

# 生物性除草劑介紹—研發現況與應用障礙

袁秋英

行政院農委會農業藥物毒物試驗所 公害防治組

## 前 言

作物栽培過程中，如何有效避免雜草對作物的危害及干擾，始終為農作生產的一重要課題。自從化學除草劑上市以來，由於具有快速、廣效、經濟且省工的特性，至今化學除草劑的使用，仍是雜草防除最主流的方式。然而隨著環境保護呼聲的提升，長期及大量使用化學性農藥，造成日益嚴重的抗藥性及藥劑殘留問題，以及對農業生產、生態環境的負面影響，已引起全球廣泛的關注。為了保護人類生存的環境和農業的可持續發展，化學除草劑的研製與使用將嚴格受到安全性考量的制約。因此生物性除草劑的開發及其有效利用的潛力，相形之下日漸受到重視。

一般而言，生物性除草劑有別於化學除草劑，不僅資源豐富、不破壞生態環境、易生物降解、毒性低、殘留少、具選擇性，且對非目標生物和哺乳動物較安全、環境相容性佳、開發費用較低、化學結構多樣化，甚至可能發現新穎的作用機制。然而從 100 種以上具除草功能的植物二次代謝物或微生物中，僅極少數發展為商品化的生物性除草劑，究竟研發過程及實際應用之間存在何種困難？是否仍有轉機？本文針對雜草的生物防治類別、運用原理、具除草潛力的植物代謝物及微生物、商品化的生物性除草劑、應用障礙，以及新技術運用的遠景，綜合論述於下。

## 雜草生物防治之類別及其運用原理

雜草之生物防治法可分為傳統的生物性雜草防除以及生物性除草劑兩種，傳統的生物性雜草防除，大多以引進外來生物防治雜草，包括利用對雜草具有感病性的微生物、有害昆蟲，或是利用其他植物抑制雜草之生長，進而造成雜草死亡。生物性除草劑(Bioherbicides)主要是指利用植物、動物、微生物等具

有殺草活性的次生代謝產物開發出來的藥劑，主要的研究與應用集中於微生物源除草劑，其次為植物源除草劑，而目前未見有動物源除草劑。微生物除草劑又可區分為利用活體微生物和利用微生物天然產物兩種。

傳統的生物防治法運用的原理，主要為利用自然界生物之間相生相剋的現象，或是食物鏈原理，達成危害雜草之目的，常以引進外來生物，包括動物、昆蟲或微生物等進行雜草防除。一般而言，利用其他植物抑制雜草之生長或是研發新興之生物性除草劑，主要是運用植物化感作用(Allelopathy)之原理，此學說是由 Molisch 於 1937 年首度提出，廣泛定義為「所有植物(包含微生物)之間其生化物質的相互作用」，涵蓋了促進或抑制作用兩方面，屬於自然界生物之間相生相剋的現象。至 70 年代 Rice 將植物化感作用定義為「植物(或微生物)經由釋出化學物質，而對其他植物產生直接或間接的有害影響」，中研究周昌弘院士則將 Allelopathy 譯為「相剋作用」，具相剋作用的化學物質，稱之為相剋化合物(Allelochemical)。

植物相剋化合物釋出的途徑可區分為以下 4 種：(1)根系之分泌物：一般植物根系分泌物中的相剋物質，多為水溶性之次生代謝產物。如黑胡桃樹(*Ulmus nigra*)分泌具毒性之胡桃醌(Juglone)，20 µg/mL 胡桃醌可抑制其他植物種子萌芽。(2)莖葉產生之揮發性物質：檸檬桉(*Eucalyptus citriodor*)樹葉易產生揮發性萜烯類化合物，抑制蘿蔔(*Raphanus sativus*)種子萌芽。(3)莖葉淋洗釋出之化合物：桉樹(*Eucalyptus*)葉片中酚類化合物，易被雨水淋洗出來，會抑制亞麻(*Linum spp.*)的正常生長。(4)植物莖葉殘體釋出之化合物：蕨類(*Pteridium aquilinum*)植物枯死的枝葉具相剋作用特性。

許多微生物對植物的致病性，也可視為病原微生物對植物的一種相剋作用。病原微生物體除了會分泌大分子物質(如酵素或多醣類)，以酵素分解或破壞植物組織以外；有些微生物則會分泌小分子物質(如植物毒質，phytotoxins)，可以影響植物細胞膜(plasma membranes)之滲透性，干擾植物細胞的生理、生化代謝等作用，進而由此引起植物生病及產生病徵。

## 傳統生物防治於雜草防除之實例與其特性

### 一、傳統生物防治之實例

一般而言，傳統生物防治法的功效，主要在於阻止雜草結籽，減少土壤中的雜草種子、幼苗數量，抑制雜草生長，將群體量控制在其經濟危害以下。早期傳統生物防治常以引進外來生物防除雜草，如於美國西海岸引進甲蟲 (*Chrysolina* spp.) 可明顯降低牧場及路旁的地耳草 (*Hypericum perforatum*) 族群。澳大利亞草原，利用美洲的仙人掌螟蛾 (*Cactoblastis cactorum*) 防治惡性雜草仙人掌。於美國東部地區引進栗枯病 (*Chestnut blight*) 及荷蘭榆樹病 (*Dutch elm disease*)，有效抑制野栗及榆樹的生長。針對難防除的多年生燈心草粉苞苣 (*Chondrilla juncea*)，澳大利亞和美國分別於 1972 及 1975 年從原生地歐洲引入燈心草粉苞苣銹菌 (*Puccinia chondrillina*)，以每公頃 2 公克的劑量，將該菌的孢子粉撒佈於燈心草粉苞苣下方土表，2 年後該銹菌的族群體才發展至足以有效控制麥田及草地的燈心草粉苞苣之危害。

傳統生物防治除了為利用微生物、昆蟲等方法防治雜草，亦可利用食物鏈原理，以家畜或家禽取食雜草達成防除效果。例如夏威夷曾於 1955 年自非洲引進魚 (*Tilapia mosaambica*)，成功的清除灌排溝渠中的雜草；草魚可防治沉水性雜草，鴨子使田水混濁，抑制雜草的光合作用。日本曾利用山羊控制芒及野葛的生長。然而由國外引進新的病源或昆蟲，應經過週密的考慮與策劃，避免為害作物的生產及整個農業生態系的平衡。

應用植物相剋作用於傳統的田間雜草防除，可歸納為以下 3 種方式：

1. 敷蓋殘株：植物殘株覆蓋後，與雜草競爭空氣、水分、養分及光照，抑制雜草的萌芽及生長，例如採收後的大麥、燕麥、小麥的殘體對第二年雜草的生長都有抑制作用，高粱殘株及根系分泌物皆顯著抑制雜草種子萌發和幼苗生長；水稻殘株與稻稈混合的水溶液，對禾本科雜草的發芽和生長抑制效果大於對闊草雜草者。

2. 輪作：運用輪作的方法抑制雜草，是通過合理安排種植作物的順序來達到營養競爭、剋他物質的釋放、土壤翻動、機械損傷的種植模式來阻礙雜草的發芽和生長。輪作作物如黑麥、小麥、蕎麥、高粱等均能有效降低雜草種群，並與雜草競爭資源，且通過活體或作物降解產生的相剋物質對雜草生長產生抑制。向日葵能有效地抑制馬齒莧、藜和牽牛花等雜草的生長。冬小麥釋放的剋他物質具有抑制白茅生長之功效。
3. 伴生植物：伴生植物是指不僅可與作物共存於栽培園區，同時亦可發揮除草的作用。例如墨西哥萬壽菊對根部含澱粉的雜草具毒害作用；美國加州曾利用黑芥種植於牧野，抑制矮橡樹種子的萌芽。欲篩選出對農作物生長影響最小之適用伴生植物，需省慎探討其優缺點，並需配合氣候及土壤環境等條件，才能達成適地適作的功效。

## 二、傳統生物防治之特性

針對傳統生物防治之對象屬性、時效及栽培管理的等相關因素，傳統生物防治之特性歸納為下列 8 點：

1. 傳統生物防治法只能將雜草群體控制在危害程度較低之狀態，而不易全面性根除。
2. 傳統生物防治法為緩效性的防治，無法於短時間內快速有效防除，如仙人掌螟蛾從釋放到有效控制約需 4-6 年。
3. 利用引入的天敵防治外來入侵雜草，比防治本地雜草易於成功，但需防範新病蟲害之形成，以維繫生態多樣性之平衡。
4. 通過在田間釋放除草生物時，雜草和除草生物的生活史必須同步。
5. 與作物具有密切親緣關係的雜草，傳統生物防治的難度較大。
6. 大都只針對某種特定雜草，若能同時防治多種雜草，宜防範對非目標植物傷害之可能性。
7. 傳統生物防治方法易在耕作少或非耕地上應用成功，在耕作頻繁和施用農藥的農田，所釋放的除草生物很難定居和迅速繁殖。
8. 成功的傳統生物防治要有與之配套的種植、管理措施和適宜環境做後盾。



## 生物性除草劑

生物性除草劑依其來源可分為植物源除草劑、動物源除草劑和微生物源除草劑，目前主要的研究與應用集中於微生物除草劑，其次為植物源除草劑，而目前未見有動物源除草劑。微生物除草劑又可區分為利用活體微生物和利用微生物天然產物兩種。

### 一、植物源除草劑

#### 1. 植物源除草活性化合物之類別

植物二次代謝產物多達 40 萬種以上，常是具有抗病、抗蟲、耐受環境逆境等特性的生物活性化合物，主要為有機酸、直鏈醇、脂肪族醛和酮、簡單不飽和內脂、長鏈脂肪酸和多炔、醌類、苯甲酸及其衍生物、肉桂酸及其衍生物、香豆素類、類黃酮類、單寧、內萜、氨基酸、生物鹼類和氰醇、硫化物和芥子油苷，嘌呤和核苷等 18 類。目前全球 30 科屬植物具除草功效的化合物已有 100 種以上，其中相剋物質大都為酚類和萜類化合物，另有生物鹼類、香豆素類、腈類、類黃酮類及萜烯類等 10 餘種化合物類別，部份資訊列於表一，其中除草的作用機制仍多不甚明瞭，有待進一步研究。

#### 2. 已商品化之植物源除草劑

雖然植物中的多種剋他物質有抑制雜草生長的效果，但大多數剋他物質殺草活性較現有除草劑弱，無法直接於田間使用，針對此等活性物質進行分離及鑑定，探索新的活性化合物，其中多種天然化合物的結構已成為先導除草劑之訊息，配合除草活性分析，進行結構的修飾、衍生，增強除草功效，此等研發技術已成為現階段開拓新興除草劑的重要途徑。以下列舉已上商品化的 5 種植物源除草劑分述於下：

- (1) Callisto: 為先正達公司(Syngenta)於 2007 年研發之玉米田選擇性除草劑，Callisto 的活性成分為甲基磺草酮(mesotrione)(圖 1A)，是從紅千層(*Callistemon* spp.)的纖精酮(leptospermone)衍生而來，於萌前或苗期噴施於禾本科與闊葉雜草，皆會造成白化症狀，但玉米對其具耐受性，因此以纖精酮為先導化合物修改結構後，研發為 Callisto 除草劑，其主要作用

表一、具防除雜草商品化之植物毒質及潛力種類、來源及可能作用機制。

植物毒質	商品名	來源	可能作用機制
纖精酮 (leptosperme)	Callisto	紅千層	抑制對-羥苯基丙酮酸雙氧化酶 (HPPD)
桉葉素 (cineole)	Argold 及 Cinch	鼠尾草、迷迭香、多枝桉	抑制天冬醯胺合成酶(asparagines synthetase) 抑制呼吸作用或分生組織之有絲分裂
壬酸 (nonanoic acid)	Scythe 及 Thinx	牻牛兒苗科植物	抑制原卟啉原氧化酶
莎草菌 (cyperine)	Triketones	莎草	誘使不適時期萌芽
獨腳金醇 (Strigol)	獨角金萌發素內酯 (strigolactones)	棉花(根部)	
-----			
黃花蒿素 (artemisinin)		黃花蒿(葉和花)	改變氨基酸生成或抑制呼吸作用 或影響卟啉生合成而抑制生長
高粱酮(Sorgoleone)		高粱根部	鍵結於光系統 II 之 D1 蛋白以及 抑制煙基丙酮雙氧化酶
核桃醜 (jaglone)		核桃樹	自身氧化作用
倍半萜類 (Helianuol A 和 Helianuol D)		向日葵屬	抑制雙子葉植物發芽
2,6-二甲氧基-p-苯醌 (2,6-Dimethoxyquinone)		高粱(根部)	抑制光系統 II 之電子傳遞
香豆素 (Coumarin) - 莨菪鹼(Scopoletin)		禾本科、蘭科及柑橘屬(果實和葉片)	抑制雜草種子萌發
α-三噻吩 (α-T)		非洲金盞花	核酸氧化和膜破壞
曼陀羅鹼 (hyoscyamine)			曼陀羅
苦木素(Quassinoids)		苦木科植物	抑制質膜 NADH 氧化酶

機制為抑制對-羥苯基丙酮酸雙氧化酶(4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase, HPPD)的活性，造成雜草死亡。

- (2) Argold 及 Cinch：活性成分為環庚草醚(Cinmethylin)(圖 1B)，是 1,4-桉樹腦(cineole)的衍生物，桉葉素(cineole)是植物產生的天然揮發性單萜，普遍存在於月桂酸、白葉鼠尾草、迷迭香、多枝桉等多種植物之中。環庚草醚屬於一種藥劑前體，需經過苯環的斷裂才轉變為活性物質，其作用機制是阻礙植物分生細胞的有絲分裂，影響植物新陳代謝，進而抑制植物生長，應用於大豆、棉花、稻田防除稗草和馬唐等禾本科雜草，以及鴨舌草、牛毛草等部分雙子葉雜草。
- (3) Scythe 及 Thinex：為 Mycogen 公司於研發之接觸型非選擇性除草劑，其主要成分為壬酸(nonanoic acid)，是牻兒苗科(Geraniaceae)植物的脂肪酸或羧酸類化合物，具有低毒性之特點，可廣效性防除一年生與多年生闊葉雜草，也可與萌後除草劑混合施用。
- (4) Triketones：為利康公司於研發之產品，是莎草中的莎草菌(Cyperine)代謝產物 leptospermone 衍生而來(圖 1C)。其作用機制為抑制原卟啉原氧化酶(protox)之活性，氣氟草醚(ethoxyfen-ethyl)除草活性最高，使用劑量為 10-30 g ai/hm<sup>2</sup>。
- (5) 獨角金萌發素內酯(strigolactones)：為 Mycogen 公司研發除草劑，其主要成分為棉花根部釋出的獨腳金醇(Strigol)，可使寄生性雜草獨角金(*Striga asiatica*)萌發，之後另發現寄主高粱根分泌物的中獨角金萌發素內酯(strigolactones)，是獨角金識別寄主的化學物質，目前此內酯化合物成為目前新興除草劑開發的重點，可經由施用此化合物誘使獨腳金於寄主不存在時即萌發，從而因缺乏寄主提供的養分而死亡。

### 3. 植物源除草劑的研發障礙

雖然目前全球具除草功效的植物性代謝物已超過 100 種，然而通常此類相剋物質的生物含量少，欲從植體萃取後直接應用於田間防治雜草之可行性仍低，若於候選植物中已篩選出具開發為除草劑潛力之相剋物質，之後需了解及克服的問題仍相當多，包括生物性部份：植材取得難易、相剋物質生物

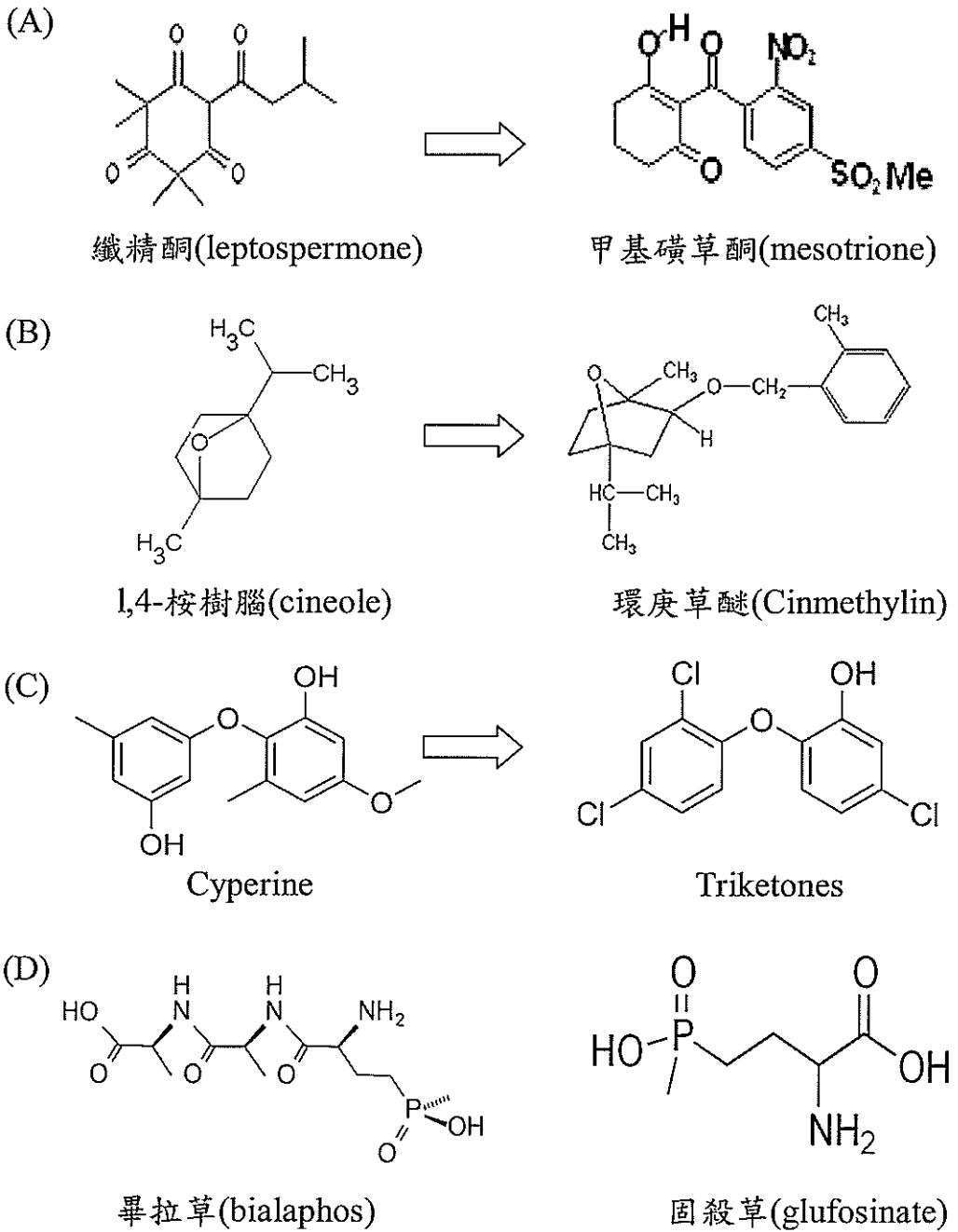


圖1. 以具除草活性的植物或微生物，利用其代謝物結構為先導除草劑。

- A. 甲基磺草酮(mesotrione)由纖精酮(leptospermone)衍生而來。
- B. 環庚草醚(Cinmethylin)由 1,4-桉樹腦(cineole) 衍生而來。
- C. Triketones 由莎草菌(Cyperine) 衍生而來。
- D. 畢拉草(bialaphos)及固殺草(glufosinate)



量之多寡、專一性或廣效性、除草的最低濃度、作用機制的了解(配合後續製劑型式及效能)，以及對非目標植物的危害評估等；相剋物質部份：萃取、純化分離、鑑定、回收及製劑等操作之難易、時程及費用分析等；環境安全部份：相剋物質於土壤中之殘留和降解、對土壤中微生物之影響等；產業化部份：生產成本、市場需要性及銷售量、與現有藥劑之競爭力等問題，尤其植物二次代謝物的結構較複雜，若欲衍生為先導藥劑，未必符合經濟效益，經由以上各因素的考量下，可能是造成研發終止的原因。

## 二、微生物除草劑

### 1. 微生物與雜草之關係

另外備受關注的研發重點為微生物除草劑，以微生物防除雜草亦可區分為二種，一為將致病的活體微生物直接噴施接種於雜草，另一為經純化菌株中防除雜草的有效成份，大量製成商品利用。

微生物除草劑的作用機制，包括對標的雜草的侵染能力、侵染速度與致病強度，為決定雜草防除效率之重要因素。侵染能力須可通過侵染途徑、侵染部位、侵入組織中致病，因此最常見的植物病原物是真菌，它可以直接穿透寄主表皮，進入寄主組織，防除雜草。真菌也比病毒和細菌易於人工大量繁殖，製成孢子除草劑。病毒和細菌一般只能通過植物的傷口、自然開口或通過昆蟲的媒介作用感染侵入，自然感染侵入很難。一般易引起雜草嚴重病症者，如炭疽、枯萎、葉斑等病原菌較具應用潛力，然而某些真菌性病原雖可侵染，但不一定會造成雜草發病，起初雜草與病原菌可能處於相互拮抗狀態，當雜草的防禦機制勝過病原菌的危害時，則此菌株即不具利用性。因此，病原菌的侵染速度及致毒強度為首要條件。

利用活體微生物防除雜草又可區分為傳統的微生物防除法和應用微生物除草劑2種，前者是從雜草的原產地引入致病微生物，於田間釋出，可降低目標雜草的族群，此方法適用於人為干擾較少的生態環境，例如水域、牧場及草地中的雜草或外來入侵雜草。後者應用微生物除草劑，將篩選出的致病菌株大量培養，製備成生物製劑，經測定出最佳條件下，噴施或接種於雜草上，達成快速而有效防除目標雜草的目的，適用於防除高經濟產值農作田及草坪雜草，或危害嚴重的寄生性、過敏源雜草等。

## 2. 具防治雜草潛力的微生物類別

60 年代起，歐美各國即開始有微生物除草劑之相關研究，目前報導具除草功能的微生物類別有真菌、細菌、病毒、放線菌和線蟲等，研發初期大都以活體微生物除草劑為主，因為微生物的資源豐富，繁殖速度快，生產週期較短，且由寄主雜草分離取得的病原菌，一般對寄主植物具種間特異性，故選擇性高。其中被認為具有除草潛能的真菌主要包含以下 9 屬：炭疽菌屬 (*Colletotrichum*)、疫病屬 (*Phytophthora*)、鐮胞菌屬 (*Fusarium*)、鏈格菌屬 (*Alternaria*)、銹菌屬 (*Puccinia*)、尾孢菌屬 (*Cercospora*)、黑粉菌屬 (*Entyloma*)、殼單孢菌屬 (*Ascochyta*) 及菌核病菌屬 (*Sclerotinia*) 等。但因真菌孢子型製劑對環境條件要求嚴格，在批量生產、配方、儲藏等技術問題門檻較高，因此不易量產、推廣及被接受。自 90 年代開始，從雜草根系土壤的微生物菌群中篩選出具有除草活性的細菌，成為除草劑開發研究的熱點。細菌類多為根圍細菌，主要有 8 屬，包括假單孢菌屬 (*Pseudomonas*)、腸桿菌屬 (*Enterobacter*)、黃桿菌屬 (*Flavobacterium*)、檸檬酸細菌屬 (*Citrobacter*)、無色桿菌屬 (*Achromobacter*)、產鹼桿菌屬 (*Alcaligenes*)、黃色單孢菌屬 (*Xanthomonas*) 及伊文式菌屬 (*Erwinia*) 等細菌。

## 3. 已商品化之微生物除草劑

目前已商品化之微生物除草劑有 2 種類型，一為活體微生物除草劑，另一由微生物代謝產物發展的除草劑。前者較易發展為目標雜草的專一性致病菌株的防治，後者較易發展為藥效穩定的廣效性除草劑，各有其優缺點。目前具有對活體微生物除草劑中以真菌除草劑最多，其次為細菌除草劑(表二)，分別列舉如下：

- (1) Devine：為美國亞培公司於 1981 年研發的產品，是以種棕櫚疫病菌 (*Phytophthora palmivora* Butler) 孢子製成之液劑，噴施於土壤，可防治柑桔園莫倫藤 (*Morrenia odorata* (H&A) Lindl.)，其防治效果約為 96%。然而大部份藤本植物對此製劑都具敏感性，因此使用範圍受到限制。

表二、已商品化或具有潛力的微生物除草劑。

商品名	病原菌	防除對象
Devine	<i>Phytophthora palmivora</i>	莫倫藤 ( <i>Morrenia odorata</i> )
Collego	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> f. sp. <i>aeschnomene</i>	田皂角 ( <i>Aeschynomene virginica</i> )
Camperico	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>Poannua</i>	早熟禾 ( <i>Poa annua</i> )
BioMal	<i>C. gloeosporioides</i> f. sp. <i>malvae</i>	圓葉錦葵 ( <i>Malva neglecta</i> )
BioSEOGE	<i>Puccinia canaliculata</i>	黃土香 ( <i>Cyperus esculentus</i> )
Biochon (Koppert)	<i>Chondrostereum purpureum</i>	黑櫻桃 ( <i>Prunus serotina</i> )
CASST	<i>Alternaria</i> spp.	決明 ( <i>Cassia tora</i> L.)
Velgo	<i>Fusarium</i> spp.	筒麻 ( <i>Abutilon theophrasti</i> .)
魯保1號	<i>Glucosporium</i> spp.	菟絲子 ( <i>Cuscuta</i> spp.)
StumpOut	<i>Cylindrobasisidium</i> leaf	森林植物
Dr. Biosedge	<i>Puccinia canaliculata</i>	莎草 ( <i>Cyperus</i> spp.)
	<i>Exserohilum monoceras</i>	稗草 ( <i>Echinochloa crusgalli</i> )
	<i>Epicocosorus nematosorus</i>	野荸薺 ( <i>Elecharis koruguwai</i> )
	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> f. sp. <i>Aeschnomene</i>	卷莖蓼 ( <i>Polygonum convovulus</i> )
	<i>Alternaria tenuissima</i>	筒麻 ( <i>Abutilon theophrasti</i> )
	<i>Mirosporaeropsis amaranthi</i>	藜 ( <i>Chenopodium album</i> )
	<i>Phoma proboscis colletotrichum capsici</i>	田旋花 ( <i>Convolvulus arvensis</i> )
	<i>Uromyces rumicis</i>	皺葉酸模 ( <i>Rumex crispus</i> )

- (2)Collego：是由美國農部和 Upjohn 公司合作開發的真菌除草劑，從豆科田皂角 (*Aeschynomene virginica*) 中分離出含有皂角長孢炭疽菌 (*Colletotrichum gloeosporioides* f. sp. *aeschnomene*)，主要利用孢子製備為可濕性粉劑，此菌株為兼性腐生菌，造成寄主植物莖葉致命的萎凋，可有效防除水田和大豆田的田皂角，防治率達 90%以上。
- (3)Camperico：是日本煙草公司研發的細菌性除草劑，其有效成分是細菌 (*Xanthomonas campestris* pv. *poannua*)，於葉面噴施造成早熟禾及剪股穎的枯萎病，主要用於防除高爾夫球場的草坪雜草，防治效果可達 90%以上。此製劑的細菌致病效果長，但藥效強度依季節而異，一般於施藥後 1-3 個月，可有效降低草坪中早熟禾族群的密度。
- (4)BioMal：為 Philom Bios 生技公司於加拿大首次註冊的真菌除草劑，有效成分盤長孢狀刺盤抱錦葵專化型 (*C. gloeosporioides* f. sp. *malvae*) 的孢子，被用作防治圓葉錦葵 (*Malva neglecta*)。該真菌在莖及葉柄上引起凹陷的侵蝕斑，孢子懸液達  $2 \times 10^6$  個/mL 即具有極好的除草效果，然而有效感染需於 30°C 以下，以及 20 小時以上的著露期，且生產成本過高，因此價格昂貴，農民接受度低，成為市場性之障礙。
- (5)BioSEOGE™ 商品為利用 *Puccinia canaliculata*(銹病菌)防治黃土香 (*Cyperus esculentus*) 的真菌性除草劑。
- (6)魯保 1 號 (*Glucosporium* spp.)：中國於 70 年代由山東省農科院開發的真菌除草劑，主要防除大豆田的菟絲子，以 11-15 kg/hm<sup>2</sup> 菌粉加水稀釋，於菟絲子發生初期噴施 2 次。

藥毒所亦已成功開發炭疽菌 (*Colletotrichum* sp.) 除草劑，可有效防治平原菟絲子 (*Cuscuta campestris*)。

微生物代謝產物發展的除草劑，亦有學者稱之為「農用抗生素除草劑」。一般微生物可產生多種代謝物，其中某些化合物除了具備除草活性，也可能同時具有多種化學合成除草劑沒有的特性，例如新結構的化合物，易發現新穎的作用機制；大都為多標地作用位置，不易產生抗性雜草；與活性微生物除草劑相比，使用方便、更易儲存，以及利於劑型加工。



目前從鏈黴菌屬菌株(*Streptomyce* spp.)代謝產物中，開發出具除草活性的生物農藥種類較多，其中最成功者為固殺草(glufosinate, phosphinothricin, PPT) 和畢拉草(bialaphos)(圖 1D)。畢拉草為 1971 年首次從 *S. viridochromogenes* 和 *S. hygrosopicus* 分離得到，最初發現其 L-PPT 具有抗真菌(*Botrytis cinerea*)及細菌之活性和抗細菌活性，後來發現 L-PPT 具有除草活性，並可強烈抑制麩醯胺酸合成酶(glutamine synthetase, GS)的活性。之後經結構修飾與活性分析，研發出商業化除草劑之最佳結構為 DL-PPT。固殺草為萌後除草劑，現今於全球已廣泛用於防除一年生和部份多年生禾本科及闊葉雜草。另有除草活性的抗生素如除草菌素(Herbicidin)、綠僵菌素(Destruxin E)、杆孢菌素(Roridins)和疣孢菌素(Verucarins)等，分別列舉於表三。此外，利用真菌蛋白防除雜草，亦為一新穎方式，如尖孢鐮刀菌(*Fusarium oxysporum*)產生的真菌蛋白殺死闊葉雜草，但對單子葉植物無害。

#### 4. 微生物除草劑的研發障礙

雖然目前全球具除草潛力的微生物亦超過 100 種以上，然而發展為商品者仍極為少數，主要原因是微生物除草劑在其研究、開發和應用中存在著生物性變化、環境因素、生產技術和商業考量等多方面的問題，阻礙微生物除草劑的發展。例如於活體微生物除草劑部份：菌株變異退化、致病力減弱、活性物質不穩定等生物性問題；通常微生物除草劑對環境條件的要求比化學除草劑更嚴謹，包括溫度、濕度影響微生物孢子的萌芽和侵染，濕度是最主要因子；生產技術方面常受限於無法穩定的大規模量產菌株或孢子；商業市場面的考量，多因活體微生物除草劑對目標生物的選擇性強，適用範圍及銷售量受限，如 BioMal 生產成本過高，因此價格昂貴，農民接受度低。甚至 Ecogen (Langhorne, Pa.) 產品現已不再出售，因為市場容量太小，所賺利潤不足以回報於成本。另外，於微生物代謝產物發展的除草劑部份，由於具有植物毒性的微生物代謝物質，其結構一般比人工合成者更複雜，而且通常不易以傳統的合成方法取得、化學成分的確定難度高，且工作量大，或易受合成費用之限制，因此常不易順利發展成功。

表三、已開發和具有除草潛力的微生物代謝物質。

微生物代謝物	微生物	防除對象
Altenaria acid 交鏈孢酸	<i>Altenaria soloani</i>	單, 雙子葉雜草
Anisomycin 茴香黴素	<i>Streptomyces sp. 638</i>	稗草, 紫花苜蓿
Bipolaroxin 雙極毒素	<i>Bipolaris cynodontis</i>	狗牙根
Curvulin 彎孢毒素	<i>Drechslera indica</i>	馬齒莧
Dihydroxyrenophphorin 二氫茈內酯菌素	<i>Drechslera avenae</i>	單, 雙子葉雜草
Herbicidin 除草素	<i>S. sagunonensis</i>	馬齒莧, 野莧, 藜
Herbimycin 除草黴素	<i>S. hygroscopicus</i>	稗草, 馬唐, 碎米莎草
Hydantocidin	<i>S. htdroscopicus</i>	單, 雙子葉雜草
Maculosin 斑點狀病毒	<i>Altenaria alternate</i>	二花鳳仙花 ( <i>Impatiens biflora</i> )
Ophiobolin A 蛇孢毒素	<i>Drechslera sp.</i>	假高粱
Phosalacine 丙氫磷	<i>Kitasatosporia phosalacine</i>	紫花苜蓿
Tagetoztoxin 萬壽菊毒素	<i>Pseudomonas syringe</i>	金盞花、百日草(白化)

### 運用新技術於開發生物性除草劑之遠景

由於現今生物技術、電子計算衍生於多方面的持續發展，將其運用於探討微生物或植物毒質之除草作用機制，通過基因工程和細胞融合技術，重組自然界存在的優良除草劑基因，如經由大量誘發強致病基因的表現或轉殖產毒基因，以克服菌株變異退化、致病力減弱、活性物質不穩定等生物性問題。此外，通過適當的助劑類型及製劑加工技術可以促進和調節孢子萌發，增加致病性，減少對環境依賴性，提高防治效果和穩定性；亦可選擇使用兩種或兩種以上的微生物，開發為可防治多種雜草的單一劑型之除草劑，改良寄主專一性為廣效性，



可間接開拓推廣的市場。另有以生物性除草劑與低劑量化學除草劑混合施用，提高防除雜草的功效。

雖然生物除草劑存在著前述多項問題，使其推廣及大規模生產受到限制，且以植物毒性物質作為除草劑先導物的新活性物質的發現以及高效除草劑的開發，需要相當長時間和龐大資金投入，但隨著生物科技的迅速發展，以及對微生物除草劑研究的問題，逐步獲得解決，生物性除草劑的環保特質，將持續被關注及開拓。