

農藥的種類介紹

李敏郎

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所 農藥應用組
台中市霧峰區光明路 11 號

農藥的定義

植物生長過程中，常遭病菌及昆蟲為害，使植物生產過程受到阻擾，因此造成減產或無法收成，為確保生產結果，農業生產者或管理者經年累月改良各種管理模式，進而研發出化學農藥(Pesticide)、生物農藥(Biopesticide)等各種植物保護資材來確保植物健康，由於化學農藥便宜、方便施用及藥效顯著，因此最常被應用來防治植物病蟲害。

化學農藥可依其防治對象分成：防治真菌(Fungi)、細菌(Bacteria)及線蟲(Nematodes)所引起之植物病者，分別稱之「殺真菌劑(Fungicides)」、「殺細菌劑(Bactericides)」及「殺線蟲劑(Nematicides)」等；防治害蟲及害蟎之殺蟲劑(Insecticides)及殺蟎劑(Acaricides)；其他如除草劑(Herbicide)、植物生長調節劑(Plant Growth Regulators)、殺鼠劑(Rodenticides)、除螺劑(Molluscicides)、除藻劑(Algicides)等。生物農藥則常依其來源，分成天然素材農藥、生化農藥、微生物農藥等種類。

然而政府為確保農藥使用對勞工、農民、消費者及環境之安全性，依據農藥管理法規，負責國內農藥之登記、輸出入、販售等管理。在「農藥管理法」第五條上，農藥被定義為：

- 一、農藥：指成品農藥及農藥原體。
- 二、成品農藥：指下列各目之藥品或生物製劑：
 - (一)用於防除農林作物或其產物之有害生物者。
 - (二)用於調節農林作物生長或影響其生理作用者。
 - (三)用於調節有益昆蟲生長者。
 - (四)其他經中央主管機關公告，列為保護植物之用者。
- 三、農藥原體：指用以加工前款各目成品農藥所需之有效成分原料。但經中央主管機關公告可直接供前款各目使用者，視為成品農藥。

農藥的種類

常用農藥種類及其用途分別簡述如下：

- 一、殺蟲劑(Insecticides)：防除為害植物之昆蟲。
- 二、殺蟎劑(Acaricides)：防除為害植物之蟎類、蟎蟀類。
- 三、殺真菌劑(Fungicide)：防除為害植物之真菌病害，如露菌病、白粉病等。
- 四、殺細菌劑(Bactericide)：防除為害植物之細菌病害，如細菌性葉斑病、軟腐病等。
- 五、除草劑(Herbicides)：防除雜草植物。

- 六、殺鼠劑(Rodenticide)：防除農田之野鼠；
- 七、植物生長調節劑(Plant Growth Regulator)：促進植物之生長、開花或再生。
- 八、殺線蟲劑(Nematocide)：防除為害植物之線蟲。
- 九、除藻劑(Algicides)：防除水域之藻類。

為使學者快速了解各類常用農藥之用途與作用機制，下面章節將以農藥種類為大綱，作用機制及常用農藥種類為細目及進行介紹，方便學者了解農藥種類。

殺蟲劑 (Insecticides)

殺蟲劑種類繁多，因此為方便學者迅速了解其作用機制與常用種類，採用殺蟲劑抗藥性行動委員會(Insecticide Resistance Action Committee, IRAC, <http://www.irc-online.org/>)所編制之作用機制表 (<http://www.irc-online.org/resources-2/document-library/#Mode%20of%20Action>) (表一)，以作用機制為綱要，介紹常見病害之殺蟲劑種類為輔，使學員了解其中殺蟲劑種類與其作用範圍。

表一、殺蟲劑之作用機制分類表：

編號	作用機制：意義	編號	作用機制：意義
1	乙醯膽鹼酯酶抑制劑 (Acetylcholinesterase inhibitors)：抑制神經作用。	14	尼古丁乙醯膽鹼受體通道阻礙劑 (Nicotinic acetylcholine receptor channel blockers)：阻礙神經作用。
2	γ -胺基丁酸氯離子通道拮抗物(GABA-gated chloride channel antagonist)：抑制神經作用。	15	鱗翅目幾丁質生合成抑制劑第 0 型 (Inhibitors of chitin biosynthesis, type 0, Lepidopteran)：阻礙生長調節。
3	鈉離子通道調節劑(Sodium channel modulators)：抑制神經作用。	16	同翅目幾丁質生合成抑制劑第 1 型 (Inhibitors of chitin biosynthesis, type 1, Homopteran)：阻礙生長調節。
4	尼古丁乙醯膽鹼受體增效劑 (Nicotinic acetylcholine receptor agonists)：抑制神經作用。	17	雙翅目蛻皮干擾劑(Moulting disruptor, Dipteran)：阻礙生長調節。
5	尼古丁乙醯膽鹼受體異位活化劑(Nicotinic acetylcholine receptor allosteric activators)：抑制神經作用。	18	蛻皮激素增效劑(Ecdysone receptor agonists)：阻礙生長調節。
6	氯離子通道活化物(Chloride channel activators)：抑制神經與肌肉作用。	19	章魚涎胺受體增效劑(Octopamine receptor agonist)：干擾神經作用。
7	青春激素模擬劑(Juvenile	20	粒線體複合物 III 電子傳遞抑制劑

編號	作用機制：意義	編號	作用機制：意義
	hormone mimics)：生長調節劑。		(第 II 結合點)[Mitochondrial complex III electron transport inhibitors (Coupling site II)]：抑制能量代謝。
8	雜類非專一性(多作用點)抑制劑[Miscellaneous non-specific (multi-site) inhibitors]：多作用點抑制劑。	21	粒線體複合物 I 電子傳遞抑制劑 (Mitochondrial complex I electron transport inhibitors)：抑制能量代謝。
9	選擇性同翅目取食阻礙劑 (Selective homopteran feeding blockers)：阻礙同翅目昆蟲取食。	22	電壓相依之鈉離子通道阻礙劑 (Voltage-dependent sodium channel blockers)：阻礙神經作用。
10	蟎類生長抑制劑(Mite growth inhibitors)：蟎類生長抑制劑。	23	乙醯輔酶 A 羧化酶抑制劑 (Inhibitors of acetyl CoA Carboxylase)：抑制酯質合成、生長調節。
11	昆蟲中腸膜之微生物破壞物 (Microbial disruptors of insect midgut membranes)：干擾中腸膜作用。	24	粒線體複合物 IV 電子傳遞抑制劑 (Mitochondrial complex IV electron transport inhibitors)：抑制能量代謝
12	粒線體 ATP 合成酶抑制劑 (Inhibitors of mitochondrial ATP synthase)：阻礙能量代謝。	28	魚尼丁受體調節劑(Ryanodine receptor modulators)：抑制神經與肌肉作用
13	透過干擾質子梯度分解氧化磷酸化反應的非耦合物 Uncouplers of oxidative phosphorylation via disruption of the proton gradient：阻礙能量代謝。	un	未知作用者(Compounds of unknown or uncertain mode of action)：作用機制未知。

常見殺蟲劑種類略述如下：

一、有機氯劑(organochlorines)

作用機制為干擾昆蟲神經系統，造成肌肉痙攣、抽筋甚或死亡。但因殘留期過久，造成環境的污染，已陸續被禁用，如安殺番 (endosulfan)

二、有機磷劑(organo phosphates)

作用機制為藥劑結合神經系統中的乙酸膽酯酶，導致乙酸膽酯不斷累積，造成隨意肌急劇痙攣，終至麻痺，影響呼吸系統，因此有機磷劑急性中毒時會有窒息現象。此類農藥因急毒性強、殘留期短，同時因稀釋倍數低、用量大，且對許多生物及人類具毒性，因此被視為對環境不友善的農藥，目前各國已相繼限用或禁用。本類藥劑有一品松(EPN)、

乃力松(naled)、二硫松(disulfoton)、二氯松(dichlorvos)、三氯松(trichlorfon)、三落松(triazophos)、大利松(diazinon)、大滅松(dimethoate)、巴拉松(parathion)、巴賽松(phoxim)、加福松(isoxathion)、必芬松(pyridaphenthion)、甲基巴拉松(parathion-methyl)、托福松(terbufos)、佈飛松(profenofos)、谷速松(azinphos-methyl)、亞芬松(isofenphos)、亞特松(pirimiphos-methyl)、亞素靈(monocrotophos)、亞培松(temephos)、芬殺松(fenthion)、芬滅松(fenamiphos)、美文松(mevinphos)、拜裕松(quinalphos)、飛達松(heptenophos)、益滅松(phosmet)、馬拉松(malathion)、硫滅松(thiometon)、陶斯松(chlorpyrifos)、普伏松(ethoprophos)、普硫松(prothiofos)、氯芬松(chlorfenvinphos)、氰乃松(cyanophos)、愛殺松(ethion)、滅大松(methidathion)、滅加松(mecarbam)、滅多松(oxydemeton-methyl)、滅賜松(demeton-S-methyl)、裕必松(phosalone)、達馬松(methamidophos)、福木松(formothion)、福瑞松(phorate)、福賜米松(phosphamidon)、福賜松(leptophos)、福賽絕(fosthiazate)、撲滅松(fenitrothion)、樂本松(tetrachlorvinphos)、毆殺松(acephate)、毆滅松(omethoate)、獲賜松(isothioate)、繁米松(vamidothion)、賽達松(phenthoate)、雙特松(dicrotophos)

三、氨基甲酸鹽類(Carbamates)

此類殺蟲劑是氨基甲酸的衍生物，作用機制是抑制乙酸膽酯酶作用，使神經傳遞作用失常，本類殺蟲劑包括丁基加保扶(carbosulfan)、丁基滅必蟲(fenobucarb)、比加普(pirimicarb)、加保利(carbaryl)、加保扶(carbofuran)、安丹(propoxur)、佈嘉信(butocarboxim)、免扶克(benfuracarb)、免敵克(bendiocarb)、治滅蟲(metolcarb)、納乃得(methomyl)、得滅克(aldicarb)、硫伐隆(thiofanox)、硫敵克(thiodicarb)、滅必蟲(isoprocarb)、滅克蟲(XMC)、滅爾蟲(xylylcarb)、滅賜克(methiocarb)、毆殺滅(oxamyl)、覆滅蟎(formetanate)。

四、生物性殺蟲劑(Botanicals)

由植物萃取而來的殺蟲劑，包括印楝素(azadirachtin)、魚藤精(rotenone)。

五、合成除蟲菊精類(Pyrethroids)

合成除蟲菊素於日光下穩定，但容易在土壤中分解，對環境衝擊小。低濃度即可對昆蟲產生高毒性，對水生生物毒性高，但對人畜卻相當安全。本類農藥有合芬寧(halfenprox)、百滅寧(permethrin)、伽瑪賽洛寧(gamma-cyhalothrin)、貝他賽扶寧(beta-cyfluthrin)、亞烈寧(allethrin)、亞滅寧(alpha-cypermethrin)、依芬寧(etofenprox)、矽護芬(silafluofen)、芬化利(fenvalerate)、芬普寧(fenpropathrin)、阿納寧(acrinathrin)、泰滅寧(tralomethrin)、益化利(esfenvalerate)、除蟲菊精

(pyrethrins)、畢芬寧(bifenthrin)、異亞烈寧(d-allethrin)、異治滅寧(d-tetramethrin)、第滅寧(deltamethrin)、傑他賽滅寧(zeta-cypermethrin)、福化利(tau-fluvalinate)、撲滅芬成分之一(phenothrin)、賽扶寧(cyfluthrin)、賽洛寧(lambda-cyhalothrin)、賽滅寧(cypermethrin)護賽寧(flucythrinate)等。

六、尼古丁(Nicotine)、類尼古丁類(Nicotinoids)

本類殺蟲劑具接觸毒及胃毒，有上下移行性之系統性，作用機制為增進尼古丁乙醯膽鹼受體作用而影響神經系統。本類殺蟲劑包括尼古丁(Nicotine)、可尼丁(clothianidin)、亞滅培(acetamiprid)、益達胺(imidacloprid)、達特南(dinotefuran)、賽果培(thiacloprid)、賽速安(thiamethoxam)等。

七、氯離子通道活化物

本類殺蟲劑包括因滅汀(emamectin benzoate)、阿巴汀(abamectin)、密滅汀(milbemectin)等。

八、能量代謝抑制劑

本類藥劑主要作用機制為阻礙昆蟲體內之能量代謝途徑，使昆蟲死亡，其種類包括

1. 粒線體 ATP 合成酶抑制劑：亞環錫(azocyclotin)、芬佈賜(fenbutatin oxide)、錫蟎丹(cyhexatin)；殺蟎多(PPPS)、毆蟎多(propargite)；得脫蟎(tetradifon)等。
2. 透過干擾質子梯度分解氧化磷酸化反應的非耦合物：克凡派(chlorfenapyr)。
3. 粒線體複合物 III 電子傳遞抑制劑(第 II 結合點)：愛美松(hydramethylnon)、亞醯蟎(acequinocyl)等。
4. 粒線體複合物 I 電子傳遞抑制劑：芬殺蟎(fenazaquin)、芬普蟎(fenpyroximate)、得芬瑞(tebufenpyrad)、畢汰芬(pyrimidifen)、畢達本(pyridaben)、脫芬瑞(tolfenpyrad)；魚藤精(rotenone)等。
5. 粒線體複合物 IV 電子傳遞抑制劑：好達勝(aluminium phosphide)、磷化鎂(magnesium phosphide)等。

九、昆蟲生長調節劑

此類藥劑主要作用是胃毒，具部分觸殺活性，無內吸性，作用機制是干擾幼、若蟲及卵內胚胎發育過程中之幾丁質合成，使幼、若蟲不能蛻皮而死亡，使卵不能孵化，無法殺死成蟲，但會抑制蛻皮，針對害蟲幼期防治，對人畜毒性極低。本類殺蟲劑及殺蟎劑包括

1. 鱗翅目幾丁質生合成抑制劑：二福隆(diflubenzuron)、六伏隆(hexaflumuron)、克福隆(chlorfluazuron)、氟芬隆(flufenoxuron)、得福隆(teflubenzuron)、祿芬隆(lufenuron)、諾伐隆(novaluron)等。

2. 同翅目幾丁質生合成抑制劑：布芬淨(buprofezin)等。
3. 雙翅目蛻皮干擾劑：賽滅淨(cyromazine)等。
4. 蛻皮激素增效劑：可芬諾(chromafenozide)、得芬諾(tebufenozide)、滅芬諾(methoxyfenozide)等。
5. 青春激素模擬劑：美賜平(methoprene)、芬諾克(fenoxycarb)、百利普芬(pyriproxyfen)等。
6. 蟎類生長抑制劑：合賽多(hexythiazox)、克芬蟎(clofentezine)、依殺蟎(etoxazole)。

殺線蟲劑 (Nematodes)

可分成：

一、鹵代碳氫化合物(halogenated hydrocarbons)：

包括 DD(1,3-dichloropropene, 1,2-dichloropropane)、二溴乙烷、溴化甲烷、氯化苦(chloropicrin)、二硫化碳等，國內禁止使用。以土壤燻蒸方式殺死線蟲，抑制電子傳遞鏈中的電子接受者，破壞細胞膜、使蛋白質變性，酵素失去功能而達到殺線蟲目的。

二、異硫氰酸鹽類(isothiocyanates)：

包括斯美地(Metam-sodium)與邁隆(Dazomet)。以土壤燻蒸方式殺死線蟲。以土壤燻蒸方式殺死線蟲，抑制電子傳遞鏈中的電子接受者，破壞細胞膜、使蛋白質變性，酵素失去功能而達到殺線蟲目的。

三、有機磷類(organo-phosphate insecticides)：

包括普伏松(Ethoprop)、芬滅松(Fenamiphos)、福賽絕(Fosthiazate)與托福松(Terbufos)等。芬滅松具系統性殺線蟲劑，普伏松為非系統性接觸型殺線蟲劑，福賽得具接觸及滲透移行性殺線蟲劑。

四、氨基甲酸鹽或肟類(carbamate or oxime insecticides)：

包括加保扶(carbofuran)、毆殺滅(Oxamyl)與其混合劑托福毆殺滅(Terbufos+Oxymyl)。加保扶具接觸毒、胃毒及系統性，毆殺滅具接觸性及系統性。

五、其他類

滅線蟲(DCIP, Nemamort)與摩朗得(酒石酸鹽)(Morantel tartrate)等殺線蟲劑。滅線蟲具觸殺性及燻殺性，無系統性之殺線蟲劑。

殺鼠劑 (Rodenticides)

可分成：

一、香豆素類抗凝血劑(coumarin anticoagulants)：包括殺鼠靈(Warfarin)、伏滅鼠(Flocoumafen)等。

二、二氫茚二酮類抗凝血劑(indandione anticoagulants)：得伐鼠(Diphacinone)。

三、植物類：地中海紅海藻，有效成分為 scilliroside。

- 四、有機氯類：滴滴涕(DDT)，現全面禁用。
- 五、磷劑：磷化鋅(Zinc phosphide, Zn_3P_3)。
- 六、其他類：氟乙酸鈉(Sodium fluoroacetate)等。

殺真菌劑 (Fungicides)

為使學者快速了解殺菌劑分類，依殺真菌劑抗藥性行動委員會(Fungicide Resistance Action Committee, FRAC)(<http://www.frac.info/frac/index.htm>)將作用機制劃分成下列群組，其中 MOA 與 FRAC 編號，以及作用機制意義如表二說明：

表二、殺真菌劑作用機制分類表

編號	意義	FRAC編號	編號	意義	FRAC編號
A	核酸合成抑制劑	4, 8, 31, 32	H	聚葡萄糖合成抑制劑	19, 26, 40
B	有絲分裂及細胞分裂抑制劑	1, 10, 20, 22, 43	I	細胞壁黑色素合成抑制劑	16.1, 16.2
C	呼吸作用抑制劑	7, 11, 21, 29, 30, 38, 39, 45	P	誘導寄主植物防禦抑制劑	P
D	胺基酸及蛋白質合成抑制劑	9, 23-25, 41	U	作用機制不明者	27, 33-37, 42, U5, U6, U8, U12, U13
E	訊號傳導作用抑制劑	2, 12, 13	M	多作用點者	M1-M9
F	脂質及膜合成抑制劑	6, 14, 28, 44	NC	尚未分類者	NC
G	膜之固醇生合成抑制劑	3, 5, 17, 18			

就防治植物重要病害種類，其常用之重要殺真菌劑種類說明如下：

一、多作用點殺真菌劑：包括硫劑、銅劑、氯劑、磷劑等預防性的殺真菌劑類。

二、殺白粉病之藥劑種類：

1. M1、M2、M7. 多作用點殺菌劑：無水硫酸銅、山陽銅、可濕性硫黃、銅合硫磺、克熱淨(烷苯磺酸鹽)。
2. A2. 羥(2-氨基)嘧啶類：布瑞莫、依瑞莫。
3. B1. 苯并咪唑類：免賴得。
4. C1. 嘧啶胺類：二氟林。
5. C2. 吡啶碳醯胺類：白克列。
6. C3. 苯醌外部抑制劑：克收欣。
7. D1. 苯胺嘧啶類：賽普洛。
8. E1. 訊號傳遞抑制劑：快諾芬。
9. E3. 二羧醯亞胺類：撲滅寧。
10. F2. 硫磷酸二乙酯類：白粉松。
11. G1. 去甲基作用抑制劑：賽福寧、比芬諾、芬瑞莫、尼瑞莫、依滅列、撲克拉、賽福座、溴克座、待克利、達克利、護矽得、護汰芬、菲克利、易胺座、邁克尼、平克座、普克利、得克利、四克利、三

泰芬、三泰隆。

12. G2. 嗎福啉類：三得芬。
13. H4. 幾丁質合成酶抑制劑：保粒黴素。
14. U9-10. 作用機制不明者：cyflufenamid, metrafenone。
15. NC. 尚未分類者：礦物油、碳酸氫鉀。
16. 其他兼具殺菌劑的農藥：蟎離丹。

三、殺疫病之藥劑種類：

1. A1. 苯醯胺類(Phenylamides)：高風險藥劑。
 - a. Acylalanine：滅達樂、本達樂、右滅達樂。
 - b. Oxazolidinone：歐殺斯。
 - c. Butyrolactone：Ofurace。
2. A3. 芳香雜環族：殺紋寧。
3. B3. 有絲分裂之 β -微管蛋白組合抑制劑：座賽胺。
4. B5. 膜收縮類蛋白不定位作用劑：氟比來。
5. C3. 苯醯外部抑制劑：亞托敏、百克敏、三氟敏、凡殺同。
6. C4. 苯醯內部抑制劑：賽座滅、安美速。
7. F3. 芳香烴類：依得利。
8. F4. 氨基甲酸鹽類：普拔克。
9. H5. 肉桂酸醯胺類：達滅芬、曼普胺。
10. U1. 氰基乙酰胺肟類：克絕。
11. U2. 磷酸乙酯類：福賽得。

四、殺灰黴病之藥劑種類：

- B1. 苯并咪唑類(Benzimidazoles)
 - 免賴得、貝芬替、腐絕、甲基多保淨。
- C2. 吡啶碳醯胺類(pyridine-carboxamides)
 - 白克列。
- D1. 苯胺嘧啶類(Anilinopyriminides)
 - 賽普洛、滅派林、派美尼。
- E2. 苯基吡咯類(Phenylpyrroles)
 - 護汰寧(fludioxonil)。
- E3. 二羧亞胺類(Dicarboximides)
 - 克氯得、依普同、撲滅寧、免克寧。

防治灰黴病殺菌劑的交叉抗藥性情形

交叉抗藥性	苯并咪唑類	二羧亞胺類	苯胺嘧啶類	苯基吡咯類
苯并咪唑類	+	-	-	-
二羧亞胺類	-	+	-	-
苯胺嘧啶類	-	-	+	-
苯基吡咯類	-	-	-	-

殺細菌劑 (Bactericides)

依其作用機制，可分成三大類：

- 一、抗生素類：有四環黴素(tetracyclin)、鏈黴素(streptomycin)、嘉賜黴素(kasugamycin)、及歐索林酸(oxolinic acid)，鏈四環黴素則為鏈黴素與四環黴素的混合劑。
- 二、銅劑：波爾多液[Bordeaux mixture, 1885, 生石灰與硫酸銅混合物，主成份為 $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 6\text{Ca}(\text{OH})_2$]、 $\text{CuCl}(\text{OH})_3$ 、氫氧化銅(Copper hydroxide)、鹼性氯氧化銅(Copper oxychloride, $\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{CuO} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)、 Cu_2O 、氧化亞銅(Cuprous oxide, Cu_2O)、硫酸銅(Copper sulfate)；快得寧(Oxine-copper)等。
- 三、誘導抗病性之藥劑：這類型藥劑並非直接殺菌，而是刺激作物體內水楊酸所調節的防禦訊號途徑，達到防治目的，屬系統性殺菌劑，可由根部吸收，活化植物天然抗病防禦系統。撲殺熱(Probenazole)同時具有抗細菌及抗真菌活性。抗藥性未知。國內用於防治水稻葉稻熱病、穗稻熱病及白葉枯病、育苗箱秧苗稻熱病。克枯爛(Tecloftalam)，在生體外沒有殺死白葉枯病菌的能力，但進入植物體內後會抑制細菌的增殖及在導管內的移轉，並減低細菌的致病力。

除草劑 (Herbicides)

臺灣地處熱帶及亞熱帶，平地至高山多變的地形，提供了熱帶及溫帶植物的生長環境，雜草種類多且分布廣泛，對農業環境及生產造成極大的衝擊。自 1960 年代初期正式有除草劑登記記錄，目前登記之除草劑超過 130 種。在使用量較多之除草劑種類為嘉磷塞、巴拉刈、丁基拉草、施得圃及伏寄普。依其對植物的殺害作用，除草劑可分為選擇性及非選擇性除草劑；依作用點可分為接觸性和轉移性除草劑，主要對一年生和多年生雜草。依施用時間分類時，可分為種植前施用、萌發前施用和萌發後施用等 3 種類型。依作用機制，則可分為生長調節劑型除草劑、胺基酸合成抑制劑、脂質合成抑制劑、幼苗生長抑制劑、光合作用抑制劑、細胞膜破壞劑、色素抑制劑等類別，其作用機制分類

(<http://www.hracglobal.com/Publications/ClassificationofHerbicideSiteofAction/tabid/222/Default.aspx>)可參考表三內說明。

表三、除草劑之作用機制分類表

編號	意義	編號	意義
A	抑制乙醯輔酶 A 羧化酶；抑制脂肪酸合成[Inhibition of acetyl CoA carboxylase (ACCase)]	I	抑制二氫蝶酸合成酶(Inhibition of DHP (dihydropteroate) synthase)
B	抑制乙醯乳酸合成酶；抑制枝鏈胺基酸合成[Inhibition of acetolactate synthase ALS (acetohydroxyacid synthase AHAS)]	K	抑制微管集結、有絲分裂/微管組織及細胞分裂[Microtubule assembly inhibition, Inhibition of mitosis / microtubule organization, Inhibition of VLCFAs (see Remarks) (Inhibition of cell

編號	意義	編號	意義
			division)]
C	在光合系統 II 抑制光合作用(Inhibition of photosynthesis at photosystem II)	L	抑制細胞壁(纖維素)合成 [Inhibition of cell wall (cellulose) synthesis]
D	光合系統 I 的電子轉移 (Photosystem-I-electron diversion)	M	破壞細胞膜[Uncoupling (Membrane disruption)]
E	抑制原紫質氧化酶 [Inhibition of protoporphyrinogen oxidase (PPO)]	N	脂肪合成抑制(非乙酰輔酶A羧化酶抑制劑)(Inhibition of lipid synthesis - not ACCase inhibition)
F	白化：在 PDS 步驟抑制胡蘿蔔素生合成、抑制 4-HPPD 與抑制胡蘿蔔素生合成 (標的部位未知) [Bleaching: Inhibition of carotenoid biosynthesis at the phytoene desaturase step (PDS), Inhibition of 4-hydroxyphenyl-pyruvate-di oxygenase (4-HPPD), Inhibition of carotenoid biosynthesis (unknown target)]	O	合成生長素-作用類似吲哚乙酸 [Action like indole acetic acid (synthetic auxins)]
G	抑制 EPSP 合成酶 (Inhibition of EPSP synthase)	P	生長素傳輸抑制(Inhibition of auxin transport)
H	抑制麩醯胺酸合成酶 (Inhibition of glutamine synthetase)	Z	未知(Unknown)

除草劑之重要種類介紹如下：

一、生長調節劑型除草劑

主要干擾細胞內荷爾蒙平衡及調控蛋白質合成，抑制細胞伸長及分裂，例如快克草(quinclorac)、三氯比(triclopyr)、二、四-地、氟氯比(fluroxypyr)等。

二、胺基酸合成抑制劑

(一)支鏈胺基酸合成抑制劑：抑制 ALS(AHAS)酵素活性，阻斷纈胺酸(valine)、白胺酸(leucine)、異白胺酸(isoleucine)支鏈胺基酸之合成，重複使用易產生抗藥性。依滅草(imazapyr)、百速隆(pyrazosulfuron-ethyl)、依速隆(imazosulfuron)、免速隆(bensulfuron- methyl)、亞速隆(ethoxysulfuron)。

(二)芳香族胺基酸合成抑制劑：抑制苯丙氨酸(phenylalanine)、酪氨酸(tyrosine)及色氨酸(tryptophan)三種芳香族胺基酸之生成，影響蛋白質之生合成，如嘉磷塞(glyphosate)

三、脂質合成抑制劑

抑制脂肪酸合成之關鍵酵素 ACCase 活性，破壞細胞膜系完整性，影響禾本科植物分生組織之生長。包括伏寄普(fluazifop-P-butyl)、甲基合氯氟(haloxyfop-R-methyl)、環殺草(cycloxydim)、快伏草(quizalofop-P-ethyl)、剋草同(clethodim)、普拔草(propaquizafop)、西殺草(sethoxyim)、丁基賽伏草(cyhalofop-butyl)、得殺草(tepraloxydim)、芬殺草(fenoxaprop-P-ethyl)。

四、幼苗生長抑制劑

(一)根抑制劑：抑制蛋白微管(protein tubulin)之聚合，無法形成與細胞分裂有關之微管(microtubule)。阻斷細胞分裂所需之微管形成與聚集，干擾紡錘絲之形成，成為橫向擴張之多核細胞，如施得圃(pendimethalin)、比達寧(butralin)、撻乃安(dinitramine)、倍尼芬(benfen)。

(二)芽抑制劑：抑制蛋白質、脂質及勃激素(GAs)之合成，干擾細胞正常發育，如丁基拉草(butachlor)、拉草(alachlor)、殺丹(benthiocarb)、左旋莫多草(s-metolachlor)、得拉本(dalapon)、普拉草(pretilachlor)、滅草胺(metazachlor)、滅落脫(napropamide)、氟丙酸(flupropanate)。

五、光合作用抑制劑

(一)可移動類：與 PSII 電子傳遞系統中之 D1 protein 結合，干擾光合作用中電子傳遞及光能之轉換，產生自由基攻擊細胞膜。活性與光照有關。由根及芽吸收，經由木質部向上轉移，如草殺淨(amectryl)、草脫淨(atrazine)、克草(bromacil)、達有龍(diuron)、理有龍(linuron)、撲奪草(metobromuron)、滅必淨(metribuzin)。

(二)不可移動類：阻斷光合作用中電子傳遞及光能之轉換，降低光合作用效率，其活性與光照有關；作用位置在 PSII 系統之 Hill reaction，為接觸型藥劑，移動有限。主要在早期萌後使用，為接觸型不具傳導作用之藥劑，如本達隆(bentazon)。

六、細胞膜破壞劑

包括 bipyridyliums, diphenyl ethers, oxadiazoles, phosphinic acids, triazolinone 等化學類別。Bipyridyliums 類會與 PSI 系統中之 ferredoxin 競爭電子，形成自由基，破壞正常電子流，產生自由基，其活性與光照有關，如巴拉刈(paraquat)、固殺草(glufosinate - ammonium)、樂滅草(oxadiazon)、復祿芬(oxyfluorfen)、必芬諾(bifenox)、亞喜芬(acifluorfen)。

七、色素合成抑制劑

干擾光合色素之形成及保護作用，導致葉綠素生成受限，葉片轉

白及抑制類胡蘿蔔素(carotinoid)之生合成，如可滅蹤(clomazone)。

八、其他

有機砷類屬接觸型除草劑，在植體內以砷取代磷，干擾糖代謝，如甲基砷酸鈉(monosodium methanear-sonate; MSMA)。

植物生長調節劑 (Plant Growth Regulators)

本類農藥可分成：

- 一、生長素(Auxins)：促進細胞分裂、分化、生長、不定根生長。
- 二、激勃素(Gibberellins)：促進整株植物生長，打破種子、芽的休眠。
- 三、細胞分裂素(Cytokinins)：促進細胞分裂、生長、側芽生長。
- 四、離層酸類(Absciscicacid)：促進芽的休眠及未成熟器官脫落。
- 五、乙烯(Ethylene)：促進果實的成熟。
- 六、其他植物荷爾蒙類。

生物農藥 (Biological pesticides, Biopesticides)

依資材來源與製程，可分成

- 一、天然素材類：指天然產物不以化學方法精製或再加以合成者，如菸鹼(尼古丁, nicotine)、除蟲菊精(pyrethrum)、魚藤精(rotenone)、藜蘆鹼(sabadilla, vertrine)、印楝素(azadirachtin)、皂素(saponins)等。
- 二、生化農藥類：指以生物性素材經過化學粹取或合成，惟其作用機制無毒害者，有四個類別，分別為化學傳訊素、荷爾蒙、天然植物調節劑與酵素。目前推廣的昆蟲性費洛蒙有斜紋夜蛾、甜菜夜蛾、甘藷蟻象、楊桃花姬捲葉蛾、及茶姬捲葉蛾等。
- 三、微生物製劑類：指用於作物病原、害蟲、雜草防治或誘發作物抗性之微生物或其有效成份經由配方所製成之產品，其微生物來源包括：細菌、真菌、病毒和原生動物等，一般由自然界生物分離所得，也可再經人工品系改良，如人為誘變、汰選或遺傳基因改造。包括蘇力菌(*Bacillus thuringiensis*, Bt)、核多角體病毒(nuclear polyhedrosis virus, NPV)、顆粒體病毒(granulosis virus, GV)、枯草桿菌(*Bacillus subtilis*)、木黴菌(*Trichoderma* spp.)。

結語

隨著時代演變，殺菌劑由多作用點、保護性、預防性的藥劑種類，在 60 年代以後，演變成單一作用點、選擇性高、系統性的農藥，使得農藥的開發朝向專一性作用點、低劑量、高毒性等方向發展。由於此類農藥具有低劑量、高毒性作用下，非常受到植物生產者的歡迎與使用，但因為該類農藥的作用機制過於專一，有害生物對藥劑的抗藥性逐漸成為農藥使用的大問題。這類藥劑在長期施用

情形下，會對田間植物有害生物造成選汰壓力，若因施用觀念錯誤，容易使田間有害生物產生「抗藥性」問題，使得藥效喪失問題日益嚴重，這種「抗藥性」現象，在過去使用多點作用的保護劑時代絕少發生。由於抗藥產生的機制不同，田間的農藥管理方式便不能相同，基於田間抗藥性發生情形，其抗藥性管理策略說明如下：

1. **避免單獨使用 (Do not use the product exclusively)**：儘量與其它不同作用機制之農藥混合使用，或是與不同作用機制農藥輪替或交換使用，可延緩田間植物有害生物產生抗藥性族群。
2. **限制每一生產季的農藥使用次數，只有迫切需要時才施用農藥。在農藥使用之前及之後的農藥種類，應為不同作用機制之農藥 (Restrict the number of treatments applied per season, and apply only when strictly necessary. Use other pesticides subsequently)**：此一策略可減少抗藥性族群在田間發生的機會，或延緩抗藥性族群建立的速度。
3. **維持廠商建議之推薦濃度 (Maintain manufacturer's recommended dose)**：切勿在施用時降低推薦濃度來節省成本，或是常常以降低劑量但是提高施用次數的施用方式，如此一來，反而增加田間產生抗藥性族群的機會。
4. **避免剷除性施用方式 (Avoid eradicant use)**：由於系統性殺菌劑具有剷除及治療已感染之植物病害，因此只有在必要時才施用系統性農藥進行剷除及治療的管理方式，可以配合多作用點農藥混合或輪替施用方式，延緩田間抗藥性族群產生的機會。
5. **綜合病害管理 (Integrated disease management)**：同綜合害物管理 (Integrated Pest Management, IPM) 觀念，使用抗病品種、生物防治製劑、輪作、去除罹病部位、降低罹病率等田間衛生操作，均可減少或降低田間產生抗藥性族群的機會。在綜合病害管理中，很不幸地由於非化學防治的效果不佳或不符合經濟，目前仍以化學防治方式為主。
6. **化學歧異度 (Chemical diversity)**：防治作物有害生物的農藥種類越多，對於作物生產者在管理植物病害時，可以選擇適當的農藥種類進行輪替防治，對環境及克服抗藥性問題上都有好處。目前新農藥的開發已朝向克服田間已存在之抗藥性族群，因此配合輪替不同作用機制農藥的施用方式，可以減少或延緩田間抗藥性族群產生的機會。

因此，學者若能對上述植物有害生物種類、農藥分類及特性先有初步的認知與了解後，再配合適當施藥時機與施藥技巧，便可建立正確農藥使用的觀念，避免及減緩田間植物有害生物產生抗藥性的機率及速率，使農藥的使用達到合理、有效地防治作物病害之目的。

參考網站及文獻：

1. 農藥簡介：http://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem3.aspx
2. 農藥資訊服務網：
http://pesticide.baphiq.gov.tw/web/Insecticides_MenuItem5_3.aspx
3. 植物保護手冊電子版：<http://www.tactri.gov.tw/htdocs/ppmtable/>
4. 農藥作用機制及化學分類檢索：<http://ogserv.tactri.gov.tw/moa/>

5. 植物保護資訊系統：<http://otserv.tactri.gov.tw/ppm/>
6. 農藥標示查詢系統：<http://public.tactri.gov.tw/cdfiler/asp/main.asp?Print=False>
7. 作物病蟲害與肥培管理技術資料光碟：<http://www.tari.gov.tw/techcd/index.htm>
8. 李敏郎。2008。「植物殺菌劑之使用介紹」。第 61-89 頁。「作物診斷與農藥安全使用技術手冊」。興大農業推廣中心印。249 頁。興大農業推廣叢書第 970004 號。2008 年 12 月。
9. 蔣永正、蔣慕琰。2008。「常用除草劑之特性與應用」。第 205-226 頁。「作物診斷與農藥安全使用技術手冊」。興大農業推廣中心印。249 頁。興大農業推廣叢書第 970004 號。2008 年 12 月。
10. 蔡東纂。2008。「植物寄生性線蟲病害之化學防治」。第 110-127 頁。「作物診斷與農藥安全使用技術手冊」。興大農業推廣中心印。249 頁。興大農業推廣叢書第 970004 號。2008 年 12 月。
11. Ware, G. W, and Whitacre, D. M. 2004. The Pesticide Book. 6th ed. 487pp. MeisterPro Information Resources. USA.