

昆蟲也會生病

■ 唐立正

動物、植物跟人一樣都會生病，
中世紀歐洲馬鈴薯因感染疫病使糧食歉收而引發饑荒，造成人類大遷徙；
動物口蹄疫，馬、牛和豬大規模發病，使畜牧業大受打擊。
昆蟲也會生病，但可利用這些病原體來防治害蟲。

從生物出現在地球以來，就是微生物的天下，它們個體小，繁殖速度快，且數量龐大。其分布上至太空，下至土壤、海洋、陸地、平原、高山及冰河中，都有它們的蹤跡。甚至有科學家宣稱，地球暖化，冰川溶解會釋放出幾億年前冰封的微生物。由此可見，微生物在地球上所扮演的角色多麼重要。

微生物會造成食物腐敗，促進有機物質分解，使人類發明了製酒及醋。另一方面，微生物為求自身的生存，會抑制其他微生物產生抗生素，科學家藉以分離培養了對人類有益的微生物，提取它們分泌的代謝物做為醫療用途。最有名的例子就是綠黴菌與盤尼西林，它們解救了千萬人的病痛。

也有許多微生物是對動物及人類有害的，如：黴菌會使水族缸內的魚得白點病；人類的肺結核病、肺鼠疫等是由空氣傳播病原微生物所感染的。另皮膚、指甲裡也躲藏著數不盡的微生物，如灰指甲、香港腳等就是由真菌引起的。若皮膚有傷口，病原就容易入侵引起發炎，處理不當還可能造成蜂窩性組織炎，惡化後就形成敗血症，造成死亡。

另外，古生物的研究指出稱霸北美地區的劍齒虎滅絕的可能原因之一，就是被細菌危害造成蛀牙而無法進食，導致個體大量死亡。自然界中昆蟲也和微生物一起生活，有的與昆蟲共生，昆蟲提供微生物棲所，微生物則替昆蟲製造養分，如：蛀幹小蠹與蟲道真菌、樹蜂與擔子菌、白蟻與鞭毛蟲、切葉蟻和菌圃真菌、蚜蟲與類酵母菌等。有些則會入侵體腔，分泌毒質、繁殖菌體，以及因吸取養分造成寄主生理飢餓，引發昆蟲致病而死亡。

常見使昆蟲生病致死的病原，包括：真菌、細菌、微孢子、立克次氏體、病毒、蟲生線蟲等。本文僅介紹最常見的真菌、細菌及蟲生線蟲。

**有些微生物會入侵昆蟲體腔，分泌毒質、繁殖菌體，
以及因吸取養分造成寄主生理飢餓，引發昆蟲致病而死亡。**



（左上）感染綠殭菌的甜菜夜蛾（圖片來源：唐欣潔）；（中上）感染黑殭菌的犀角金龜幼蟲；（右上）感染白殭菌的星天牛；（左下）白殭菌感染榕樹舞毒蛾幼蟲；（中下）感染黑殭菌死亡產孢的埃及斑蚊；（右下）感染黑殭菌的棕帶蟬螂（圖片來源：倪宇亭）。

真菌病

在真菌界中與昆蟲相關的種類，數以萬計，有的就附著在昆蟲體表，藉由昆蟲傳播。如荷蘭榆樹病就是靠歐洲榆小蠹蟲傳播，使得榆樹在數週內死亡。但有些真菌屬於片利共生（只對寄生者有利，對寄主無害），它們寄生在昆蟲體表吸取養分，但不會造成寄主昆蟲死亡。如蟲表菌目會在扁甲蟲體壁的孔口形成足胞結構，吸收體壁養分以發育其菌體，進行繁殖。

有些昆蟲真菌屬於原生病原，會直接侵染昆蟲寄主造成昆蟲生病死亡，如家蠶的白殭菌、金龜子幼蟲的黑殭菌、夜蛾科幼蟲的綠殭菌、蚜蟲的蠟蚧輪枝胞菌、粉蝨類的粉擬青霉菌等。這些真菌都屬於自然發生的蟲生真菌，藉由氣生性孢子隨風傳播，逢機黏附在寄主的體壁表面。

它們的入侵過程如下：附在體表的孢子因高溼環境誘發產生發芽管，發芽管吸收了體表的養分產生吸附器，接著在吸附器前端產生入侵體表的侵入釘，藉由物理（擠壓）及化學（酵素分

解）作用穿透昆蟲體壁進入昆蟲血腔，再形成表皮下菌絲盤。由這灘頭陣地不斷地形成出芽的菌絲體進入昆蟲的循環系統，吸收養分再重複製造菌絲體，直到菌絲體完全充滿血腔，昆蟲終因缺乏營養以致飢餓死亡。

這時昆蟲幼蟲因充滿真菌菌絲，使蟲體呈現僵硬宛如殭屍。而這充滿殭蟲的菌絲，會等待外部環境合適時，穿透體壁在體表形成分生孢子柄，再生長出成鏈的分生孢子隨風飄散停在植物、土表，或寄主昆蟲上進行水平傳播，並等待第二輪的侵染過程。如果環境適合且田間有許多感性的寄主，則會造成全面的感染，使害蟲大量死亡，達到抑制及防治的目的。

科學家收集田間感病的蟲屍，由實驗室分離及純培養，再經過科霍氏法則確定其病原性後，就可開發大量培養技術，培養蟲生真菌的分生孢子生產製劑並商品化，提供給有機農戶做為非農藥防治的有機防蟲資材。

Bassi 在 1834 年自家蠶上分離到白殭菌，1970 年代，蘇聯曾把它用於科羅拉多甲蟲及蘋果蛀蟲的生物防治。1977 年，中國大陸就曾施用這種病原真菌以防治玉米螟幼蟲。在未施用白殭菌之前，玉米螟會造成 60 % 的損害，施用 3 年後降到只有 20 %，4 年後是 7 %，5 年後更只剩下 2 % 的損害率。

黑殭菌最早於 1880 年由 Metchnikoff 在奧國賽麗金龜發現並應用於象鼻蟲的防治。Müller-Kögler 更蒐集記錄了以黑殭菌防治黑蝽象、飛蝽、叩頭蟲、象鼻蟲、犀角金龜、日本金龜、蔗龜、玉米螟、切根蟲類等害蟲的成效。近期研究發現黑殭菌也可感染埃及與白線斑蚊成蟲及幼蟲，製成餌劑也可造成蟑螂感染死亡。

綠殭菌能自然發生於屬於鱗翅目的多種害蟲上，感染種類超過 30 種以上，特別是對夜蛾科幼蟲的致病力最強，常在田間引發流行病，顯示綠殭菌在害蟲防治中扮演著流行病誘發的角色。在台灣發現的寄主種類有鱗翅目及同翅目，最常見的是黎豆夜蛾、甜菜夜蛾、銀紋夜蛾、玉米穗夜蛾、番茄夜蛾及斜紋夜蛾幼蟲。

細菌病

細菌在環境中經常附著在生物體表面上，它不像真菌有特殊結構能直接入侵生物體，但會藉由生物體表面傷口間接入侵，造成發炎及蜂窩性組織炎，甚至引發敗血死亡。對昆蟲來說，若飼養時密度過高，昆蟲會因自相咬食使傷口引發細菌感染，造成大量死亡。

但也有一些細菌在長期演化過程中，自體細胞在形成抗逆境孢子時會產生特殊

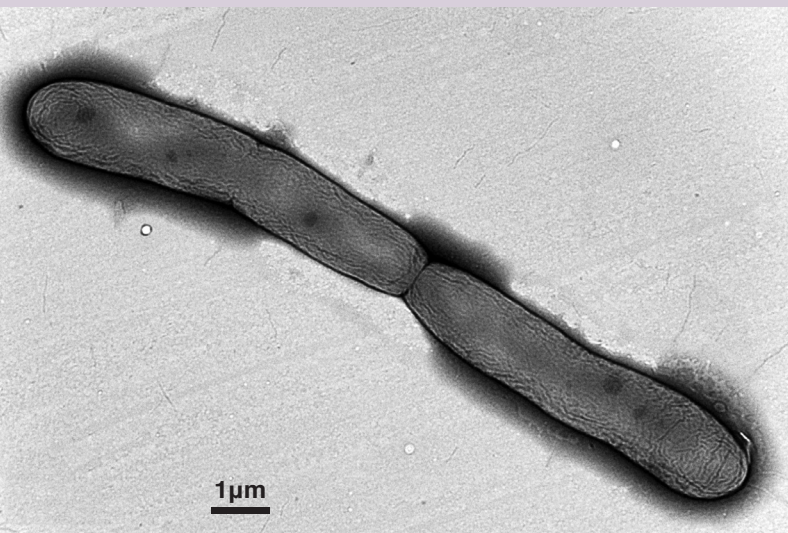
的晶體蛋白，隱藏在原生質中稱為晶體毒素，又稱為 δ -內毒素。當這些種類的細菌被受感染的寄主昆蟲吃入腸道後，因昆蟲腸道呈鹼性，內毒素蛋白就分解為小分子次單位的活性毒素，進而穿過圍食膜對真皮細胞迅速發生作用。如此一來，真皮細胞層便無法進行正常的消化吸收功能，終會導致蟲體死亡。

由於 δ -內毒素會改變中腸腸壁細胞膜的通透性，因而破壞了原來血液中的酸鹼度及離子濃度的平衡，使真皮細胞腐蝕且自基底膜剝落，造成腸道穿孔。另孢子入侵血腔大量繁殖釋出代謝毒質，也會加速寄主的快速死亡。

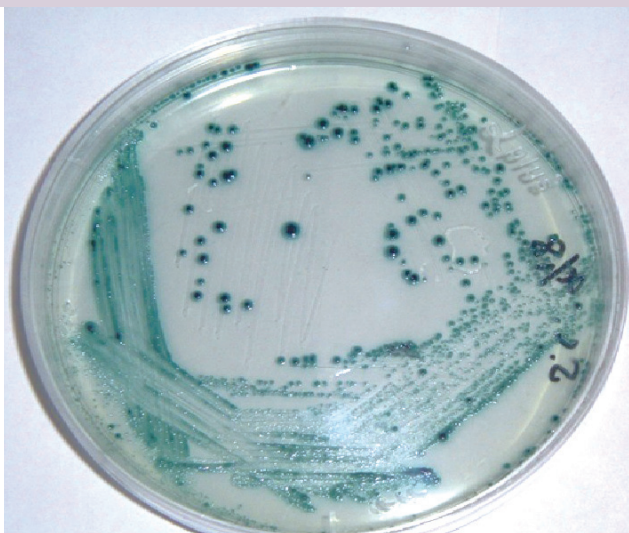
細菌病原具速效性，是所有蟲生病原中最有希望成為害蟲防治的利器。且一般而言寄主範圍較廣，昆蟲取食作用及食物汙染都可能造成水平傳播。在植物表面持續時間又僅數天，因此細菌病原較容易大量生產及進行基因的改造。雖很少造成流行病，但可利用淹沒式加強撒布以達到有效的防治，如用於對付為害森林、農作物、行道樹及人類家居附近取食葉片的害蟲。

自蘇力菌群中曾分離出一個新的品系，屬於新的血清型（H-14），命名為以色列變種，這變種所產生的晶體毒素對蚊類、蚋類及蠅類幼蟲具高度毒性。而隨著幼蟲齡期增長及發病溫度的降低，蘇力菌以色列變種對雙翅目幼蟲的致病力也降低。

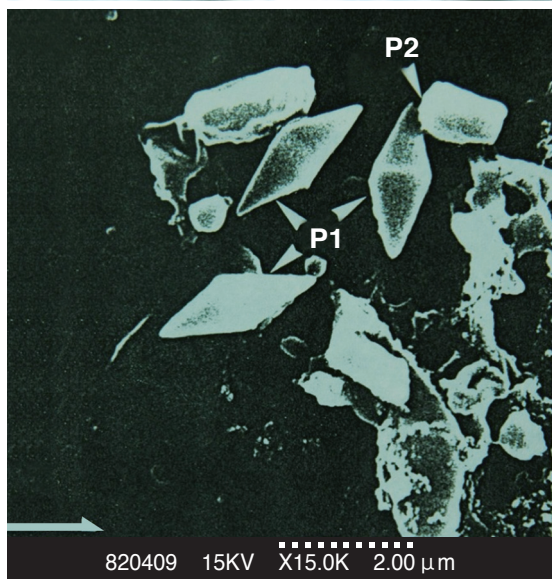
由它所引起的病徵雖難與鱗翅目幼蟲罹患蘇力菌時所產生的病徵比較，但仍有相當的類似處，中腸真皮細胞層也是主要的作用目標，病變時膨脹而瓦解。其作用速率也非常快，幼蟲罹病後同樣顯得行動遲緩且無法控制遊動方向，最後全身麻痺而



正在分裂中的共生細菌（*Xenohabdus sp.*）。



蟲生線蟲的共生細菌（*Xenohabdus sp.*）菌落。



（上）茶姬捲葉蛾幼蟲遭蘇力菌致死的蟲體（圖片來源：王宇仲）；（下）蘇力菌側孢晶體。

死亡，或屍體積浮在水面上。*B. sphaericus* 球孢桿菌可在池塘環境中自然增殖，也應用於沼澤區對蚊子幼蟲作持久性防治。

線蟲病

線蟲是動物界中數量最多的類群之一，牠的結構簡單，屬於三胚層的動物，體呈圓柱狀，左右對稱，無體節的分別，有雌雄同體及異體的區分。蟲體前端有口孔，周圍有唇片，後有口腔、咽、食道、腸及肛門，遠古時代是水棲，後逐漸演進到陸生。有許多種類棲息在潮溼的土中，有的藉由昆蟲幫其攜帶散播，如造成松樹萎凋的松材線蟲，躲在松斑天牛的翅鞘下，當天牛產卵時，線蟲則爬到產卵孔，入侵松樹的維管束為害。

有的線蟲必須在昆蟲體內完成所有的生活階段，而沒有體外的自由生活期，這類屬於絕對專一性寄生。而蟲生線蟲大部分屬於兼性寄生，有寄生階段及寄主體外自由生活階段。



(左) 小白紋毒蛾感染蟲生線蟲；(中上) 黃條葉蚤幼蟲遭線蟲侵蝕釋出感染期幼蟲 (圖片來源: 黃育仁)；(中下) 斜紋夜蛾蛹遭線蟲侵蝕釋出感染期幼蟲；(右) 斑蚊幼蟲免疫系統把入侵線蟲包裹。

蟲生線蟲多生活在水中或土壤中，其棲息環境富含有機質及微生物，常做為牠的食物，在牠的腸道中常可發現共生的微生物。線蟲與共生菌互利共生，線蟲提供共生菌棲所，共生菌則幫助線蟲殺死寄主及分解寄生組織，提供線蟲所食。

線蟲有如現今導彈的推進器，可在自由生活期搜尋寄主目標，經由寄主的口、氣孔、肛門等自然開口入侵體內。再把彈頭引爆，釋出體內的共生細菌到寄主血腔中，先造成菌血、毒血，使寄主最後因敗血而死亡。而這共生的生活方式是兩者長期演化後產生的生存法則及關係。

早期科學家把田間發現的死亡蟲體帶回實驗室，置於潮溼環境中，發現昆蟲屍體內會有線蟲爬出，這線蟲幼蟲稱為侵染期幼蟲，可自由生活，進行短距離搜尋，或伏擊等待新寄主。若把這線蟲接種於受感染的昆蟲寄主，也會造成死亡，經在蟲體內不斷地繁殖，且又從蟲屍中分離出原

先的侵染期幼蟲，便可確定這種蟲生線蟲的病原性，而可做為害蟲防治用。

目前科學家發現的如斯氏線蟲及異小桿線蟲兩科所屬的線蟲，常用來做為害蟲防治的資材，且不同線蟲所帶的共生菌也有所不同，斯氏線蟲科所帶的共生菌是異桿菌不發光，異小桿線蟲科的則是發光桿菌，在黑暗環境下會發光。共生菌是造成寄主昆蟲生病的主因，但是在人工繼代培養下，會由一型菌轉換成二型菌，這時會影響對寄主的致病力，造成致病力下降。

蟲生線蟲對昆蟲的致病特性，也用於害蟲的防治。牠的優點是：對人畜無害、可藉由人工培養大量量產、能在 72 小時造成寄主死亡、施用方便、有些國家不須經註冊登記。但也有其缺點：不耐乾燥，在葉片施用期效短；有些線蟲須低溫儲存；貨架期短；製劑較困難。目前開發在草皮害蟲、菇舍、地下害蟲及蛀莖害蟲，如夜蛾、蕈蚋、地根蟲、桃食心蟲、蟻蛄、螻蛄、木蠹蛾等幼蟲的防治。蟲生線

會讓昆蟲生病的微生物病原，有如昆蟲的生化戰劑，由於具安全性及專一性，不但可以單獨使用，也可與殺蟲劑、天敵等搭配增加防治效果。

蟲目前也用於感染蚊子、蟑螂及跳蚤的幼蟲，使其幼蟲生病死亡，達到防治的目的。

人類自從畜牧轉型為農耕時代，就不斷遭受昆蟲的威脅，經常因害蟲的侵襲、取食，使農作無法收穫，造成饑荒甚至引發遷徙及暴亂的悲劇。後來發明了農藥，大面積的噴灑殺死害蟲保住了糧食，但也因長期使用殺蟲劑，致使昆蟲被篩選出抗藥性族群，同時主要害蟲消失，次要害蟲隨之崛起，繼續與人類抗爭。持續抗爭的結果是，糧食上有超量農藥殘留，環境中的土壤及水資源遭農藥汙染。這時人類才大徹大悟，回歸自然農法，節能減碳不用農藥及化肥的有機農業便積極推展開來。

害蟲防治資材可取自自然界，包括植物萃取物，捕食性、寄生性天敵，微生物病原。會讓昆蟲生病的微生物病原，有如對昆蟲的

生化戰劑，需要陸續開發及研究。由於其具安全性及專一性，不但可以單獨使用，也可與殺蟲劑、天敵等搭配增加防治效果。然而因其受環境因子的影響甚劇，對於室外疫病的產生及病原生態的了解還有待努力。

另外，對於病原菌系的篩選、培養、保存，以及製劑的配方等都與防治成敗密切相關。若能配合遺傳工程技術與病原生態模擬分析，加上施用技術的改良及抗不良環境配方的開發，就能把微生物病原的防治效果發揮到最高點，達到蟲害永續管理的目的。

唐立正

中興大學昆蟲學系

