殺菌劑分類及其特性

李　敏　郎

農業藥物毒物試驗所　農藥應用組

一、前言

二、殺菌劑分類

三、殺菌劑作用機制與抗藥性等特性

四、結論

版權所有，請勿翻印

一、前言

植物生長過程中，常遭病菌及昆蟲為害，使農業生產受到損傷，為確保生產結果，研發出農藥(pesticides)來防治病蟲害，其中防治病害者為殺菌劑(fungicides)，防治蟲害者為殺蟲劑(insecticides)。引起作物病害之病原種類繁多，可分成真菌(fungi)、細菌(bacteria)與病毒(virus)，其中病毒引起之病毒性病害無防治藥劑可言，細菌性病害則以抗生素類藥劑治療，真菌性病害則以殺菌劑進行防治，因此本文所言之殺菌劑，是指防治病原真菌引起之真菌性病害時，所使用的化學藥劑種類，至於生物製劑(biopesticides)則不在此討論。底下就殺菌劑分類、作用機制、抗藥性等特性進行說明。

二、殺菌劑分類

殺菌劑可依其使用特性、化學式、作用機制等特性進行分類，若依其使用特性，則可分成兩大類，即保護劑(protective fungicide)與治療劑(curative fungicide)。保護劑指僅有保護效果，無防治效果，例如銅劑、硫磺劑及有機氯劑，而治療劑則具有療效，例如 triazole 殺菌劑。殺菌劑除上述分類外，亦可依其是否具有選擇性分成非選擇性殺菌劑(nonselective fungicide)與選擇性殺菌劑(selective fungicide)，也能依照化學結構或作用機制(mode of action)分群歸類，例如 dicarboximide 類殺菌劑－撲滅寧(procymidone)，benzimidazole 類殺菌劑－免賴得(benomyl)。下列章節內容主要根據藥劑之選擇性為其大項，然後分別依照作用機制與抗藥性進行說明，方面學者了解整個殺菌劑目前的發展情形。

三、殺菌劑作用機制與抗藥性等特性

(一)非選擇性殺菌劑

1.硫磺劑(sulfur fungicides)

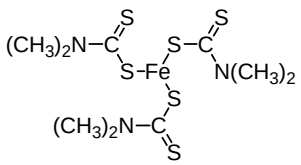
藥劑名稱：

無機硫磺劑：硫磺、可濕性硫磺、石灰硫磺。

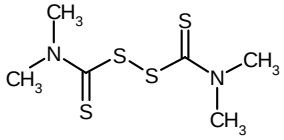
作用機制：硫為親油性物質，透過細胞膜進入菌體內，取代呼吸作用之氧氣，產生 H2S 到一定濃度時，使菌類生理作用受阻而死亡。此類殺菌劑對脂質含量高之白粉病菌、銹病菌等，具有高度殺菌力。

有機硫磺劑：據大英作物保護委員會(British Crop Protection Coucil, BCPC)出版之農藥手冊(The Pesticide Manual)分類群，此類型有機硫磺劑被歸類為多作用點(multi-site)殺菌劑：

(1)Multi-site dimethyldithiocarbamate：

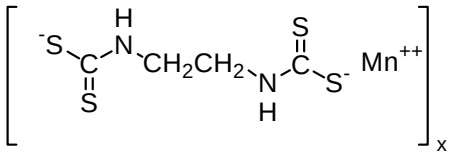


ferbam(富爾邦)

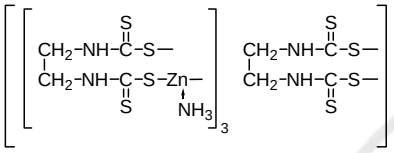


thiram(得恩地)

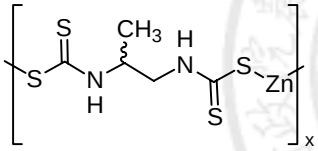
(2)Multi-site alkylenebis (dithiocarbamate) ：



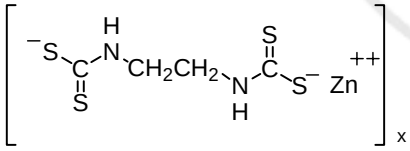
manconeb(鋅錳乃浦)



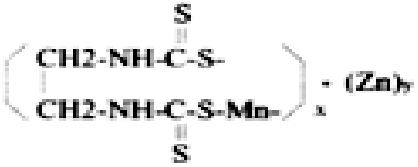
metiram(免得爛)



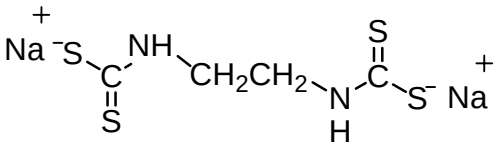
propineb(甲基鋅乃浦)



zineb(鋅乃浦)



mancozeb(鋅錳乃浦)



nabam(鈉乃浦)

作用機制：Dialkyldithiocarbamates 為真菌酵素之多重抑制劑，丙銅酸鹽去氫酵素反應(Pyruvate dehydrogenase reaction)對 Dialkyldithiocarbamates 特別敏感。硫元素阻礙真菌粒線體電子傳遞系統中 cytochrome C 的受質端(substrate side)接收電子，進而干擾真菌能量之產生。

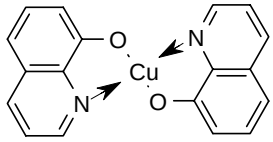
抗藥性及其他特性：除 lime sulfur 外，餘為非系統性，無藥害之殺菌劑。可用於防治露菌病、疫病、鏽病、灰黴病等病害。這類型藥劑中，鋅乃浦、銅鋅錳乃浦、銅合浦因致大鼠畸型性與致腫瘤性，在國內已禁止使用，其餘之有機硫磺殺菌劑，亦因致腫瘤性等因素則而制登記使用。

2.銅劑(copper fungicides)

藥劑名稱：

無機銅劑：Bordeaux mixture(波爾多液，1885, 生石灰與硫酸銅混合物(Calcium hydroxide + Copper (II) sulfate 混合物)，主成份為 $CuSO_4 \cdot 7Cu(OH)_2 \cdot 6Ca(OH)_2$)、$CuCl(OH)_3$、Copper hydroxide(氫氧化銅)、Copper oxychloride(鹼性氯氧化銅，$CuCl_2 \cdot 3CuO \cdot 3H_2O$)、$Cu_2O$、Cuprous oxide(氧化亞銅，$Cu_2O$)、Copper sulfate(硫酸銅)。

有機銅劑：



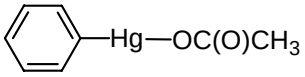
Oxine-copper(快得寧)

作用機制：Cu 可能和酵素之-SH 基作用，為多作用點生化抑制劑。

抗藥性及其他特性： 可能有藥害發生。

3.汞劑(mercury fungicides)

藥劑名稱：



Phenylmercury acetate(PMA)

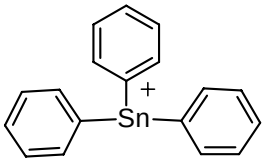
$HgCl_2$(氯化汞)、Hg_2Cl_2(氯化亞汞)、HgO、2-methoxyethyl mercury silicate、phenylmercury acetate(PMA)

作用機制：類似銅劑，為多作用點殺菌劑，和酵素之-SH 基作用之故。

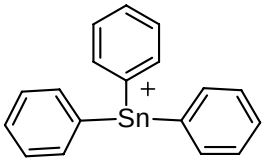
抗藥性及其他特性：由於對溫血動物之高毒性，具長效性環境污染之特性，世界各國禁止使用。

4. 有機錫劑 (organotin fungicides)

藥劑名稱：



Fetin acetate(三苯醋錫)



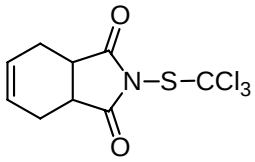
Fetin hydroxide(三苯烴錫)

作用機制：Triphenyltin 抑制真菌呼吸作用中的磷酸氧化反應，抑制真菌孢子發芽及呼吸作用，國內因其致畸型性而全部禁止使用。

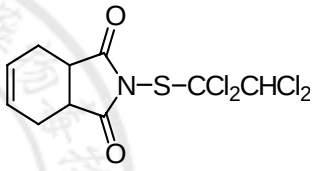
5.酞醯亞胺及醌類殺菌劑 (phthalimide & quinone fungicides)

藥劑名稱：

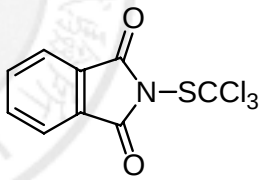
(1)Phthalimide：除蓋普丹為限制登記使用外，四氯丹及福爾培因致癌性及致腫瘤性，均禁止使用。



Captan (蓋普丹)



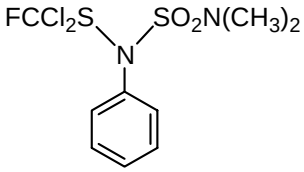
Captfol (四氯丹)



Folpet (福爾培)

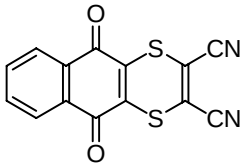
蓋普丹，國內目前為限制登記使用，而四氯丹和福爾培在國內禁用。

Dichlofluanid(益發靈)：



Dichlofluanid(益發靈)

(2)Quinone：



Dithianon(腈硫醌)

作用機制：

(1)Phthalimide：和蛋白質(酵素)之-SH 基及低分子量代謝物結合，干擾電子傳遞系統及呼吸作用。防治 *Venturia, Botrytis*, *Plasmopara*, *Phytophthora* spp.，與芳香烴類及其它殺菌劑無交叉抗藥性反應。

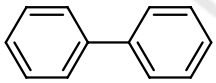
(2)Quinone ： quinone nucleus 和-SH、-NH_2 基結合，因此干擾電子傳遞系統及呼吸作用。

(二)選擇性殺菌劑

1.芳香烴類殺菌劑(aromatic hydrocarbon fungicides, AHF)

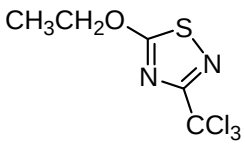
藥劑名稱：

(1)Aromatic hydrocarbon：



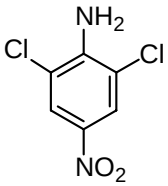
Biphenyl (diphenyl)

(2)Aromatic hydrocarbon：heteroaromatic

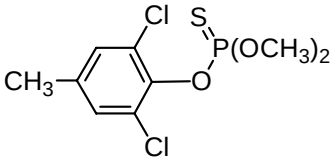


Etridiazole(依得利)

(3)Aromatic hydrocarbon：chloro/nitrophenyl

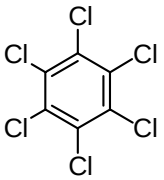


Dicloran(大克爛)



Tolclofos-methyl(脫克松)

(4) others



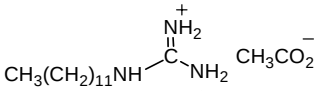
Hexachlorobenzene (HCB)

作用機制：誘導細胞內各胞器膜上之脂肪產生過氧化反應(lipid peroxidation)，阻礙電子傳遞。影響孢子發芽、附著器形成、產孢、磷酸脂合成，造成自由脂肪酸累積(free fatty acid accumulation)及呼吸作用中的氧氣吸收(O_2 uptake)。

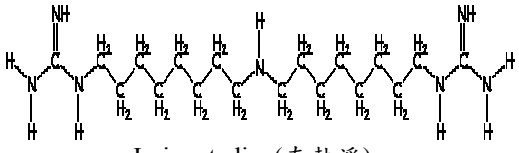
抗藥性及其他特性： 對 AHF 及 dicarboximides 具有正交叉抗藥性(positively cross resistant)。高揮發性之故，大多作為土壤殺菌劑用。

2.胍或胺基甲脒殺菌劑(guanidine fungicides)

藥劑名稱：



Dodine(多寧)



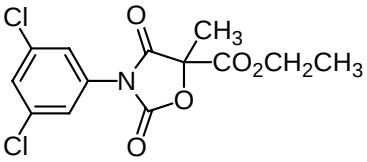
Iminoctadine(克熱淨)

作用機制： iminoctadine 抑制脂肪生合成，干擾膜之通透性。

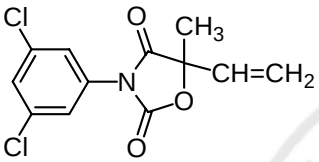
抗藥性及其他特性：多寧及克熱淨抗藥性菌株對芬瑞莫敏感，不具抗藥性，為負交叉抗藥性(negatively cross resistant)。

3.Dicarboximide 類殺菌劑(DCOF)

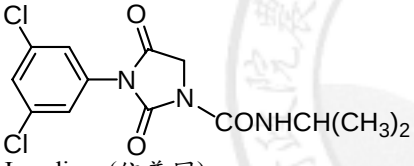
藥劑名稱：



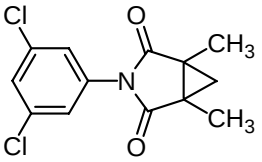
Chlozolinate(克氯得)



Vinclozolin(免克寧)



Iprodione(依普同)



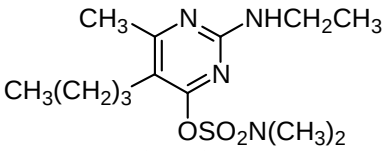
Procymidone(撲滅寧)

作用機制：誘導非飽和脂肪酸產生過氧化反應，產生活性氧自由基，因此使核酸、蛋白質與細胞壁成份受到攻擊，導致菌絲生長受擾而異常分歧，也使發芽管爆裂，因此本類藥劑能抑制孢子發芽與菌絲生長，尤其是抑制菌絲生長方面效果較佳。

抗藥性及其他特性：與細胞膜或細胞壁結構改變有關，滲透壓敏感度增加與抗藥菌株病原性關係密切。對 dicarboximide 間、芳香烴類與芳香環化合物等殺菌劑有交叉抗藥性，由抗藥性觀點看，DCOF 為抗藥性之〝中度風險〞殺菌劑。這類藥劑中，免克寧因廠商自動停止進口，且因安全劑型問題，目前限制登記使用。

4. 2-胺基嘧啶類殺菌劑(2-aminopyrimidine fungicides)

藥劑名稱：



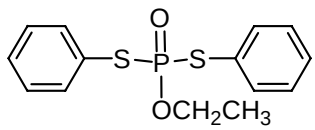
Bupirimate(布瑞莫)

作用機制：抑制核酸合成時所需之 adenosine deaminase，進而抑制真菌附著器及吸器形成。

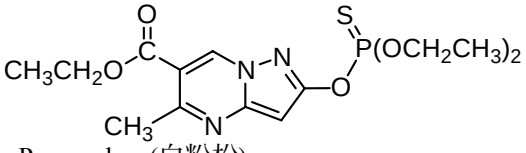
抗藥性及其他特性： 都是白粉病菌之殺菌劑。

5. 有機磷劑(organophosphorus fungicides)

藥劑名稱：



Edifenphos (護粒松)

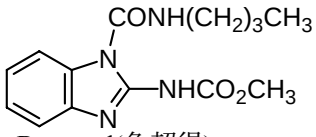


Pyrazophos (白粉松)

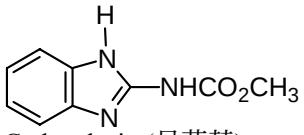
作用機制：抑制菌絲生長、產孢、幾丁質合成及磷酸脂肪合成，並影響膜之通透性。

6.Benzimidazole 類殺菌劑

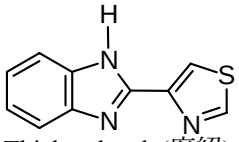
藥劑名稱：



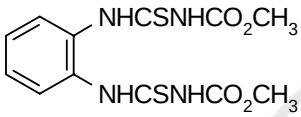
Benomyl(免賴得)



Carbendazim(貝芬替)



Thiabendazole(腐絕)



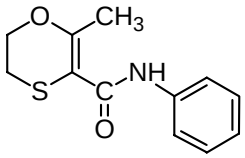
Thiophanate-methyl(甲基多保淨, carbendazim 前驅物)

作用機制：本類藥劑與 tubulin 結合後抑制 microtubule 形成，使紡錘體無法形成，阻礙核分裂。

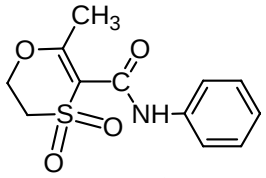
抗藥性及其他特性：Benzimidazole 抗藥性菌株對 N-phenylcarbamate(α-tubulin 抑制劑)敏感，如 methyl N-(3,5-dichorophenyl) carbamate (MDPC)及 isopropyl N-(3,4-diethoxyphenyl) carbamate (Diethofencarb)，為負交叉抗藥性反應，屬抗藥性之高風險殺菌劑。

7.Carboxamide 類殺菌劑

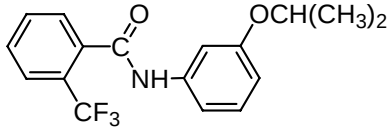
藥劑名稱：



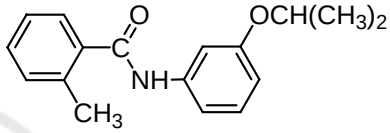
Carboxin



Oxycarboxin(嘉保信)



Flutolanil(福多寧)



Mepronil(滅普寧)

作用機制：本類殺菌劑和 succinate-ubiquinone reducatase complex (Complex II)作用後，阻止電子傳遞到 ubiquinone，導致天門冬胺酸(aspartate)和麩胺酸(glutamate)合成受阻，具保護及治療作用，可防治真菌生長及侵入，使真菌菌絲及感染墊(infection cushions)瓦解。

抗藥性及其他特性：主要防治擔子菌類，黑穗病菌，bunts，銹病菌及 *Rhizoctonia solani*。

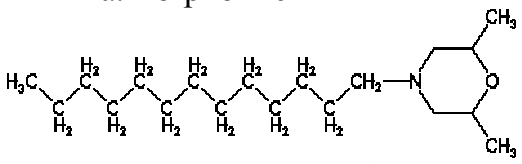
8. 抑制固醇生合成之殺菌劑 (sterol biosynthesis inhibiting fungicides, SBIs)

這類殺菌劑均可抑制麥角固醇生合成(ergosterol biosynthesis)，又稱 EBIs 殺菌劑，為抗藥性之低風險(low risk)殺菌劑。

(1)Morpholine & Peperidine fungicides

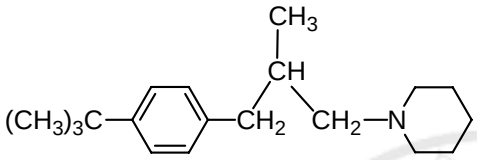
藥劑名稱：分成 morpholine、piperidine 及 spiroketalamine 三類：

a.Morpholine



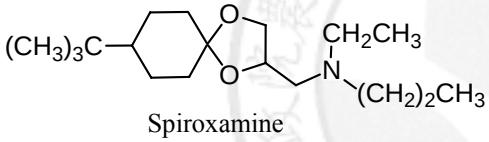
Tridemorph(三得芬)

b. Piperidine



Fenpropidin

c. Spiroketalamine



Spiroxamine

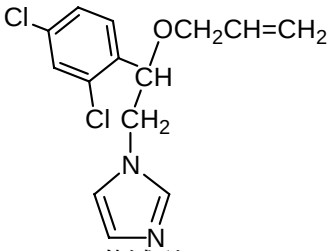
作用機制： 兩個作用點：Δ^{8}->Δ^{7} sterol isomerase 及 Δ^{14} sterol reductase，使多醣類位置(可能是幾丁質)錯誤，導致 *Mucor* sp.的膜發生變化，菌類形態改變，菌絲乾重無法增加。

(2)Demethylation Inhibitors (DMIs) 脫甲基抑制劑

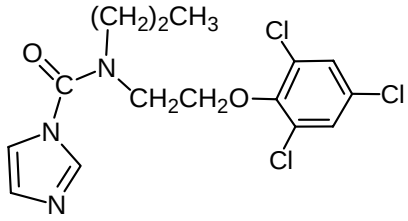
Sterol C^{14}-demethylation inhibiting fungicides (SDIs)

藥劑名稱：分成 5 大類：

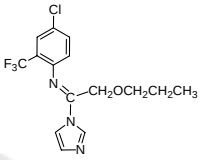
a. Imidazoles ：



Imazalil(依滅列)

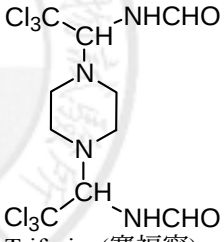


Prochloraz(撲克拉)



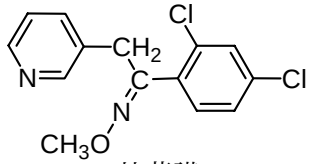
Triflumizole(賽福座)

b. Piperazines：



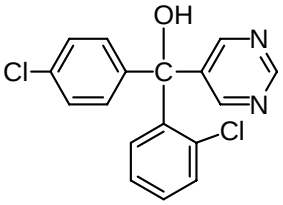
Triforine(賽福寧)

c. Pyridine：

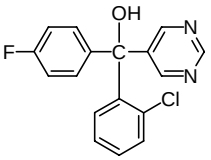


Pyrifenox(比芬諾)

d. Pyrimidines：

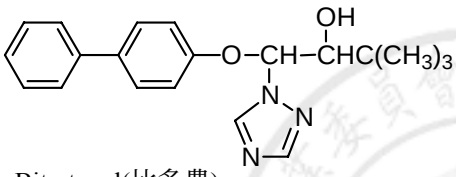


Fenarimol(芬瑞莫)

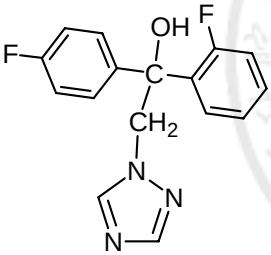


Nuarimol(尼瑞莫)

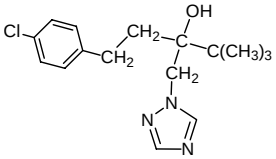
e. Triazoles：三唑類殺菌劑，發展非常迅速的一群 EBIs 類殺菌劑



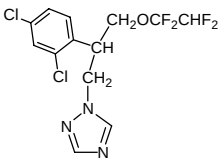
Bitertanol(比多農)



Flutriafol(護汰芬)



Tebuconazole(得克利)



Tetraconazole(四克利)

Bromuconazole(溴克座)、Cyproconazole(環克座)、Difenconazole(待克利)、Diniconazole(達克利)、Epoxiconazole(依普座)、Fenbuconazole(芬克座)、Flusilazol(護矽得)、Hexaconazole(菲克利)、Imibenconazole(易胺座)、Myclobutanil(邁克尼)、Paclobutrazol(巴克素)、Penconazole(平克座)、Propiconazole(普克利)、Triadimefon(三泰芬)、Triadimenol(三泰隆)

作用機制：和 microsomal cytochrome P-450 的特別形態結合，比 morpholines 更早一步抑制固醇生合成。不影響糖類及醋酸鹽之氧化反應等呼吸作用，菌絲乾重增加。視菌類不同，可能影響孢子堆複製、菌絲生長及孢子發芽等菌類形態。

抗藥性及其他特性：DMIs 間存在正交叉抗藥性，但對 morpholines 無交叉抗藥性反應，受抗藥性等單基因突變之 pleiotropic 效應影響，通常伴隨著適應性(fitness)及致病性(pathogenicity)減弱的現象。目前國內此類型藥劑中，溴克座、環克座、依普座、護矽得、邁克尼、平克座及普克利等均為限制登記使用藥劑。本類藥劑亦可作為植物生長延遲劑(retardant)，如 pyrimidines 中的 ancymidol。

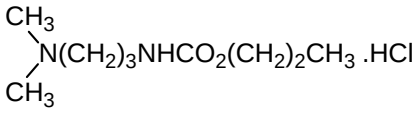
下列藥劑與本類型之藥劑具有協力作用(synergistic activity)：

Hydrochloric acid、sodiium hydroxide、cationic & anionic surfactants、sodium orthovanadate、respiratory inhibitors (oligomycin)、coventional fungicides (Folpet, Chlorothalonil)

9.抗卵菌綱類殺菌劑(anti-Oomycetes fungicides)

主要分成下列不同類型：

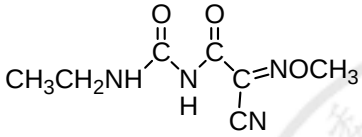
(1)Carbamate (氨基甲酸鹽)：



Propamocarb hydrochloride(普拔克)

作用機制：延緩菌絲生長、孢囊及遊走孢子發育，影響細胞膜生合成。

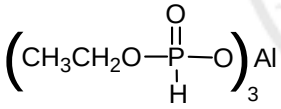
(2)Cyanoacetamide oxime：



Cymoxanil(克絕)

作用機制：具保護及治療作用，能抑制菌類產孢。

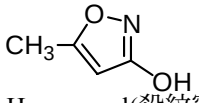
(3)Phosphonate：



Fosetyl-Al(福賽得)

作用機制：抑制孢囊發芽，或阻礙菌絲發育及其產孢。

(4)Heteroaromatic：

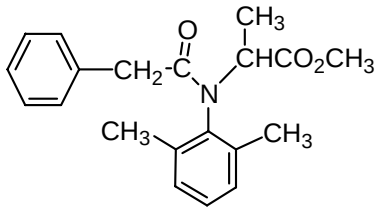


Hymexazol(殺紋寧)

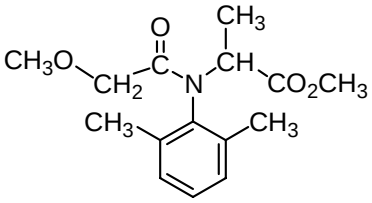
作用機制：抑制菌類細胞內之 RNA/DNA 合成。

(5)Phenylamide：

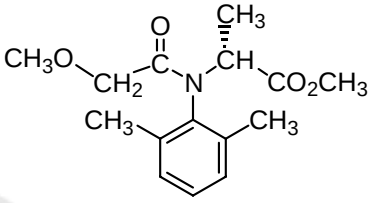
a. Acylalanine



Benalaxyl (本達樂)

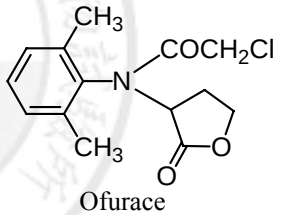


Metalaxyl (滅達樂)



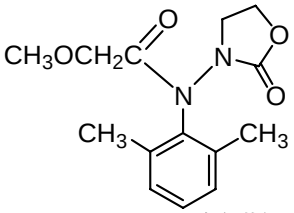
Metalaxyl-M (右滅達樂)

b. Butyrolactone



Ofurace

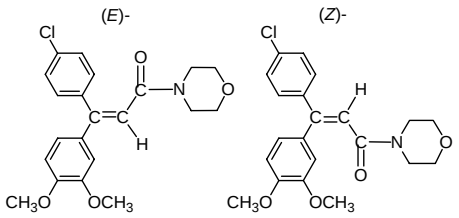
c. Oxazolidinone



Oxadixyl(歐殺斯)

作用機制：Phenylamide 類殺菌劑和真菌 RNA polymerase I 作用後，抑制 rRNA 合成，進而抑制真菌合成蛋白質，具保護及治療效果。

(6)Cinnamic acid (肉桂酸)



Dimethomorph(達滅芬)

作用機制：抑制卵菌綱菌類之細胞壁形成，具良好的保護性及抑制產孢作用。達滅芬為(E)、(Z)異構物混合劑，其中只有(Z)型異構物有作用，但是在光作用下會相互轉換，本類型殺菌劑可防治露菌、疫病菌，但對 *Pythium* spp.無防治效果。

抗藥性及其他特性：Phenylamide 殺菌劑在田間產生嚴重抗藥性問題，其它類型抗卵菌綱殺菌劑則無此現象。而滅達樂在田間之抗藥性問題非常嚴重，且滅達樂抗藥性菌株的致病性和野生型菌株一樣，因此可利用下列方式，減少滅達樂抗藥性發生：

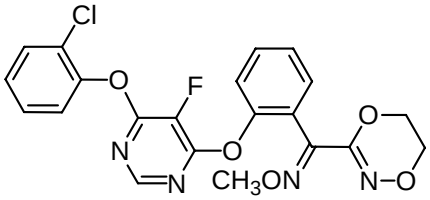
(1)滅達樂和克絕、福賽得混合使用，可防止滅達樂抗藥性產生，其中克絕對滅達樂具有協力作用。

(2)在病原菌侵入前，可用鋅錳乃浦先行保護，然後再用滅達樂防治。

10. 丙烯酸酯類殺菌劑 (strobilurin fungicides)

藥劑名稱：

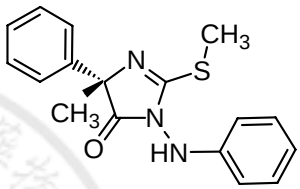
(1)Strobilurin analogue：dihydrodioxazine



Fluoxastrobin

作用機制：本類型藥劑和真菌粒線體呼吸作用鏈中第三位置(ubiquinol oxidase, Qo-site)反應，為呼吸作用抑制劑，具保護及治療效果，可抑制孢子發芽及菌絲生長。

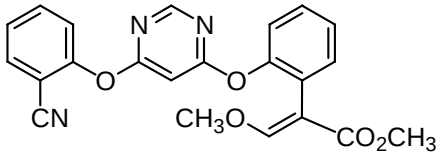
(2)Strobilurin type：imidazolinone



Fenamidone

作用機制：藉由阻礙 ubihydroquinone cytochrome c oxidoreductase 傳遞電子作用，進而抑制真菌粒線體呼吸作用，具保護及治療效果，可抑制孢子發芽，國外則用於防治葡萄露菌病、馬鈴薯晚疫病等卵菌綱引起之病害。

(3)Strobilurin type：methoxyacrylate

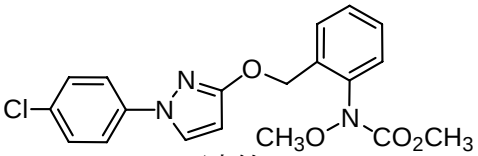


Azoxystrobin(亞托敏)

作用機制：藉由阻礙位於 ubiquinol oxidising 位置中的 cytochrome b 和 cytochrome c1

傳遞電子作用，進而抑制真菌粒線體呼吸作用，具保護及治療效果，可抑制孢子發芽、菌絲生長及產孢作用。可防治對 14-demethylase 抑制劑、phenylamides、二羧亞胺類或苯并咪唑類等殺菌劑已產生抗藥性之病原真菌。

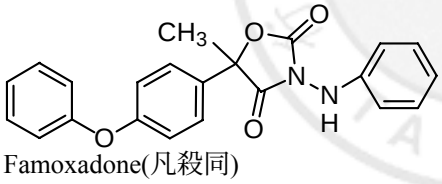
(4)Strobilurin type：methoxycarbamate



Pyraclostrobin(百克敏)

作用機制：藉由阻礙 cytochrome bc1 complex 傳遞電子作用，進而抑制真菌粒線體呼吸作用，具保護及治療效果。

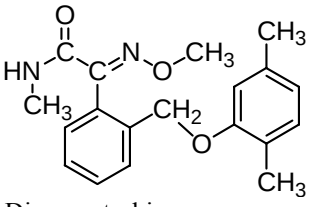
(5)Strobilurin type：oxazolidinedione



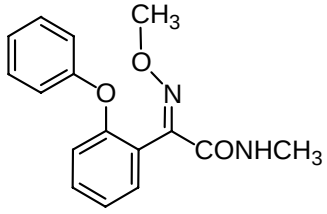
Famoxadone(凡殺同)

作用機制：藉由阻礙位於粒線體 complex III 位置之 ubiquinol:cytochrome c oxidoreductase 傳遞電子作用，進而抑制真菌粒線體呼吸作用，有效型式為(S)異構物，本類殺菌劑具保護效果，僅能抑制孢子發芽。

(6)Strobilurin type：oximinoacetamide



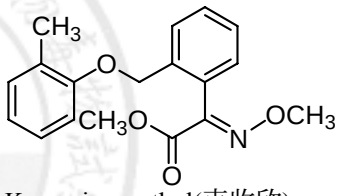
Dimoxystrobin



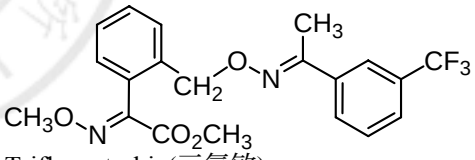
metominostrobin

作用機制：藉由阻礙 cytochrome bc1 complex 傳遞電子作用，進而抑制真菌粒線體呼吸作用，具保護及治療效果。

(7)Strobilurin type：oximinoacetate



Kresoxim-methyl(克收欣)



Trifloxystrobin(三氟敏)

作用機制：藉由阻礙 cytochrome bc1 complex 傳遞電子作用，進而抑制真菌粒線體呼吸作用，具保護及治療效果，抑制真菌孢子發芽。

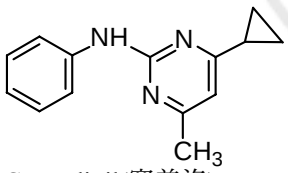
作用機制：β-methoxyacrylates 干擾 ubiquinone-cytochrome c reductase 或 cytochrome b/c1 complex(complex III)。β-

methoxyacrylates 為微生物之天然產物，例如 strobilurin A 源自於 *Strobilurus tenacellus* (Pers. ex Fr.) Singer，oudemansin A 來自 *Oudemansiella mucida* Hoehn.，這些天然抗菌物質在 1960 年代就發現其化學成份，最近經改良後，不僅對光線反應穩定，具系統性，且施用後無植物藥害情形，而 strobilurins 類具有廣效性，主要防治對象為子囊菌、擔子菌及卵菌綱等植物病原真菌。由於這些殺菌劑都作用在 cytochrome bc1 complex 分子結構：醌外部(Quinone 'outside')位置，因此又稱 QoI 殺菌劑(the Qo inhibitor fungicides, QoI)。

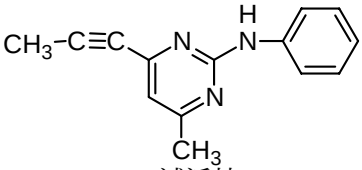
抗藥性及其它特性：目前克收欣在日本、歐洲等地已有抗藥性報告。

11. 苯胺嘧啶類殺菌劑 (anilinopyrimidine fungicides)

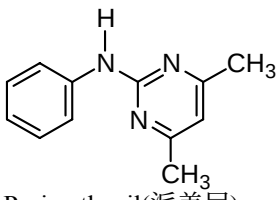
藥劑名稱：



Cyprodinil(賽普洛)



Mepanipyrim(滅派林)



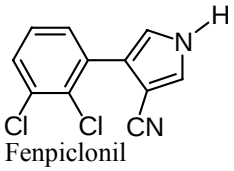
Pyrimethanil(派美尼)

作用機制：這類殺菌劑不影響孢子發芽，而是在低濃度時具有抑制發芽管伸長之作用，作用機制為抑制 cystathionine-β-lyase，因此影響甲硫胺酸(methionine)生合成，使菌絲或發芽管無法正常伸長(Leroux *et al.,* 1995)，因此在藥劑篩選時，不可使用富有氨基酸的培養基，尤其含有甲硫胺酸 (methionine) 成份時會降低 anilinopyrimidine 殺菌劑毒性 (Masner *et al*., 1994)。本類型殺菌劑另一作用機制乃抑制水解酵素之分泌，例如 protease、cellulase、lipase、cutinase 等 (Miura, *et al.,* 1994; Milling & Richardson, 1995)，例如該類殺菌劑中的 pyrimethanil 可抑制 *Botrytis cinerea* Pers. Fr. 分泌 laccase，達到防治效果(Leroux, 1996)。

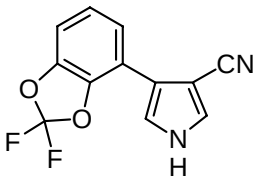
抗藥性及其它特性：對本類殺菌劑具交叉抗藥性，對 benzimidazole、N-phenyl-carbamates、dicarboximide 類殺菌劑等無交叉抗藥性。防治對象：子囊菌及不完全菌，如灰黴病、蘋果黑星病及穀類白粉病等。

12. 苯基吡咯類殺菌劑 (phenylpyrrole fungicides)

藥劑名稱：



Fenpiclonil



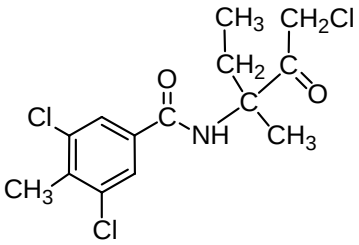
Fludioxonil(護汰寧)

作用機制：抑制運載有關之葡萄糖磷酸化作用，導致菌絲中的多醇類增加，如甘油(丙三醇)及甘露醇(mannitol) (Jespers & Waard, 1995, Leroux, 1996)。本類殺菌劑是 *Pseudomonas pyrociniae* 抗真菌素之 pyrrolnitrin 類似物，防治範圍有子囊菌、擔子菌及不完全菌等，主要防治對象為灰黴病菌 (*Botryotinia fuckeliana* (de Bary) Whetz., teleomorph of *Botrytis cinerea*)，除種子粉衣外，亦應用在葉部保護方面(Faretra & Pollastro, 1993)。

抗藥性及其它特性：護汰寧與苯胺嘧啶類(賽普洛)、benzimidazole(貝芬替)、N-phenylcarba-mates (diethofencarb)、dicarboximide(免克寧)等無交叉抗藥性。本類殺菌劑主要防治對象為子囊菌、擔子菌及不完全菌，如 *Alternaria, Botrytis, Rhizoctonia, Sclerotinia* 等病原真菌。

13. 苯甲醯胺類殺菌劑 (Benzamide fungicide)

藥劑名稱：



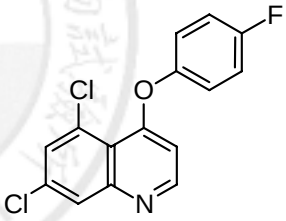
zoxamide

作用機制：與 tubulin 之β-subunit 結合，干擾 microtubule cytoskeleton 結構，因而阻礙核分裂，與 fenamidone 不同的是 zoxamide 不會影響游走孢子泳動、靜止與發芽，具有不怕雨水沖刷之 rainfastness 作用，屬保護型藥劑。

抗藥性及其它特性：目前用於防治卵菌綱類病原菌。

14. 喹啉類殺菌劑(quinoline fungicide)

藥劑名稱：



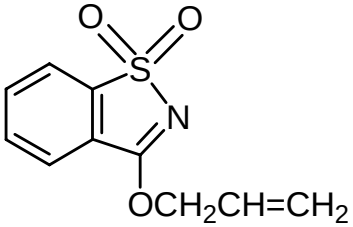
quinoxyfen(快諾芬)

作用機制：真菌生長訊號干擾劑(growth signal disruptor)，屬保護型藥劑。

抗藥性及其它特性：與現行 azoles、morpholines 或丙烯酸酯類等防治殺白粉菌劑(mildewicides)無交叉抗藥性，本類藥劑主要用在防治白粉病方面。

15. 非直接作用之殺菌劑 (Fungicides with an indirect mode of action)

Plant activator：Benzoisothiazole



Probenazole(撲殺熱)：Saacharin

Fosetyl-Al(福賽得)：Phosphonic acid

Salicylic acid(水楊酸)：Systematic Acquired Resistance (SAR)

作用機制：這類型藥劑並非直接殺菌，而是調節作物抗病性達到防治作用。例如撲殺熱施用後，刺激植物體內經由水楊酸調節之防禦訊號途徑，使植物產生抗性(Yoshioka *et al.*, 2001)。

四、結論

以藥劑防治植物病害的歷史超過百年，病原對藥劑表現「抗藥性」的現象在過去使用多點作用的保護劑時代絕少發生。60 年代以後許多系統性殺菌劑的發明如 pyrimidines, phenylamides, benzimidazoles 及 carboxines 對近代農業生產的貢獻極大，尤其 80 年代以後 sterol biosynthesis inhibitors(SBI)的發明，更是使殺菌劑的使用朝向劑量低、作用位置專一、選擇性高的方向發展。但由於作用機制過於專一，病原對藥劑的抗藥性逐漸成為農藥使用的大問題。抗藥性的產生主是遺傳突變造成，藥劑種類的不同，抗藥性的產生可分為基因的單點突變及多點突變兩類。由於抗藥產生的機制不同，田間的管理方式便不能相同。國際殺菌劑抗藥性行動委員會(Fungicide Resistance Action Committee, FRAC, http://www.frac.info/frac.html) 曾建議殺菌劑抗藥性的管理首要，便是著手制訂抗藥性風險評估的標準試驗規範。 FRAC 自 1981 設立以來對 dicarboximides, phenylamides 及 SBI 均有跨國的監測研究，目前設有 anilinopyrimidies(http://www.frac.info/anilinopyrimidine_wg.html), benzimidazoles(http://www.frac.info/benzimidazoles_wg.html), dicarboximides(http://www.frac.info/dicarboximides_wg.html), phenylamides(http://www.frac.info/phenylamides_wg.html), QoI fungicides (http://www.frac.info/qoi_wg.html ，即 strobilurin 類殺菌劑) 與 SBI fungicides(http://www.frac.info/sbi_wg.html) 等抗藥性監測工作小組。鑑於避免田間產生抗藥性之病原菌族群，並延長殺菌劑在田間的使用壽命，FRAC 對於抗藥性管理策略(p.24-30., Fungicide resistance in crop pathogens: How can it be managed ?)之建議如下：

1.避免單獨使用(Do not use the product in isolation)。儘量與其它不同作用機制之殺菌劑混合使用，或是輪替使用

2.限制每一生產季的殺菌劑使用次數，在使用後之下一次殺菌劑種類應為不同作用機制之殺菌劑 (restrict the number of treatments applied per season, and apply only when strictly necessary. Use other fungicides subsequently)。

3.維持廠商建議之推薦濃度 (maintain manufacturer's recommended dose)。

4.避免治療性用途(avoid eradicant use)。尤其是高風險之 phenylamides 類殺菌劑。

5.綜合防治 (integrated disease management)。

6.化學歧異度 (chemical diversity)。

因此，學者若能對殺菌劑的分類及特性有所認知，便可減少藥劑使用錯誤的機會，進而降低田間植物病原菌產生抗藥性的機率，使藥劑使用能達到合理、有效地防治作物病害之目的。