

出國報告（出國類別：國際會議）

參加第34屆國際化學生態學學會年會報告

服務機關：台灣糖業股份有限公司研究所

姓名職稱：呂佳燕(農藝技術師)

派赴國家：匈牙利

出國期間：民國107年8月11日至107年8月20日

報告日期：民國107年10月15日

摘要

本次出席由化學生態學學會、匈牙利農業研究中心、匈牙利科學院及匈牙利植物保護協會共同舉辦於匈牙利布達佩斯之2018年第34屆化學生態學學會研討會，研討會為期6日(8月12 - 17日)，共計各國研究學者約有350人參加，包含5場重點專題演講、177場次短篇演講及海報發表158篇。化學生態學是一門結合化學及生物學之科學，著重於探討生物個體間的化學訊號傳遞及機制。昆蟲相較於脊椎動物更倚賴化學物質作為溝通訊號，因此研討會以植物防禦食草動物(昆蟲)為主軸，主題涵蓋新化學訊號之結構、種間關係、種內個體關係及應用。農業自始為台糖公司之本，藉由參加此會議，期望能從昆蟲的角度觀看與植物之間的交互作用，學習自然界植物防禦害蟲的天然機制，以做為未來台糖公司在開發農業應用研究上之參考。

目錄

壹、目的.....	4
貳、人員名單及行程摘要.....	5
一、出國人員名單.....	5
二、出國行程摘要.....	5
參、過程.....	6
一、會議地點.....	6
二、大會簡介.....	6
三、研討會內容摘要.....	6
肆、心得及建議.....	11
附錄.....	13

壹、目的

地球上所有的物種都會利用化學物質作為媒介來傳遞訊息，透過化學訊息的釋放及接收進行生物體間之溝通，可稱為最古老的語言。化學生態學發展至今已有30年，是一門跨化學、生物化學、自然科學等領域結合之科學，涉及生物體物種內及物種個體間相互溝通的化學作用機制。化學生態之研究包括化學物質訊息之鑑定、分析及合成，以及訊息受體及傳遞系統的作用，進而探討其對生物體發育、行為表現及生態演化之影響。生物透過演化來適應環境，面對病原及害蟲的侵擾，植物發展出些有趣的防禦機制，當然害蟲也發展因應策略，兩者在演化上相互追逐競賽，因而產生共演化現象。透過剖析植物與食草動物之間的攻防策略，了解大自然運轉機制，若能應用自然界已存在的機制防治病蟲害，對於環境生態來說會是較低衝擊的方式。藉由參加本次研討會吸收相關新知識，並從跨領域的視角來看植物保護，期望未來能對研究有所啟發。

貳、人員名單及行程摘要

一、出國人員名單

服務機關	職稱	姓名
台糖公司研究所生物組	農藝技術師	呂佳燕

二、出國行程摘要

日期	抵達地點	工作內容
107.08.11	布達佩斯	搭機抵達維也納機場，轉火車至布達佩斯
107.08.12	布達佩斯	完成報到手續，取得入場證與會議相關議程資料。
107.08.13-17	布達佩斯	出席第34屆化學生態學年會會議
107.08.18-19	布達佩斯/維也納	私人行程(以個人休假辦理)
107.08.20	台灣	自維也納機場搭機返台

參、過程

一、會議地點

2018年國際化學生態學研討會於匈牙利布達佩斯之 NOVOTEL Budapest City 飯店之會議中心(Budapest Congress Center)舉辦，位於布達舊城區之西方，此地點有輕軌與多路公車共構，往返鬧區之交通十分便捷。

二、大會簡介

國際化學生態學會（ISCE）於1983年9月12日在美國肯塔基州成立，是集結全球生物學家和化學家之跨領域學科合作的核心組織，會員來自45個國家、450多位常駐成員。本屆化學生態學學會研討會，由植物保護協會、農業研究中心、匈牙利科學院及匈牙利植物保護協會共同舉辦。會場位於 NOVOTEL Budapest City 飯店之地下1樓，總共四個演講廳，其中最大的 Patria hall 可容納近千人，用於研討會之開幕式及 Silverstein-Simeone Lecture Award 得獎者之專題演講，另有三間中小型會議廳進行分項主題之研究發表。會議議程主要集中於其中5天，內容緊湊，每日以一場1小時之專題演講作為開始，而後便分成三個主題分別於中小型會議室進行每場15分鐘之研究發表，其中另有半天為海報論文展示。研討會會場外隨時供應茶水點心，而午餐另採付費制。

三、研討會內容摘要

本屆化學生態學年會由本屆 Silverstein-Simeone 獎的得主 Anurag Agrawal 之專題演講開場，Agrawal 來自康乃爾大學，研究生涯致力於研究乳膠(latex)在植物防禦中之角色，以及乳膠所涉及昆蟲與植物之間的共演化。演講以植物化學防禦的自然演化史為主題，帶大家從早期植物防禦理論、到天敵參與的防禦機制，再到講者本人擅長的植物與昆蟲之共演化，可謂是幫本次研討會做了一個全面的概述。緊接著由來自蘇黎世聯邦理工學院的 Consuelo M. De Moraes 專題演講，探討揮發性氣體在生態及疾病診斷上的應用，揮發性物質作為物種之間的溝通訊號，除了在生態上原有的功能之外，也具作為農業和醫學生物標誌的潛在應用性。目前 Moraes 團隊正在研究利用氣味偵測診斷瘧疾的可行性，概念來自人類感染瘧疾後，引發人體散發的氣味變化，以至於影響到對病媒蚊的吸引力，故期望可利用氣味來協助

疾病診斷，特別是對於無症狀感染的帶原者。講者近期在肯尼亞進行的研究成果指出，篩檢當地人皮膚所產生揮發性氣體，可以有效地識別有症狀和無症狀的瘧疾帶原者。

研討會第二天之專題演講者為東京大學的安藤哲，為本屆 Siler Medal Award 得主，其研究室透過有機合成的技術，至今已合成16科64種蛾類的性費洛蒙，以及250種蛾類引誘劑。主要透過質譜儀分析性費洛蒙的分子，再以 enantioselective HPLC 解出化學立體結構。安藤研究團隊近期也發現了新的 methyl-branched 構造之性費洛蒙，並開發出以環氧丙烷之衍生物-二次甲苯磺酸鹽，進行 SN2反應之合成方法。來自柏林自由大學之 Monika Hilker，與我們分享植物感應到昆蟲產卵後，植物體內所產生的化學分子反應。其研究團隊發現當植物感受到被下卵時若先有了預警，會引發植物體內苯丙烷類量提高，之後將會在幼蟲敷化出來時引發更強烈的防禦反應。另外也探討植物感應蟲卵存在的關鍵物質，經過實驗排除掉辨識蟲卵上附著的微生物、以及蟲卵本身組成物質(如幾丁質等)後，證實為蟲卵的分泌物。

第五場專題演講由本屆 Early Career Award 得獎者 Martin N. Andersson 負責，Andersson 來自隆德大學生物學系。一般科學上對於費洛蒙的研究多以蛾類作為模式生物，但 Andersson 透過非模式昆蟲的物種來研究嗅覺受體的演化及功能，包括樹皮甲蟲及癭蚧等，近期研究成果證實蛾類的性費洛蒙受體(pheromone receptor)極有可能是由接收植物氣味的受體(odorant receptor)演化而來。此外，不同化學物質的受體在同一個嗅覺神經元共位(colocalize)之現象，將有助於提升昆蟲感受周圍環境狀態之敏感性。

其他參與之研討會研究主題背景及相關研究內容摘要如下：

1. 三個營養階層間的交互作用(Tritrophic interactions)

早期生態學僅從兩級營養階層探討植物與食草動物(Herbivores)兩者間的互動關係，1980年 Price 等人率先加入了第三營養層級-天敵的概念，認為植物在防禦害蟲的過程中應涉及了三個營養階層間的交互作用，意指植物-食草動物-天敵(含掠食昆蟲及寄生蜂)三者之間存在錯綜複雜的關係。當中特別指出植物在被食草動物攻擊的情況下，可能會啟動某種對第三個營養級別-天敵的吸引機制。而後到了1990年代，Bradleigh Vinson、Donald Nordlund 及 Joe Lewis 等學者接連找到化學性證據，證實受傷植物會釋放氣體並吸引天敵的這項理論，此開創性的研究結果引領世人來到新的視野，同時這項理論極富生態學演化上的意義。自那時起，吸引眾多的科學家開始投入研究被誘導產生的植物氣體、植物-節肢動物及植物-植物間交互作用，龐大的知識量開始累積，現今三級營養階層之交互作用被認為是自然界裡植物防禦害蟲之核心理論。

2. 食草動物誘發之植物氣體(Herbivore-Induced Plant Volatiles, HIPV)

食草動物誘發植物產生的揮發性氣體(HIPV)在化學生態學領域中是相當熱門的議題，目前發現當植物受到食草動物(昆蟲、軟體動物等)攻擊啃食後，會合成 HIPV 釋放到環境中，而 HIPV 對於食草動物的天敵來說是一種極具吸引力的化學訊息，甚至比獵物本身的氣味強烈，因此 HIPV 的產生目前被視為植物防禦的反應之一。

來自被啃食的新鮮葉部所產生的 HIPV 又稱為 green leaf volatiles (GLV)，包含醇、醛、酯等組成的混合物，研究證實於剛被鱗翅目幼蟲啃食過的葉片上可偵測到大量具有專一性的 GLV 釋放，將 GLV 收集後可明顯吸引雌性寄生蜂，最初這項實驗是在 *Microplitis croceipes* 和 *Netelia heroic* 寄生蜂上證實。此外，HIPV 不單單會從傷口局部部位產生，有些時候植物系統性的防禦機制被啃食行為誘導，導致全株散發吸引天敵前來的物質。但相較之下，若僅是傷口局部產生 HIPVs，反而能給予天敵較準確的定位。同樣的情況不僅限於地上部，研究指出被啃食過的地下根部也會釋出化學訊號召喚土壤中的昆蟲寄生性線蟲。另外不僅是天敵，害蟲也會偵測到 GLV 的產生，雌成蟲藉此避免將卵產在已被啃食過的葉子上，確保幼蟲孵化後周圍還有足夠的食物。其他研究也指出 HIPV 可作為植物個體間的警報訊號，鄰近的健康植株會因接收到 HIPV 而預先引發防禦反應。

昆蟲在啃食植物時所留下的口器分泌物也是誘導植物產生 HIPV 的關鍵刺激物質。GLV 從傷口處釋放時會接觸到昆蟲啃食留下的口水，兩者進行化學反應因而轉化了 GLV 的成分，不同昆蟲的口水成分差異能轉換出不同的 GLV 型態，因而具有專一性，此正能解釋植物為何能夠吸引到正確的天敵種類。寄生蜂會偵測並區別因不同寄主昆蟲所誘發的 HIPVs，這項能力有些是與生俱來，但大部分的寄生蜂對於判別不同的 HIPVs 其實是仰賴從經驗中學習。吸引寄生蜂的影響因子，不僅是 HIPVs 組成間微小而複雜的差異，也包含環境當中的氣體背景值，寄生蜂偵測上述各項條件所綜合而得的揮發性物質，進而能判斷最佳的食物來源及位置。

不同的植物種類甚至是不同的基因型植物所產生的 HIPV 成分皆有差異，產生的 HIPV 量及組成比例也因啃食昆蟲種類而改變，其中萜類化合物被認為可能扮演至關重要的角色，因為比較不同基因型的植物所產生的 HIPV 成分，萜類化合物的變化程度很大。從行為研究中也證實，天敵對於一些 HIPV 中常見的萜類化合物有正向反應，例如 monoterpene (E)- β -ocimene 及 monoterpene alcohol linalool、methylene monoterpene (3E)-4,8-dimethyl-1,3,7-nonatriene、methylene sesquiterpene (3E,7E)-4,8,12-dimethyl-1,3,7,11-tridecatetraene 和 sesquiterpene (E)- β -caryophyllene 等。此外，當植物受

到攻擊之後，HIPV 才會重頭開始合成，合成所耗費的時間長短與植物種類有關，玉米僅須幾小時便可合成，有些植物甚至可能需耗時一天。事實上，演化出HIPVs 的主要目的是否為了吸引天敵，仍存在有爭議性。理論上演化的結果勢必會有利於物種，雖然多數學者認為植物釋放HIPV 吸引天敵來取食昆蟲這件事，對於植物本身及天敵雙方來說皆是有利的，實際上卻也並非絕對，有些寄生蜂寄生在昆蟲身上之後，不會造成昆蟲立即性死亡，反而促進昆蟲的食量，這點從演化的觀點看來有些衝突，因此有學者認為HIPVs 吸引天敵只是間接效應。HIPVs 真實的功能到底是什麼？演化出了HIPVs 的目的為何？值得科學家持續進行探討。

3. 蟲卵誘導的植物防禦

植物對於害蟲侵入的感應源不只有被啃食產生傷口，也包含昆蟲或軟體動物在植物上行走、取食所產生的震動及產卵等行為，皆有機會引起植物防禦反應。尤其是當植物感受到被下卵時，體內便會開始產生化學變化，包含光合作用活性降低、萜類合成相關基因及植物防禦相關基因表現量提高、植物激素含量改變(如水楊酸量提高、乙烯量降低)等，並以直接和間接的方式進行防禦。直接方式包括合成殺卵物質、於蟲卵接觸位置形成增生組織使卵一同脫落、在卵周圍形成增生組織將卵夾死、啟動壞疽反應造成葉面破洞迫使卵掉離植株等；間接方式則是藉由化學物質的釋放吸引寄生蜂。且植物防禦警報一旦被蟲卵誘發，若後續再遭受孵化出的幼蟲啃食，植物防禦反應的強度便會比一般受啃食時更為強烈，這種事先警報(priming)的效果在多種植物上皆已驗證，如玉米、豆科、松樹等。然而有研究指出近代作物對於蟲卵的反應似乎有減弱的趨勢，原因尚不清楚，但也將導致其更容易受到蟲害。目前該領域研究仍存有許多未釐清的議題，像是植物感應蟲卵的受體為何？植物如何辨別不同種的蟲卵？蟲卵引發的植物防禦訊息路徑等。

4. 植物的防禦物質-乳膠和 cardenolides

趨同演化係指兩種不具近緣關係的生物，因長期生活在相似的環境裡，為適應環境而發展出相同功能的器官。地球上約2萬多種的開花植物(約占10%)，已趨同演化出產生乳膠的能力，其他在部分蕈類、蕨類上也曾被報導。乳膠是具有黏性的乳狀體，當植物產生傷口時經由特殊的乳膠管狀器官流出，接觸到外在空氣後逐漸凝固。乳膠之組成分顏色因植物種類而異，包含有多種次級代謝物，如橡膠、生物鹼、萜類及蛋白質等。當中的橡膠成分是乳膠具黏性之來源，可減低昆蟲的行動力並幫助封住葉片傷口，以避免病原菌從傷口入侵。生物鹼和 cardenolides 則具有動物毒性，夾竹桃科中有許多植物的乳膠中富含 cardenolides，佔乾重比例可達30%，cardenolides 是一種 Na⁺/K⁺-ATPases 的抑制物，會與 Na⁺/K⁺-ATPases 上的第122個胺基酸(天門冬醯胺)結合影響其功能，因此對動物細胞具有毒性。不

同植物產生 cardenolides 在糖苷的化學結構會有不同，進而導致對於不同的動物會產生不同強弱的毒性。但目前科學家對於 cardenolides 自植物體內的何處產生，以及如何運送到乳膠中的機制仍不清楚，除了對植物來說具有防禦作用之外也尚未發現其他的功能，因此綜合組成物之特性，乳膠被定義成一種植物的防禦物質。

5. 植物與昆蟲之共演化

乳膠在植物防禦上的研究模式植物以馬利筋(milkweed)最為普遍。本屆 Silverstein-Simeone 獎的得主 Agrawal 便是以馬利筋與帝王蝶(monarch butterfly)之間的共演化作為實驗室研究主軸，對於植物產生乳膠的防禦策略，有些鱗翅目昆蟲也演化出因應的對策，帝王蝶幼蟲體內的 Na⁺/K⁺-ATPases 已演變成對乳膠中的 cardenolides 毒性不敏感，類似的演化也發生在金花蟲上，同樣的桑蠶也發展出能對桑葚乳膠內的生物鹼毒性免疫。在行為模式上的策略上，有些蟲演化出在取食前先以繞圈的方式咬斷葉柄或葉脈，阻斷乳膠的上游管腺，而後便可安心享用剩下的葉肉。另外，透過分子技術分析數十種馬利筋基因，以探討馬利筋的演化趨勢，結果發現馬利筋在乳膠防禦系統上的演化力逐漸減弱，反而在再生的能力上逐漸增強。因此推測植物已開始對於被克服的防禦機制產生其他因應策略，就目前觀察到馬利筋的演化是往快速修補損失組織的方向進行，選擇忍受食草動物的傷害而不再是抵禦它。

6. 昆蟲之嗅覺系統簡介

相較於脊椎動物，昆蟲尤其仰賴化學物質的訊號傳遞，特別是在同種的不同個體間相互的溝通。對於化學性物質的感應，可以分為偵測液態化學物質的味覺及偵測氣體物質的嗅覺。本次研討會當中昆蟲嗅覺的相關研究也相當熱門，嗅覺系統涉及天敵感收到植物釋放的 HIPVs，以及個體間的費洛蒙等等，極受化學生態領域研究的重視。嗅覺受體的基因家族 (gene family) 是佔昆蟲基因體中最大的一群，可見其對昆蟲之重要性。氣體的接收受體主要集中在蟲的觸角，觸角上的細毛密佈許多小孔，裡面藏有遠距化學物質的感受神經元末端受器。為了增加對空氣的接觸面積，雄蛾的觸角演化成櫛齒狀，當空氣中的分子從小孔進入與受器結合，便會產生電脈衝通知腦部。昆蟲之所以能夠精確地分析空氣中複雜的氣味分子，是因為不同的分子皆有對應的嗅覺受體種類，因此目前有許多學者在找尋受體與化學物質的配對關係，以及結合之後神經引發的傳遞路徑等。

肆、心得及建議

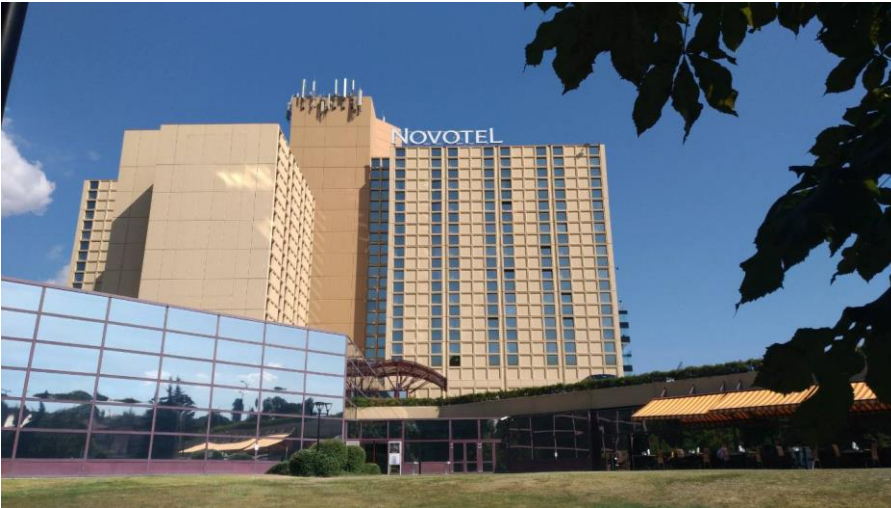
植物和食草昆蟲幾乎佔了地球物種的一半，植物有絕大部分的能量是透過昆蟲進入到生態食物鏈之中，植物與昆蟲的相互作用也因此生態學上受到重視。台糖公司近十年來用心經營有機農業，蟲害往往是有機農業中常面臨的挑戰，也是農業損失的主要原因之一。永續農業之所以重視生物多樣性，也是希望能仰賴自然界生物體之間的交互作用達到生態的平衡，藉此抑制病蟲害的族群。本次研討會主軸為植物對害蟲之防禦，除了植物本身的防禦系統之外，當中涉及重要的天敵參與過程。而 HIPVs 的研究是了解三級營養階層交互作用的關鍵，自此理論被提出至今三十年，藉由跨領域學科間的合作也促進了龐大的知識產生，且越來越多證據顯示這些被昆蟲誘導的揮發性物質具有多種功能，且其在生態上扮演多重角色。本人原先對於吸引天敵的機制，直覺認為是偵測到獵物的氣味，藉由此次研討會讓我了解到天敵行為其實與植物散發出的氣味關係更大，此觀念更新是我在本次研討會中最大的收穫。然而還有許多的未知領域值得我們深入研究，尤其是 HIPV 在演化、誘導產生、釋放和昆蟲感知上的機制等。若能更完整了解這些機制，可以讓我們更了解其在生態及演化上的意義，並幫助人類能更巧妙地應用於植物保護。

目前性費洛蒙的應用在有機農場裡相當普遍，是非化學農藥防治鱗翅目害蟲的優選項目，其是透過對昆蟲嗅覺及行為學之瞭解而發展出來的技術。雖然相關的 HIPV 研究目前還多處在實驗室階段，但這樣天然機制在未來極有潛力開發成農業技術。昆蟲在對於 HIPV 的辨識中涉及許多複雜因素，HIPV 為複雜的混合物，並非像性費洛蒙為單一化學物質，故要合成複製出一樣的氣體組成困難度極高，並且昆蟲的行為又受到環境很大的影響，往往會受環境中其他的氣味干擾，因此目前在應用上仍存在技術瓶頸。但藉由技術的進步，未來也許可以進行 HIPV 的即時偵測，這將可以讓我們更精準的操作與監測，甚至提早偵測到蟲害發生，也是農業4.0的目標。應用自然界原本便存在的機制，轉為對我們農業有利的手段，對於生態來說所受到的衝擊程度，應比投入外源資材等方式來的低，選擇對生態影響低的耕作方法及病蟲害防治技術，為現今永續農業的趨勢。

儘管近年政府政策致力於跨領域結合研究之推廣，但以臺灣學術結構，要跳脫既有的框架及學界倫理分界，來結合跨領域學科之人才著實不易。化學生態學在臺灣算是偏冷門的學科，從事相關研究的人員極少，本次研討會來自臺灣的與會人員，只有本人與臺大農藝系的莊汶博助理教授兩位，莊老師本身是在國外讀書時踏入化學生態領域研究，4年前回國後體認到臺灣在該領域的欠缺，因此也藉由教授作物學時，開始導入植物與昆蟲的交互作用的概念給學生，期望臺灣跨領域學科能逐漸興起。本次研討會涉及許多昆蟲學名及專有名詞以

及化學背景知識，對於本人來說初次接觸頗為陌生，也感謝此行有莊老師在會後從旁解惑，協助我跨入化學生態學的門檻。學習以植物與昆蟲的角度來看生態的演化，不同學科的知識對於本人來說一切皆新鮮有趣，各國學者於會中交流討論相當熱絡，對研究散發出之熱情程度令人感動。感謝台糖公司提供這此出國機會，讓我可以參與海外國際研討盛會。

附錄：與會照片



圖一：本次會議地點 NOVOTEL Budapest City 外觀。



圖二：開幕式準備作業中，會場布置一樓以圓桌形式方便學者交流，二樓為固定式座位。



圖三：本屆 Silverstein-Simeone 獎的得主 Anurag Agrawal 之專題演講開場。



圖四：演講會場之一。



圖五：大會茶敘時段，各國專家學者互動交流熱絡。



圖六：海報展示區。