

全球微生物農藥研究發展趨勢分析

撰文/許嘉伊·楊玉婷

前言

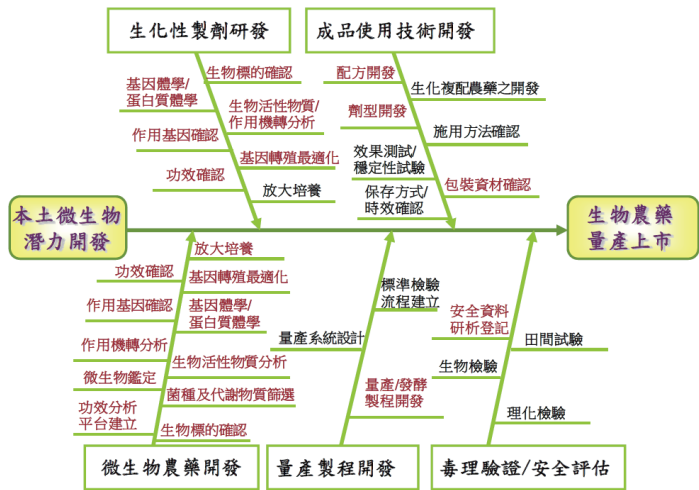
生物農藥是指由動物、植物、微生物等天然資材所產製的農藥，對非標的生物較為無害，包含天然素材（例如印楝素）、微生物製劑（例如細菌）、生化製劑（例如昆蟲費洛蒙）、天敵（例如寄生蜂）等。其中，微生物因為種類繁多，且其產生之代謝產物更是多樣化，可具有抗蟲、抗病、除草、拮抗、誘導植物抗性、生長調節，甚至增加產量等各種功效，不僅成為生物農藥產品的大宗項目，更是各界持續開發探索的標的。

微生物作為農用病害蟲防治可追溯至 1920 年代末，歐洲試著利用蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 來防治玉米螟 (*Ostrinia nubilalis*)；而第一個商品化的微生物農藥即為蘇力菌孢子製劑，是 1938 年於法國上市的 Sporeine 產品，用以防治粉螟類 (flour moths)。至 1950 年代後期，美國也開始商業化使用蘇力菌產品，1961 年蘇力菌產品於美國環保署登記為農藥使用。然而，由於當時市面上充斥著滴滴涕 (DDT)、巴拉松 (parathion) 等化學合成農藥，而且因為具廣效性、作用快速、效果好等優勢，使得化學農藥成為病蟲害控制的主流，被廣泛應用。直到 1980 年代，因為化學農藥引發的抗藥性、環境污染、農藥殘留等問題受到關注，才促使微生物農藥的使用逐漸增加，相關的研發也從 1990 年代開始快速發展，並陸續開發出各種微生物農藥產品。

由於科學研究為科技發展與產業應用之基礎，因此本報告以微生物農藥為標的，探索微生物農藥前沿研究 (research front) 內涵，剖析近年科學發展的熱門焦點。首先，由微生物農藥技術關聯圖 (圖一) 訂定初步檢索策略，進行 2000-2009 年 Thomson ISI Web of Science 期刊論文之兩階段篩選。第一階段為先設定初步檢索策略，透過多次反覆檢索及抽驗後，再建立最終檢索策略；第二階段則利用高被引用次數篩選第一階段結果，取得全球重要微生物農藥研究共 264 筆，並依出版年、國別、作者、被引用次數、學科類別 (ISI 分類)、期刊別等欄位建立分析樣本資料庫，進行全球微生物農藥之研究趨勢、國家、跨領域情形等統計分析。此外，運用書目對分析 (bibliographic coupling)，以論文共同引用同篇文獻的程度進行研究主題分類，將分析樣本資料庫中的論文分類為 73 個研究主題 (cluster)，並進行共現字分析 (co-word analysis)。由被引用總數最高者，或由論文數前五大之主題，且被引用總數較高者，解讀微生物農藥熱門之前沿研究，以掌握全球科技發展趨勢。

(一) 重要微生物農藥研究趨勢分析

經 2000-2009 年 Thomson ISI Web of Science 期刊論文之兩階段篩選，取得近十年「重要微生物農藥研究」共 264 筆。近十年重要微生物農藥研究數目呈現成長趨勢，以後期 2007-2009 年的產出較



資料來源：農業生物技術產業化發展方案。

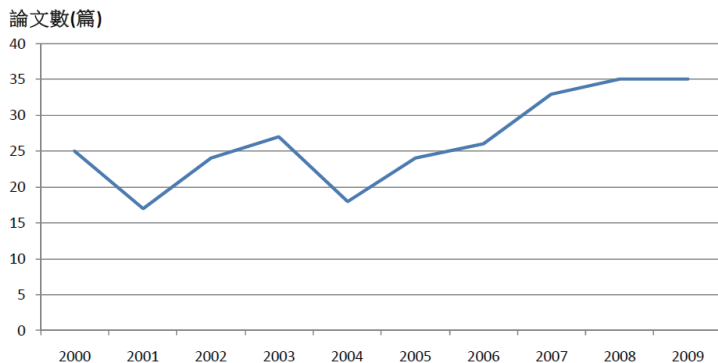
圖一 微生物農藥之技術關聯圖

多，約由 2000-2006 平均每年的 23 篇上升至 2007-2009 平均每年的 34 篇，就單一年度而言，後期篇數約增加 1.5 倍（圖二）。

（二）重要微生物農藥研究國家別分析

於重要微生物農藥研究數排名前十大的國家中，有一半屬於歐美澳等先進國家，其他還有印度、南韓、中國等亞洲國家，及巴西、墨西哥等南美洲國家（表一）。其中，研究數前三高的國家為，美國、英國及印度，論文數分別為 69、37、32 篇，共占整體的 52%。於研究數前十大的國家中，每篇論文平均被引用數最高者為法國的 44.2（論文數 13 篇），第二高為英國 14.2（論文數 37 篇），其次為美國 10（論文數 69 篇）。而論文數量排名第三的印度，每篇平均被引用數僅 4.8。

美國與英國不僅論文數量多，且多數具有一定的參考價值。法國的 13 篇論文中，因為一篇與挪威共同發表有關仙人掌桿菌屬 (*Bacillus cereus* group) 親緣關係研究的論文被引用數高達 389，才將法國整體的平均被引用數大幅拉高至 44.2，若扣除這一篇論文，法國其他 12 篇的平均被引用數為 15.5，與英美兩國的水準相近。而印度的論文數量雖然不



資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

圖二 重要微生物農藥研究趨勢分析

少，但被引用狀況卻偏低。因此，綜合來說，美國、英國、法國為論文數量多，且平均被引用數較高的國家。

美國是重要微生物農藥研究數量最高的國家，也是最大的微生物農藥市場所在地。根據英國顧問公司 CPL Business Consultants 推估，於 2007/8 年間，美國約占全球微生物農藥市場的四分之一。美國政府於生物農藥應用之推動相當積極，特別於農藥主管機關環保署 (EPA) 的農藥註冊機構 (Office of Pesticide Programs, OPP)，下設一專責的生物農藥與污染防治部門 (Biopesticides and Pollution Prevention Division, BPPD)，加速生物農藥產品之上市審核，引領全球生物農藥產業及相關政策發展。此外，美國也透過 IR-4 Project、Biopesticide Demonstration Grant Programme 等計畫給予經費進行生物農藥核准前的功效研究，與核准後的產品效用田間實證，以加速研究轉化為商品進行推廣。

英國及法國為歐盟會員國，歐盟的農藥查驗登記分為兩個階段，活性物質是於歐盟層級審核，必須經過主管機關歐洲食品安全局 (European Food Safety Authority, EFSA) 審查，通過歐盟執委會 (European Commission) 核可後，才可進入第二階段，將含有該活性物質的農藥產品提交至歐盟各會員國，經審查通過才得以於批准國境內上市，然而

表一 重要微生物農藥研究數前十國被引用分析

國別	論文篇數	占總論文篇數比例	每篇平均被引用數
1 美國	69	26%	10.0
2 英國	37	14%	14.2
3 印度	32	12%	4.8
4 澳洲	25	9%	6.2
5 加拿大	20	8%	6.4
6 巴西	16	6%	2.9
7 南韓	14	5%	8.9
8 中國	14	5%	6.6
9 法國	13	5%	44.2
10 墨西哥	10	4%	9.2
- 台灣	2	1%	0.5
- 其他	87	36%	-

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

冗長的審查過程使產品上市耗錢費時。歐洲農藥市場（含化學農藥）接近全球的三成，前五大為法國、義大利、西班牙、英國與德國，其中僅法國就占歐洲農藥市場的 26%。法國為了降低化學農藥帶來的負面衝擊，推動化學農藥減量政策，預計以十年的時間，達到 2018 年減量 50% 的目標。英國為鼓勵將研究成果推向市場，於 2003 年即試行 Biopesticides Pilot Project，然後於 2006 年推出 Biopesticides Scheme，透過送審前會議與降低審查費等方式促進生物農藥產品上市。

印度的大學等研究機構在生物農藥研究扮演重要的角色，少數大學還會自行製造產品，或指導業者進行生產。印度農藥主管機關為農業部的中央農藥委員會 (Central Insecticides Board, CIB)，透過簡化審查程序等方式促進生物農藥上市。印度生物農藥的主要買家為政府單位，儘管政府大力推動施行整合性病蟲害防治 (Integrated Pest Management, IPM)，但由於農民大多貧窮，不會自行購買生物農藥，反而都是政府採購生物農藥後再分配給農民使

用，因此印度生物農藥市場可說是由政府支撐。然而印度仍有許多地方尚未建立生物農藥的分配機制，使得生物農藥的使用推廣有限。

(三) 重要微生物農藥研究平均被引用次數前二十國

若由平均被引用次數排序，最高者為挪威，3 篇論文的平均被引用數為 133.7，遠高於其次的納米比亞及蘇丹（表二）。其中，挪威與法國共同發表 1 篇有關 *Bacillus cereus* group 親緣關係研究的論文被引用數高達 389，使得挪威的平均被引用排名躍升第

表二 重要微生物農藥研究被引用次數前20國

國別	每篇平均被引用數	總引用數	篇數
1 挪威	133.7	401	3
2 納米比亞	51.0	51	1
3 蘇丹	51.0	51	1
4 法國	44.2	575	13
5 塞內加爾	44.0	44	1
6 德國	34.0	34	1
7 日本	34.0	34	1
8 巴基斯坦	30.0	30	1
9 希臘	27.0	27	1
10 匈牙利	27.0	27	1
11 比利時	20.0	80	4
12 厄利垂亞	20.0	20	1
13 肯亞	20.0	20	1
14 荷蘭	18.6	130	7
15 瑞士	17.0	51	3
16 泰國	17.0	17	1
17 芬蘭	17.0	17	1
18 奧地利	16.0	16	1
19 英國	14.2	524	37
20 以色列	13.8	55	4
- 台灣	0.5	1	2

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

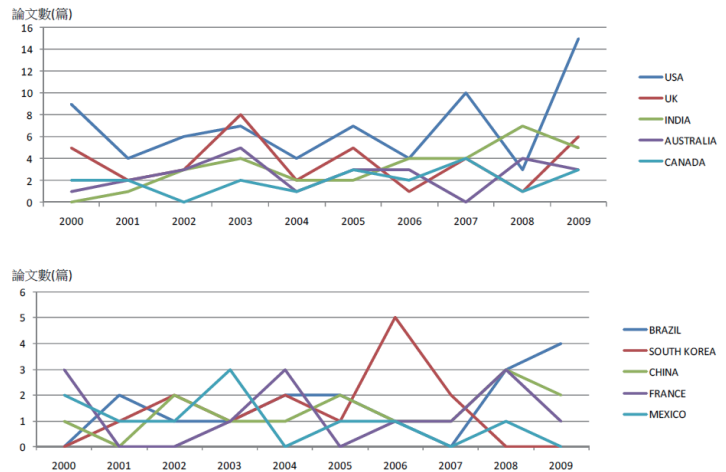
一。納米比亞及蘇丹共同發表 1 篇論文，其被引用次數為 51，是關於利用白殭菌 (*Beauveria bassiana*) 及黑殭菌 (*Metarhizium anisopliae*) 作為防治蟬的殺蟲劑。若觀察同時名列平均被引用數前二十大，且研究數前十大的國家，則僅有法國及英國上榜，可見英法發表的研究數量及品質皆佳。

(四) 重要微生物農藥研究跨領域分析

微生物農藥是屬於農業領域的植物病蟲害及其防治類別，為多種學科之應用。本研究之跨領域分析結果為，32% 歸類至昆蟲學，31% 為生物科技及應用微生物學之研究，其次則為微生物學 (13%) (表三)。

(五) 前十國重要微生物農藥研究趨勢分析

整體來說，重要微生物農藥研究數量排名第一的美國，每年的發表篇數也最高，僅 2003、2006 及 2008 年分別略低於英國、南韓、印度及澳洲，且 2009 年美國篇數還大幅增加至 15 篇 (圖三)。此外，雖然其他國家各年度論文數量皆為個位數，但仍可留意印度、巴西及中國於最近兩年 (2008、2009 年) 出現微增的趨勢。



資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

圖三 前十國重要微生物農藥研究趨勢分析

巴西有多樣的生物農藥產品，但量產技術仍為商品化的瓶頸。巴西市面上販售的真菌農藥多為非製劑型態，而是直接以原體形式進行孢子銷售，僅有少數是製成水分散性油懸劑型 (oil dispersion)。此外，巴西田間使用的真菌農藥很多是未經登記註冊的自家產品，例如種植甘蔗製造酒精的工廠，就會自行生產黑殭菌來防治沫蟬 (cercopids)；甚至大學、研究機構、橡膠樹園等單位也會製造真菌農藥。另外，病毒農藥則多以製劑型態銷售；細菌農藥以進口的蘇力菌製劑產品為主，也有少數為國產商品，但因售價高，細菌農藥主要用於有機農業及蔬菜栽種。

中國微生物農藥用於農業及森林的病蟲害防治，截至 2008 年 10 月止，微生物農藥登記產品共有 327 個，約占當時註冊化學農藥產品的 1.6%，其中，270 個產品為細菌類，22 個產品為真菌類，35 個產品為病毒類。270 個細菌農藥共來自 11 種細菌，其中 181 個產品為蘇力菌產品，且部分蘇力菌產品與化學農藥或農用抗生素混合複配，以增強防治效果。22 個真菌農藥來自 6 種真菌，以蟲生真菌及殺線蟲的擬青黴為主，防病害的只有木黴菌 (*Trichoderma* spp.)。35 個病毒農藥中有 14 個為棉鈴

表三 重要微生物農藥研究跨領域分析

國別	論文篇數	占總論文篇數比例
Entomology	84	32%
Biotechnology & Applied Microbiology	82	31%
Microbiology	35	13%
Agronomy	21	8%
Biochemistry & Molecular Biology	17	6%
Environmental Sciences	17	6%
Zoology	16	6%
Toxicology	14	5%
Plant Sciences	12	5%
Agriculture, Multidisciplinary	11	4%

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

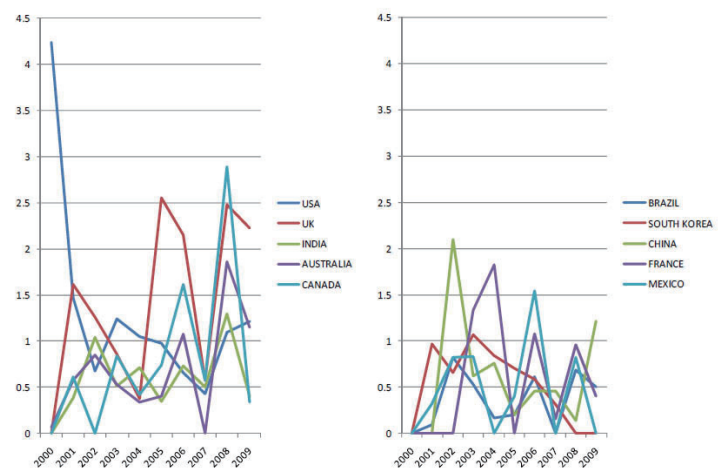
蟲核多角體病毒 (*Heliothis armigera* NPV)，多數病毒農藥都與蘇力菌形成混合產品。

南韓將微生物應用至農業、森林、草皮的病蟲害防治。南韓第一個商品化的微生物農藥為 2003 年登記的蘇力菌產品，至 2009 年約有 34 個微生物農藥登記註冊，來自 11 種微生物；此 34 個產品中有 11 個為進口商品。韓國微生物農藥的研究以大學、政府及私人的研究機構為主，例如首爾大學 (Seoul National University)、建國大學 (Konkuk University) 等。而政府也設定化學農藥減量的目標，以 2004 年為基期，預定至 2013 年將減少 40% 的化學農藥使用。

澳洲的微生物農藥產品也是以蘇力菌為大宗，還包括圓形芽孢桿菌 (*Bacillus sphaericus*)、農桿菌 (*Agrobacterium radiobacter*)、木黴菌 (*Trichoderma harzianum*)、黃綠黑殭菌 (*Metarhizium flavoviride*)、黑殭菌、及核多角體病毒 (*Helicoverpa zea* NPV, *Helicoverpa armigera* NPV) 等。澳洲於 1990 年代，因為發生夜蛾害蟲抗藥性事件，使得棉花與高粱種植大面積採用 IPM，也包括使用生物農藥。現在，除了大宗作物以外，微生物農藥也被用於國家公園維護與有機農業等，例如施行有機栽培的酒莊。

(六) 重要微生物農藥研究平均被引用趨勢分析

比較各國當年度的平均被引用數與當年度整體平均水準之差異，大於 1 者為表現高過整體水準，小於 1 者則屬表現落後者 (圖四)。美國 2000-2004 年論文被引用情形大致優於整體表現，尤其是 2000 年發表的論文，不僅數量多且重要性也相對高，2000 年研究議題涵蓋蟲生線蟲、圓形芽孢桿菌等微生物篩選、耐曬及耐雨水沖刷之噴霧乾燥桿狀病毒 (baculovirus) 製劑開發、微生物農藥之抗生素基因研究、臨床及環境分離之洋蔥假單胞菌 (*Burkholderia cepacia*) 毒性研究、黑殭菌引發過敏反應之動物試驗、利用無毒黃麴菌 (*Aspergillus*



註：[各國年度被引用數/各國年度篇數]÷[年度總被引用數/年度總篇數]

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

圖四 重要微生物農藥研究平均被引用趨勢分析

flavus) 以防止黃麴毒素污染等。

2002 及 2004 年分別以中國及法國之平均被引用數最高。當年度中國的議題包含蘇力菌幾丁質酶的協同殺蟲作用研究、基改棉鈴蟲核多角體病毒 (*Helicoverpa armigera* NPV) 之殺蟲效果試驗；法國研究則包括枯草桿菌 (*Bacillus subtilis* GA1) 之脂肽用於蘋果灰黴病防治、葡萄園真菌病害防治、利用幾丁質降低使用銅造成之水生動物危害等研究。2005-2006 年則以英國表現最佳，涵蓋利用真菌殺蟲劑減少瘧疾傳播、蟲生真菌抗蟎、果蠅病原感受性之遺傳變異、基改桿狀病毒之抗蟲應用、黑殭菌油性製劑開發等研究。而 2008 年，以澳洲關於黑殭菌於牛蟬防治研究，及加拿大篩選菌根菌等論文之被引用數較高。2009 年以英國之平均被引用最高，主要內容多為利用真菌殺蟲劑進行瘧疾防治之研究。

前沿研究分析結果

將 264 篇重要微生物農藥論文 (item) 排除綜合評論論文 (review paper) 後之 230 篇論文，以論文共同引用同篇文獻之程度進行研究分類，共分為 73 個研究主題 (cluster) (表五)，再以被引用總數最高者，

表五 前沿研究分析結果

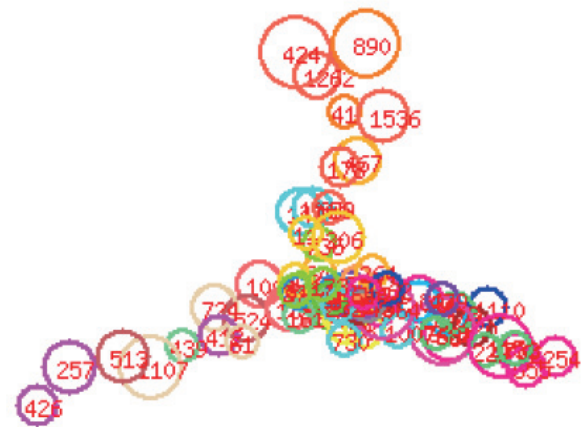
主題數量(cluster)	論文數量(item)
1	9
2	8
3	7
5	5
10	4
15	3
37	2

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

或論文數前五大之主題，且被引用總數較高者，為近十年最熱門之研究主題。熱門主題依論文標題與摘要之特徵詞（字頻分析）進行解讀，並以其中被引用次數最高者作為該主題之代表論文。

1. 近十年最熱門主題一

總被引用次數為 429 次，主題總篇數為 4 篇，從中挑選 1 篇作為代表論文（表六）。該主題為「仙人掌桿菌屬 (*Bacillus cereus* group) 之親緣關係研究，以利於瞭解各菌種之安全性」，代表論文內容為：炭疽桿菌 (*Bacillus anthracis*)、仙人掌桿菌 (*Bacillus cereus*)、蘇力菌 (*Bacillus thuringiensis*) 雖



註：數字為73個研究主題之編號。

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

圖五 前沿研究主題分類圖

然各展現不同表現型及致病性，但同屬於 *Bacillus cereus* group，其中，炭疽桿菌為人類病原菌，會引起致死率高的炭疽病；仙人掌桿菌廣泛存在於土壤中，是重要的食品病原菌；蘇力菌因為有殺蟲結晶蛋白而被用作微生物殺蟲劑。經由多位點酵素電泳法及定序分析顯示，炭疽桿菌應為仙人掌桿菌之支系 (lineage)，炭疽桿菌的基因組與仙人掌桿菌、蘇力菌極為相似，使這些細菌有所不同的基因多是存

表六 近十年微生物農藥最熱門主題一

標題	發表年	國家	機構	引用次數
Plasmid exchanges among members of the <i>Bacillus cereus</i> group in foodstuffs	2007	Belgium	Univ Catholique Louvain, Belgium	26
Distribution, Diversity, and Potential Mobility of Extrachromosomal Elements Related to the <i>Bacillus anthracis</i> pXO1 and pXO2 Virulence Plasmids	2009	Belgium, China	Univ Catholique Louvain, Belgium; Chinese Acad Sci, China; Huazhong Agr Univ, China	9
<i>Bacillus anthracis</i> , <i>Bacillus cereus</i> , and <i>Bacillus thuringiensis</i> - One species on the basis of genetic evidenc	2000	Norway, France	Univ Oslo, Norway; Inst Pharm, Norway; Natl Inst Publ Hlth, Norway; Inst Pasteur, France	389
SuperCAT: a supertree database for combined and integrative multilocus sequence typing analysis of the <i>Bacillus cereus</i> group of bacteria (including <i>B-cereus</i> , <i>B-anthraxis</i> and <i>B-thuringiensis</i>)	2008	Norway	Univ Oslo, Norway	5

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

在質體上的基因；然而過去已有研究顯示質體於仙人掌桿菌與蘇力菌之間移轉的情形，因此，*Bacillus cereus* group 間也可能發生質體移轉，而這可能牽涉到菌種毒性與病原性等安全問題。

2. 近十年最熱門主題二

總被引用次數為 177 次，主題總篇數為 8 篇，從中挑選 1 篇作為代表論文（表七）。該主題為「真菌殺蟲劑於瘧疾防治之應用」，代表論文內容為：利用真菌感染瘧蚊可降低瘧蚊趨向血粉之習性，並造成瘧蚊死亡。由於有些地區的瘧蚊對化學殺蟲劑產生抗藥性，因此，於瘧疾防治應用上，真菌殺蟲劑可用於補強或替代化學殺蟲劑，以減少瘧蚊傳播疾病，尤其是在抗藥性嚴重的地區。

3. 近十年最熱門主題三

總被引用次數為 131 次，主題總篇數為 9 篇，從中挑選 1 篇作為代表論文（表八）。該主題為「利用基因改造方法提升核多角體病毒之害蟲防治效果」，代表論文內容為：核多角體病毒已經被作為生物農藥應用，但卻有致死速度太慢的缺點。因此利用基因改造技術，破壞可抑制昆蟲蛻皮的糖基轉移酶 (UDP-glucosyltransferase) 基因，或轉殖入對昆蟲有專一性的毒素基因，例如蠍子毒素、蠲毒素等，達到加速害蟲幼蟲死亡之目的，期望未來可用於提升害蟲防治效果。

觀察近十年最熱門主題研究，可歸納出下列研

表七 近十年微生物農藥最熱門主題二

標題	發表年	國家	機構	引用次數
Genetic variation in <i>Drosophila melanogaster</i> pathogen susceptibility	2006	UK	Univ Edinburgh, Scotland	14
Real-time quantitative PCR for analysis of candidate fungal biopesticides against malaria: Technique validation and first applications	2009	USA, UK, Australia	Penn State Univ, USA; Univ Edinburgh, Scotland; CSIRO Entomol, Australia	7
Spore Persistence and Likelihood of Aeroallergenicity of Entomopathogenic Fungi Used for Mosquito Control	2009	Australia, USA	Queensland Inst Med Res, Australia; Penn State Univ, USA; Australian Commonwealth Sci & Ind Res Org, Australia	6
An age-structured model to evaluate the potential of novel malaria-control interventions: a case study of fungal biopesticide sprays	2009	UK, USA	Univ London Imperial Coll Sci Technol & Med, England; Penn State Univ, USA; Univ Oxford, England	10
Combining Fungal Biopesticides and Insecticide-Treated Bednets to Enhance Malaria Control	2009	UK	Imperial Coll London, England	11
How to Make Evolution-Proof Insecticides for Malaria Control	2009	USA, UK	Penn State Univ, USA; Open Univ, England	34
Fungal infection counters insecticide resistance in African malaria mosquitoes	2009	Netherlands, South Africa, USA	Univ Wageningen & Res Ctr, Netherlands; Natl Inst Communicable Dis, South Africa; Univ Witwatersrand, South Africa; Natl Hlth Lab Serv, South Africa; Penn State Univ, USA; Univ Amsterdam, Netherlands	12
Fungal pathogen reduces potential for malaria transmission	2005	UK	Univ London Imperial Coll Sci Technol & Med, England; Univ Edinburgh, Scotland	83

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

表八 近十年微生物農藥最熱門主題三

標題	發表年	國家	機構	引用次數
Functional expression of lepidopteran-selective neurotoxin in baculovirus: Potential for effective pest management	2006	India, USA	Sri Venkateswara Univ, India; USDA ARS, USA; Univ Calif Davis, USA; Univ Calif Davis, Canc Res Ctr, USA	7
New measures of insecticidal efficacy and safety obtained with the 39K promoter of a recombinant baculovirus	2006	Israel	ARO, Israel; Tel Aviv Univ, Israel	1
High level production of polyhedra in a scorpion toxin-containing recombinant baculovirus for better control of insect pests	2007	Taiwan	Acad Sinica, Taiwan; Taiwan Agr Chem & Tox Subst Res Inst, Taiwan; Natl Chung Hsing Univ, Taiwan; Natl Pingtung Univ Sci & Technol, Taiwan	1
Infectivity, speed of kill, and productivity of a baculovirus expressing the itch mite toxin txp-1 in second and fourth instar larvae of <i>Trichoplusia ni</i>	2000	UK	NERC, England; Zeneca Agrochem, England	32
Genetic engineering of <i>Helicoverpa armigera</i> single-nucleocapsid nucleopolyhedrovirus as an improved pesticide	2000	China, Netherlands, England	Chinese Acad Sci, Peoples R China; Wageningen Univ, Netherlands; Univ London Imperial Coll Sci Technol & Med, England	34
Bollworm responses to release of genetically modified <i>Helicoverpa armigera</i> nucleopolyhedroviruses in cotton	2002	Netherlands, China	Univ Wageningen & Res Ctr, Netherlands; Chinese Acad Sci, Peoples R China	22
Further enhancement of baculovirus insecticidal efficacy with scorpion toxins that interact cooperatively	2003	Israel, USA	Agr Res Org, Israel; Tel Aviv Univ, Israel; Univ Calif Davis, USA	30
Effects of a protease-expressing recombinant baculovirus on nontarget insect predators of <i>Heliothis virescens</i>	2003	USA	Iowa State Univ, USA	4
A universal transgene silencing approach in baculovirus-insect cell system	2007	USA, Egypt	Univ Florida, USA; Agr Res Ctr, Egypt	0

資料來源：台灣經濟研究院生物科技產業研究中心。

究趨勢與發展意涵：

(1) 安全性為微生物應用之重要考量項目

研究顯示，炭疽桿菌的基因組與仙人掌桿菌、蘇力菌極為相似，使這些細菌有所不同的基因多是存在質體上的基因；然而過去已有研究顯示質體於仙人掌桿菌與蘇力菌之間移轉的情形，因此，炭疽桿菌、仙人掌桿菌、蘇力菌間是否發生質體移轉，則可能牽涉到菌種毒性與病原性等安全問題。由於蘇力菌已是廣為使用的微生物農藥，但炭疽桿菌卻會引發致命的炭疽病，仙人掌桿菌則是食品病原

菌，釐清這些菌種的毒力及基因移轉可能性，將有助於進一步掌握蘇力菌的應用安全性。

(2) 微生物應用於環境病媒防治為趨勢

微生物殺蟲劑本來就可以作為農業用與環境衛生用兩方面，例如過去蘇力菌除了被應用於鱗翅目等農業害蟲防治外，後續也發現以色列亞種可以作為病媒蚊防治，此外，尚有防治蚊幼蟲的圓形芽孢桿菌，防治火蟻和螞蟻的白殭菌，及防治蟑螂的黑殭菌，於國際已被登記作為環境衛生病媒防治。過去也有利用細菌殺蟲劑來防治瘧疾，並成功降低瘧

疾發生數量的實例；而利用真菌感染瘧蚊，用以防治瘧疾則為最新進展，且蟲生真菌又具有經體壁直接感染昆蟲的優點。期望開發真菌殺蟲劑可以補強或替代化學藥劑，協助解決瘧蚊抗藥性問題，幫助落後國家控制病媒，減少疾病傳播。

(3) 利用基改技術增強微生物之病蟲害防治效果

目前商品化的微生物農藥幾乎都是來自天然的微生物，為了強化施用效果，已有包含兩種微生物的產品，或是將微生物農藥與化學農藥混合製成的複配產品。然而，近年利用基因改造的方式製造基改微生物，以增強病蟲害防治的速度與效果等相關研究已逐漸熱門，例如將核多角體病毒轉殖入其他來源的毒素基因，縮短害蟲致死的時間，減少農作

物受損。雖然研究認為基改核多角體病毒對宿主的適應性 (fitness) 降低，於環境中無法與野生種病毒競爭，相對而言，其環境安全風險小；然而，微生物農藥多數是作為開放式的田間施用，若基改微生物要釋放至田間，需考量基改微生物對野生種的影響，及其外來基因的流布擴散等問題。因此在管理層面，基改微生物勢必要受到更嚴謹的風險評估規範，可見此研究成果要落實至產業應用仍有許多障礙需突破。然而，於此發展趨勢下，未來在法規管理層面也需有所因應。

AqBIO

許嘉伊 台灣經濟研究院 生物科技產業研究中心 專案經理
楊玉婷 台灣經濟研究院 生物科技產業研究中心 助理研究員

參考文獻

1. 行政院環境保護署毒管處 (2011) 環保署預告新增列管3種微生物製劑。經濟日報，2011/03/29。
2. Biopesticide Industry Alliance (BPIA), From <http://www.biopesticideindustryalliance.org>
3. International Organization for Biological Control (2010) *The use and regulation of microbial pesticides in representative jurisdictions worldwide*. IOBC.
4. Thomson ISI Web of Science.

聲明啟事

行政院衛生署中醫藥委員會委託財團法人生物技術開發中心彙編『中草藥產業年鑑2009』(2009年12月出版)，其中「中草藥保健食品的發展方向」一文，蒙台灣經濟研究院同意轉載引用其生物科技產業研究中心發行『農業生技產業季刊第14期』(2008年7月出版)之「全球中草藥保健食品產業發展現況與展望」一文，特此通知。

『農業生技產業季刊』編輯部 敬啟