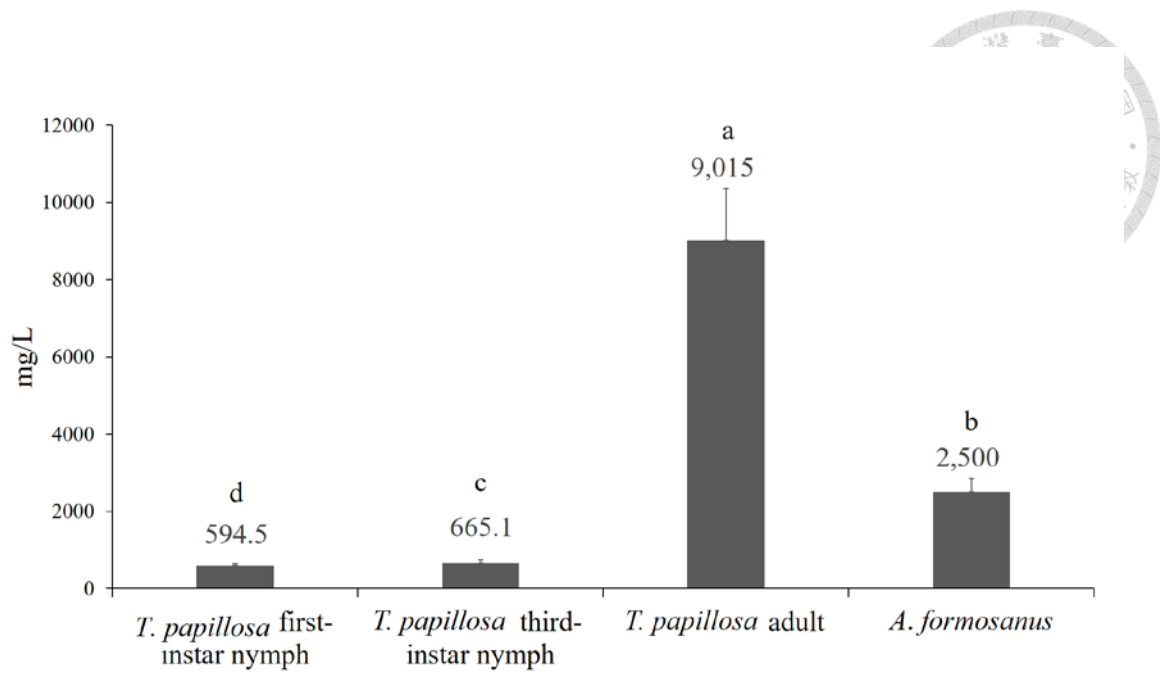
LC₅₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LC₅₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖十五、脂肪酸鉀鹽對一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂測試後 24 小時的 LC₉₀

Figure 15. LC₉₀ of various stages of *Tessarotoma papillosa* and *Anastatus formosanus* to potassium salt of fatty acid at 24 hrs post-treatment

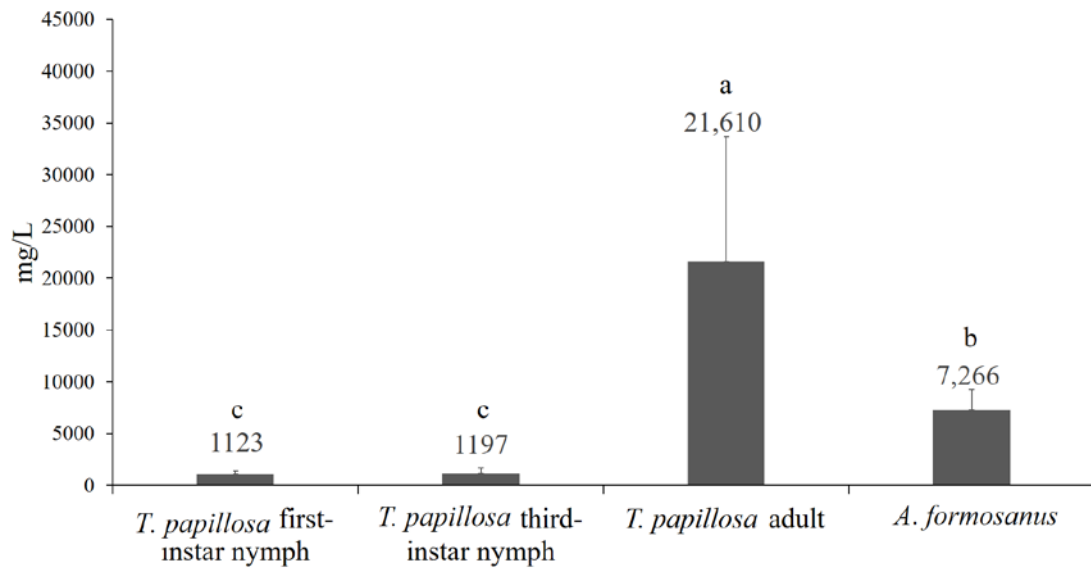
LC₉₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LC₉₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖十六、一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂對脂肪酸鉀鹽測試後 48 小時的感受性 LC₅₀

Figure 16. LC₅₀ of various stages of *Tessaratomia papillosa* and *Anastatus formosanus* to potassium salt of fatty acid at 48 hrs post-treatment

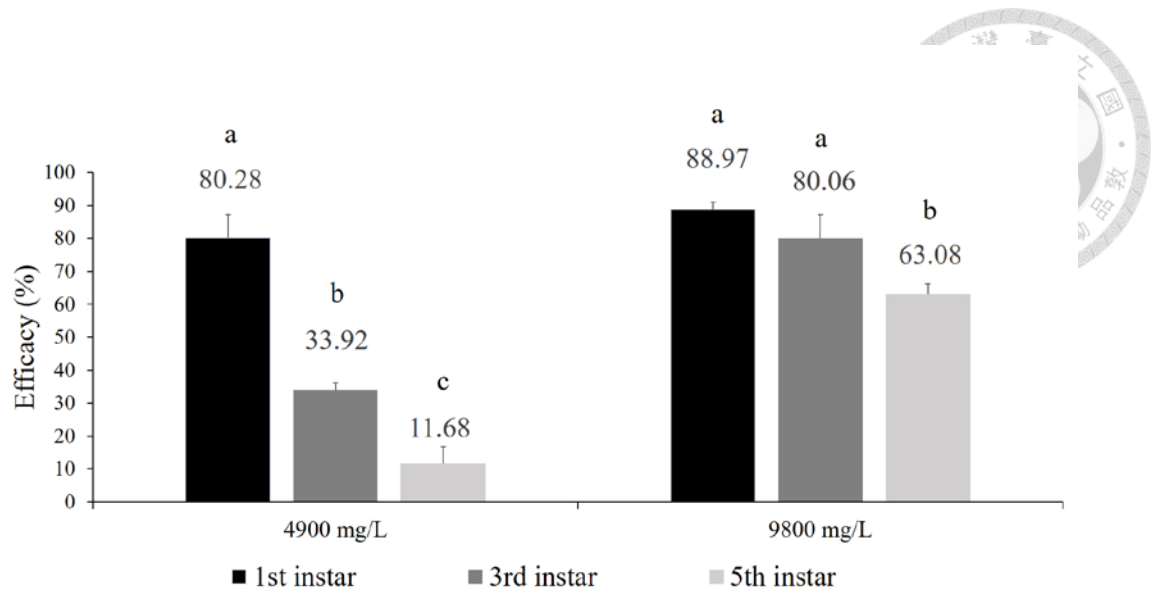
LC₅₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LC₅₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖十七、一、三齡荔枝椿象若蟲、成蟲及平腹小蜂對脂肪酸鉀鹽測試後 48 小時的 LC₉₀

Figure 17. LC₉₀ of various stages of *Tessaratomia papillosa* and *Anastatus formosanus* to potassium salt of fatty acid at 48 hrs post-treatment

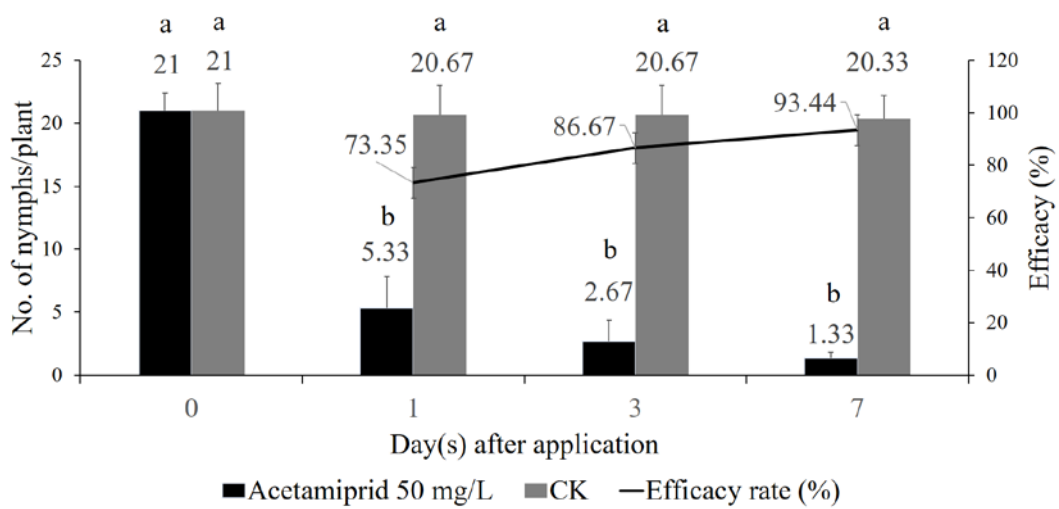
LC₉₀ values followed by the different letter(s) are significantly different at $P < 0.05$ by pairwise LC₉₀ ratio test with Bonferroni correction. Vertical lines indicate 95% fiducial limits of the mean.



圖十八、在玉荷包荔枝盆栽測試脂肪酸鉀鹽對一、三、五齡荔枝椿象若蟲的防治效果

Figure 18. Efficacy of potassium salt of fatty acid (FAPS) against *Tessaratoma papillosa* nymph on litchi

Means followed by the different letter(s) are significantly different (univariate analysis of variance, UNIANOVA; $P < 0.05$). Vertical lines indicate standard error of the mean.

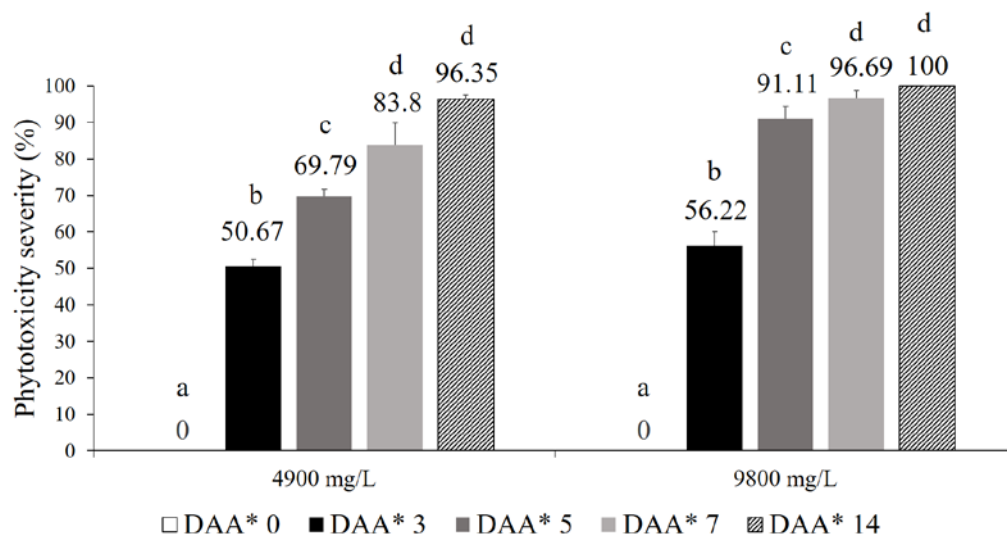


圖十九、在玉荷包荔枝盆栽測試亞滅培對一齡荔枝椿象若蟲的防治效果

Figure 19. Efficacy of acetamiprid against *Tessaratomia papillosa* first-instar nymph on litchi

Means followed by the different letter(s) are significantly different (t -test; $P < 0.05$).

Vertical lines indicate standard error of the mean.



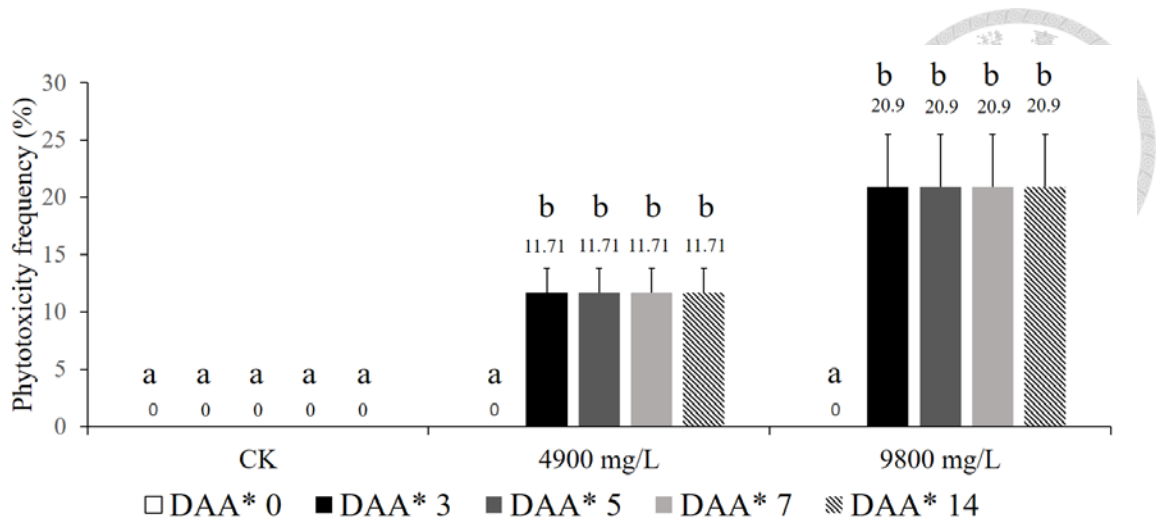
圖二十、脂肪酸鉀鹽對玉荷包荔枝花穗藥害情形

Figure 20. Phytotoxicity of potassium salt of fatty acid (FAPS) to the flowers of litchi
Means followed by the different letter(s) are significantly different (Generalized linear model, GLM; $P < 0.05$).

Vertical lines indicate standard error of the mean.

*DAA: days after application.

N = 97-308.



圖二十一、脂肪酸鉀鹽對龍眼果實藥害情形

Figure 21. Phytotoxicity of potassium salt of fatty acid (FAPS) to the fruits of longan

Means followed by the different letter(s) are significantly different (*t*-test; $P < 0.05$).

Vertical lines indicate standard error of the mean.

N = 11-21.

第六章 參考文獻



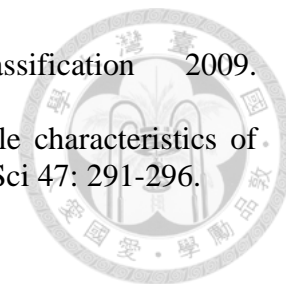
- 王玉潔、趙冬香、盧芙萍、彭正強、王愛萍。2010。荔枝蝽田間種群消長動態及空間分布型研究。昆蟲知識 47：958-961。
- 未具名。1959。荔枝椿象的生活習性及其防治。中國果樹 4：30-31。
- 未具名。1966。大面積防治荔枝蝽蟥樣板經驗總結。廣東農業科學 2：34-35。
- 未具名編。2016。105 年農藥產銷統計。臺灣植物保護工業同業公會，台北市。40 頁。
- 未具名編。2017。106 年農藥產銷統計。臺灣植物保護工業同業公會，台北市。41 頁。
- 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。2020a。農藥資訊服務網。病蟲害防治。
https://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem5_5.aspx
- 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。2020b。登錄免登記植物保護資材產品。
https://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem2_3.aspx
- 行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。2020d。禁/限用農藥。農藥資訊服務網。
https://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem7_1.aspx
- 行政院農業委員會農糧署。2018a。果品生產概況。公務統計 109 年：15-27。
- 行政院農業委員會農糧署。2018b。臺閩地區農產品生產量值。公務統計 107 年：4。
- 佔志雄、王長方、盧學松、王青松、林仁魁。1997。溴氰菊酯防治荔枝蝽蟥藥效試驗。農藥 36：34-35。
- 何金祥、郭倫發、唐峰、張帆、李鋒、趙志國。2001。平腹小蜂防治荔枝椿象試驗研究。廣東植物 21：163-165。
- 吳怡慧、李世仰、莊益源。2019。平腹小蜂搭配殺蟲劑防治荔枝椿象之應用。苗栗區農業專訊 88：11-13。
- 吳怡慧、曾喜育、楊景程。2018。食荔枝椿象（半翅目：荔椿科）卵塊之螞蟻種類鑑定及取食效率初探。台灣昆蟲 38：97-102。
- 吳華、黃鴻、歐劍峰、毛潤乾。2013。80% 敵百蟲可溶性粉劑防治荔枝蝽蟥藥效試驗。廣東農業科學 2：73-74。
- 李偉群、賢振華、鄧國榮、李德健。2002。5% 銳勁特懸浮劑防治荔枝蝽蟥藥效試驗。廣西植保 15：12-14。
- 林仁魁、蔡慧娟、王惠媛、付冬姬、葉加樹。2000。2.5% 三氟氯氰菊酯乳油防治荔枝蝽蟥。農藥 39：26-27。
- 林伯欣。1959。應用荔蝽菌防除荔枝蝽初報。昆蟲知識 3：102-104。
- 林雄毅。1997。荔枝椿象的防治技術。植保技術與推廣 17：29-30。
- 林慶源。2005。荔枝蝽白殭菌優良菌株的篩選及應用技術的研究。林業科學研究 18：143-146。
- 施錫彬。2001。薤菜主要有害生物之生態與非農藥防治之研究。桃園區農業改良場研究彙報 45：22-28。
- 洪巧珍。2006。荔枝保護。植物保護圖鑑系列 16：39-42。
- 孫德瑩、羅基同、蔣金培、王緝健、陳江、鄒優升。2010。噻蟲啉、乙酰甲胺磷防治荔枝若蟲試驗。遼寧林業科技 6：29-31。
- 徐雪蓮、黃武仁、韓冬銀、符悅冠。2006。幾種藥劑防治荔枝椿象的藥效試驗。

- 中國南方果樹 35：51-52。
- 張大鵬。1997。荔枝蝽口針危害與荔枝果實結構的關係。武夷科學 13：198-203。
- 張萃嫻、陳文華。2018。友善耕作體系之害蟲防治策略—以應用平腹小蜂防治荔枝椿象為例。臺中區農業改良場特刊 135：125-140。
- 梁昌聰、黃志、彭軍、黃生精、陸紅霞、黃俊生。2009。綠僵菌對荔枝椿象的室內致病力測定。熱帶作物學報 30：90-93。
- 陳文奎、趙善歡。1988。敵百蟲對荔枝蝽體脂酶及超微結構的影響。華南農業大學學報 9：30-37。
- 陳文奎、趙善歡。1991。荔枝中乙醯膽鹼酯酶活性與自然抗藥性的關聯。華南農業大學學報 12：18-24。
- 陳景耀、柯衝、凌開樹。1990。龍眼鬼掃病的研究病史、病狀、分布與為害。福建省農科院學報 5：34-40。
- 陳景耀、許長藩、李開本、夏雨華。1992。龍眼鬼掃病的昆蟲傳病試驗。植物病理學報 22：245-249。
- 陳達榮、余春仁、潘蓉英、池敏修。1989。菊酯類農藥防治荔枝椿象研究。福建農業科技 1：24-25。
- 陳燕琴、劉良新。1987。荔枝椿象性眼損傷(附 28 例分析)。實用眼科雜誌 5：104-106。
- 許如君、吳昌昱編。2018。農用藥劑分類及作用機制檢索。行政院農業委員會動物防疫檢疫局，台北市。10 頁。
- 許長藩、陳景耀、夏雨華、柯衝。1993。荔枝椿傳播龍眼鬼掃病的研究。華東昆蟲學報 2：60-64。
- 許雄、張敏玲。1988。敵百蟲對荔枝椿平腹小蜂不同發育期的毒力測定。昆蟲天敵 10：151-154。
- 黃居昌、陳家驊、王良威、鄒明權、鄒淑金。1992。幾種殺蟲劑對荔枝椿平腹小蜂 (*Anastatus japonicus* Ashmead) 的影響。福建農學院學報 21：294-298。
- 黃明度、麥秀慧、吳偉南、蒲蟄尤。1974。荔枝椿象卵寄生蜂-平腹小蜂 *Anastatus* sp. 的生物學及其應用的研究。昆蟲學報 17：362-375。
- 鄒慧娟、陳宏伯、顏辰鳳、陳保良、李昆龍、洪裕堂編。2020。化學農藥十年減半行動方案。行政院農業委員會動物防疫檢疫局，台北市。1-35 頁。
- 楊皇紅、鄧國榮、李偉群、黃大興、金孟消、羅敘昌、李振福、許明義。1994。荔枝椿的綜合防治研究。廣西農業大學學報 13：99-109。
- 廖瓊惠、陳富翔、李貽華、費雯綺編。1996。85 年度農業藥劑委託試驗報告。行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所，台中市。1-2 頁。
- 蒲蟄尤、麥秀慧、黃明度。1962。利用平腹小蜂防治荔枝椿試驗初報。植物保護學報 1：301-306。
- 趙善歡、陳觀炳、黃彰欣、黃端平。1964。應用敵百蟲防治荔枝椿象的大田試驗。植物保護學報 3：123-130。
- 劉冬梅、廖世純、王鳳英、李彬彬、馬小峰、古雅良、李彥彥。2017。噻蟲嗪和吡蟲啉防治荔枝椿象若蟲室內藥效試驗。植物醫生 6：61-62。
- 劉吉敏、黃其椿、檀誌全、覃連紅、李凱剛、賓容佩、黃寧、陸溫。2012。龍眼樹荔枝椿越冬成蟲發生規律及交配節律。南方農業學報 43：1135-1138。
- 劉志誠。1965。荔枝椿象生物學特性及其防治初步研究。植物保護學報 4：329-340。

- 劉秀瓊、黃淑漢、周薰薇、張維球。1966。荔枝蝽象胚胎發育研究。昆蟲學報 15：227-238。
- 劉雨芳、古德祥。2000。荔枝蝽取食行為的研究。昆蟲學報 42：151-158。
- 劉建峰、劉志誠、王春夏、李敦松、余勝權、方立新、唐文清、張濟軒。1995。大量繁殖平腹小蜂防治荔枝蝽蟥的研究。昆蟲天敵 17：177-179。
- 鄭冬梅、謝欽銘。2005。兩種寄生蜂對幾種農藥的敏感性測定。華東昆蟲學報 14：362-366。
- 蔡美蘭。2007。毒死蜱和高效氯氰菊酯防治荔枝蝽的田間試驗效果。華東昆蟲學報 16：235-238。
- 蔡慧娟、林仁魁、葉加樹、陳元洪、湖奇勇、黃玉清。1998。2.5% 功夫乳油防治龍眼園荔枝蝽試驗。福建果樹 106：15。
- 黎柳鋒、王鳳英、廖仁昭、廖世純。2015。10 種殺蟲劑對荔枝蝽象的防治效果。廣東農業科學 20：76-79。
- 盧美君。2017。臺灣蜂產業發展及挑戰之因應策略簡介。農政與農情 290：1-6。
- 謝欽銘、梁廣文、曾玲、陸永躍。2004。荔枝蝽的實驗種群生命表。昆蟲知識 40：34-40。
- 謝蘊貞。1957。中國荔枝蝽亞科記述。昆蟲學報 7：423-448。
- Ascher KRS. 1993. Nonconventional insecticidal effects of pesticides available from the neem tree, *Azadirachta indica*. Arch Insect Biochem Physiol 22: 433-449.
- Bull DL, Ridgway RL. 1969. Metabolism of trichlorfon in animals and plants J Agric Food Chem 17: 837-841.
- Butler GD, Henneberry TJ, Stansly PA, Schuster DJ. 1993. Insecticidal effects of selected soaps, oils and detergents on the sweetpotato whitefly (Homoptera: Aleyrodidae). Fla Entomol 76: 161-167.
- Chen ZY. 1984. *Tessaratoma papillosa*. Economic Insect Fauna of China Fasc I, Hemiptera (I): 48-50. (in Chinese)
- European Commission. 2008. Fatty acids list of endpoints. 11-49.
- European Commission. 2013. Lambda-cyhalothrin list of endpoints. 18-123.
- European Commission. 2015. Acetamiprid list of endpoints. 11-89.
- European Commission. 2018. Deltamethrin list of endpoints. 15-168.
- [FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1995. Pesticide Residues in Food Report of the Joint Meeting of the FAO: 94-100.
- Hall DG, Richardson ML. 2013. Toxicity of insecticidal soaps to the Asian citrus psyllid and two of its natural enemies. J Appl Entomol 137: 347-354.
- Hoebeke ER, Carter ME. 2003. *Halyomorpha halys* (Stal) (Heteroptera : Pentatomidae): A polyphagous plant pest from Asia newly detected in North America. Proc Entomol Soc Wash 105: 225-237.
- Hsiao T. 1977. A Handbook for the determination of the Chinese hemiptera-heteroptera (1). Science Press, Beijing: 214. (in Chinese)
- Jansen JP, Defrance T, Warnier AM. 2010. Effects of organic-farming-compatible insecticides on four aphid natural enemy species. Pest Manag Sci 66: 650-656.
- Karagounis C, Kourdoubalos AK, Margaritopoulos JT, Nanos GD, Tsitsipis JA. 2006. Organic farming-compatible insecticides against the aphid *Myzus persicae* (Sulzer) in peach orchards. J Appl Entomol 130: 150-154.
- Kraiss H, Cullen EM. 2008. Efficacy and nontarget effects of reduced-risk insecticides on *Aphis glycines* (Hemiptera: Aphididae) and its biological control agent *Harmonia axyridis* (Coleoptera : Coccinellidae). J Econ Entomol 101: 391-398.

- Miller F, Uetz S. 1998. Evaluating biorational pesticides for controlling arthropod pests and their phytotoxic effects on greenhouse crops. HortTechnology 8: 185-192.
- Moizuddin M, Ahmad I, Kamaluddin S. 1992. Redescriptions of eusthenine and tessaratomine stinkbugs *Eusthenes eurytus* Distant, *Eusthenes scutellaris* (H.Sch.) and *Tessaratomya papillosa* (Drury) (Hemiptera: Tessaratomidae: Tessaratominae) and their cladistic relationships. Proc Pakistan Congr Zool 12: 215-223.
- Morehead JA, Kuhar TP. 2017. Efficacy of organically approved insecticides against brown marmorated stink bug, *Halyomorpha halys* and other stink bugs. J Pest Sci 90: 1277-1285.
- Nanta P. 1988. Biological control of longan stink bug, *Tessaratomya papillosa* Drury in Thailand. Colloques de l'INRA No. 43: 525-526.
- Phama VT, Herrero M, Hormazac JI. 2015. Phenological growth stages of longan (*Dimocarpus longan*) according to the BBCH scale. Scientia Horticulturae 189: 201-207.
- Prats D, Rodriguez M, Varo P, Moreno A, Ferrer J, Berna JL. 1999. Biodegradation of soap in anaerobic digesters and on sludge amended soils. Water Res 33: 105-108.
- Riba M, Marti J, Sans A. 2003. Influence of azadirachtin on development and reproduction of *Nezara viridula* L. (Het., Pentatomidae). J Appl Entomol 127: 37-41.
- Schulte MJ, Martin K, Sauerborn J. 2006. Effects of azadirachtin injection in litchi trees (*Litchi chinensis* Sonn.) on the litchi stink bug (*Tessaratomya papillosa* Drury) in northern Thailand. J Pest Sci 79: 241-250.
- Seljašen R, Meadow R. 2006. Effects of neem on oviposition and egg and larval development of *Mamestra brassicae* L.: Dose response, residual activity, repellent effect and systemic activity in cabbage plants. Crop Prot 25: 338-345.
- Takahashi H, Mitsui J, Takakusa N, Mastuda M, Yoneda H, Suzuki J, Ishimitsu K, Kishimoto T. (eds.) NI-25, a new type of systemic and broad spectrum insecticide. Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference; 1992 Nov 23-26; Brighton, UK: Pest and disease. pp 27-36.
- Tsolakis H, Ragusa S. 2008. Effects of a mixture of vegetable and essential oils and fatty acid potassium salts on *Tetranychus urticae* and *Phytoseiulus persimilis*. Ecotox Environ Safe 70: 276-282.
- [USA EPA] United States Environmental Protection Agency. 1995. 40 CFR § 180.1068 - C12-C18 fatty acid potassium salts; exemption from the requirement of a tolerance. Code of Federal Regulations.
- [USA EPA] United States Environmental Protection Agency. 2018. Chemicals evaluated for carcinogenic potential annual cancer report 2018. Reevaluation: review of registered pesticides: 13-23.
- [USA EPA] United States Environmental Protection Agency. 2019. Food additives permitted for direct addition to food for human consumption (§172.863). Code of Federal Regulations.
- Ware GG, Whitacre DM. 2004. The pesticide book. MeisterPro Information Resources, Willoughby, OH.
- Wheeler MW, Park RM, Bailer AJ. 2006. Comparing median lethal concentration values using confidence interval overlap or ratio tests. Environ Toxicol Chem 25: 1441-1444.
- [WHO] World Health Organization. 2010. The WHO recommended classification of

pesticides by hazard and guidelines to classification 2009.
<https://apps.who.int/iris/handle/10665/44271>
Zhang ZM, Wu WW, Li GK. 2009. Study of the alarming volatile characteristics of
Tessarotoma papillosa using SPME-GC-MS. J Chromatogr Sci 47: 291-296.



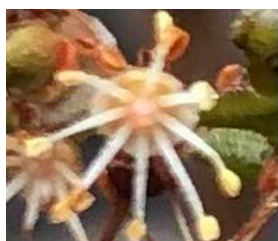
第七章 附錄



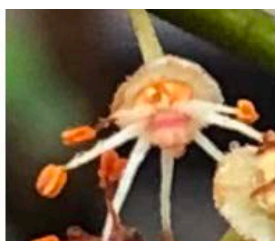
附錄一、荔枝椿象採集地點、寄主植物及全球衛星定位資訊

Appendix 1. Collected location, host plants and global positioning system (GPS) of *Tessaratoma papillosa* nymphs and adults

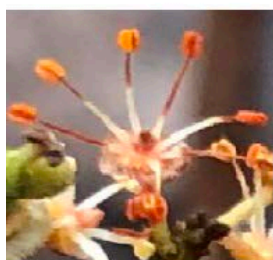
| Host plant | Collected location | GPS |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| | National Taiwan University Main Campus, Da'an Dist., Taipei | 25.016, 121.539 |
| <i>Koelreuteria henryi</i> Dümmer | Fanglan Rd., Da'an Dist., Taipei Zishan Cultural and Ecological Garden, Shilin Dist., Taipei Bihu Park, Nei-Hu Dist., Taipei | 25.011, 121.544 25.102, 121.531 25.082, 121.582 |
| <i>Dimocarpus longan</i> Lour. | Lu-Feng elementary school Tianwei Township, Changhua | 23.917, 120.504 |



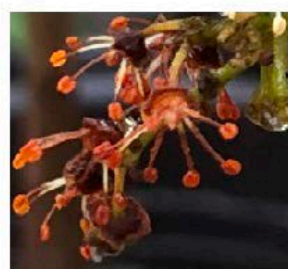
0



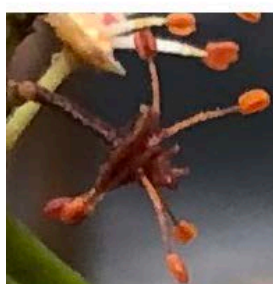
1



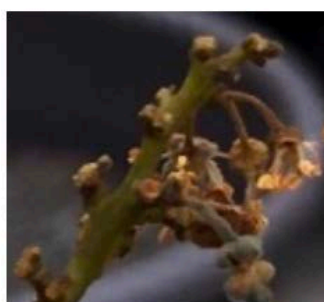
2



3



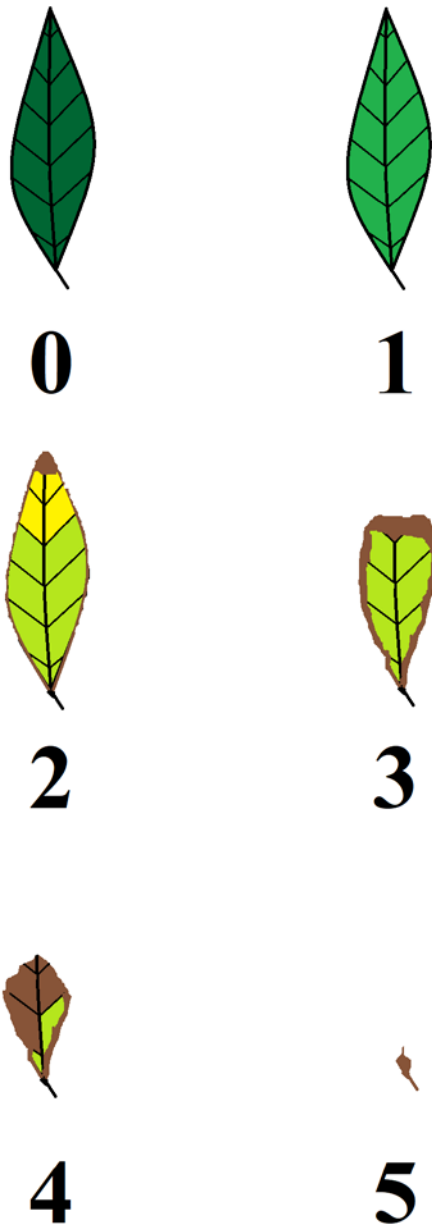
4



5

附錄二、花梢藥害嚴重程度指數示意圖。將花梢藥害嚴重程度分為指數：0 無明顯藥害、1 輕微黃化、2 輕微焦枯、3 花朵頂燒、4 嚴重枯萎、5 焦枯。

Appendix 2. Flower's phytotoxicity rating scale: 0 no apparent damage; 1 slight yellowing of flower; 2 light burn of flower; 3 flower edge and growing tip burn; 4 stunting and extensive dieback of flowers; 5 death.



附錄三、葉部藥害嚴重程度指數示意圖。0 無明顯藥害、1 輕微黃化、2 輕微焦枯、3 葉緣焦枯、4 嚴重枯萎、5 焦枯。

Appendix 3. Leave's phytotoxicity rating scales: 0 no apparent damage; 1 slight yellowing of foliage; 2 light burn of leaf edge; 3 leaf edge and growing tip burn; 4 stunting and extensive dieback of leaves; 5 death.

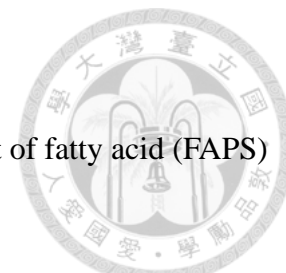
附錄四、脂肪酸鉀鹽對玉荷包荔枝花穗藥害試驗溫度



Appendix 4. Temperature records for phytotoxicity of potassium salt of fatty acid (FAPS) to the flowers of litchi

| Date | Note | Daily average temperature | Maximum temperature (°C) | Minimum temperature (°C) |
|-----------|-------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2019/4/1 | Application & 1 st observation | 16.7 | 17.3 | 15.6 |
| 2019/4/2 | - | 19.5 | 23.8 | 16.7 |
| 2019/4/3 | - | 20.7 | 23.5 | 19.0 |
| 2019/4/4 | 2 nd observation | 25.5 | 34.2 | 20.6 |
| 2019/4/5 | - | 22.6 | 28.1 | 19.9 |
| 2019/4/6 | 3 rd observation | 24.9 | 35.4 | 18.6 |
| 2019/4/7 | - | 26.6 | 34.4 | 20.8 |
| 2019/4/8 | 4 th observation | 28.5 | 38.5 | 22.0 |
| 2019/4/9 | - | 28.8 | 37.6 | 23.0 |
| 2019/4/10 | - | 27.8 | 38.3 | 21.6 |
| 2019/4/11 | - | 22.6 | 30.4 | 19.3 |
| 2019/4/12 | - | 20.3 | 23.5 | 18.5 |
| 2019/4/13 | - | 22.5 | 29.1 | 18.9 |
| 2019/4/14 | - | 24.2 | 32.1 | 20.5 |
| 2019/4/15 | 5 th observation | 20.9 | 25.7 | 18.8 |

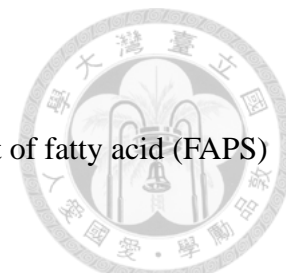
附錄五、脂肪酸鉀鹽對龍眼葉片藥害試驗溫度紀錄



Appendix 5. Temperature records for phytotoxicity of potassium salt of fatty acid (FAPS) to the leaves of longan

| Date | Note | Daily average temperature | Maximum temperature (°C) | Minimum temperature (°C) |
|-----------|-------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2019/4/13 | Application & 1 st observation | 22.5 | 29.1 | 18.9 |
| 2019/4/14 | - | 24.2 | 32.1 | 20.5 |
| 2019/4/15 | - | 20.9 | 25.7 | 18.8 |
| 2019/4/16 | 2 nd observation | 20.1 | 22.2 | 18.8 |
| 2019/4/17 | - | 23.5 | 31.7 | 19.5 |
| 2019/4/18 | 3 rd observation | 27.8 | 35.8 | 20.1 |
| 2019/4/19 | - | 25.8 | 33.4 | 22.6 |
| 2019/4/20 | 4 th observation | 25.7 | 32.0 | 22.7 |
| 2019/4/21 | - | 26.6 | 33.0 | 23.1 |
| 2019/4/22 | - | 28.1 | 38.5 | 23.3 |
| 2019/4/23 | - | 29.9 | 37.8 | 24.6 |
| 2019/4/24 | - | 30.1 | 37.1 | 24.9 |
| 2019/4/25 | - | 30.7 | 39.6 | 25.7 |
| 2019/4/26 | - | 28.3 | 34.4 | 25.2 |
| 2019/4/27 | 5 th observation | 24.7 | 26.8 | 23.4 |

附錄六、脂肪酸鉀鹽對臺灣欒樹葉片藥害試驗溫度紀錄



Appendix 6. Temperature records for phytotoxicity of potassium salt of fatty acid (FAPS) to the leaves of Taiwanese rain tree

| Date | Note | Daily average temperature | Maximum temperature (°C) | Minimum temperature (°C) |
|-----------|-------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2019/4/1 | Application & 1 st observation | 15.8 | 16.8 | 14.7 |
| 2019/4/2 | - | 19.0 | 21.7 | 16.5 |
| 2019/4/3 | - | 20.0 | 21.6 | 18.2 |
| 2019/4/4 | 2 nd observation | 23.1 | 28.5 | 20.3 |
| 2019/4/5 | - | 20.6 | 24.0 | 19.1 |
| 2019/4/6 | 3 rd observation | 22.9 | 27.8 | 18.6 |
| 2019/4/7 | - | 24.7 | 29.5 | 20.5 |
| 2019/4/8 | 4 th observation | 26.3 | 30.7 | 21.6 |
| 2019/4/9 | - | 26.6 | 31.6 | 22.8 |
| 2019/4/10 | - | 24.4 | 31.4 | 19.6 |
| 2019/4/11 | - | 20.5 | 25.6 | 18.0 |
| 2019/4/12 | - | 18.8 | 19.7 | 17.6 |
| 2019/4/13 | - | 21.2 | 25.0 | 18.2 |
| 2019/4/14 | - | 21.9 | 25.7 | 18.2 |
| 2019/4/15 | 5 th observation | 19.5 | 21.1 | 17.7 |

附錄七、脂肪酸鉀鹽對龍眼果實藥害試驗溫度紀錄



Appendix 7. Temperature records for phytotoxicity of potassium salt of fatty acid (FAPS) to the fruits of longan

| Date | Note | Daily average temperature | Maximum temperature (°C) | Minimum temperature (°C) |
|-----------|-------------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2020/6/12 | Application & 1 st observation | 30.1 | 33.3 | 27.1 |
| 2020/6/13 | - | 30.3 | 33.2 | 27.8 |
| 2020/6/14 | - | 29.1 | 32.4 | 26.3 |
| 2020/6/15 | 2 nd observation | 30.3 | 34.0 | 26.6 |
| 2020/6/16 | - | 31.1 | 34.7 | 27.4 |
| 2020/6/17 | 3 rd observation | 31.8 | 35.3 | 28.2 |
| 2020/6/18 | - | 31.8 | 36.3 | 28.5 |
| 2020/6/19 | 4 th observation | 31.9 | 35.4 | 28.8 |
| 2020/6/20 | - | 31.4 | 34.6 | 28.6 |
| 2020/6/21 | - | 31.5 | 34.7 | 28.1 |
| 2020/6/22 | - | 31.9 | 34.6 | 29 |
| 2020/6/23 | - | 32.3 | 36 | 28.7 |
| 2020/6/24 | - | 32.0 | 36.4 | 28.9 |
| 2020/6/25 | - | 31.8 | 35.0 | 29 |
| 2020/6/26 | 5 th observation | 29.6 | 34.8 | 27.0 |