

設施大果番茄及草莓應用西方蜜蜂(*Apis mellifera*)授粉效益之研究

徐培修*、盧美君

行政院農業委員會苗栗區農業改良場

摘 要

為提高番茄及草莓品質，穩定生產並減少環境及病蟲害對生長之影響，設施栽培日漸增加。惟設施內缺乏授粉媒介，引入授粉昆蟲成為高品質果實生產之重要因子。本研究評估西方蜜蜂(*Apis mellifera*)對設施栽培大果番茄及草莓果實的影響及生產效益，結果顯示設施大果番茄栽培可以利用蜜蜂授粉取代番茄生長素(4-chlorophenoxyacetic acid)施用，不影響果實品質及風味；設施草莓栽培引入蜜蜂授粉，優於人工授粉，並可大幅提升果實產量及品質。試驗顯示，蜜蜂授粉值得推廣於設施作物產業應用。

關鍵詞：蜜蜂、授粉、設施、番茄、草莓

前 言

植物與授粉者之間的交互作用對於維繫生態系穩定極為重要，沒有授粉者傳遞花粉，許多植物無法產生種子並繁殖後代；沒有植物提供花粉或花蜜等，許多動物種群就會減少，進而對其他物種產生連帶影響(Kearns *et al.*, 1998)，授粉在植物和動物種群多樣化中扮演關鍵因素(Dodd *et al.*, 1999)，全球溫帶地區約有78%植物物種需要動物授粉，熱帶地區更高達94%，包括許多農作物在內(Ollerton *et al.*, 2011)。人類對動物授粉農作物的依賴之大，充分闡明授粉者的生態服務(ecosystem services)價值，世界

主要農作物約有75%仰賴蜂類(Apoidea)授粉，僅有28種農作物依靠風力和自花授粉(Klein *et al.*, 2007)。推估蜂類授粉對全球農業經濟影響每年高達歐元1,530億元，佔食用農產品總產值9.5%(Gallai *et al.*, 2009)。這些蜂媒授粉作物主要為水果包含番茄及草莓等，提供大量人體必需營養素如維生素、抗氧化劑及纖維等，是主食如稻米及小麥等風力授粉作物所無法提供的(Eilers *et al.*, 2011)。

野生番茄具有自交不親合的特性，需要授粉者協助授粉才能產生果實(Chetelat *et al.*, 2009)。雖多數栽培品種

*論文聯繫人

Email: pshsu@mdais.gov.tw

是自交親合的，但茄屬的特徵為孔裂花藥，必須透過風力或授粉者震動，花粉才得以從花藥頂部小孔散出接觸柱頭，在設施栽培時由於空氣流動量減少，即使是栽培品種也存在授粉障礙(Kevan *et al.*, 1991; Morandin *et al.*, 2001)。再者，由於設施內溫度普遍偏高，番茄在高溫環境下(32/26°C day/night)，花藥和花粉均會遭受損害，產生的花粉數明顯減少，花粉萌芽率也降低，進而減少著果(fruit set)(Peet *et al.*, 1998; Sato *et al.*, 2000)，因此設施栽培番茄需要輔以授粉處理才能確保生產目標。臺灣農民慣用的方式為人工噴施番茄生長素(tomatotone)，使番茄子房在未受精的情況下單為結果(parthenocarpy)。目前臺灣核准用於促進番茄著果的生長調節劑有4-chlorophenoxyacetic acid (4-CPA)及cloxyfonac (行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所, 2017)。此外，藉由蜂類授粉可使番茄柱頭接觸到的花粉量增加，進而提高果實產量與品質(Franceschinelli *et al.*, 2013)。茄屬的授粉昆蟲主要為熊蜂(*Bombus* spp.)、無螫蜂(Meliponini)、隧蜂(Halictidae)及切葉蜂(Megachilidae)(Harter *et al.*, 2002; Teppner, 2005)。早在1985年，比利時研究人員就發現熊蜂授粉對設施栽培番茄的應用價值，開創商品化熊蜂的契機(Van Ravestijn and Nederpel, 1988)，許多研究陸續證實可利用熊蜂授粉取代人工授粉(Banda and Paxton, 1990; Kevan *et al.*, 1991; Van Ravestijn and Van Der Sande, 1991; Porporato *et al.*, 1993; Velthuis and Van Doorn, 2006)。然而後續

發現進口熊蜂在日本與當地野外熊蜂競爭生態棲位(Ono, 1997)，並將氣管蟎引入而感染當地熊蜂族群(Goka *et al.*, 2001)。所以臺灣至目前為止仍管制熊蜂進口，為解決設施栽培番茄授粉需求，我國學者應用本土蜂種精選熊蜂(*Bombus eximius*)於番茄授粉，雖然效果良好(Sung and Chiang, 2014)，可惜至今尚無商品化之熊蜂供農民購買使用，因此本研究仍以西方蜜蜂發展授粉技術。

草莓的花托上著生許多雌蕊，子房受精後發育成瘦果，瘦果富含的植物生長素刺激花托組織膨大形成果肉(Nitsch, 1950)。花托膨大與瘦果數相關，授粉後第10日移走瘦果，將減緩花托膨大形成畸形果(Ponappa and Miller, 1996)。在自花授粉或風力授粉的情況下，瘦果發育率低於70%，藉由昆蟲授粉則可達91%(Connor and Martin, 1973)。只有在瘦果發育率達87%時，花托才能形成完整的果實(Kakutani *et al.*, 1993)。因此，授粉昆蟲對於草莓生產相當重要。蜜蜂(*Apis* spp.)是草莓主要的授粉昆蟲(Nye and Anderson, 1974; Antonelli *et al.*, 1988; Chagnon *et al.*, 1993; Kakutani *et al.*, 1993)，可提高果實產量(Bagnara and Vincent, 1988; Goodman and Oldroyd, 1988)、增加果實重量、降低畸形果率、增加瘦果發育率並增加著果率(Free, 1968; Moore, 1969; Connor and Martin, 1973; Nye and Anderson, 1974; Pinzauti, 1994)。臺灣草莓以露天栽培為主，利用西方蜜蜂(*Apis mellifera*)輔助授粉可提升10%~20%產量(林及吳, 1996)，並增

加瘦果發育率及果重（陳及謝，2001）。日本早已應用蜜蜂授粉技術於設施草莓栽培，使草莓產量自1975年至1985年間增加10倍(Matsuka and Sakai, 1989)。

統計臺灣蔬果種植每公頃年產值為新臺幣41萬元，年總產值為新臺幣600億元；番茄每公頃年產值為新臺幣62萬元，年總產值達新臺幣32億元，佔蔬果年總產值5.4%；草莓每公頃年產值為208萬新臺幣，年總產值達新臺幣10億元，佔蔬果年總產值1.7%（行政院農業委員會，2015）。番茄及草莓均為高經濟作物，適合利用設施栽培追求更高的產品品質，並達成穩定生產目標。但設施栽培阻隔病蟲害同時，亦隔離天然授粉昆蟲進入，目前多以人工授粉為之，費工費時且成本昂貴。目前採行設施栽培之農戶仍佔少數，臺灣番茄種植面積僅22%使用設施栽培，而草莓種植面積僅7%使用設施栽培（行政院主計總處，2010）。授粉為目前擴大設施番茄及草莓之栽培障礙，開發授粉技術之需求應運而生。

西方蜜蜂為臺灣主要經濟飼養蜂種，以生產蜂蜜和蜂王漿等蜂產品為主。西方蜜蜂是全球最具經濟重要性的農作物授粉昆蟲(McGregor, 1976; Watanabe, 1994)，超過130種農作物仰賴其授粉(Free, 1993)。許多果實、堅果和採種作物沒有蜜蜂授粉將減產超過90%(Southwick and Southwick, 1992)。美國每年與西方蜜蜂授粉相關的農產品總產值估計達美金146億元(Morse and Calderon, 2000)。自1996年起臺灣著手推

廣西方蜜蜂應用於瓜果類作物授粉，已成為國內設施栽培瓜果類作物授粉之主力蜂種（林及吳，1996；吳及吳，2002；林等，2013；林及盧，2017）。為了解西方蜜蜂對設施栽培番茄及草莓之授粉效益，本研究以網室栽培番茄，及以溫室栽培草莓，評估西方蜜蜂授粉對於果實性狀的影響及生產效益，藉此探討西方蜜蜂授粉技術運用於設施番茄及草莓生產的可行性。

材料及方法

一、試驗材料與流程

(一)番茄

供試品種為大果番茄「桃美」，本品種具自交不親合之特性。栽培設施為膠膜網室，位於苗栗區農業改良場試驗田區（苗栗縣公館鄉），網室共2棟，每棟約120m²。栽培網室事先經過土壤消毒及施用有機質基肥，以竹管固定供番茄苗攀爬生長，網室內作4列，種植行株距約30cm，每棟網室約種植240株。於2015年8月委託專業育苗場育苗，於9月將幼苗定植於網室，始花期約於10月開始，開花後對各花序進行疏花，每花序僅留4朵花，於11月進行授粉處理，於2016年1月採收果實進行調查。

(二)草莓

供試品種為桃園1號「豐香」，栽培設施於玻璃溫室，位於苗栗區農業改良場生物防

治分場試驗田區（苗栗縣大湖鄉），約700m²。溫室內為水泥基底，建置有20組高架苗床，苗床為品字架，長約12m、低架高約80cm、高架約120cm，種植行株距約20cm。選取其中5組相同環境條件的苗床，使用的介質為白泥炭土，共約種植1200株。於2015年間由專人專責育苗並將幼苗移至溫室內定植，種植期間以施放基徵草蛉進行蟲害管理，以滴灌方式進行灌溉，始花期約於10月開始，於11月進行授粉處理，於12月底採收果實進行調查。

(三)西方蜜蜂

供試蜂群為飼養於苗栗區農業改良場之西方蜜蜂。蜂箱為木製，番茄栽種之2棟網室較小，使用4片巢脾之蜂箱，草莓栽種之溫室較大，使用8片巢脾之標準蜂箱。供試蜂群之蜂勢強盛，沒有觀察到任何病徵，每群蜂含產卵狀況正常之蜂王1隻，4片箱約8,000隻工蜂，8片箱則約16,000隻工蜂。當供試作物始花期開始後進行蜂群整備，移入設施前依照林及吳(1996)之方法隔離外勤蜂，以減少進入設施後衝網的行為。於盛花期將蜂群移入設施內進行授粉，試驗期間提供砂糖水（重量百分比50%/50%）和人工蜂糧（未乾燥蜂花粉：黃豆

粉：砂糖 = 2:1:1）供蜂群食用，均於蜂群食用完畢後立即補充。待各授粉處理操作完畢，並標記足量之果實後，將蜂群移出設施。

二、試驗設計與取樣方法

(一)番茄授粉試驗

試驗目的為比較蜜蜂授粉、藥劑施用、人工授粉及自然著果4種處理對於番茄果實性狀的影響，採用完全隨機設計 (completely randomized design, CRD)。於授粉蜂群移入番茄網室後，分別隨機選取40個花序進行上述4種處理。待結果後，調查著果率。各處理從中隨機挑選20顆果實，進行果形、可溶性固形物、可滴定酸、果重、果長、果寬及種子數等果實性狀調查，果形判定以目視法，番茄正常果為圓形，畸形果定義為非圓形或非橢圓形、具癍痂線條、果末端蒂大、不發育或凹陷無種子等。

(二)草莓授粉試驗

試驗目的為比較蜜蜂授粉、人工授粉及自然著果3種處理對於草莓果實性狀的影響，採用完全隨機設計。於授粉蜂群移入草莓溫室後，分別隨機挑選40個花序進行上述3種處理，待結果後計算著果率，草莓花序為複聚繖花序 (dichasium)，第一朵花最大稱

為一級花，由一級花花梗分支出的二朵花稱為二級花，以此類推，本試驗每花序僅紀錄1朵一級花及2朵二級花，至多以3朵花計算著果率。各處理從中隨機挑選20顆一級花的果實進行果形、可溶性固形物、可滴定酸、果重、果長、果寬及種子數等果實性狀調查，果形判定以目視法，草莓正常果為瘦果發育完全，呈心型或扇形，畸形果定義為部分或全部瘦果發育不良、果實凹陷、扭曲或變形等。

三、試驗處理說明

(一)無授粉

蜂群移入設施後，隨機挑選並標記尚未開放的花苞，將其以透氣之不織布白色袋子套住，至結果或枯萎時採收並做成紀錄。

(二)人工授粉

蜂群移入設施後，隨機挑選並標記尚未開放的花苞，將其以透氣之不織布白色袋子套住，待開花時將袋子打開，確認無昆蟲授粉後，以水彩筆沾取花粉觸碰柱頭施以人工授粉，施作時間為上午8時至10時。再將花以原袋套回，避免重複授粉，至結果或枯萎時採收並做成紀錄。

(三)藥劑施用

本處理僅施作於番茄授粉

試驗，噴施番茄生長素比較其授粉效益。番茄生長素(4-CPA)依照植物保護手冊推薦方式調配及使用（行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所，2017），將番茄多旺[®]（4-CPA 0.15%溶液，臺灣石原產業股份有限公司）以水稀釋50倍後存放備用。蜂群移入設施後，隨機挑選並標記尚未開放的花苞，將其以透氣之不織布白色袋子套住，待開花時將袋子打開，確認無昆蟲授粉後，將番茄花序浸入調配好的藥劑內1次，施作時間為上午8時至10時。再將花以原袋套回，避免重複授粉，至結果或枯萎時採收並做成紀錄。

(四)蜜蜂授粉

蜂群移入設施後，隨機挑選並標記尚未開放的花苞，不作額外處理，至結果或枯萎時採收並做成紀錄。

四、統計分析

各處理調查之著果率及果實性狀，以SAS-EG統計分析軟體進行變方分析(ANOVA)及最小顯著差異性(LSD)測驗分析各處理間的差異性。

結果與討論

一、設施大果番茄應用西方蜜蜂授粉效果調查

大果番茄品種「桃美」具有自花不親合的特性，在無授粉者協助下，自然

著果率極低僅約8%。人工授粉效果不佳，著果率僅有43%，農民多半不採用此方式授粉。坊間慣用二種方式進行授粉處理，第一種是使用手持式電動震動器觸碰花朵以達成授粉目的，但卻有損害花朵的風險(Banda and Paxton, 1990; Roubik, 1995)，因此本次試驗未進行該項測試。此外，使用震動器必須重複震動2日至3日才能達到良好效果(Moore, 1968)，本實驗人工授粉效果不佳，可能也是由於未重複對同一朵花連日授粉所致。第二種是噴施番茄生長素促使其單為結果，本次試驗施用4-CPA效果良好，著果率達89%。蜜蜂授粉效果亦佳，著果率達92%。蜜蜂授粉與藥劑施用之著果率無顯著差異，兩者皆顯著高於人工授粉2倍以上，遠高自然著果率10倍以上(表一)。

本試驗各處理均未產生畸形果(表一)，表示本試驗環境、季節(冬季)及其他各項條件適合栽種此番茄品種。試驗結果顯示，依照推薦的劑量使用4-CPA不會影響果實發育。當施用過量4-CPA時，雖可產生更多果實，但卻造成畸形果大量產生(Gemici *et al.*, 2006)。畸形果的產生在夏季較嚴重，尤其是設施內之高溫環境，大部分的原因在於花粉受損(Peet *et al.*, 1998)，此外當高溫時使用4-CPA亦無法有效增加著果(Sasaki *et al.*, 2005)，農民為求產量施用過量藥劑，可能造成藥害，造成畸形果產生。

本試驗各處理之果重約194g、果長約7.2cm及果寬約7cm，三者與對照組比較均無顯著差異；此外，果實長寬比約1.03、糖度約4.5°Brix及糖酸比約1.8，各

處理間無顯著差異，果實接近圓形(表一及表二)。試驗結果顯示，各項果實性狀未因不同處理產生影響，即使是無授粉處理，雖然著果率極低，但若已結成果實亦能正常發育。表示此番茄品種一旦成功授粉，即可產出穩定品質之果實，提升著果即可有效提升產量。唯一具顯著差異的是果實內種子數，蜜蜂授粉、人工授粉及無授粉處理間無顯著差異，約55顆，顯著高於藥劑施用處理，僅有約3顆(表二)。又單為結果與正常發育之果實品質及糖酸比幾乎雷同。顯示冬季設施栽培之大果番茄，可應用西方蜜蜂授粉，並可取代番茄生長素施用。

熊蜂一直是國外設施番茄的主力授粉蜂種(Banda and Paxton, 1990; Kevan *et al.*, 1991; Van Ravestijn and Van Der Sande, 1991; Porporato *et al.*, 1993; Velthuis and Van Doorn, 2006)。近年，加拿大學者評估西方蜜蜂可以取代冬季番茄設施內熊蜂的授粉工作(Sabara and Winston, 2003)，甚或將西方蜜蜂與熊蜂同時置於設施內授粉可再提高果實產量(Higo *et al.*, 2004)。臺灣的現況尚無法自由進口外國熊蜂用於授粉，須專案申請並接受官方管制，且有使用特定設施栽種等限制，本土熊蜂則尚未開發授粉商用產品，而西方蜜蜂是可輕易取得的授粉資材，值得應用於設施番茄栽培。

二、設施草莓應用西方蜜蜂授粉效益調查

草莓品種「豐香」可自花授粉，但在無授粉者協助下，自然著果率低，僅約59%±30%，人工授粉著果率可提升至

75% ± 29%，而應用蜜蜂授粉著果率則可達100% ± 0%（表三）。蜜蜂授粉與無授粉處理間著果率具顯著差異，但蜜蜂授粉與人工授粉，及人工授粉與無授粉處理間著果率均不具顯著差異。人工授粉及無授粉處理之標準偏差均較高，表示此二種處理的穩定性較低，人工授粉可能由於操作者的技術不純熟或不同人員操作影響著果率；無授粉者僅依靠自然擾動授粉，著果率亦波動起伏不定。試驗結果代表蜜蜂授粉確實能增加草莓著果，可取代人工授粉。

比較畸形果率可發現，無授粉處理高達約81%，人工授粉仍有約40%畸形果實，而蜜蜂授粉則完全沒有畸形果實，三者間均具顯著差異，顯示蜜蜂授粉確實能減少畸型果產生（表三）。因草莓的畸型果產生，源自於瘦果發育不良，因此可以看到在種子數之比較亦呈現相同的趨勢，蜜蜂授粉最高約270顆，人工授粉次之約219顆，無授粉最低約164顆，三者間均具顯著差異（表四）。草莓的瘦果發育數目，是決定草莓重量的重要因子(Webb *et al.*, 1974)，花托的生長速率與瘦果數目呈正相關(Archbold and Dennis Jr, 1985; De Oliveira *et al.*, 1990)。因此，在果重、果長及果寬之比較，同樣以蜜蜂授粉最高（果重約17g；果長約46mm；果寬約33mm），人工授粉次之（果重約12g；果長約39mm；果寬約29mm），無授粉最低（果重約7g；果長約32mm；果寬約24mm），三者間均具顯著差異（表四）。雖然果實大小存在差異性，各處理之長寬比無顯著差異，約1.4，果實仍然皆近似錐形（表四）。此外，本試驗各處理之糖度約9.2°Brix，

酸度約2.1%，糖酸比約4.3，上述特性均無顯著差異，顯示果實風味不因處理不同產生影響（表三）。

草莓雖然能依靠自花授粉或風力授粉，其所生產的果實重量及瘦果發育率，皆顯著低於利用蜂類授粉者(Connor and Martin, 1973)。本試驗結果亦顯示，草莓經西方蜜蜂授粉後，可顯著增加果實重量且果粒較大，並可減少畸型果產生，同時增加著果率。顯示西方蜜蜂授粉技術可應用於設施草莓栽培，以提升果實產量及品質，值得推廣至產業應用。

誌謝

感謝林孟均副研究員給予試驗設計、材料選取及作物授粉的建議，感謝張廣森前分場長及吳岱融助理研究員協助草莓育種及栽培管理，感謝陳慶旺先生、趙語矜先生、劉茂榮先生及張素絨小姐協助田間作物栽培、蜂群管理及試驗數據收集，感謝吳登楨副場長及吳輝虎前副研究員給予蜜蜂授粉技術指導，感謝陳昶璋助理研究員給予數據分析統計的建議。

表一 比較蜜蜂授粉、藥劑處理、人工授粉及無授粉處理對番茄果率、畸形果率、可溶性固形物、可滴定酸及糖酸比之影響

Table 1. Comparison the effects of fruit set, misshape fruit rate, total soluble solids, titratable acid and total soluble solids/titratable acid of tomato among honey bee pollination, 4-CPA treatment, artificial pollination and non-pollination treatment

Treatment	Fruit set (%) (n = 40)	Misshapen fruit rate (%)	Total Soluble Solids (°Brix)	Titratable Acid (%)	Total Soluble Solids/Titratable Acid
Honey bee pollination	92 ± 1.6 a ^z	0 ± 0 a	4.5 ± 0.3 a	2.5 ± 0.1 a	1.8 ± 0.1 a
4-CPA treatment	89 ± 3.6 a	0 ± 0 a	4.5 ± 0.3 a	2.5 ± 0.2 a	1.8 ± 0.2 a
Artificial pollination	43 ± 7.4 b	0 ± 0 a	4.5 ± 0.5 a	2.4 ± 0.2 a	1.9 ± 0.2 a
Non pollination	8 ± 3.7 c	0 ± 0 a	4.6 ± 0.3 a	2.5 ± 0.2 a	1.8 ± 0.2 a

^zMeans ± standard error (n = 20; except 2nd column n = 40) within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test.

表二 比較蜜蜂授粉、藥劑處理、人工授粉及無授粉處理對番茄果重、果長、果寬、長寬比及種子數之影響

Table 2. Comparison the effects of weight, length, width, weight/length, seed number of tomato among honey bee pollination, 4-CPA treatment, artificial pollination and non-pollination treatment

Treatment	Weight (g)	Length (cm)	Width (cm)	Weight/Length	Seed number
Honey bee pollination	202 ± 16.0 a ^z	7.3 ± 0.1 a	7.1 ± 0.1 a	1.02 ± 0.00 a	57 ± 2.9 a
4-CPA treatment	202 ± 16.2 a	7.1 ± 0.1 a	6.9 ± 0.1 a	1.02 ± 0.01 a	3 ± 0.8 b
Artificial pollination	185 ± 18.9 a	7.2 ± 0.1 a	7.0 ± 0.1 a	1.05 ± 0.02 a	53 ± 5.4 a
Non-pollination	183 ± 14.0 a	7.2 ± 0.2 a	7.0 ± 0.2 a	1.03 ± 0.01 a	56 ± 8.0 a

^zMeans ± standard error (n = 20) within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test.

表三 比較蜜蜂授粉、人工授粉及無授粉處理對草莓著果率、畸形果率、可溶性固形物、可滴定酸及糖酸比之影響

Table 3. Comparison the effects of fruit set, misshape fruit rate, total soluble solids, titratable acid and total soluble solids/titratable acid of strawberry among honey bee pollination, artificial pollination and non-pollination treatment

Treatment	Fruit set (%) (n = 40)	Misshapen fruit rate (%)	Total Soluble Solids (°Brix)	Titratable Acid (%)	Total Soluble Solids/Titratable Acid
Honey bee pollination	100.0 ± 00.0 a ^z	00.0 ± 0.0 a	9.3 ± 0.4 a	2.2 ± 0.1 a	4.3 ± 0.1 a
Artificial pollination	75.0 ± 28.9 ab	40.0 ± 25.8 b	9.3 ± 0.3 a	2.1 ± 0.1 a	4.4 ± 0.4 a
Non-pollination	58.8 ± 30.4 b	81.3 ± 13.0 c	9.0 ± 0.1 a	2.1 ± 0.2 a	4.3 ± 0.4 a

^zMeans ± standard error (n = 20; except 2nd column n = 40) within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test.

表四 比較蜜蜂授粉、人工授粉及無授粉處理對草莓果重、果長、果寬、長寬比及種子數之影響

Table 4. Comparison the effects of weight, length, width, weight/length, seed number of strawberry among honey bee pollination, artificial pollination and non-pollination treatment

Treatment	Weight (g)	Length (mm)	Width (mm)	Weight/Length	Seed number
Honey bee pollination	16.9 ± 1.6 a ^z	45.6 ± 2.4 a	32.6 ± 1.5 a	1.4 ± 0.0 a	270 ± 18 a
Artificial pollination	11.8 ± 1.4 b ^z	38.7 ± 4.1 b	28.9 ± 1.3 b	1.4 ± 0.1 a	219 ± 9 b
Non-pollination	6.9 ± 1.8 c ^z	32.3 ± 4.1 c	24.4 ± 2.9 c	1.3 ± 0.1 a	164 ± 19 c

^z Means ± standard error (n = 20) within each column followed by the same letter are not significantly different at 5% level by LSD test.

參考文獻

- 行政院主計總處。2010。99年農林漁牧普查。
- 行政院農業委員會。2017。農業統計年報(106年)。
- 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所。2017。植物保護手冊。
- 林孟均、吳輝虎、盧美君。2013。義大利蜂授粉技術運用於網室苦瓜生產之研究。苗栗區農業改良場 研究彙報。3: 43-54。
- 林孟均、盧美君。2017。後蜂物質調控蜂群於網室胡瓜授粉之應用。苗栗區農業改良場 研究彙報。6: 57-70。
- 林俊彥、吳登楨。1996。蜜蜂授粉技術-露地栽培。蜜蜂授粉技術。p16-26。
- 吳登楨、吳輝虎。2002。設施栽培蜜蜂授粉技術之研究及利用。台灣昆蟲特刊。4: 107-13。
- 陳吉同、謝豐國。2001。蜜蜂對"豐香"品種草莓授粉效果評估。植物保護學會會刊 43: 117-127。
- Antonelli, A. L., D. F. Mayer, D. M. Burgett, and T. Sjulín.** 1988. Pollinating insects and strawberry yields in the Pacific Northwest. *Amer. Bee J.* 129: 618-620.
- Archbold, D. D. and F. G. Dennis Jr.** 1985. Strawberry receptacle growth and endogenous IAA content as affected by growth regulator application and achene removal. *J. Amer. Soc. Hoc. Sci.* 110: 816-820.
- Bagnara, D. and C. Vincent.** 1988. The role of insect pollination and plant genotype in strawberry fruit set and fertility. *J. Hort. Sci.* 63: 69-75.
- Banda, H. J. and R. J. Paxton.** 1990. Pollination of greenhouse tomatoes by bees. *Acta. Hort.* 288: 194-198.
- Chagnon, M., J. Gingras, and D. De Oliveira.** 1993. Complementary aspects of strawberry pollination by honey and indigenous bees (Hymenoptera). *J. Econ. Entomol.* 86: 416-420.
- Chetelat, R. T., R. A. Pertuzé, L. Faúndez, E. B. Graham, and C. M. Jones.** 2009. Distribution, ecology and reproductive biology of wild tomatoes and related nightshades from the Atacama Desert region of northern Chile. *Euphytica* 167: 77-93.
- Connor, L. J. and E. C. Martin.** 1973. Components of pollination of commercial strawberries in Michigan. *Hort. Sci.* 8: 304-306.
- De Oliveira, D., L. Savoie, and C. Vincent.** 1990. Pollinators of cultivated strawberry in Québec. *Acta Hort.* 288: 420-424.
- Dodd, M. E., J. Silvertown, and M. W. Chase.** 1999. Phylogenetic analysis of trait evolution and species diversity variation among angiosperm families. *Evolution* 53: 732-744.
- Eilers, E. J., C. Kremen, S. S. Greenleaf,**

- A. K. Garber, and A. M. Klein.** 2011. Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. *PLoS ONE* 6: e21363.
- Franceschinelli, E. V., C. M. S. Neto, F. G. Lima, B. B. Gonçalves, L. L. Bergamini, B. A. R. Bergamini, and M. A. Elias.** 2013. Native bees pollinate tomato flowers and increase fruit production. *J. Pollinat. Ecol.* 11: 41-45.
- Free, J. B.** 1968. The pollination of strawberries by honeybees. *J. Hort. Sci.* 43: 107-111.
- Free, J. B.** 1993. Insect pollination of crops. London: Academic Press.
- Gallai, N., J. M. Salles, J. Settele, and B. E. Vaissière.** 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecol. Econ.* 68: 810-821.
- Gemici, M., T. Bengü, and T. Kit.** 2006. Effects of 2, 4-D and 4-CPA on yield and quality of the tomato, *Lycopersicon esculentum* Miller. *J. Fac. Sci.* 29: 24-32.
- Goka, K., K. Okabe, M. Yoneda, and S. Niwa.** 2001. Bumblebee commercialization will cause worldwide migration of parasitic mites, *Mol. Ecol.* 10: 2095-2099.
- Goodman, R. D. and B. P. Oldroyd.** 1988. Honeybee pollination of strawberries (*Fragaria x ananassa* Duchesne). *Aust. J. Exp. Agri.* 28: 435-438.
- Harter, B., C. Leistikow, W. Wilm, B. Truylio, and W. Engels.** 2002. Bees collecting pollen from flowers with poricidal anthers in a south Brazilian Araucaria forest: a community study. *J. Apic. Res.* 40(1-2): 9-16.
- Higo, H. A., N. D. Rice, M. L. Winston, and B. Lewis.** 2004. Honey bee (Hymenoptera: Apidae) distribution and potential for supplementary pollination in commercial tomato greenhouses during winter. *J. Econ. Entomol.* 97: 163-70.
- Kakutani, T., T. Inoue, T. Tezuka, and Y. Maeta.** 1993. Pollination of strawberry by the stingless bee, *Trigona minangkabau*, and the honey bee, *Apis mellifera*: An experimental study of fertilization efficiency. *Res. Pop. Ecol.* 35: 95-111.
- Kearns, C. A., D. W. Inouye, and N. M. Waser.** 1998. Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29: 83-112.
- Kevan, P. G., W. A. Straver, M. Offer, and T. M. Laverty.** 1991. Pollination of greenhouse tomatoes by bumblebees in Ontario. *Proc. Entomol. Soc. Ontario* 122: 15-19.
- Klein, A. M., B. E. Vaissière, J. H. Cane, I. Steffan-Dewenter, S. A. Cunningham, C. Kremen, and T.**

- Tscharntke.** 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B* 274: 303-313.
- Matsuka, M. and T. Sakai.** 1989. Bee pollination in Japan with special reference to strawberry production in greenhouses. *Bee World* 70: 55-61.
- McGregor, S. E.** 1976. Insect pollination of cultivated cropplants. U.S.D.A. Agriculture Handbook No. 496: 93-98.
- Moore, E. L.** 1968. Obtaining fruit set of plastic greenhouse tomatoes. *Miss. Agri. Expt. Sta. Bull.* 768, 8pp.
- Moore, J. N.** 1969. Insect pollination of strawberries. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94: 362-364.
- Morandin, L. A., T. M. Lavery, and P. G. Kevan.** 2001. Bumble bee (Hymenoptera: Apidae) activity and pollination levels in commercial tomato greenhouses. *J. Econ. Entomol.* 94: 462-467.
- Morse, R. A. and N. W. Calderone.** 2000. The value of honey bees as pollinators of US crops in 2000. *Bee Culture* 128: 1-15.
- Nitsch, J. P.** 1950. Growth and morphogenesis of the strawberry as related to auxin. *Am. J. Botany* 37: 211-215.
- Nye, W. P. and J. L. Anderson.** 1974. Insect pollinators frequenting strawberry blossoms and the effect of honey bees on yeild and fruit quality. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 99: 40-44.
- Ollerton, J., R. Winfree and S. Tarrant.** 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos.* 120: 321-26.
- Ono, M.** 1997. Ecological implications of introduced *Bombus terrestris*, and significance of domestication of Japanese native bumblebees (*Bombus* spp.), *Proc. Int. Workshop on Biological Invasions of Ecosystem by Pests and Beneficial Organisms, Tsukuba, Japan*, pp. 244-252.
- Peet, M. M., S. Sato, and R. G. Gardner.** 1998. Comparing heat stress effects on male-fertile and male-sterile tomatoes. *Plant Cell Environ.* 21: 225-231.
- Pinzauti, M.** 1994. Pollinator behaviour and activity in colonies of *Apis mellifera* in confined environments. *Ethology Ecol. & Evol. Special Issue* 3: 101-106.
- Ponappa, T. and A. R. Miller.** 1996. Polyamines in normal and auxin-induced strawberry fruit development. *Physiol. Plantarum* 98: 447-454.
- Porporato, M., A. Patetta, F. Marletto, A. Manino, and L. Allais.** 1993. Use of bumble bees for the pollination of tomatoes grown under cover. *Apic.*

- Moder. 84: 135-140.
- Roubik, D. W.** 1995. Pollination of cultivated plants in the tropics. Rome: Food and Agriculture Organization Press.
- Sabara, H. A. and M. L. Winston.** 2003. Managing honey bees (Hymenoptera: Apidae) for greenhouse tomato pollination. J. Econ. Entomol. 96: 547-54.
- Sasaki, H., T. Yano, and A. Yamasaki.** 2005. Reduction of high temperature inhibition in tomato fruit set by plant growth regulators. Jpn. Agri. Res. Q. 39: 135-138.
- Sato, S., M. M. Peet, and J. F. Thomas.** 2000. Physiological factors limit fruit set of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under chronic, mild heat stress. Plant Cell Environ. 23: 719-726.
- Southwick, E. E. and L. Southwick Jr.** 1992. Estimating the economic value of honey bees (Hymenoptera: Apidae) as agricultural pollinators in the United States. J. Econ. Entomol. 85: 621-633.
- Sung, I. H. and C. H. Chiang.** 2014. Study of honeybee and bumblebee pollination for screen-house tomatoes in Taiwan. Formosan Entomol. 34: 21-31.
- Teppner, H.** 2005. Pollinators of tomato, *Solanum lycopersicum* (Solanaceae), in central Europe. Phyton 45(2): 217-235.
- Van Ravestijn, W. and J. Van Der Sande.** 1991. Use of bumblebees for the pollination of glasshouse tomatoes. Acta. Hort. 288: 204-212.
- Van Ravestijn, W. and L. Nederpel.** 1988. Trostrillers in België aan de kant: hommels doen het werk. Groenten en Fruit 6: 38-41.
- Velthuis, H. H. W. and A. Van Doorn.** 2006. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination. Apidologie. 37: 421-451.
- Watanabe, M. E.** 1994. Pollination worries rise as honey bees decline. Science 265: 1170.
- Webb, R. A., J. V. Purves, and B. A. White.** 1974. The components of fruit size in strawberry. Scientia Hort. 2: 165-174.

The effectiveness of honey bee (*Apis mellifera*) for the pollination of tomato and strawberry in facilitated culture

Pei-Shou Hsu* and Mei-Chun Lu

Miaoli District Agricultural Research and Extension Station, Council of Agriculture, Executive Yuan, Taiwan, R. O. C.

ABSTRACT

Tomato and strawberry cultivations are restricted due to variable climate conditions and pest occurrences. Facilitated culture became an alternative consideration for crop to overcome the environmental barriers. Facing the dilemma of lacking fertilization agents in facilitated culture, the pollination technology by honey bee (*Apis mellifera*) will be introduced, and the pollination effectiveness for screen-house tomato and greenhouse strawberry will be evaluated in the study. The results show that honey bee was suitable for screen-house tomato pollination, and it was the alternative for growth regulator (4-chlorophenoxyacetic acid). The fruit qualities and flavors were not influence by honey bee pollination. Furthermore, the results show that honey bee was suitable for greenhouse strawberry pollination, and it was better than the artificial pollinator. There were increases of fruit yield and quality, while the fruit flavors was not influenced. The results indicated that honey bee pollination for greenhouse crops was worth promoting.

Keywords: honey bee, pollination, facilitated culture, tomato, strawberry

*Corresponding author, e-mail: pshsu@mdais.gov.tw