第四章　雜草管理—物理、化學、生物與綜合管理原理及做法

蔡竹固
國立嘉義大學生物科技研究所

一、前言

雜草管理以將雜草的危害降低至可接受的程度為其目的，運用栽培、物理、生物與化學等各種方法，調節雜草的生長環境，使其儘可能不適宜雜草的生存，來降低雜草的競爭力與生活力。在應用此一基本原理時，雜草管理工作者必須瞭解雜草的識別、生長習性、生理與生態等特性，以及有關除草劑方面的知識，例如除草劑之選擇性、作用機制與殘效問題等，方能有助於實際防除工作的了解與執行，以收事半功倍之效。

雜草管理方法因受種種不同外在環境因素之影響，雜草發生情形，以及其最終目的的不同，因而在執行手段上有所差異，大致上可以分為預防性(prevention)、防除性(control)和根除性(eradication)等三種防除方式。近來的證據顯示，農業操作例如改變耕作時間與種植方法、改變光線穿透作物植冠的樣式、及修正或減少耕作等方法都極具潛力，隨著採行策略的測試和改良，將可更成功地利用農業操作達到操縱雜草種子休眠與發芽的需求。無論任何情況，維持健康、有活力的作物是減輕由於雜草競爭的一個最重要的方法。針對庭園或農場擬定恰當雜草管理計畫，主要依據作物種類、耕地大小和過去曾經造成困擾的雜草種類，一個綜合管理計畫採用一些不同方法，對於過去常發生的雜草給予良好且長期性的管理。

一年生及二年雜草大都仰賴種子繁殖，對此類雜草的防除，時效上必須把握在其開花結實之前實施，方能收效。通常，幼苗期之細胞壁較薄，藥劑易於進入，同時，幼苗期之生育活動旺盛，各種生理作用進行頻繁。藥劑如於此時進入，易於與植物內部之生理反應起作用，達到干擾或阻礙生理反應之目的，所以化學除草劑之施用期以幼苗階段為佳。多年生雜草藉種子及營養器官繁殖，需要防除之器官有時深入地底，很難加以防除，如以物理或栽培方法，可逐步消耗其根部貯存的養分，使失去再度萌芽能力。至於施用除草劑的時期，也是在葉部光合作用之合成物質，向根部輸送時期為適當施藥期，如此除草劑方能隨同碳水化合物流轉至地下部，而

達殺死地下營養繁殖器官的目的。

除草劑的選擇性不僅存於作物與雜草之間，不同雜草種類間亦具有選擇性，長時期施用同類除草劑防除田間雜草，常易導致田間雜草群落，產生雜草生態上之轉變(ecological shift)，敏感性的雜草被撲滅，抵抗性的雜草因缺乏競爭的對象造成優勢生長。因此，往往形成雜草的單類生長，比原有的混合雜草群落更難防除。熱帶地區，植物生長茂盛，繁殖快速，尤其容易造成此種雜草相之改變。為避免雜草群落之不良轉變，以改善之耕種方法與輪作制度配合，利用數種有效的除草劑，實行除草劑輪流施用，或採用數種除草劑混合噴施，皆可預防或減緩雜草相不良影響。

二、雜草管理的概念

雜草防除是將雜草生長降低或減少到可接受的程度，只要考慮某方法對於雜草控制或去除的成效，而不在意其對於耕作系統甚至整個環境短期或長期的影響。任何一個防除措施，若無法有效預防後續的侵擾(infestation)，均屬不經濟且費時的作為。

反之，雜草管理主要著眼於環境，儘可能地採用各種不同方法或綜合採用不同方法，使不利於雜草生長。經由上述方法的作物－雜草相互關係的人為操作，使作物生長優於雜草。雜草管理的觀念適用於單一作物或是整個栽培制度(cropping system)。在單一作物或栽培制度的雜草種類是呈動態的(dynamic)，防除了某一種或某一類雜草，往往導致其他雜草的入侵，雜草也可能在某一防除方法長期採用之後，變得具有抗性。所以，雜草管理是預防、防除和根除的巧妙組合，在作物田間或環境中進行雜草的管理。

1940 年代以後，隨著除草劑的廣泛使用，其他的雜草防除方法相形偏廢。但由於某些除草劑所造成的環境和毒物學問題，抗性雜草的出現，傳統的雜草防除方法又再度受到重視。所以，一個成功的雜草管理計畫，斟酌各種作物的輪作制度，透過作物生產操作，增強對於雜草的競爭和生態壓力。並著眼於整個農場，而非僅是某一田區。

三、雜草的預防、防除與根除

雜草管理方法受到各種不同外在環境因素之影響，也因雜草發生情形及最終管理目的而異，因此執行所採用的手段亦有差別，大致上可以分為預防性、防除性和根除性等三種類型的防除方式(邱及鍾 1996, Aldrich and Kremer 1997, Ashton and Monaco 1991)。

預防性管理工作的重心，乃在防止雜草的入侵與散佈，此一方法如行之徹底，收效顯著。不但可減少新的雜草種類之引進，而且對已存在的雜草，亦可透過其他雜草防除法，減輕其為害程度，而逐漸減少為害雜草的種類與數量。預防法花費不高，且簡單易行，合乎經濟原則，頗受世界各國之重視。此項工作之預防重於治療，如能有效的執行預防性工作，將可大大節省雜草之防除費用。

防除性雜草管理工作乃針對田間已發生之雜草，採用各種方法將其清(殺)

除或抑制其生長，使雜草的為害程度降低，不影響農業生產的經濟效益。至於將田間所有的雜草剷除乾淨，不但費用可觀，且很難執行徹底，所以目前農民常用之雜草管理方法，大都屬於防除性的雜草管理。只要將雜草密度降低至不影響農業生產經濟效益，就算達到防除的目的。

根除是將某些類別雜草，自一特定地點完全清除。採取本法之對象大都屬於新近引進的雜草，或者是有毒的及為害甚烈的特殊雜草。就執行上而言，根除法耗費的財力、物力甚大，且不易收到預期的效果，雜草完全清除後，尚須時時注意防範，以免其再度侵入為害。有時尚須配合政府的行政力量，強制執行方易收效。對小面積發生的特殊雜草，進行根除，可不必考慮費用問題。必須在雜草蔓延之前，把握時間進行徹底根除為原則，一旦雜草蔓延甚廣，則需擬定詳盡的根除計畫，考慮費用支出，逐步推動為上策。

雜草管理的主要目標，乃在利用各種管理方法，抑制或降低雜草的危害程度，儘可能的使其不致影響農業生產，以符合人類的利益。在雜草管理上所用的方法有：

1. 預防性雜草防除法：雜草衛生、檢疫法規、純淨的商業種子等方法。
2. 栽培性雜草防除法：輪作、栽培競爭性作物。
3. 機械性雜草防除法：拔除、剷鋤、耕作、淹水、燒燬等。
4. 化學性雜草防除法：利用化學藥品或除草劑。
   (1)選擇性除草劑(selective herbicides)：選擇性的除草劑是可以清(殺)除或抑制一種或多種植物之生長，但是其他的植物因具有耐藥能力仍可生長良好。
   (2)非選擇性除草劑(non-selective herbicides)：巴拉刈(paraquat)和嘉磷塞(glyphosate)為非選擇性除草劑，清(殺)除被接觸的雜草。
5. 生物性雜草防除法：利用草食性生物、昆蟲或病原等。

四、傳統的雜草管理方法

(一)雜草預防(weed prevention)

據美國農部 1985 年調查，指出50-60%的主要雜草來自國外，同樣的情形，亦發生於世界上之其他地區。國內之行政院農業委員會動植物防疫檢疫局(2002)指出小花蔓澤蘭(*Mikania micrantha* H.B.K.)原產巴拉圭等熱帶美洲地區，在臺灣蔓延危害面積已廣及 17 個縣市、130 個鄉鎮農地，發生總面積達到 13,206 公頃。十多年前僅於屏東地區出現，現今已危害至中北部等地區，其危害範圍正逐年增加中，小花蔓澤蘭之防除更是刻不容緩。所以，防止雜草之入侵，在雜草防除上佔相當重要的地位。預防性的雜草經營與管理工作，主要在防止雜草由一地傳播至另一地，通常所用之法有三：(1)雜草衛生法(weed sanitation)，(2)法規法，及(3)種子檢查制度(seed certification system)等。

雜草衛生法之範圍甚廣，包括利用農耕作業方式，如提早或延後種植期，肥料及水之管理、輪作等，以減少雜草

種子的生產或降低其競爭力。使用無雜草種子的作物種子，清理農耕機械，運輸工具，清除灌排水系統旁之雜草，均可減少雜草散佈的機會。作物收穫後，注意調製工作，使各項農產品內之雜草種子數減至最低之可能，均屬預防性雜草防除方法範圍(邱及鍾 1996)。

雜草預防計畫的成功因雜草種類及人們投入的程度而影響其有效性，若是屬於繁殖力、傳播力強，能夠休眠且保有活力的雜草種類，根除的成效往往不佳。

1.清潔種子(weed-free crop seeds)

雜草種子混雜在作物種子內，隨著作物種子散佈至全球各地，為雜草自原產地傳播至各地之主要途徑。所以，制定種種法規以限制這種傳播過程，實屬必要。大部份作物種子都會混有雜草種子，主要是發生在採收時，一些雜草的生活史類似於作物，和作物種子同時成熟。此外，有些雜草種子形狀、大小與作物相似。即使是只有 1%或更少的雜草種子混雜在內，也會對作物生產造成有害的影響。

2.雜草法規(weed laws)

目前世界各國所定之各項法規可歸類為種子法(seed laws)、雜草防除法(seed control laws)及檢疫法(quarantine laws)等三種。制定雜草法規可以保障農民免於使用標示不明或污染的種子，且可嚴令禁止有害雜草(noxious weeds)經由種子或其他繁殖器官的入侵。

3.種子檢查(seed certification)

種子繁殖及檢查制度目的在於保持種子之純度、發芽率，臺灣地區之水稻種子三級繁殖制度及其他作物之種子的生產、繁殖與銷售制度的建立，對保障農民權益，病蟲害及雜草防除工作上，都有良好成效。我國現行與植物健康種苗相關之法規，包括「植物防疫檢疫法」、「植物品種及種苗法」及兩者之相關子法，以及「臺灣地區農作物種苗檢查須知」等行政規則。以淨度分析(purity analysis)來檢驗是否含有任何其他作物及雜草之種子。

4.檢疫法規

大部份國家有適當的法規可直接用於雜草預防、防除、根除的工作上，即使有些國家無適當的與雜草有關的法條，但在其機場或港口，仍有檢疫法規可為依據，以防止雜草或其他動植病蟲害之引入。雖然因各地之環境與作物之不同，其內容可能略有出入，但其基本目的則是一樣。又為了有效執行是項工作，各國均設有種子或相關檢查機構，負責本項工作之執行。依據我國植物防疫檢疫法第三條所稱有害生物，指直接或間接加害植物之生物，包括有寄生性植物、雜草等有害生物種類。

雖然各種預防性的雜草防除法，為大家所了解，為了加強認識起見，特將一般應注意者，列出於下：

(1) 使用不含雜草種子的清潔作物種子。由於種子大小、重量、形狀、表面積、比重、黏性、突出物、質地、顏色等的差異，可以採用分離器(air-screen cleaner, separators)等將雜草種子與作物種子分開。

(2) 各種飼料中所含之雜草種子需先清除(殺死)，然後再供餵食之用。

(3) 不用含有雜草種子之堆廄肥，或先消除其發芽力再用。
(4) 避免家畜、家禽從雜草叢生處直接走入無草之區域或農田。
(5) 各種農具或運輸器材由雜草感染區經過後，需徹底清除所攜帶之雜草種子或其他繁殖器官。
(6) 避免利用雜草感染區之土壤。
(7) 徹底清除砧木，移植苗所攜帶之雜草種子或其他繁殖器官。
(8) 定期清除灌、排水管道上之雜草。
(9) 保持籬笆、農路、鐵道和其他未耕種地區之清潔，定期清除雜草。
(10) 防止雜草之再度入侵、繁殖。

(二)雜草侵入後的管理(post-infested weed management)

當雜草侵入某一地區之後，可以採用防除或根除的方法，當該雜草存在會造成耕作困難且不經濟，或為阻止蔓延至新地區時，可考慮採用根除方法去殺死植株且破壞所有繁殖器官的活力。若是多年生的雜草，由於其地下繁殖構造或種子休眠性，根除工作必須持續許多年。若是該雜草已經廣泛分佈，很難經濟且有效根除時，只好退而求其次，採用防除的方法。一個防除計畫，可讓農民即使在雜草存在的情況下，能夠獲致作物生產利潤。雜草防除之目的乃在於降低或清除(殺死)雜草個體生長和其繁殖體，達到不會嚴重影響該農地的經濟使用。持續性發生的雜草很少被消滅，但當其生長受到抑制，作物就能有正常的產量。由於大量的雜草種子埋在土壤中，排除了根除的可能性，相形之下，防除措施較為可行且經濟(蔣等 1995, Flint 1990)。

1.人工方法(manual methods)

栽植早期常依靠人工拔草、或搭配手拿工具除草。惟人工除草尚需考慮勞力是否便宜及充足，且在複種指數高的耕種制度之下，沒有足夠的期間可供採行人工除草。

(1)人工拔草(hand weeding)

拔草是一種相當有效的除草方法，須在雜草開花結果前實施。常用於家庭園藝或其他無法以工具除草場合，或者雜草發生十分零散，無法以除草劑或機械進行除草作業時，常以手拔除雜草植株。本法對一年或二年生雜草非常有效，因地上部拔除後，留在土中部份大都無再生能力，但對多年生雜草，因留於土中之部份，具萌發新芽的能力，必須連根拔除或連續拔除至地下營養器官儲存的養分消耗殆盡為止。拔草前，最好能先行灌水，使土壤鬆軟，比較容易將雜草連根拔除，而且也比較省力。

(2)挖掘(digging)

主要針對多年生雜草，自較深土層中挖除其地下繁殖部位。人工拔草往往只是把近地面部分拔起，其餘殘留部位仍能再度生長。一般說來挖掘是耗費人力且緩慢的方法，只在其他機械、物理、化學方法無效、不可行、或不符合經濟效益時採行。

(3)鐵鍬除草(cheeling)

利用鏟或鍬(cheel hoe, spade)將雜草自地際部鏟除，本法適用於一或二年生雜草，因其不具有再生長的地下繁殖構造。在印度的茶園，普遍採用本法。

(4)割草及剪草(sickling and mowing)

以鐮刀或其他工具割除雜草之地上部，主要目的在防止雜草種子的產生，

常用於草坪、路旁、放牧地及水土涵養之坡地，長期而連續的割草亦可減弱多年生雜草之生長勢，而將其清(殺)除。割草的最佳時機在於葉片全面發育且值開花期，因為此時地下根部貯存物質含量最低。當雜草茂密不利噴藥時，先行割草至某一高度後再行噴藥，可以減少除草劑的施用量。

2.機械方法(mechanical methods)

利用機械或物理方法除草，已經在農耕過程被人類使用了數千年之久，雖然新近的化學除草劑提供了不可磨滅的貢獻，但本法仍然佔有重要的地位。即使是最現代化的除草技術，也無法排除其重要性，因而仍直接或間接被用於農耕作業中，以去除雜草。物理除草法運用得是否適宜，受雜草特性及外界環境因子影響甚大，必須對這些因素充分了解，才可收事半功倍之效。

(1)耕作(tillage)

耕作是一種實用而有效的田間除草方法，幾乎對各種雜草均有效。近期的試驗證明，耕作之主要功能在於清除田間雜草，鬆軟土壤以利植物根系發育為其次要功能。

表土翻耕可清除一些萌芽、生長的雜草，同時可將埋在土中之雜草種子翻至表面，促使它們發芽，經再次翻犁可達清除目的。淺根系之多年生雜草，耕作可將雜草清(殺)除。深根系之多年生雜草，因為農地無法長期荒廢不用，則無法多次連續翻犁以消耗其儲存養分，使其飢餓而死，因此，往往尚需配合其他雜草防除法例如除草劑之施用。

深耕大都以曳引機拖動各種犁、耙實施翻轉土壤，翻埋枯枝與雜草，許多雜草枝條及種子深埋土中後，失去生機，但具休眠性的種子，再度翻至土壤表層，仍具發芽為害的能力。深耕作業亦可抑制多年生雜草，以在多年生雜草養分儲存量最低時，效果最好，植株可因養分供應不足而無法萌芽生長。如能在深耕作業後，配合乾燥及曝曬，可將自種子發芽之一、二年生雜草及多年生雜草根莖殺死，收效更佳，曝曬時間得視土壤條件而定。深耕之後實施浸水作業，也頗為有效。

在除草劑被導入雜草防除之後，耕作的效果即與雜草防除無關，只是農業操作的一項而進行再評估，因而有保育性耕作、不整地(no tillage)、最少耕作(minimal tillage)、畦耕作(ridge tillage)、淺耕作(shallow tillage)等作業方式被提出。這些保育性耕作措施主要乃為了減少土壤沖蝕、地表逕流、減少耕種成本及提高淨收益。

(2)鋤草(hoeing)

用鋤頭、鐮刀等剷除雜草，通常適用於庭園、小面積的區塊，或雜草零散無法利用其他農耕機械及除草劑的場合，鋤草不失為一種方便且經濟的除草工具。在許多農業較為落後地區，鋤頭、鐮刀仍為主要的田間除草工具，尤其適用於作物條播栽培方式。剷除一、二年生雜草之地上部，可以達到完全清除的目的，可是對深入土層之多年生雜草的地下營養器官，效果不顯著。必須連續多次，方能消耗其儲存的養分。因多年生雜草萌芽後，幼苗之生長係賴根部供給養分，除草時期應延遲至碳水化合物由根部流出與葉部輸入平衡時為之，此一時期約在萌芽後 10-14 天左右。如此

連續進行數次，可將雜草根部碳水化合物消耗殆盡，使其失去再度萌芽能力。

(3)行間栽培(inter-row cultivation)

在保育性耕作措施中，配合行間栽培，可以減少 60%除草劑使用量，而仍能維持相同作物產量。

(4)生態休耕(ecofallow system)

生態休耕系統又稱為化學休耕系統(chemical fallow system)，是一種搭配以除草劑清除(殺死)雜草，減少耕作之作業。在多雨或少雨地區避免干擾地表殘株和土壤，以達到水土保持的效果。

(5)非現耕苗床(stale seedbed)

非現耕苗床乃指耕作作業並不是正好配合種植期之前，常在作物採收後或下期作前依據土壤水分和環境狀況進行耕作。雖然本作業方式的目標在於減少耕作次數，嚴格說起來並不屬於保育性耕作計畫。非現耕苗床仍能掌握種植期，且播種時能夠擁有已整地且並無雜草的田區。在美國，本作業方式特別適合於排水不良的黏質土壤所種植的水稻、玉米、棉花和大豆等作物。若非現耕苗床在作物播種時已長出雜草，則可施用葉面除草劑如嘉磷塞(glyphosate)、巴拉刈(paraquat)和固殺草(glufosinate)。就像其他減少耕作的系統，在長期的作業之後，產生多年生雜草問題，除了噴灑葉面除草劑之外，可以每四年採行一次深耕，以減少多年生雜草問題。

(6)火燒(burning)

高溫可導致細胞中之蛋白質凝固及酵素不活性，大部份植物細胞的致死溫度在 44-55℃。但乾燥種子之耐熱力強，不易致死，因而對土壤中雜草種子，此法較不具殺除力。常用方法為植物老熟乾枯後，放火燒燬，此法兼具殺除部分病蟲害之效果，但雜草種子落於田面或土壤裂縫，可避開燒死命運。火燄器可採用油或液態瓦斯為燃料，或噴射高溫蒸汽，常用於道路、溝渠、廣場之雜草清除，甚具功效。

(7)淹水(flooding)

長期淹水對許多雜草頗具功效，淹水最好能配合翻耕土壤一遍，浸水期以 3-8 週為宜，水深 5-30 公分，以不讓草長高過水面為宜。淹水可殺除許多旱地一年生或多年生雜草，但對浸於水中呈休眠態之雜草種子效果不彰。

(8)覆蓋(mulching)

利用不透光物質覆蓋土壤表面，使雜草無法獲得生長所必須的光線，因而抑制雜草生長。可利用的物質種類頗多，常用的為稻草及塑膠布二種，臺灣地區鳳梨栽培之塑膠布覆蓋，國外庭園花木栽培之樹皮覆蓋，均為此一原理之利用。表土覆蓋除了可抑制雜草生長外，尚可保持土壤水分，提高土壤溫度，如利用有機材料，還可提供土壤有機質含量，為一相當有效的雜草防除方法。此法適用於庭園花木栽培、果園、苗圃、菜園等經濟價值較高的作物栽培。

五、生態生理學的雜草管理方法

(一)光線(light)

雜草和作物植冠結構(canopy architecture)如株高、分枝位置、最大葉面積指數的高度等，決定光線的競爭和對產量的影響。例如番茄產量減少的程

度來自於東方龍葵(*Solanum ptycanthum*)的競爭影響大過於龍葵(*Solanum nigrum*)，乃由於前者株高大於後者。400-700 nm 可行光合作用的光輻射(photosynthetically active radiation)到達番茄冠層頂部的量與產量呈正相關，而與東方龍葵密度呈負相關(Radosevich *et al.* 1997, Rao 2000)。

(二)環境逆境(environmental stress)

當環境因子出現對於作物生長不利的影響，常使其無法達到最大生長量。同樣地，環境逆境也會影響雜草對於病蟲害感受性和相剋作用(alleopathy)之潛能。雜草種類、雜草與作物的空間分佈、生長期間等都是影響雜草和作物間競爭的生物性因子，也都會受到物理性環境或環境逆境的影響(Radosevich *et al.* 1997, Rao 2000)。

1.水分逆境(water stress)

作物和雜草對於水分利用效率、蒸散率、水分利用效能及水分逆境的反應之變異極大，因而影響二者間競爭能力。獲得水分的能力及忍受缺水的能力，決定其競爭的結果。比較玉米(C_4植物)、高粱(C_4植物)和八種雜草的競爭能力，結果玉米不論在何種土壤水分情況下，都有最大生物量。蒼耳(*Xanthium strumarium*)(C_3植物)、稗草(*Echinochloa crus-galli*)(C_4雜草)、馬唐(*Digitaria sanguinalis*)(C_4雜草)在潮溼或灌溉區域的競爭力較強。地膚(*Kochia scoparia*)(C_4雜草)和 *Salsola iberica*(C_4雜草)則在乾旱區域競爭力最佳，而在潮溼地區最差。

水分逆境也會影響雜草對於作物競爭的關鍵期(critical period)，例如美洲豬草(*Ambrosia artemisiifolia*)對大豆競爭的關鍵期，在乾旱年份為二週，在潮溼年份則為四週。*Setaria faberi* 對於大豆產量降低的影響，在潮溼年份從出土後 10-15 天開始，在乾旱年份則延遲至第 25 天。

2.溫度逆境(temperature stress)

溫度逆境影響作物-雜草競爭，例如比較玉米和七種雙子葉雜草與溫度的關係，結果在日夜溫 18/12℃、24/18℃和 30/24℃時玉米的生長較佳。溫度對於植物相對生長速率(relative growth rate)的影響和其相對葉面積擴展速率(relative leaf area expansion rate)呈高度相關。以玉米、陸稻、落花生和大豆與雜草間的關係而言，在生育早期時的冷涼溫度較適合作物生長，到了後期的溫暖溫度，雜草生長較快，對作物的競爭也較大。所以，若能提早種植作物的時間，將可以增強作物對雜草的競爭力。

3.太陽能處理(soil solarization)

以透明塑膠布(厚度 0.025-0.050 mm)敷蓋在潮溼土壤，可以捕捉太陽光熱能，使土溫達到大部分雜草種子和幼苗的熱致死點(thermal death point)。土溫可提高 8-12℃，甚至土溫會超過 45℃。太陽能處理的效果主要集中在土表 5-12 cm，對較下層土壤的效果較差。對於大多數一年生雜草，必須要有五週的處理，而對於多年生雜草，必須至少處理達五個月。太陽能處理的實施必須在溫暖、潮溼且較強的光照，才能達到所需的土壤溫度。此外，太陽能處理仍僅採用在溫室栽培情況下，想要大面積使用，經濟及環保上的問題仍有待克服。

(三)二氧化碳(CO_2)

增加 CO_2 濃度對於 C_3 植物生長的影響較 C_4 植物來得大，由於許多主要雜草屬於 C_4 植物，而大多數作物為 C_3 植物，調整 CO_2 濃度將可改變作物-雜草競爭關係。將 CO_2 濃度從 350 ppm 增加到 675 ppm，可以增加 C_3 大豆對於 C_4 強生草(*Sorghum halepense*)的競爭力，並降低強生草對大豆的競爭力；甚至於當土壤乾旱時才提高 CO_2 濃度，較有利於作物。不過由於全球 CO_2 濃度增加，造成全球暖化(溫度上升 2-3℃)，其所造成的間接影響(如乾旱增加、氣候不穩定)，遠大於直接對植物生理的影響。

六、控制營養的雜草管理方法

植物營養能夠促進作物生長，但雜草往往有較佳吸收營養的能力，反而增強其對作物的競爭，所以透過改變施肥的策略，可能同時減少雜草的危害，且增強作物的競爭能力(Radosevich *et al.* 1997, Rao 2000)。

雜草與作物對氮肥的競爭最大，當雜草密度低時，增加氮肥施用，可使作物生長和產量增加；但當雜草密度高時，施用多量氮肥，反而不利於作物的產量。高氮肥增加雜草競爭，主要由於雜草對營養的吸收增加且利用效率較高。

減少雜草競爭養分的策略如次：

1.施肥方法(application method)

肥料沿著作物行邊條施較撒施能夠減少雜草競爭。而且深層條施的效果較表層條施為佳，這是由於施肥深度剛好錯過雜草種子的位置。但若雜草根系較深時，則深層條施即不適用。

2.施肥時間(application time)

控制施肥時間可以改變作物-雜草對營養的競爭，傾向較有利於作物的生長。以小麥而言，僅在分蘗開始的三葉期(three-leaf stage)之前，需要較多量氮肥，所以小麥對氮肥的利用有效性偏低。反之，瑞士黑麥草(*Lolium rigidum*)能夠持續地分蘗，且受後期氮肥施用的促進。所以早期施用氮肥，能夠減少瑞士黑麥草對小麥的競爭效果。

3.替代性養分種類(alternative nutrient sources)

作物和雜草對於各種氮肥形式的反應和感受性不同，玉米和野莧(*Amaranthus retroflexus*)對於硝酸鹽和銨鹽有不同的反應，當施用銨態氮及硝化作用抑制劑，造成野莧葉片黃化及縐縮，枝條乾重量減少，總氮累積、鎂、蘋果酸和草醋酸游離量較硝酸態氮處理組增加。玉米則不論施用銨態或硝酸態氮皆不受影響。施用銨態氮對於銨敏感雜草植物巫草(*Striga* spp.)的防除有效，且能減少此氮肥從作物根圈逸失。由於巫草對銨態氮敏感，所以施用銨肥可以顯著減少玉米和高粱田中的巫草發生。

七、控制作物的雜草管理方法

依據作物所擁有的特性如株高、生長習性、植冠形成、葉片的方位、期間、適應性及活力等，針對雜草的缺點，充分利用作物的優點，本法又稱為耕種防除法，對於許多農民及雜草學家而言，一些的方法即使不知道確實的效果，已習慣性的採

用於雜草防除。利用栽培管理方法來達到抑制雜草生長的目的，最常用的方法有輪作與競爭作物等兩種方法。

(一) 競爭性作物及品種(competitive crops and cultivars)

競爭作物通常具快速之初期生長勢及植株高大，莖葉茂盛，具強覆蓋力，因而能與雜草競爭空氣、水分、養分、日光，而收抑制雜草之效果。一般常用的競爭作物有高大的牧草、向日葵、玉米、高粱、苜蓿、燕麥等作物。假如能配合耕作或其他除草措施與競爭作物之栽培，合併實施，效果更為明顯。對競爭作物之選擇尚必須考慮外界之氣候土壤環境，以期適地與適時適作，否則不易收效。

(二)輪作(crop rotation)

適當的輪作制度，能有效的利用土壤及氣候環境，增強作物之生長勢，因而亦增強作物對雜草之競爭力。同時，對作物之田間管理工作，諸如播種期、播種量、施肥、灌排水等作業，對養成健壯的作物非常重要。通常每種作物有其自身病蟲與雜草種類，利用輪作可減弱雜草對不同輪作物之適應性。故安排適宜之輪作制度，無論從作物生產或雜草防除的觀點而言，均屬有益無害。但在施用藥劑除草的場合，對於後作物之選擇，必須是對前作物施用之除草劑具有抵抗性者，否則會受前作物施用除草劑殘留土壤毒性之影響而受害。

(三)間作(inter-cropping)

間作主要著眼於土地最大利用及減低歉收風險，但也能夠顯著地抑制雜草生長。在有高粱間作的樹豆(pigeon pea)田中，較單作樹豆田間減少 10-75%的雜草生長。

(四)混作(companion cropping)

混作除了提供較佳的雜草競爭力，且能增土壤中有機質，降低土壤沖刷且改善水分的穿透。在高莖作物(如玉米、高粱、甘蔗和粟)、多年生作物(如茶、咖啡)和長期經營的園藝作物和樹木，豆類是很好的混作作物。在玉米田中混作豆類作物的試驗結果顯示，從不除草區且無耕犁田區的 1.6 ton ha^{-1} 產量，增加到無耕犁且混作豆類田區的 2.7 ton ha^{-1} 產量。在水稻田中長滿浮游蕨類滿江紅(*Azolla pinnata*)，則是另一種混作方式。

(五)種植密度(planting density)

經由提高播種率、縮短行株距等措施，增加種植密度，可提高作物對雜草的競爭性。高種植密度產生遮蔭效果，可以防止雜草種子發芽、出土和盤據。當三葉草的行距從 108 縮至 36 cm，或撒播的播種量從 0.33 增至 3.0 kg ha^{-1} 時，雜草乾重量也跟著減少。

八、促進雜草種子休眠及發芽

雜草種子休眠和發芽受到環境、土壤(edaphic)、生理和遺傳因子等複雜交互作用的調節。幾乎所有的耕種措施都會影響這些因子，主要是改變土壤中種子的生理環境，影響胚形成(embryogenesis)和種子後熟(seed ripening)。耕作措施也會透過影響種子數

量返回土壤或自土壤移除等情形，而改變雜草族群動態和組成(species composition)(Dyer 1995)。

(一)耕作(tillage practices)

耕作措施攪動土壤，常會促進雜草幼苗出土。減少雜草種子再返回土壤中，且促進雜草種子發芽，能夠降低雜草種子庫的大小。在許多年的耕作以刺激雜草種子發芽之後，其種子族群可降低至原先數量的 10%。不過，土壤中還是存在有可長期休眠的雜草種子，如何促進休眠種子發芽，將可解決此長期性雜草問題。

(二)化學促進劑(chemical stimulants)

能夠刺激活性和休眠性種子發芽的化合物，包括有植物生長調節劑(激勃素、細胞分裂素和乙烯)、植物生成物(strigol、fusicoccin)、呼吸作用抑制劑(azide、cyanide 及 hydroxylamine)、氧化劑(次氯酸鹽、氧)、氮化合物(硝酸鹽、亞硝酸及硫尿素)、有機溶劑(丙酮、乙醇、乙醚及氯仿)等。

1.乙烯(ethylene)

乙烯是控制巫草的重要方法，能夠刺激巫草種子發芽且減少土壤中休眠種子數量。在 20 cm 土壤深度，灌注 1.7 kg ha^{-1} 乙烯氣體，能夠降低土壤中休眠巫草族群 91%。乙烯氣體在土壤中可擴散至 90 公分深，120 公分寬；乙烯有效濃度可在土中維持 6 小時以上。在最佳狀況，接觸巫草種子達二小時，即可啟動發芽，再搭配萌後除草劑，可以有效防除巫草。不過乙烯處理對其他雜草種子的效果仍然有限。

2.硝酸鹽(nitrates)

硝酸鹽已知能夠促進許多雜草種子發芽，特別是搭配光線、寒溫(chilling)或變溫處理。在田間，硝酸銨能夠增加一些雜草，如野燕麥、芒稷(*Echinochloa colonum*)等發芽，但對其他雜草(如白藜、*Setaria faberi* 等)則不具效果。雖然硝酸鹽效果並非立即而明顯，但其長期效果包括有降低休眠性及減低雜草壽命。硝酸態氮肥除了做為作物肥料之外，也能夠刺激雜草種子發芽，進而降低雜草的競爭力。

3.疊氮化鈉(sodium azide)

疊氮化鈉是一種有氧呼吸抑制劑，已知能夠刺激雜草種子發芽。在土壤中加入 11.2 kg ha^{-1} 疊氮化鈉，能夠增加 4 倍的野燕麥幼苗出土率。由於疊氮化鈉很快就從土壤逸失，使用時必須深層且全面施用，且控制土壤水分，使其能夠在逸失前，快速和雜草種子作用。由於此藥劑也是一種誘變劑及殺菌劑，並不建議應用於環境中。

4.巫草醇(strigol)

巫草醇是一種棉花根部分泌物，在 10^{-2} M 濃度下，就能夠刺激巫草、列當(Broomrapes, *Orobanche* spp.)種子發芽。在土壤施用 0.3 - 4.5 kg ha^{-1}，巫草醇可在潮溼土壤殘留 21 天，且有足夠數量被淋溶到達 30 cm 深土壤，誘致巫草種子最大發芽率。

5. 促進劑的有效利用(effective utilization of stimulants)

雖然化學促進劑能夠打破種子休眠且促進雜草種子發芽，但在田間的成功率，仍然受到許多因素的影響。

(1) 在發芽高峰期，將化學促進劑灌注土壤中，可使較多雜草種子發芽，而使得只有少數不發芽種子殘留土中。
(2) 在大量雜草種子處於非休眠狀態或其進入二次休眠之前施用化學促進劑，以夏季一年生雜草而言，促進劑應在低溫時期(晚冬)處理。以冬季一年生雜草而言，促進劑應在高溫期(晚夏或早秋)，於整地和種植作物之前施用。

九、生物性雜草管理方法

利用病原、昆蟲或其他生物對植物作生物防除，是自然界早已存在的現象，生物性雜草防除法是一種有效的、長期性的、無環境污染性的、且經濟性的雜草防除方法。可是它最大的缺點，萬一應用不慎，常會引進新的作物病蟲害，危害經濟作物的生產，其損失往往大於除草所得，因而雜草的生物防除，得經過週密的考慮與策劃，方可付諸實施，以免意外的損失。此外，生物防除法無法針對田間複雜雜草族群，進行全面的防除，僅能對一種或數種特定的雜草發生作用。而該雜草防除後之生態空隙，易為他類雜草填補，致使防除效果逐漸降低，是為另項缺點(李 1992, 陳及徐 1994)。

雜草生物防除法可利用之生物，種類繁多，包括病原、昆蟲、草食性動物等。從過去成功的例子，可以發現以應用昆蟲為最頻繁，例如夏威夷之馬纓丹(*Lantana camara*)利用 *Crocidosema lantana*(蛾)及 *Agromyza lantana*(潛葉蠅)之幼蟲蛀食馬纓丹的花及果實。仙人掌(*Opuntia* spp.)原產美洲，達數百種，其中有 26 種被引進澳洲作為園藝植物。1839 年引進作籬笆的仙人掌(*Opuntia stricta*)由於擴展迅速，於 1880 年被視雜草。仙人掌生長茂盛，高出地面 1-2 公尺，行人難以通行。由於防除費用高昂，每公頃約需 25-100 美元，多被廢棄荒田。直到 1920 年從原產地引進其天敵仙人掌蛾(*Cactoblastis cactorum*)，才得以有效控制。

貫葉金絲桃(*Hypericum perforatum*)是一種有毒的多年生雜草，廣布於歐亞大陸。在過度放牧的草場上，牛羊喜食的草本植物減少，貫葉金絲桃成了重要危害雜草。當牲畜取食少量時，刺激口舌，降低食慾，大劑量則毒害致死。據報導，1904 年被帶入美國加州北部，到 1944 年，擴展到 80 萬公頃。用化學藥劑雖能殺死它，但耗資巨大。直到引進雙金葉甲蟲(*Chrysolina quadrigemina*)才得以控制。此葉甲的幼蟲在冬季啃食葉基，使其次春不能長葉，於是根不能貯存營養，3 年後在乾旱夏季中死亡。上述三例，都是以草食性昆蟲防除雜草成功之實例。

草食性家禽如鵝、火雞等，放飼於果園，可清除果樹底下的禾本科雜草。牛、羊類家畜亦可適合於某些特殊作物地區，以清除雜草。溝渠中之水生雜草，夏威夷曾於 1955 年自非洲引進福壽魚(*Tilapia mosaambica*)，放飼於灌排水渠，成功的清除溝渠中的雜草。如在美國加洲，利用黑芥(*Brassica nigra*)種植於牧野，能抑制矮橡樹種子的萌芽，是利用相剋物質來除草的成功實例。有關植物毒素之研究，目前甚受學術界的重

視，必能有所突破，成為有用的除草工具。

到目前為止，已經有許多種能除草的微生物病原體進入除草劑市場，或即將進入市場。還有十幾種目前仍在實驗室進行它們安全性的觀察。大多數利用做除草的微生物均為真菌(fungi)。不過有些地區，許多人也嚐試利用植物病毒、細菌、甚至線蟲來進行各種除草的實驗。

第一個通過科學及法規審查的病原性生物(pathogenic organism)約在 1980 的初期進入雜草生物防除劑市場。在全球生物性除草劑市場上具有先驅地位的真菌是 *Colletotrichum gloeosporioides* f.sp. *aeschynomene*(一種炭疽病菌)，其商品名稱為 Collego，用於防除野豌豆(northern joint vetch)。在以往，農民在耕作之前，均先採用一苯氧系除草劑(phenoxy herbicide)，主要除滅野豌豆。然而，此除草劑若使用不當，就會傷及水稻，甚至有時更傷及臨近田裡的棉花與大豆。相對的，Collego 這種真菌性除草劑(mycoherbicide)對作物就不具傷害性。使用這種藥劑雖然需要較長的時間才能看到效果，但效果可達 99%。因此若不求速效，本藥劑是一種很好的除草劑。另外，利用銹病菌(*Puccinia chondrillina*)可導致植物產生銹病的特性，也具有除草能力。例如在澳洲，他們引進這種病原，它可幫助澳洲農民防除由地中海傳入的骨骼草(*Chondrilla juncea*)。雖然這種真菌除草劑並不能根除骨骼草，但利用傳統除草劑及人工除草，所花費的費用遠比此法為高(TeBeest and Templeton 1985)。

其他已開發成功且商品化的真菌除草劑有 DeVine [真菌 *Phytophthora palmivora*，主要用於美國佛州柑桔園，防除 strangler vine (*Morrenia ordorata*)] 、 Casst [真菌 *Alternaria cassiae*，主要用大豆及花生田，防除鈍葉決明(sicklepod, *Cassia obtusifolia*)]、MYX-1200 [真菌 *Fusarium lateritium*，主要用棉花及大豆田，防除蒼麻(velvetleaf, *Abutilon theophrasti*)]。真菌除草劑可單獨使用或與其他化學藥劑混合使用，可供雜草綜合管理之採行(鍾 1990)。

成功的生物性雜草防除工作，其成功的先決條件為(1)被防除的雜草，須為非本地原產，是由外地引進的，方可免受既存天敵之影響，破壞自然生態的平衡；(2)選用之防除原須在本地無自然天敵存在，以免防除原之族群無法昇高至足以抑制雜草族群之密度；(3)被防除之雜草須是週年生長者，方足以提供防除原之週年食料來源。至於防除原的選用，也需極為慎重，必須是絕對的單一食性，能快速自行繁殖及散佈，且不至於危害經濟作物者。

傳統生物性雜草防除原，一經釋放，能在自然界自行繁殖、散佈，可長期存在於自然環境中，不會消失。對農藥業者幾乎無利潤可言，未能引起業界的興趣，進展受到限制。但是，現代生物除草劑(bioherbicides)係利用自然界既存的生物，以人工在室內大量培養繁殖，田間施用如同化學除草劑，噴施接種於雜草植株上，以清(殺)除或抑制雜草的生長，甚為方便。

美國生物除草劑學者 Daniel *et al.* (1973)認為選擇性生物除草劑必須具備

的首要條件為(1)可以人工大量培養、繁殖；(2)可以噴施方法接種；(3)對寄主雜草具穩定而單一的為害性；(4)強環境適應性，不因環境改變而喪失有效性。此外，有些學者認為，尚需具備(1)低越冬生存力；(2)低再接種傳播力；(3)長接種時效與(4)低寄主抵抗性等次要條件。

雜草防除用生物製劑一直是發展較弱勢的一環，雜草防除仍以傳統農藥為主。台灣有關於生物性除草劑的研究並不多，Chiang *et al.* (1989)從事強生草的真菌性病原篩選及寄主範圍測試，施等(1994)進行以昆蟲防除布袋蓮之研究。因為生物除草劑的發展潛力極大，業者也認為有相當的利潤可追求，正多方面從事開發研究工作。陳等(2003)以小花蔓澤蘭為例，認為未來可從原產地尋找並引進天敵來加以防除，將其壓制在經濟危害水平之下。但與化學除草劑開發過程最大不同之點，乃因生物除草劑的危險性極高，稍一不慎，就能引起農業生產的重大災害，故政策上的限制較為嚴格，目前的情形，都由政府機構主動進行研究，或與業者合作開發，再將成果轉移於業者生產。

抗除草劑基因改造作物(genetically modified crops, GM crops)如玉米、棉花等，為生物科技應用在雜草防除上最為成功之實例，在減低傳統除草劑用量上極有裨益，但仍有民眾對基因改造作物抱持疑慮的態度。2003 年全球基因改造作物的種植面積估計為 6,770 萬公頃，全球基因改造作物種植面積的年成長率為 15%，持續第七年成長率(%)達兩位數。於 1996 年至 2003 年八年期間，具耐除草劑特性的基因改造作物仍是種植最多的基因改造作物。

十、化學性雜草管理方法

隨著 2,4-D 等有機除草劑的問世，在雜草防除上產生劃時代的革新，開創除草劑的新紀元。因其使用方便，效果好，普遍被農民採用，大量減少除草的人力與成本的支出，已成為現代農業栽培之主要除草方法。在許多先進國家，除草劑的銷售已超過殺菌劑，佔農藥銷售的第一位。至於除草劑的田間施用，可由施用時期與施用位置兩方面來討論(邱及鍾 1996)。

(一)施用時期

依據作物種植與否或萌芽與否，而分為植前、萌前或萌後等三種方法。

1.植前處理(preplant treatment)

在作物種植前及雜草萌芽前施用除草劑於土壤，其施用方式可分為植前土表處理(preplant soil surface treatment)和植前拌土處理(preplant soil incorporated treatment)兩種方式。植前土表處理最大的好處，是可避免耕作所造成的土壤壓實與土壤水分散失的不良副作用，而其不利因素則為易促成藥劑的流失或散失，縮短除草有效期間；植前拌土處理的優點與缺點正好與植前土表處理相反。

2.萌前處理(pre-emergence treatment)

在作物及雜草萌芽前施用除草劑，此一處理方式，亦可分為萌前土表處理及萌前拌土處理，通常為了減少作業成本支出，萌前土表處理常與播種工作合

併進行，一次完成施藥與播種。萌前拌土處理常用於易揮發或易光分解的除草劑，但實施拌土處理時，必須注意確實將藥劑混拌於雜草種子萌芽的土層，以收防除雜草之效。勿將藥劑混拌於作物種子分佈的土層，免得造成作物與藥劑接觸的機會，減弱選擇性，使作物產生藥害。

3.萌後處理(post-emergence treatment)

有兩種方式，一為作物萌後而雜草萌前的施藥處理，另一為作物及雜草均屬萌後的施藥處理。前者常用於果園等多年生作物，有時需配合特殊的施藥器具行拌土處理，以增強除草效果。而後者可行田間全面處理或局部的定點處理，因對田間發生的雜草種類與分佈情形有了事先了解，較易選擇有效的除草劑，用藥量方面，萌後處理亦可較植前或萌前處理為低，如 2,4-D 的用量，萌前處理約為 1.0 kg (a.i.) ha^{-1}，而萌後用量則為 0.5 kg (a.i.) ha^{-1}，可減少一半。

(二)施用位置

可分為全面或局部二種田間藥劑處理方式。

1.全面處理(broadcast application)

雖然仍採用傳統的全面田間藥劑處理方式，但在藥劑施用器具及方法上有所改善，許多新的施用方法與器具推出。如三福林(trifluralin)的底土施用，大為增加三福林對香附子的防除效果。空中噴藥能於短期間行大面積的田間施藥處理，herbigation 施藥法更將藥劑直接注入水中，藉水力量以散佈藥劑，不但適合於清除水渠雜草，且可更擴展至農藝作物，將雜草防除與水管理合併實施，均可大為降低雜草防除的成本。

2.局部處理(directed spot application)

僅對雜草發生的地方，行局部而直接的施藥處理，此一施藥方法的改善，不但大為減少藥劑的用量，且為許多非選擇性的除草劑，提供選擇性的用法。如嘉磷塞(glyphosate)之塗抹施藥法及循環施藥法，使得嘉磷塞可用於大豆及高粱田中，以防除許多高大的雜草植株。

十一、綜合性雜草管理方法

二次世界大戰之後，有鑒於殺蟲劑的大量使用，在昆蟲之防除上，先後發生諸如昆蟲的抗藥性，因而防除費用增加及環境污染等問題。昆蟲學家於是提出綜合性之蟲害防除工作，以謀求解決上述問題，此後，此一觀念仍逐漸擴展至病害及雜草之管理工作上。精準農業(precision agriculture)是當今世界農業發展的新潮流，在某特定農地上，配合各區的特殊情況，以最佳的科技，包括資訊的收集、分析、以及決策等，來釐定個別的土壤與作物管理方式。並且進行個別的耕作措施，以期達到資源的最佳利用，此種農耕技術稱為精準農業。精準農業理念係依照土壤性質及農作物生長之需要，給與適當的資源投入及處理措施，避免多餘的資源投入和對環境的破壞。實施精準農業的結果，將正面的改進農作物生產系統(包括雜草及病蟲害管理)的效率和不當環境污染，在環境保護、生態維護及經濟效益上得到最佳平衡(劉 2000)。

雜草族群是一複雜而動態的族群，

它們不但本身相互作用，並與作物、昆蟲及病害相互影響，而且在實施管理時，防除方法與成效易受外界環境之影響，也可影響所處環境。因而現代的雜草管理是運用物理、栽培、化學和生物的方法於一體，進行綜合性的防除，以最少的經費支出，獲致最大的防除效果。並對環境不利的影響降至最低，故有效的雜草管理方式得同時兼顧經濟性、生態性與社會性的影響在內。早期的雜草防除工作為非化學性的，包括清潔的種子、整地、耕作、火燒、浸水與輪作等方式，這些方法直到現在仍然被農民所採用，但其重視程度則隨農業機械化、除草劑之施用而日漸降低。但自能源危機、雜草相改變及環境污染等問題陸續發生之後，有機農業(organic farming)的實施，這些傳統的除草方法，又再度受人們所重視。

雜草綜合管理強調配合農業生態體系以管理或防除雜草，是兼具預防性、防除性及根除性的雜草管理功能，是整個農場管理體系中的一部份，非某單項作物或單一年度的雜草防除計畫而已，而是考慮整個農場長遠的及全面的經濟效益為著眼點。綜合性的雜草管理工作，可綜合利用高競爭性、豐產、適應性強的作物品種，配合適當的肥培及水分管理，形成適當的作物植冠，以促進作物的競爭力，抑制雜草的競爭作用。綜合管理作業應包括植前的田間整地、播種量與深度、行株距，也包括適時的中耕作業、作物的輪作制度、收穫調製、利用生物防除原、以及化學性的防除方法，更包括與病蟲害防治的配合等在內。現今作物栽培仍以除草劑為雜草防除的主體，但應再配合其他的雜草防除方法，使雜草管理更為可靠、有效與經濟，而且將對環境的不利影響降至最低。

十二、結語

「雜草管理」是指在雜草族群足以造成農作物經濟損失時，所採行的必要防除措施與策略。據此，在雜草危害尚未達到農作物經濟價值淨損失前，將必須及時採行因應對策，包括生物性與非生物性(理化)方法，以及人為耕作或處理等。如此，在不衝擊環境的前題下，適當的管制雜草族群數量以維持適度(可以接受的)的農作物生產。雜草防除工作需從作物損失、防除費用、危險程度，對耕種者及消費者的利益、環境與社會損益進行全盤評估後方能擬定有效的計畫，據以付諸實施。

臺灣高溫多濕，雜草種類繁多，尤其適合雜草週年生長，現行的農耕作業仍以雜草防除為主，在農藥使用控制上尚不盡人意，藥劑除草後所面臨之雜草種類變遷，除草效果漸減等問題，確實值得雜草科學研究學者專家持續予以重視。臺灣農藥之消耗量依臺灣區農藥同業工會 1994 年統計報告，顯示全省農藥消耗量除草劑約 3,400 公噸，佔第一位，雖然目前人類不能完全避免除草劑的使用，但低毒性及低用量的除草劑，將是未來除草劑研究發展的趨勢。

十三、參考文獻

全球商業化轉基因作物狀況。2003。http://gmo.doh.gov.tw/NewsIn.asp?id=200

40211150335491238#

行政院農業委員會動植物防疫檢疫局。2002。農地上小花蔓澤蘭調查結果及因應對策。http://www.phicroc.gov.tw/tpc/hotnews2002/20020313.htm

李文權 譯。1992。雜草的生物防除法。科學農業 40(3-4): 219-226。

邱建中、鍾維榮。1996。除草劑與雜草防除。中華民國雜草學會、台中區農業改良場，臺中縣霧峰鄉。311 pp.

陳曉望、徐慈鴻。1994。生物除草劑。中華民國雜草學會會刊 15: 95-99。

陳滄海、陳仁昭、汪慈慧、王均琍、趙永椿。2003。小花蔓澤蘭(*Mikania micrantha*)之生物防除。p.79-96。小花蔓澤蘭危害與管理研討會專刊。中華民國雜草學會出版，花蓮縣花蓮市。

施劍塋、王前智、古德業、陳秋男、張弘毅。1994。布袋蓮之生物防除。中華民國雜草學會會刊 15:57-94。

劉天成。2000。我國精準農業的發展方向與策略。農政與農情，2000 年 1 月。

鍾維榮。1990。生物性除草劑介紹。農藥世界 86:36-39。

蔣慕琰、蔣永正、袁秋英、徐玲明。1995。雜草防除 p.317-334。林益昇、鄭清煥、高清文(主編)。台灣農家要覽，農作篇(三)植物保護。豐年社，臺北市。

Aldrich R.J. and R.J. Kremer. 1997. Principles in Weed Management. 2nd ed. Iowa State University Press, Ames. 455 pp.

Ashton F.M. and T.J. Monaco. 1991. Weed Science Principles and Practices. 3rd ed. John Wiely & Sons, New York. 466 pp.

Chiang M.Y., C.G.Van Dyke and K.J. Leonard. 1989. Evaluation of endemic foliar fungi for potential biological control of johnsongrass (*Sorghum halepense*): Screening and host rang tests. Plant Dis.73: 459-464.

Daniel, J.T., G.E. Templeton, R.J. Smith and W.T. Fox. 1973. Biological control of northern joint vetch in rice with an endemic fungal disease. Weed Sci. 21:302-307.

Dyer, W.E. 1995. Exploiting weed dormancy and germination requirements through agronomic practices. Weed Sci. 43: 498-503.

Flint, M.L. 1990. Chapter 6. Pests on the Garden and Small Farm. p.183-209. *In*: A Grower's Guide to Using Less Pesticide. Univ. of California, CA.

Radosevich, S., J. Holt and C. Ghersa. 1997. Weed Ecology: Implications for Vegetation Management. 2nd ed. Wiley, New York. 589pp.

Rao, V.S. 2000. Principles of Weed Science. 2nd ed. Science Publishers, New York. 555 pp.

TeBeest, D.O. and G.E. Templeton. 1985. Mycoherbicides: Progress in the biological control of weeds with plant pathogens. Plant Dis. 69: 6-10.