

植物相剋化合物於雜草管理之應用

袁秋英

前 言

雜草管理是農業生產於作物保護體系的重要環節，美國及中國每年因雜草為害，造成經濟的損失分別高達1,300億美元及900億人民幣（Liu et al, 2007）。化學除草劑自上市以來，由於藥效迅速、省工及經濟等優點，廣泛使用於農地的雜草防除。臺灣每年使用的化學除草劑約有15,000公噸，農民於2013年的生產成本中，共有17億臺幣是用於防除雜草（方, 2014）。經常大量使用化學藥劑，不僅造成抗藥雜草種群的明顯增加，全球登錄於「國際抗除草劑雜草調查組織」（International survey of herbicide resistant weeds）的抗除草劑雜草已超過460種生物型（biotype）（Heap, 2015），也造成土壤中農藥殘留及水域污染等問題，破壞環境生態的安全，影響了農業的永續發展。

近年來，環保意識高漲，全球於「雜草防除」的理念，已漸轉變為「雜草管理」，即是經由調控雜草的生長環境，降低或抑制雜草的萌芽與競爭力，將雜草的負面影響降低至最低，不致於為害作物的經濟產值。因此對人畜安全及環境友善的生物性除草資材日漸受到重視（Duke et al, 2002）。臺灣東部地區的作物生產模式，已大幅趨於有機栽培的管理系統，且臺北市及宜蘭縣環保局分別擬定「除草劑使用管理自治條例」，禁止使用除草劑。因此開發低毒、易降解及對環境友善的天然除草資材，為未來臺灣農民用藥習慣及雜草防除觀念調適的新契機。

植物源抑草現象－相剋作用（化感作用）的緣起

20世紀30年代發現胡桃樹（*Juglans regia* L.）會分泌一種化學物質-胡桃醌（Juglone），抑制了鄰近雜草的生長，因此解開胡桃樹下不長草的原因。Schreiner和Reed兩位學者發表論文（1907-1909），另舉證了作物連作障礙，主要是因為

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊第 259 號。

作物產生的毒素累積於土壤中，造成自毒作用。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。Rice通過對美國中南部草原中廢棄地植物的研究，證明先鋒雜草產生毒素引起自毒和抑制它種植物的生長，在植物演化中存在著重要的生態意義。Rice將此Allelopathy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」（Rice, 1984），並於1974年出版「Allelopathy」專著，極力推動相關作用的研究。

1972年，中研院院士周昌弘博士曾深入的研究熱帶及亞熱帶農業生態系的化感作用，針對作物自毒作用，探討作物連作後減產的原因，也揭示自毒作用是影響水稻和甘蔗產量的重要因素，並將Allelopathy譯為「相剋作用」，具有相剋作用的化學物質，稱之為相剋化合物(Allelochemical)。其他研究也開始詮釋及注重相關議題，國際相剋作用學會（International Allelopathy Society, IAS）亦定義為「相剋作用是指涉及通過影響農業和生物系統的生長和發育的植物、微生物和病毒產生的次級代謝產物的任何方法」，由植物根部滲出的各種代謝產物，包括碳水化合物、蛋白質、維生素、氨基酸和其他有機化合物（Kong et al, 2008; Kruidhof, 2008）。自90年代起，中國才正式開展Allelopathy的相關研究，稱此現象為「化感作用」，之後化感作用的研究開始迅速推展，近年已舉證相當多植物的化感潛力，以及開發為植物源除草劑的評估（孔, 2003）。

相剋化合物的類別

自然界存在有相當豐富的植物及微生物，各種植物次生代謝產物超過2400萬種有機化合物，常具有對抗逆境、抗病蟲的效果，此等物種間相生相剋的現象及活性化合物，逐漸被開發為作物保護的資材，包括利用植物次階代謝物研發為植物源除草劑，目前全球30科屬植物具有抑制雜草功效的化合物有100種以上，分佈於植物根、莖、葉、花、果實或種子各部位，相剋化合物主要為乙酸途徑或莽草酸途徑兩途徑結合產生的代謝產物（圖1.），根據其結構特性和生物合成途徑，至少可分為13類別，包括酚酸類（phenolic acids）、生物鹼類（alkaloids）、三酮類（triketones）、萜類（terpenoids）、萜烯（terpenes）、苯醌（benzoquinones）、香豆素類（coumaric acid）、二苯醚類（Diphenyl ethers）、黃酮類（flavonids）、

硫化物 (Sulfide)、噻吩類 (thiophenes)、脂肪酸 (fatty acids) 和非蛋白氨基酸 (nonprotein amino acids) 等化合物，其中以低分子有機酸、酚類和萜類最常見 (Zhao et al, 2010)。此等物質的釋放方式，取決於其化學成分的性質，主要的釋出途徑有4種：根系分泌、莖葉揮發、雨水淋洗與植物殘體腐解等(張與潘, 2006; Belz, 2004)。因此，相剋化合物是普遍存在於自然界中，對促進農業永續發展和生態環境的維繫具有重大意義。

酚類化合物被證實是相剋活性較強的一類物質，其中對羥基苯甲酸 (4-hydroxybenzoic acid)、香草酸 (vanillic acid)、丁香酸 (syringic acid)、香豆酸 (coumarin) 和阿魏酸 (ferulic acid) 是重要的物質，以香豆酸對苜蓿幼苗的抑制最顯著 (Chon et al, 2002)。萜類化合物種類繁多且分佈廣泛，是植物次生代謝產物中最多的類別。常見的揮發性萜類例如檸檬烯 (dipentene)、香茅醇 (citronellol)、羅勒烯 (ocimene)、樟腦 (camphor) 等。萬壽菊 (*Tagetes minuta* L.) 葉片內的羅勒烯會延遲或抑制其伴生植物的發芽 (Lopez et al, 2008)。常見的植物有機酸如草酸 (oxalic acid)、蘋果酸 (malic acid)、苯甲酸 (benzoic acid)、水楊酸 (salicylic acid) 等，除少數以游離狀態存在，一般都與鉀、鈉、鈣等離子，或與生物鹼類結合成鹽類。施用水楊酸能誘導水稻增強對稗草的抑制作用 (Fang et al, 2009)。

相剋化合物的作用機制

一般而言，植物相剋化合物於植體內有3項特性：(1) 相剋物質參與植物對逆境的防禦機制和生長調節系統，(2) 相剋物質對植物的作用機制都與參與反應的濃度有關，常呈現低濃度為促進作用、高濃度為抑制作用，(3) 相剋物質之間存在加成性、協同性或拮抗性的作用效果 (Rose et al, 1983; Leadir et al, 1997)。因此，相剋物質的活性強度依其濃度、分子結構及相互作用方式而異 (李等, 2009)。例如冬小麥中檢測到對羥基苯甲酸、阿魏酸、香草酸3種相剋物質，此3種化合物對棉花種子萌發和幼苗生長均有不同程度的影響。當以相同濃度的對羥基苯甲酸、阿魏酸、香草酸混合液處理棉花種子和幼苗時，以混合液較單一物質對棉花種子和幼苗的抑制作用更為顯著 (王等, 2001)。

細胞膜是相剋物質作用的起始作用點，經由膜系於結構及功能的改變，進而

影響各種生理、生化的代謝反應；抑制線粒體的電子傳遞或氧吸收，從而影響植物的呼吸作用，降低受體植物的光合速率或減少葉綠素合成，降低酶的活性和功能，促進或抑制受體的激素代謝。相剋物質與受體DNA緊密結合，阻止DNA轉錄及蛋白質的合成（圖2.）（Zhao et al, 2010）。例舉相關研究如下：

一、對細胞膜系功能的影響

相剋物質對細胞膜的影響，主要經由改變細胞膜的電位及通透性、抑制膜ATPase活性等作用，進而造成植物對離子吸收量的變化。1 mmole L⁻¹香草酸、香豆酸和阿魏酸會降低銀膠菊（*Parthenium hysterophorus* L.）葉片中碳及磷的含量（Mersie and Singh, 1988）。主要原因為相剋物質降低細胞膜中羥基的含量，從而破壞細胞膜的完整性，導致植物根細胞對養分吸收下降，同時細胞內物質大量外滲（Bazivamakenga et al, 1995）。銀膠菊葉片萃取物亦能破壞布袋蓮（*Eichhornia crassipes* Mart.）根部細胞膜的完整性（Pandey et al, 1993），其相剋物質羥基苯甲酸會造成植物的根細胞膜損傷，溶解物滲漏現象（Pandey, 1994）。三裂葉蟛蜞菊（*Wedelia trilobata* L.）萃取液在水稻種子萌發時，因降低了過氧化酶等保護酶的活性，無法有效清除活性氧及阻止膜脂的過氧化，致使細胞膜遭受破壞（聶等, 2004）。

二、對水分吸收的影響

一般而言，作物長期處於相剋物質的環境中，會降低植物吸收及利用水分的能力。如蠟菊（*Helichrysum bracteatum* Vent.）組織中的咖啡酸（caffeic acid）會抑制大戟（*Euphorbia peginensis* L.）種子發芽、胚根伸長和愈傷組織的生長，其作用原理即為水分吸收受阻之故（Barkosky et al, 2000）。阿魏酸會因水分及礦物質的吸收被抑制而影響植物的生長。如阿魏酸處理黃瓜幼苗，造成NO₃⁻的吸收被抑制，反而促進K⁺從根部溢出，且水分吸收受阻後，葉面水勢和膨壓即明顯下降（Booker et al, 1992）。

三、對光合作用的影響

相剋物質對光合作用的影響較為複雜，可經由調節生理代謝直接或間接影響光合作用。肉桂酸（benzalacetic acid）、苯甲酸、水楊酸等10種化合物於100 -1,000 μmol·L⁻¹濃度範圍內，不僅導致大豆葉片的光合速率、氣孔傳導等生理代謝活動受抑制，且乾物重、葉面積及株高皆明顯降低，其中以水楊酸的毒性最強（Barkosky et al, 2000）。另如10 μmol·L⁻¹的高粱醌（Sorgoleone）

和胡桃酮可使大豆葉片氧氣釋放量下降50% (Einhellig et al, 1993)；相剋物質也可以通過改變葉綠素的合成，間接影響光合作用。香草酸、阿魏酸及P-香豆酸處理可降低大豆葉綠素含量，但不影響高粱的光合作用(Einhellig, 1979)。紫花藿香薊（別名勝紅薊, *Ageratum houstonianum* L.）的相剋物質能顯著抑制受體植物葉綠素的含量，或葉綠素合成的酶系統（孔等，1998）。

四、對呼吸作用的影響

相剋物質主要經由抑制線粒體的電子傳遞和氧化磷酸化作用，影響植物的呼吸作用（Penuelas et al, 1996）。高粱醌和胡桃酮具有極強的生物活性，在濃度極低的情況下即可抑制線粒體的作用，影響受體的呼吸作用，進而影響植物的生長發育（Ortega et al, 1988）。

五、對酵素及蛋白質合成的影響

相剋物質常會改變酶的活性，間接影響其相關的生理反應。苯甲酸、肉桂酸（cinnamic acid）因抑制過氧化氫酶（catalase）活性，造成對大豆根細胞的破壞（Bazivamakenga et al, 1995）。三裂葉蟛蛄菊水萃液會降低水稻穀氨醯胺合成酶（glutamine synthetase）、氧化酶（oxidase）的活性，使細胞遭受破壞（聶等, 2004）。 $1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 肉桂酸及其衍生物通過抑制苯丙氨酸氨裂解酶（phenylalanine ammonia lyase, PAL）的活性，控制苯丙氨酸的代謝，進而抑制黃瓜種子發芽和幼苗生長。阿魏酸的抑制作用最強，使蛋白質、亮氨酸的合成量減少50%以上（Memieand Singh, 1993）。甲基磺草酮（mesotrione），為紅瓶刷子(*Callistemon* spp.)樹類的Callistemone衍生而來，主要抑制4-羥苯丙酮酸雙氧酶(4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase, HPPD)的活性。

六、對荷爾蒙代謝的影響

許多相剋物質會降低受體植物中的勃激素和生長素的水準，從而抑制受體植物的生長，酚酸類相剋物質對植物激素荷爾蒙的研究較多。阿魏酸能誘導小麥內生的生長素（indole-3-acetic acid, IAA）、勃激素（gibberellic acid）和細胞分裂素（cytokinin）大量累積，同時造成脫落酸（abscisic acid, ABA）含量的升高（劉與胡，2001）。

具相剋潛力的植物種類

相剋潛力的研究主要集中在植物方面，其中林木、農作物以及雜草等植物的相剋作用皆有報導。

一、林木的相剋潛力：

栗子(*Castanea crenata* Sieb)葉的浸出物可以抑制灌木的發芽和生長(Vandermast, 2002)。巨尾桉(*Eucalyptus grandis* × *E. urophylla*)組織水萃物對白蘿蔔、甜菜心等植物，抑制種子萌發和幼苗生長(劉, 2005)。杉木(*Cunninghamia lanceolata* Lamb.)具有自毒作用(曹, 2006)。檳榔(*Areca catechu* L.)葉水萃液會抑制玉米、南瓜和黃豆的萌芽和根系生長；橡膠(*Fluorocarbon Rubber* L.)葉萃取液對馬唐的根有強抑制作用(顏等, 2006)。核桃(*Juglan sregia* L.)枝葉水萃液會抑制綠豆種子萌芽(翟等, 2006)。側柏(*Platycladus orientalis* L.)根際土壤萃取液會抑制蘿蔔、紫花苜蓿、刺槐、側柏等植物種子的萌芽及幼苗的生長(張等, 2008)。

二、農作物的相剋潛力：

高粱屬植物(*Sorghum*)在印度地區可殺死現存的雜草，又可以抑制雜草種子的萌發(Cheema and Khaliq, 2000)。44種水稻品種對稗草的抑制程度不同(Chunga and Ahna, 2001)。兩種小麥葉子的相剋作用對降低發芽率最強(Oueslati, 2003)。大豆根系分泌物對大豆、玉米、白菜種子的萌發有抑制作用(張等, 2008)。殘留有未完全腐解的玉米莖稈的田塊裡玉米種子發芽率降低，植株生長不良(Yakle and Cruse, 1984)。番茄不僅具有自毒作用，番茄水萃液對黃瓜、蘿蔔、白菜、包心菜的幼苗生長均有顯著的抑制作用(周等, 1997)。辣椒全株、根、莖、葉的水萃液，以葉片的相剋作用最強(王等, 2008)。小麥秸稈和種植過小麥的土壤的萃取液明顯抑制小麥的發芽和幼苗生長(Kimber 1973)，並且已從小麥莖稈中分離出了香豆酸、對-羥基苯甲酸、丁香酸、香草酸、阿魏酸等相剋物質(Young et al, 1989)。從苜蓿的根系分泌物和殘質中分離出了香豆酸、對-羥基苯甲酸、咖啡酸、綠原酸、異綠原酸、阿魏酸等相剋物質(Abdul-Rahman and Habib, 1989)。

三、雜草的相剋潛力：

藜科植物土荊芥(*Chenopodium ambrosioides* L.)高濃度萃取液會導致

受試植物根部死亡(Jimenez-Osornio et al, 1996)。三裂葉豬草(*Ambrosia trifida* L.)的水浸液測試大豆、玉米、小麥等植物，會抑制種子萌芽和幼苗根系的伸長(王與祝, 1996)。紅花三葉草(*Trifolium pratense* L.)可抑制野生芥菜胚根的生長，作者認為此植材具有開發為天然除草劑的潛力(Ohno, 2000)。香澤蘭(別名飛機草, *Chromolaena odorata* L.)乙醇萃取物對稗草具有抑制生長作用(何與何, 2002)。紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)葉片萃取物具有自毒現象，也可抑制雜草的生長(Chon, 2002)。豬殃殃(*Galium spurium* L.)對小麥具有相剋作用(何等, 2007)。扁穗牛鞭草(*Hemarthria compressa* (L. f.) R. Br.)的根、莖、葉水浸液對白花三葉草及紅花三葉草的種子萌芽，都有延遲和抑制的作用(楊等, 2008)。美洲假蓬(別名香絲草, *Conyza bonariensis* Cronq.)莖葉萃取液皆會抑制裂葉牽牛、馬唐和早熟禾種子的萌芽及幼苗生長(劉等, 2008)。蒼耳(*Xanthium strumarium* L. var. *japonica*)水萃液對小麥、高粱、黃瓜、油菜和蘿蔔種子的萌芽和生長均有抑制作用(高等, 2009; Ambasht, 1981)。

已被證實的植物種類及抑草活性成分，包括有向日葵(*Helianthus annuus* L.)的倍半萜內酯(heliannuol A)可抑制藜和馬齒莧；高粱根分泌的高粱醌可抑制馬唐、稗草與反枝莧、苦木科植物的苦木素(quassinoids)抑制狗尾草的萌芽與生長、假高粱和曼陀羅的曼陀羅鹼(hyoscyamine)抑制反枝莧的生長；芸苔屬植物的芥子油苷(mustard oil glycoside)可抑制一年生雜草，分別列於表1及圖3(A)。

相剋物質於田間雜草管理的應用

許多相剋物質不僅具有抑制雜草萌芽及生長的特性，可降低雜草的為害，同時可改善土壤的化學性質，以及調節作物生態的平衡(Price and Norsworthy, 2013)。然而在田間應用相剋化合物時，需全面考量如何控制雜草生活史中的萌芽、生長及繁殖3個重要階段，才可有效降低雜草的族群及減少對作物的為害(Storkey and Lutman, 2008)。以下分述田間應用的前例：

一、覆蓋植物殘質抑制雜草

將植物殘質覆蓋於土表，經過微生物分解，利用釋出的相剋物質，抑制

雜草的萌芽及生長 (Bezuidenhout et al, 2012, Jabran et al, 2015)。例如苜蓿和毛苕子為研究較多的豆科綠肥植物，其酚酸類及皂苷化合物可抑制白茅及蕁科植物的生長 (Waller et al, 1993)。毛苕子 (*Vicia villosa* Roth) 是美國和歐洲普遍使用的綠肥，被認為是最有潛力的抑草覆蓋植物，毛苕子含有氨基氰 (CH_2CN)，可與其分解後產生的有機酸，共同抑制雜草的萌芽。將毛苕子地上部切碎，在水稻的生育初期至中期，覆蓋於田面形成地膜，可抑制稗草、鴨舌草、螢蔞等一年生雜草的生長，毛苕子的用量約為 $25 \text{ kg } 1,000 \text{ m}^{-1}$ ，由於毛苕子急速分解會影響秧苗發育，所以毛苕子對水稻生長的障礙仍待克服 (沈, 2014; Liu and Christians, 1996; Ferreira and Reinhardt, 2010)。

禾本科作物的殘質大都具有明顯抑草特性，水稻殘株與稻稈混合的水溶液萃取液，對單子葉雜草抑制效果大於對闊葉型雜草，其主要相剋物質為稻殼酮 (momilactone A) (Gealy et al, 2003)；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 (Alsaadawi et al, 1985)。米糠及玉米水解蛋白可防治水稻田雜草，玉米水解蛋白中分離出的5個2胜肽和3個9胜肽，具有抑制雜草萌芽效果 (Dayan et al, 2009; Liu and Christians, 1994)。

二、運用輪作機制抑制雜草

輪作方式抑制雜草，主要是利用前期植物釋放出相剋物質，阻礙雜草的萌芽和生長，以減少草量，利於後期作物的正常發育 (Khanh et al., 2005)。例如向日葵根部會分泌倍半萜內酯 (Heliannuol A, D)，只需 10 moL L^{-1} 濃度即可以抑制雙子葉植物的萌芽，降低馬齒莧、藜和牽牛花等雜草的族群。輪作黑麥、小麥、蕎麥、高粱適當品系亦有降低雜草生物量的效果 (Nikneshan et al, 2011)，冬小麥可有效抑制白茅的生長 (Alsaadawi et al, 1998)。裸麥 (*Secale cereal* L.) 葉片內的相剋化合物有15種以上，其中以苯並惡唑啉酮 (benzoxazolinones, BOA)、2,4-dihydroxy-2H-1,4- benzoxazin -3 (4H)- one (DIBOA) 及根部的 2,4- dihydroxy -7- methoxy -2H-1,4- benzoxazin-3 (4H)-one (DIMBOA) 等糖基化物質為主，裸麥品系間的含量各不相同，經栽種約100日後耕犁覆於土表，後期栽種番茄可有效抑制雜草的萌芽和生長，包括稗草、狗牙根、狗尾草、馬唐、龍葵等雜草 (Margot et al, 2013)。因此，輪作不僅可抑制雜草生長，輪作亦可改善土壤結構、保持土壤肥力，以及減少化學農藥的使用，合理的輪作同時能夠減輕或避免連作障礙發生的最

佳防範措施。

三、栽種伴生植物抑制雜草

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。例如早期將燕麥某些品種栽種於作物旁，可減少雜草生長，並造成雜草葉片黃化及生長遲緩，有效降低雜草的為害，欲篩選出對農作物生長影響最小之適用伴生植物，需依其優缺點，配合氣候及土壤條件，才能達成適地適作的功效。(Fay and Duke, 1977)。萬壽菊 (*Tagetes erecta* L.) 根分泌物對雜草具毒害效果；黑芥 (*Brassica nigra* L.) 可抑制雜草種子萌芽。美國加州利用野芥末 (*Brassica campestris* L.) 釋放的硫代氰酸酯 (thiocyanate) 控制青花菜田中的雜草已經成為一種可接受的混種模式 (Jimenez-Osomio and Gliessman, 1987)。

四、利用雜交育種或基因工程，選育作物的抑草品系

經過育種將野生種生合成相剋物質的性狀，利用生物技術和基因工程結合於作物品種，使作物增強競爭優勢以抑制某些主要雜草。目前水稻1,000種以上品種經測試後，約有4%品種具有明顯抑草的相剋潛力，其中 momilactone B 為主要有效成分，單株每日釋出2-3 μg momilactone B，即可抑制水稻旁雜草的萌芽和生長 (Rice, 1988; Gealy et al, 2003; Hisashi and Ino, 2004)。矮種油菜與結球白菜則經由人工雜交，已獲得一個具有抑草的雜交種，抑草效果可達28日以上 (Haan et al, 1994)。

五、已商品化的植物源除草劑

雖然植物中的多種相剋物質具有抑制雜草的特性，但由於植材資源取得的難易、相剋化合物含量的多寡，以及化合物於環境的穩定性等問題，皆會造成田間抑草效果的差異。因此部份國外農藥廠商開始針對具潛力的相剋化合物，進行結構的修飾，以化學合成方式生產，進而開發為新穎性除草劑(表2.)，然而大部份有抑草活性的相剋化合物因結構複雜，化學合成困難或生產成本過高等問題，並無法開發為除草劑。分別列舉成功案例：

1. CallistoTM：為先正達公司 (Syngenta) 於2007年研發的玉米田選擇性除草劑，其活性成分為甲基磺草酮 (mesotrione) (圖3(B))，為紅千層 (*Callistemon citrinus*) 樹類的纖精酮 (leptospermone) 衍生而來，可抑制4-羥苯丙酮酸雙氧酶，可有效防治闊葉型雜草 (Mitchell and Baden, 2001)。

2. Argold™及Cinch™：主成分為環庚草醚（cinmethylin）（圖3(B)），是1,4-桉葉素（1,4-cineole）的衍生物，需經代謝後才轉變為活性物質。其作用機制是阻礙植物分生細胞的有絲分裂，影響新陳代謝。登記於大豆、棉花及水稻田，防除稗草、馬唐及鴨舌草等雜草（El-Deek and Hess, 1986; Grayson et al, 1987）。
3. Scythe™及Thinex™：為美國Mycogen公司研發之產品，為犛牛兒苗科（Geraniaceae）植物的脂肪酸類化合物，可破壞細胞膜，影響離子的通透性，可抑制一年生單子葉及雙子葉雜草（Dayan et al, 2012）。
4. WeedBAN™：為植物性萌前除草劑，每平方英尺施用量為20磅，可有效抑制馬唐、蒲公英、馬齒莧、反枝莧、稗草及狗牙根等雜草的幼苗生長（Dayan et al, 2009）。
5. 獨角金萌發素內酯（strigolactones）：棉花根部釋出的獨腳金醇（strigol）（圖3(B)），可使寄生性雜草獨角金（*Striga asiatica* L.）萌芽，但因缺乏寄主的營養而死亡，有效防除寄生於玉米、高粱和甘蔗的獨角金（Hooper and Tsanuo, 2010）。

植物源抑草乳劑的研發

本所近年也致力於生物除草劑的研發，已針對臺灣低海拔地區危害嚴重的平原菟絲子（*Cuscuta campestris* Yunck），分離出高度專一性的炭疽病原菌（*Colletotrichum. spp.*），開發為孢子型製劑，田間施用後可達95%以上之防治率，協助北及中部多個縣市政府，有效防除安全島植栽及行道樹上纏繞的平原菟絲子（袁與謝, 2012）。另於104年起進行植物源抑草資材的研發，篩選67種草本植物，進行萌期及萌後使用的潛力測試，目前已篩選出菊科、禾本科、芸香科、牛牻兒苗科等6種植物為候選資材。其中PG資材經添加適當佐劑5-mix-2，於早期萌後施用，對8-10葉齡的一年生禾草及闊葉型雜草皆有良好防治效果，抑制率介於80-100%之間（圖4.）。如何運用此6種植物資材於有效降低製劑成本、增強花期防效及擴大抑草對象，為目前持續努力的目標。

結 語

植物源的相剋物質是生態系統中生存競爭的自然產物，此等化合物與化學除草劑相比具有環境相容性高、降解快、半衰期短、對非標的生物安全高等特質。然而欲直接應用植物殘質除草，則會因化感物質含量過少，而需使用大量植材才可達到抑草效果，因此臺灣目前僅水稻莖桿常被應用於田間土表的覆蓋。未來以具有活性的相剋物質的適當製劑，或是以相剋物質為先導化合物，經修飾結構為活性更優質的相似物，則成為應用雜草防治的新穎途徑，未來開發的植物源除草劑不僅可協助有機栽培之雜草管理，亦可於慣行農法整地後之早期萌後噴施，減少化學藥劑的使用量，有效降低雜草族群，維繫農業生態系的安全以及作物的經濟產值。

參考文獻

1. 王大力、祝心如。1996。三裂葉豬草的化感作用研究。植物生態學報。20(4): 330-337。
2. 王璞、趙秀琴。2001。幾種化感物質對棉花種子萌發及幼苗生長的影響。中國農業大學學報。6(3): 26-31。
3. 王廣印、孫曉娜、謝玉會。2008。辣椒植株水浸液對4種蔬菜種子萌發的化感效應。農業現代化研究。29(6): 761-764。
4. 方麗萍。2014。2004-2013年台灣農藥市場。農藥一路發網站。<http://www.ag168.com/>
5. 孔垂華。2003。新千年的挑戰：第三屆植物化感作用大會綜述。應用生態學報。14(5): 837-838。
6. 孔垂華、胡飛。2001。植物化感相生相剋作用及其應用。北京:中國農業出版社。
7. 曹光球。2006。杉木自毒作用及其與主要混交樹種化感作用的研究。福建農林大學博士學位論文。
8. 孔垂華、徐濤、胡飛。1998。勝紅薊化感物質之間相互作用的研究。植物生態學報。22(3): 403-408。
9. 何紅花、慕小倩、董志剛。2007。雜草豬殃殃對小麥的化感作用。西北農業學報。16(5): 250-255。
10. 何衍彪、何庭玉。2002。飛機草化感作用的初步研究。華南農業大學學報。23(3): 60-62。
11. 沈曉昆。2014。引入苕子的水稻有機免耕栽培。農業裝備技術。40(4): 64。
12. 李雪利、李正、李彥濤、張文平、曾憲立、鄭文冉、劉國順、葉協鋒。2009。植物化感作用研究進展。中國農學通報。25(23): 142-146。
13. 周志紅、駱世明、牟子平。1997。番茄的化感作用研究。應用生態學報。8: 445-449。
14. 袁秋英、謝玉貞。2012。生物除草劑之研發與應用。農政與農情。480期: 88-94。
15. 高興祥、李美、高宗軍。2009。蒼耳對不同植物幼苗的化感作用研究。草業學報。18(2): 95-100。

16. 張爽、潘偉。2006。植物化感作用研究進展。現代化農業。8：16-17。
17. 張順捷、馬鳳鳴、王玉波。2008。大豆根系分泌物化感作用的初步研究。東北農業大學學報。39(10)：1-5。
18. 張麗麗、王穎、王輝等。2008。側柏根際土壤提取物對4種植物種子萌發和幼苗生長的化感效應。河北農業大學學報。31(6)：84-94。
19. 楊菲、黃乾明、楊春華。2008。扁穗牛鞭草水浸液化感作用及化學成分分析。四川農業大學學報。26(3)：232-236。
20. 翟梅枝、高小紅、趙彩霞。2006。核桃枝葉水溶物的化感作用研究。西北農業學報。15(3)：179-182。
21. 劉小香。2005。巨尾桉的化感作用研究。華南熱帶農業大學碩士學位論文。
22. 劉秀芬、胡曉軍。2001。化感物質阿魏酸對小麥幼苗內源激素水準的影響。中國農業生態學報。9(1)：86-88。
23. 劉荷芬、樊金獻、侯雙。2008。香絲草對幾種雜草的化感作用研究。河南科技學院學報。36(1)：14-16。
24. 聶呈榮、曾任森、駱世明、黎華壽、洪明祺、程莉瓊。2004。三裂葉蟛蜞菊對水稻化感作用的初步研究。作物學報。30：942-946。
25. 顏桂軍、朱朝華、陳秋波。2006。檳榔、橡膠化感作用的初步研究。江西農業大學學報。28(5)：713-717。
26. 韓麗梅、沈其榮、鞠會豔。2002。大豆地上部水浸液的化感作用及化感物質的鑒定。生態學報。22(9)：1425-1432。
27. Abdul-Rahman AA, SA Habib (1989) Allelopathic effect of alfalfa (*Medicago sativa* L.) on bladygrass (*Imperata cylindrical*). J. Chem. Ecol. 15: 2289-2300.
28. Alsaadawi IS, KHY Zwain, HA Shahata (1998) Allelopathic inhibition of growth of rice by wheat residues. Allelopathy J. 5: 163-169.
29. Alsaadawi IS, JK Aluquaili, Aj AIRubeaa (1985) Effect of gamma irradiation on allelopathic potential of sorghum against weeds and nitrification. Chem. Ecol. 12: 1737-1745.
30. Barkosky RR, FA Einhellig, JL Butler (2000) Caffeic acid induced changes in plant-water relationships and photosynthesis in leaf spurge *Euphorbia esula*. Chem. Ecol. 26: 2095-2109.
31. Bazivamakenga RR, GD Leroux, RR Simard (1995) Effects of benzoic and cinnamic on membrane permeability of soybean roots. Chem, Ecol. 21: 1271-1285.
32. Bezuidenhout SR, CF Reinhardt, MI Whitwell (2012) Cover crops of oats, strolling rye and three annual ryegrass cultivars influence maize and *Cyperus esculentus* growth. Weed Res. 52: 153-160.
33. Booker FL, U BLUM, EL Fiscus (1992) Short-term effects of ferulic acid on ion uptake and water relations in cucumber seedling. Experimental Botany, 43: 649-655.
34. Cheema ZA, A Khaliq (2000) Use of sorghum allelopathic properties to control weeds in irrigated wheat in a semi arid region of Punjab. Agric. Ecosys. Environ. 79: 105-112.
35. Chon SU (2002) Effects of alfalfa leaf extracts and phenolic allelochemicals on early seedling growth and root morphology of alfalfa and barnyard grass. Crop Prot. 21: 1077-1082.
36. Chon SU, DK Choib, S Jung (2002) Effects of alfalfa leaf extracts and phenolic

- allelochemicals on early seedling growth and root morphology of alfalfa and barnyard grass. *Crop Prot.* 21(10): 1077-1082.
37. Chunga IM, JK Ahna (2001) Assessment of allelopathic potential of barnyard grass (*Echinochloa crus-galli*) on rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Crop Prot.* 20: 921-928.
 38. Dayan FE, CL Cantrell, SO Duke (2009) Natural products in crop production. *Bioorg. Med. Chem.* 17: 4022-4034.
 39. Dayan FE, DK Owens, SO Duke (2012) Rationale for a natural products approach to herbicide discovery. *Pest Manag Sci* 68: 519-528.
 40. Duke SO, AM Rimando, SR Bearson, BE Scheffler, E Ota, RG Belz (2002) Strategies for the use of natural products for weed management. *Pest. Sci.* 27: 298-306.
 41. Duke SO, FE Dayan, AM Rimando (2002) Invited paper: Chemicals from nature for weed management. *Weed Sci.* 50: 138-151.
 42. El-Deek MH, FD Hess (1986) Inhibited Mitotic Entry Is the Cause of Growth Inhibition by Cinmethylin. *Weed Sci.* 34: 684-688.
 43. Einhellig FA (1995) Mechanism of action of allelochemicals in allelopathy. In: Inderjit, Dakshini KMM, Einhellig F A, eds. *Allelopathy Organisms, processes and applications*, Series 582. Washington D C: American Chemical Society Symposium. P. 96-116.
 44. Einhellig FA, JA Rasmussen, AM Heji (1993) Effects of roots exudate sorgoleone on photosynthesis. *Chem. Ecol.* 19: 369-375.
 45. Fang CX, J Xiong, L Qiu, HB Wang, BQ Song, HB He, RY Lin, WX Lin (2009) Analysis of gene expressions associated with increased allelopathy in rice (*Oryza sativa* L.) induced by exogenous salicylic acid. *Plant Growth Regul.* 57: 163-172.
 46. Fay PK, WB Duke (1977) An assessment of allelopathic potential in *Avena* germplasm. *Weed Sci.* 25: 224-228.
 47. Ferreira MI, CF Reinhardt (2010) Field assessment of crop residues for allelopathic effects on both crops and weeds. *Agron. J.* 102: 1593-1600.
 48. Gallandt ER, T Molloy, RP Lynch, FA Drummond (2005). Effect of cover-cropping systems on invertebrate seed predation. *Weed Sci.* 53: 69-76.
 49. Gealy DR, EJ Wailes, LE Esterninos, RSC Chaves (2003). Rice cultivar differences in suppression of barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) and economics of reduced propanil rates. *Weed Sci.* 51: 601-609.
 50. Grayson BT, KS Williams KS, PA Freehauf (1987) The physical and chemical properties of the herbicide cinmethylin. *Pest. Sci.* 21: 143-153.
 51. Haan RL, DL Wyse, NJ Ehike (1994) Stimulation of spring seeded smother plant for weed control in corn. *Weed Sci.* 42: 35-43.
 52. Heap I (2015) International survey of herbicide resistant weeds. <http://weedsociety.org/>. Mar. 10. 2016.
 53. Hisashi KN, T Ino (2004) Release Level of Momilactone B from Rice Plants. *Plant Prod. Sci.* 7: 189-190.
 54. Hooper AM, MK Tsanuo (2010) Isoschaftoside, a C-glycosylflavonoid from *Desmodium uncinatum* root exudate, is an allelochemical against the development of *Striga*. *Phytochem.* 71: 904-908.
 55. Jabran K, G Mahajan, V Sardana, BS Chauhan (2015) Allelopathy for weed control in

- agricultural systems. *Crop Prot.* 72: 57–65.
56. James RV (2002) Allelochemicals as leads for new herbicides and agrochemicals. *Tetrahedron*. 58: 1631-1646.
 57. Jimenez-Osornio FMVZJ, J Kumamoto, C Wasser (1996) Allelopathy Activity of *Chenopodium ambrosioides* L. *Biochem. System. Ecol.* 24(3): 195-205.
 58. Jiménez-Osornio J, SR Gliessman (1987) Allelopathic interference in a wild mustard (*Brassica campestris* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *italica*) intercrop agroecosystem. *ACS Symp. Ser.* 330: 262-274.
 59. Khanh TD, MI Chung, TD Xuan, S Tawata (2005) The exploitation of crop allelopathy in sustainable agricultural production. *J. Agron. Crop Sci.* 191: 172-184.
 60. Kimber RWL (1973) Phytotoxicity from plant residues II. The effects of time of rotting of straw from grasses and legumes on the growth of wheat seedlings. *Plant Soil*, 38: 347-361.
 61. Kong CH, P Wang, H Zhao, XH Xu, YD Zhu (2008) Impact of allelochemical exuded from allelopathic rice on soil microbial community. *Soil Biol. Biochem.* 40: 1862-1869.
 62. Kruidhof HM (2008) Cover crop-based ecological weed management: exploration and optimization. PhD Thesis, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands. pp.156.
 63. Leadir LMF, SP Raymond, RS Gene (1997) Plant growth and arbuscular mycorrhizal fungi colonization affected by exogenous applied phenolic compounds. *Chem. Ecol.* 23: 1755-1767.
 64. Liu DL, NE Christians (1994) Isolation and identification of root-inhibiting compounds from corn gluten hydrolysate. *J. Plant Growth Regul.* 13: 227-230.
 65. Liu DL, NE Christians (1996) Bioactivity of a pentapeptide isolated from corn gluten hydrolysate on *Lolium perenne*. *Plant Growth Regul.* 15(1): 13-17.
 66. Liu Y, CX Zhang, SH Wei (2007) An overview: Herbicide resistant in China. //Proceedings of the International Workshop Weed Science and Agricultural Production Safety. Nanjing, China 178.
 67. Lopez L, NE Bonzani, BN Zygadlo (2008) Allelopathic potential of *Tagetes minuta* terpenes by a chemical, anatomical and phytotoxic approach. *Biochem. System. Ecol.* 36(12): 882-890.
 68. Margot S, A Marocco, V Tabaglio, FA Macias, JMG Molinillo, FA Macias, JMG Molinillo (2013) Benzoxazinoids in Rye Allelopathy-From Discovery to Application in Sustainable Weed Control and Organic Farming. *J. Chem. Ecol.* 39: 154-174.
 69. Memie W, M Singh (1993) Phenolic acid affect photosynthesis and protein synthesis by isolated leaf cells of velvet-leaf. *Chem. Ecol.* 19: 1293-1301.
 70. Mersie W, M Singh (1988) Effects of phenolic acids and ragweed parthenium (*Parthenium hysterophorus*) extracts on tomato (*Lycopersicon esculentum*) growth and nutrient and chlorophyll content. *Weed Sci.* 36: 278-281.
 71. Mitehell G, DW Baden (2001) Mesotione: a new selective herbicide for use in maize. *Pest. Manag. Sci.* 57: 120-128.
 72. Nikneshan P, H Karimmojeni, M Moghanibashi, N Hosseinei (2011) Allelopathic potential of sunflower on weed management in safflower and wheat. *Aust. J. Crop Sci.*

- 11: 1434-1440.
73. Ohno T, K Doolan, LM Zibilske, M Liebman, ER Gallandt, C Tsutomu (2000) Phytotoxic effects of red clover amended soils on wild mustard seedling growth. *Agric. Ecosys. Environ.* 78: 187-192.
 74. Ortega RC, AA Auaya, L Ramos (1988) Effects of allelopathic compounds of corn pollen on respiration and cell division of watermelon. *Chem. Ecol.* 14: 71-86.
 75. Oueslati O (2003) Allelopathy in two durum wheat (*Triticum durum* L.) varieties. *Agric. Ecosys. Environ.* 96: 161-163.
 76. Pandey DK (1994) Inhibition of salvinia (*Salvinia molesta* Mitchell) by parthenium (*Parthenium hysterophorus* L.). II. Effect of leaf residue and allelochemicals. *Chem. Ecol.* 20: 3111-3122.
 77. Pandey DK, LP Kauraw, VM Bhan (1993) Inhibitory effect of parthenium (*Parthenium hysterophorus* L.) residue on growth of water hyacinth. I. Effect of leaf residue. *Chem. Ecol.* 19: 2651-2662.
 78. Penuelas J, RM Carbo, L Giles (1996) Effects of allelochemicals on plant respiration and oxygen isotope fractionation by the alternative oxidase. *Chem. Ecol.* 22: 801-805.
 79. Price AJ, JK Norsworthy (2013). Cover crops for weed management in southern reduced tillage vegetable cropping systems. *Weed Technol.* 27: 212-217.
 80. Rice EL (1984) Allelopathy. New York: Academic Press Inc, 1-5, 309-315.
 81. Rice EL (1988) Pest Control with Nature's Chemicals. New York: Academic Press.
 82. Rose SL, DA Perry, MM Schoeneberger (1983) Allelopathic effects of litter on the growth and colonization of mycorrhizal fungi. *Chem. Ecol.* 8: 1153-1162.
 83. Soltys D, U Krasuska, R Bogatek A Gniazdowska (2013) Allelochemicals as bioherbicides - present and perspectives. In: *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use*, pp: 2-3. A.J. Price and J.A. Kelton (eds.). In Tech, Croatia.
 84. Vandermaast DB (2002) American chestnut as an allelopath in the southern Appalachians. *Forest Ecol. Manag.* 165: 173-181.
 85. Waller GR, M Jurysta, L Thorner (1993) Allelopathic activity of root saponins from alfalfa (*Medicago sativa* L.) on weeds and wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica.* 34: 1-10.
 86. Yakle GA, RM Cruse (1984) Effects of fresh and decomposing corn plant residues extracts on corn seedling development. *Soil Sci. Soc. Am.* 48: 1143-1146.
 87. Young CC, RZ Thorne, GR Waller (1989) Phytotoxic potential of soils and wheat straw in rice rotation cropping systems of subtropical Taiwan. *Plant Soil*, 120: 95-101.
 88. Zhao HL, Q Wang, X Ruan, CD Pan, DA Jiang (2010) Phenolics and Plant Allelopathy. *Molecules*, 15: 8933-8952.

表1. 植物源資材、活性成分及抑草類別.

植物源資材	活性成分	抑草對象
高粱	高粱醜 (sorgoleone)	馬唐、稗草、反枝莧
水稻	稻殼酮 A (momilactone A)	單子葉雜草
玉米	二胜肽 (dipeptide)	闊葉型雜草
裸麥	苯並惡唑啉酮 (benzoxazolinones)	一年生雜草
香茅	香茅精油 (essential oil)	一年生雜草
禾本科、豆科植物	香豆素 (coumarin)	白茅、野薺菜
黃花蒿	青蒿素 (artemisinin)	單子葉雜草
向日葵、銀膠菊	倍半萜內酯(heliannuol A,D)	馬齒莧、藜
萬壽菊	α -三嗪吩 (α -terthienyl)	一年生雜草
艾屬植物	1,8-桉葉素(1,8-cineole)	單子葉雜草
紫花藿香薷	豆甾醇 (stigmasterol)	一年生雜草
鼠尾草、迷迭香	1,4-桉葉素(1,4-cineole)	闊葉型雜草
棉花	獨腳金萌素 (strigolactones)	獨腳金
芸香科植物	檸檬烯 (limonene)	一年生雜草
紅千層	纖精酮(leptospermone)	闊葉類雜草
苦木科植物	苦木素(quassinoids)	狗尾草
苜蓿	美迪紫檀素 (medicarpin)	白茅、莧屬植物
核桃	核桃醜 (juglone)	一年生雜草
尤加利	尤加利油 (eucalyptus oil)	一年生雜草
松樹	松樹油 (pine oil)	一年生雜草
犛牛兒科植物	壬酸(nonanoic acid)	一年生雜草
長胡椒	假蒟蒥鹼 (sarmentine)	一年生雜草
曼陀羅	曼陀羅鹼 (hyoscyamine)	反枝莧

表2. 相剋化合物及其衍生的商品與抑草機制.

相剋化合物	商品名	抑草機制
纖精酮 (leptospermone)	Callisto	抑制 HPPD
桉葉素(cineole)	Argold Cinch	抑制 asparagine synthetase 及呼吸作用
壬酸(nonanoic acid)	Scythe, Thinex	破壞細胞膜結構
水解蛋白(peptide)	WeedBan	影響細胞壁形成、細胞膜結構
獨腳金醇 (Strigol)	strigolactones	誘使不適時期萌芽

* HPPD: 4-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase

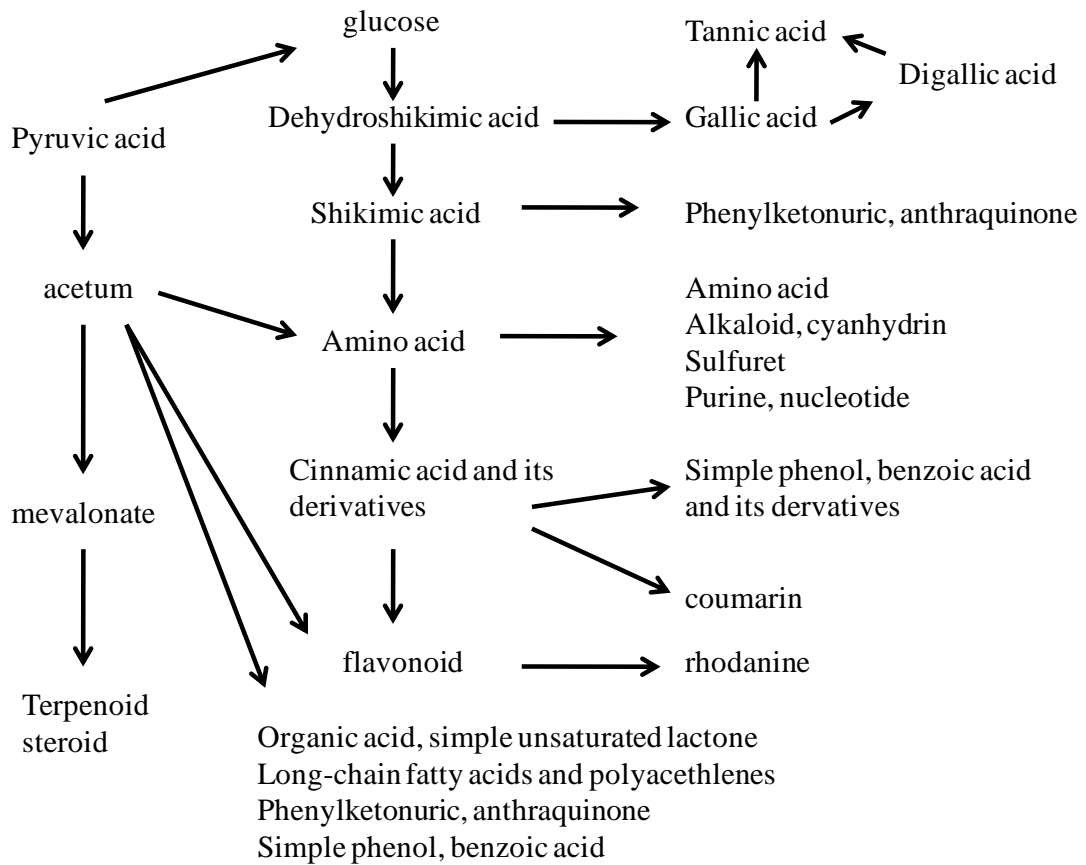


圖 1. 植物主要相剋物質的生合成路徑. (Zhao et al, 2010)

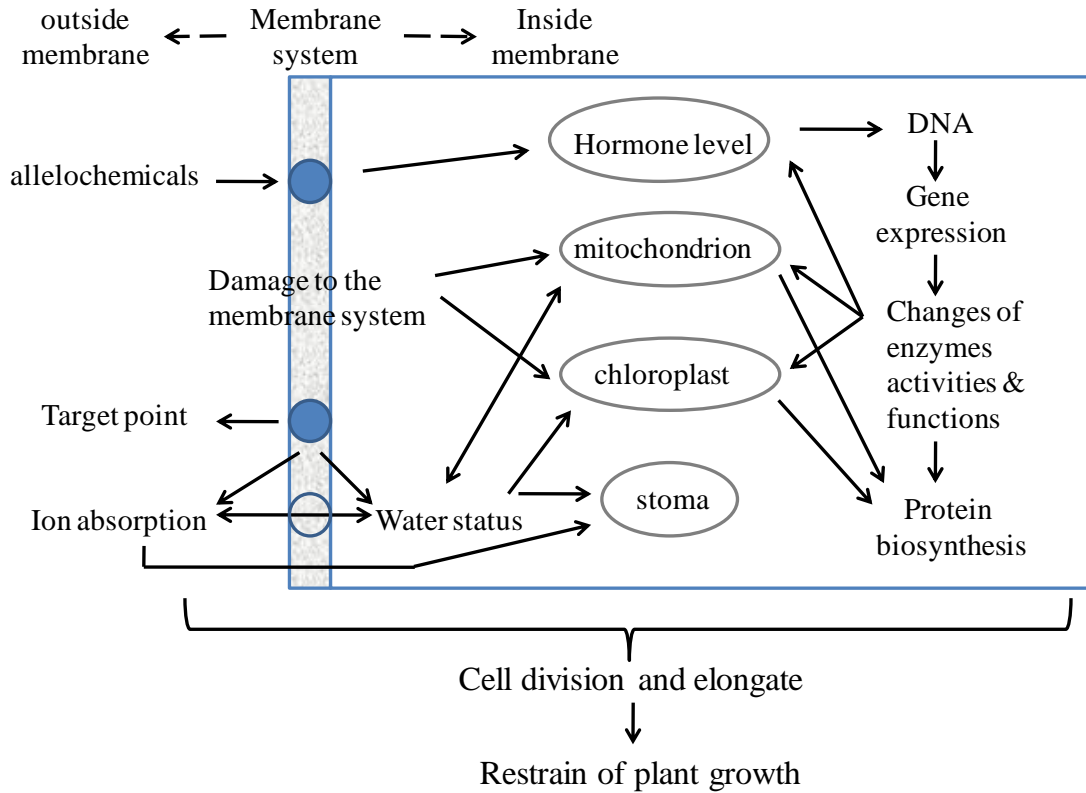


圖 2. 相剋化合物之作用機制. (Zhao et al, 2010)

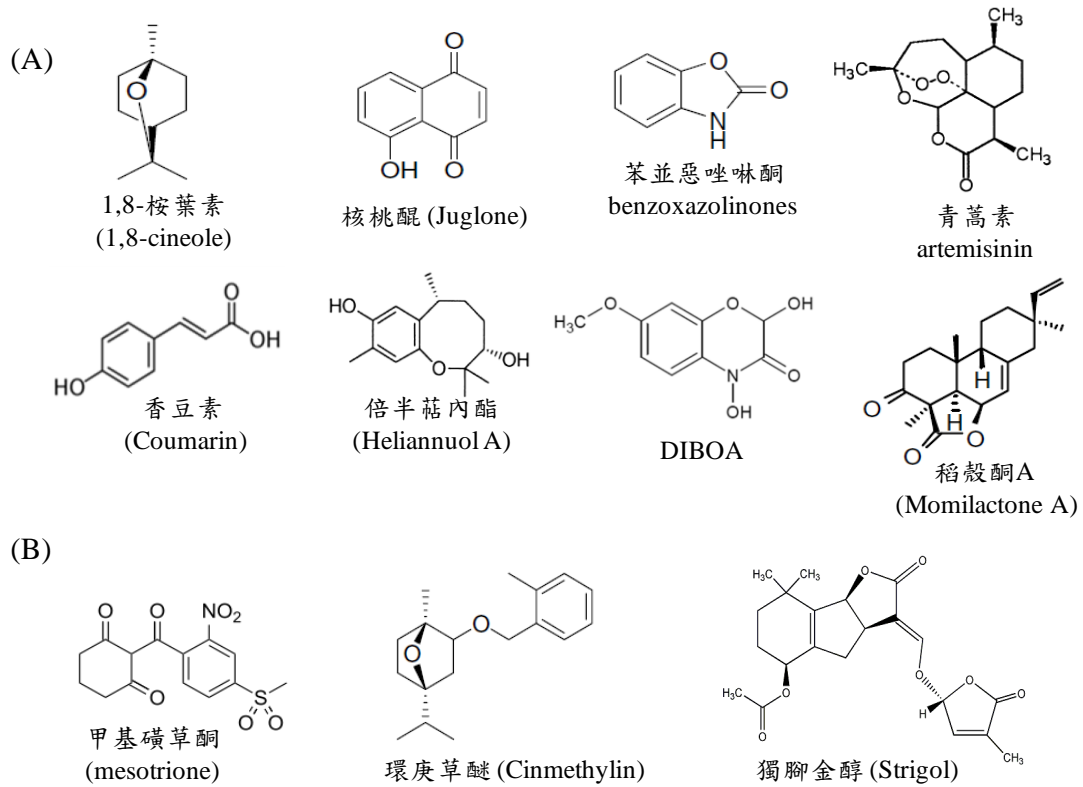
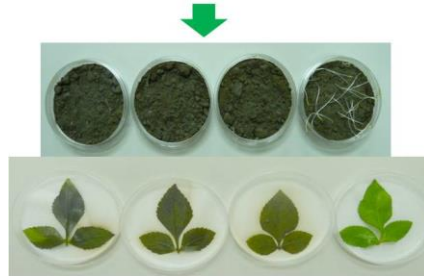
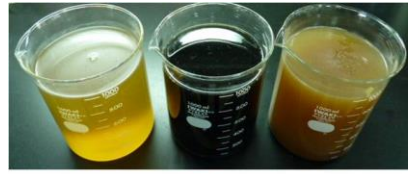


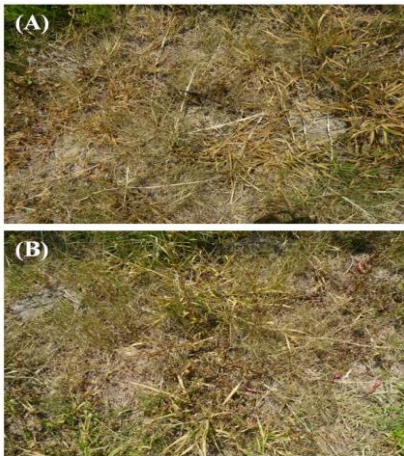
圖 3. 具抑制雜草生長潛力的植物相剋化合物。(A) 未商品化為除草劑、(B) 商品化除草劑之主成分。DIBOA: 2,4-dihydroxy-2H-1,4-benzoxazin-3(4H)-one。



測試植物的資材收集



萃取液製備及除草活性測試



噴施後雜草



噴施前雜草

圖 4.初選 PG 植材乳劑於早期萌後噴施之抑草效果.

(A)禾本科雜草, (B)闊葉型雜草.

藥毒所專題報導

發行人：費雯綺

發行所：行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

地址：臺中市霧峰區舊正里光明路 11 號

網址：<http://www.tactri.gov.tw>

電話：(04)23302101

總編輯：陳妙帆

編輯委員：謝奉家 蔣永正 何明勳 曾經洲 蔡韋任
徐慈鴻

編輯助理：謝瓊玲 陳麗玲

展售書局：

1. 國家書店松江門市/臺北市松江路 209 號 1 樓 (02)25180207

網路書店/<http://www.govbooks.com.tw>

2. 五南文化廣場/臺中市中山路 6 號 (04)22260330

網路書店/<http://www.wuanbooks.com.tw>

印刷：中英打字印刷行

地址：南投縣草屯鎮中正路 587 之 4 號

電話：049-2338051

中華民國 105 年 4 月出版

定價：新台幣 30 元

GPN：2007600007

ISSN：1017-9569(平裝)

著作財產權人 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

欲利用本書全部或部份內容者，須徵求著作財產權人同意。