

因應氣候變遷之田間雜草管理調適策略

蔣永正*

行政院農委會農業藥物毒物試驗所公害防治組

摘要

氣候變遷是近百年來人類所面臨的最大威脅和挑戰。由溫室效應牽動的氣候異常現象如高溫、乾旱、水患等，均已對環境產生巨大的衝擊。雜草的特點為具有遺傳的多樣性，當光照、水分、二氧化碳或養分等環境資源發生改變時，雜草在生長或繁殖上會表現出明顯的反應，以提高它們的競爭優勢。大氣中二氧化碳含量的增加，有利於田區中與栽培作物具相似生長習性的 C₃ 型難防治雜草的生長，改變作物與雜草的競爭情勢。溫度的升高會促使雜草萌芽及茂盛生長，也可能擴展雜草的蔓延範圍，如入侵雜草擴大其分布的地理位置。二氧化碳、氣溫、降雨量等環境的改變，不僅影響農地和環境中雜草相的分布，也某種程度的降低了現行雜草的管理成效。針對目前普遍採行的化學防治，在高土溫下會加速土壤施用型除草劑的降解速率，縮短控制的殘效期。乾旱會導致葉表角質層的增厚或葉片茸毛的增加，因而影響葉片對除草劑的吸收量，同樣也會干擾作物的生長和對藥劑的敏感性。任何從氣候變化引起的溫度、風速、土壤濕度和空氣濕度的變化，都會直接或間接的影響農藥施用的有效性。面對氣候變遷下的雜草管理方式，預防和早期偵測是減少雜草蔓延的首要步驟，配合作物栽培管理制度，合理使用化學藥劑或生物防治劑，則為適度控制雜草發生的必要策略。

關鍵詞：雜草、競爭作用、入侵雜草、除草劑、雜草管理。

Adaptation Strategies of Weed Management for Coping with Climate Change

Yeong-Jene Chiang*

Plant Toxicology Division, Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Taichung 41358, Taiwan

ABSTRACT

Changes in temperature and carbon dioxide are likely to have significant effects on weed biology by CO₂ stimulation of weed growth and climatic variability. Weeds have a greater genetic diversity than crops. Consequently, if a resource (light, water, nutrients or carbon dioxide) changes within the environment, it is more likely that weeds will show a greater growth and reproductive response. As CO₂ rises, C₃

plants are likely to benefit more, and respond with increased net photosynthesis, growth, and yield, compared to C₄ plants. However, many growers recognize that the worst weeds for a given crop are similar in growth habit or photosynthetic pathway; indeed, they are often the same uncultivated or “wild” species. For all weed/crop competition studies where the photosynthetic pathway is the same, weed growth is favored as CO₂ is increased. Increasing temperatures may mean an expansion of weeds into higher latitudes or higher altitudes. Certain weed species currently restricted to the warmer south are migrating northward, to become stronger competitors. Clearly, any direct or indirect impacts from a changing climate will have a significant effect on chemical management. Changes in temperature, wind speed, soil moisture and atmospheric humidity can influence the effectiveness of applications. Drought can result in thicker cuticle development or increased leaf pubescence, with subsequent reductions in herbicide entry into the leaf, a decline in chemical efficacy with rising CO₂. Effective weed management in these environments could encompass implementing an integrated weed management strategy primarily targeted at weed monitoring and prevention to reduce the spread of weeds, and herbicides and mechanical control can be lessened.

Key words: Weed, Competition, Invasive plant, Herbicide, Weed management..

前言

雜草具有適應力強及快速繁殖的生育特性，在農作生產上會引起競爭或非競爭性的經濟危害，在環境中可能影響環境品質與資源利用、威脅人畜健康與破壞物種多樣性等生態危害。大多數雜草不論環境適宜與否，種子的產生量都非常可觀。如稗草(*Echinochloa crus-galli*)的單株種子量為 7,000 粒，馬齒莧(*Portulaca oleracea*)為 50,000 粒，牛筋草(*Eleusine indica*)40,000 粒，青莧(*Amaranthus patulus*)則接近 110,000 粒。根據 61 種雜草的調查結果顯示，單株平均數量高達 26,500 粒(Renz, 2002)。此外許多雜草如芒稷(*Echinochloa colona*)、稗草、狗牙根(*Cynodon dactylon*)、雙穗雀稗(*Paspalum distichum*)、毛穎雀稗(*Paspalum conjugatum*)、大黍(*Panicum maximum*)、強生草(*Sorghum halepense*)、白茅(*Imperata cylindrica*)、香附子(*Cyperus rotundus*)、刺莧(*Amaranthus spinosus*)及馬齒莧等均為常見之 C₄型雜草，此類植物之光合作用效率、飽和光照強度、水分利用效率及生長速率均較 C₃型的作物為高，產生之光合產物也可快速分配到幼嫩器官中以供生長發育(Elmore and Paul, 1983)。一般雜草多具有抗逆境的遺傳特質，基因型及外表型的可塑性高，會發展出適應環境的特化生理機能。如馬唐草(*Digitaria sanguinalis*)在極端乾旱下會延緩生長，馬齒莧則調整葉片生長方式，降低蒸散作用避免水分過度散失(Bastiaans *et al.*, 1983)。某些雜草對貧乏環境具有高度耐受性，也會快速有效的吸收環境中的養分和水分，如刺莧與牛筋草植株在含氮

量極高的土壤中，可充分吸收氮素且加速生長，顯示對可用營養源的正向反應能力(Bastiaans *et al.*, 1983)。

農地雜草相的變化與土壤內雜草種子庫(soil seed bank)的組成及多寡密切有關。雜草相的分布則受到生育環境如作物種類、土壤含水量、耕犁深度，氣候環境如溫度、雨量，及管理方式如除草劑類別、施用方式等影響。此外，近些年來由於人為活動的頻繁，外來植物的移入也造成本地草相的明顯改變。

全球氣候的變遷意味著極端天氣的變化，在物種存活和生態組成上都面臨極大的衝擊。作物在異常的氣候環境下，對雜草的競爭危害也變得更加敏感。本文主要討論二氧化碳、氣溫、雨量等環境因子的變化，對農地和環境中雜草的發生及防除造成的影響，同時探討在管理上須強化的部分，達到兼顧生產效益與環境保護的管理水準。

氣候變遷對雜草生育的影響

大氣中因為二氧化碳濃度的增加，氣候發生顯著的變化，成為全球暖化、冬季多雨和夏季少雨的氣候。高溫會促使雜草生長茂盛，對稗草等發芽需要有高土溫的雜草，之前在密植早播的作物田，會因為萌芽期晚對作物的競爭威脅性低，但在氣溫升高的環境中，因為提早萌發造成極大影響。此外任何造成作物生長的逆境因子增加，都可能使它們更容易受到病蟲原的攻擊和降低與雜草的競爭力(Patterson, 1995)。

1. 二氧化碳的增加

大氣中二氧化碳濃度短期性(六個月以下)的增加，會提高 C₃ 植物的光合作用效率達 52% (Lin, 1998)。主要因為 Rubisco 酵素的二氧化碳飽和度提高及光呼吸過程受到抑制(Bert and Drake, 1997)。C₄ 植物因光合作用效率原本即較 C₃ 植物高，在二氧化碳濃度倍增下，光合作用效率只提高 4% (Kimball *et al.*, 1993)。但光合作用效率的促進，在長期性(超過六個月以上)影響下，則會隨著時間的延長而逐漸消失，即植物對二氧化碳表現出光合適應現象(photosynthetic acclimation)。通常植物會對二氧化碳的固定能力下降，葉片中會累積澱粉粒和蔗糖，同時 Rubisco 的含量也下降(Bert and Drake 1997)。二氧化碳濃度長期持續的增加，葉片氣孔密度將會減少，導致蒸散作用降低，而提高水分利用率。但蒸散量減少會使葉溫升高，同時因為溫室效應造成氣溫升高下，當葉片溫度超過一定限度時，C₃ 植物的光合作用則會受到抑制(Lawlor and Mitchell, 1991)。其他有關葉面積大小及葉綠素含量等，也都有不同的影響程度。

另外二氧化碳濃度升高時，植物對氮供應量的反應具有調節作用(Wang *et al.*, 2000)。小麥(Hocking and Meyer, 1991)、菸草(Stitt and Krapp, 1999) 在氮供應充足時，二氧化碳濃度升高會導致植物的生物量顯著增加；氮供應受到限制時，植物的生物量的增加趨緩。通常氮的供應低到一定程度時，高濃度的二氧化碳對植物生長的促進作用也會消失，生物量不會再增加。

研究發現金銀花(*Lonicera Japonica*)生長在二氧化碳濃度升高的環境裡，葉面積擴展和新葉發生數的增加遠比北美原生的貫葉忍冬(*L. sempervirens*)明顯。且此兩種藤蔓的反應也都比其他類型的木本植物強烈，可能與藤蔓類依賴其他植物的支撐，本身不需要把增加的碳素分配給支持組織，可顯著提高其入侵潛力。顯示二氧化碳濃度的改變也會促使某些種類植物產生形態上的可塑性(Sasek and Strain, 1991)。

2. 溫度

一般發生在高溫下的熱帶雜草，即使具有極強的侵略性，但因為溫度的限制也不容易擴散到低溫地區。溫度升高意味著雜草會從低緯度或低海拔處擴展到高緯度或高海拔區域。平均氣溫的升高，會導致某些雜草擴大其蔓延的範圍。當低海拔雜草植株遷移到高地時，對高山地區特有的原生植物，則可能造成嚴重的競爭威脅。如出現在亞南極 Heard Island 的早熟禾(*Poa annua*)隨著冰川溶解，已迅速蔓延至原為冰川覆蓋的地區(Scott and Kirkpatrick, 2005)。

根據農委會農業藥物毒物試驗所公害防治組雜草研究室，於 2009-2010 年中南部地區水田草相調查結果，顯示以往密度較高之滿天星、紅骨草等已相當少見，尖瓣花、千金子即美洲母草則有增多之趨勢(Table 1) (Chiang and Chiang 2010)。同時之前在二期稻作田普遍發生之尖瓣花(*Sphenoclea zeylanica*)，於一期作也有相當程度的出現，此現象在

Hsiao et al. (2011)水稻田草相期作差異之調查結果相近。

3. 雨量

農作環境中植物對乾旱的反應，視種類和栽培條件而異。雜草的分布也會受到雨量的限制。乾旱造成的土壤乾燥狀況下，會延長雜草種子庫的壽命。淹水則會將雜草繁殖器官經由水道傳播到新的地區。不論是乾旱或淹水都可能降低原生植物的競爭力，提供雜草入侵的機會。如一種原產於非洲的熱帶膠樹(*Acacia nilotica* spp. *indica*)，最初在澳洲北部的乾旱草原上緩慢發生，目前已快速擴散到南部多雨地區(Kriticos 2003)。另一種具耐鹽特性的惡性雜草 *athel pine* (*Tamarix aphylla*)，目前也已遍及維多利亞遠至南部地區的內陸河域，造成河川淤塞河堤侵蝕(Hayes et al., 2009)。

有毒植物豬草 (*Ambrosia artemisiifolia*)適合生長在潮濕肥沃的土壤中，在乾燥的環境中生長雖然受到限制，結實量降低，卻仍能完成生活史，產生有活力的種子。但是當群落中有大量的多年生草本植物存在時，由於多年生草本植物的地下根系龐大，吸收水分及營養的能力強，使豬草處於競爭劣勢，得不到生長發育所需的足量水分及營養供應，會逐漸處於衰退狀態，此外由於多年生草本植物的枯枝落葉形成了厚厚的地被層，影響豬草種子的萌發，因此在沒有受到干擾的草原地區不易發現其蹤跡 (Bohren 2007)。顯示土壤含水量、水質、水位的高低會影響入侵植

Table 1. Paddy weeds in Central Taiwan have shifted considerably since the 1960s¹⁾ (Chiang and Chiang, 2010).

Weed	1961-66	1981-82	2009-2010
球花蒿草 (<i>Cyperus difformis</i>)	+++++ ²⁾	+++++	+++++
稗草 (<i>Echinochloa crus-galli</i>)	+++++	+++	+++
鴨舌草 (<i>Monochoria vaginalis</i>)	+++++	+++++	++
滿天星 (<i>Alternanthera sessilis</i>)	+++++	-	-
鱧腸 (<i>Eclipta prostrata</i>)	++++	-	++
木虱 (<i>Fimbristylis miliacea</i>)	++++	+++	+++
母草 (<i>Lindernia procumbens</i>)	++++	+++++	+++++
螢藺 (<i>Schnoenoplectus juncooides</i>)	+++	++	++
水莧 (<i>Ammannia baccifera</i>)	-	++++	+++++
多花水莧 (<i>Ammannia mutiflora</i>)	-	+++	+++++
碎米莎草 (<i>Cyperus iria</i>)	-	-	+++
千金子 (<i>Leptochloa chinensis</i>)	-	+	+++
泥花草 (<i>Lindernia anagallis</i>)	-	+++++	++++
美洲母草 (<i>Lindernia dubia</i>)	-	-	+++
紅骨草 (<i>Rotala indica</i>)	-	++++	-
尖瓣花 (<i>Sphenoclea zeylanica</i>)	-	-	++++

¹⁾ Number of sampling sites: 1961-66=279, 1981-82=190, 2009=283.

²⁾ Frequency: - = 0-2.5%, + = 2.5-5%, ++ = 5-10%, +++ = 10-20%, ++++ = 20-40%, +++++ = >40%.

物的生存。

氣候及環境的改變對許多植物的生理代謝反應有不同程度的影響。臺灣雖然物種歧異度大，但在全球過度暖化下，植株的生理變化，對環境中物種的消長亦會逐漸明顯的浮現。

氣候變遷對雜草分布的影響

雜草由於移動性不如病原菌及昆蟲，同時生活史較長，由氣候改變所造成的族群變化或草相的變遷，較其他害物的發生相對為慢。

1. C₃ 與 C₄ 雜草的改變

許多雜草具有 C₄ 光合途徑，因此較

C₃ 作物對大氣中二氧化碳變化的反應會相對較小。然而農作環境中雜草的分布包括 C₃ 和 C₄ 植物，即使 C₄ 雜草不受影響，但 C₃ 雜草也會有所反應。此外，在特定作物田中發生的最嚴重難防治雜草，通常與栽培作物具有相似的生長習性或光合路徑。事實上，它們往往是同屬未馴化或野生的物種，如發生在燕麥 (*Avena sativa*) 田之野燕麥 (*A. fatua*)，高粱 (*Sorghum bicolor*) 田之 shattercane sorghum，水稻 (*Oryza sativa*) 田之 red rice，它們的光合路徑是相同的，但二氧化碳的增加則有利於雜草的生長 (Ziska, 2001)。全球大多數作物都是 C₃

植物，但 18 種惡性雜草中有 14 種是 C₄ 植物(Holm et al., 1979)。在 C₄ 型玉米田中，因為玉米較田區中大多數 C₃ 雜草優勢，但對二氧化碳含量的增加卻受益少，即以 C₄ 植物為優勢種的群落會更容易受到 C₃ 植物的競爭威脅，可想而知雜草會成爲一個更大的問題。

銀膠菊(*Parthenium hysterophorus*) 爲具又二氧化碳補償點較高的 C₃ 雜草，在較高的二氧化碳濃度中，生長更爲迅速且更具競爭力(Pandey et al., 2003)。固氮植物如豆科金雀花屬(*Cytisus*)和金合歡屬(*Acacia*)等雜草，尤其可能因爲二氧化碳的刺激而生長受益，將不會受到低氮含量的限制(Fogarty and Facelli, 1999)。C₃ 植物在高二氧化碳下，有可能提升對水分的利用率，如具高雜草潛力的 *Prickly acacia* (Kriticos et al., 1999) 和多年生藤蔓 (*Cryptostegia grandiflora*) (Abbott et al., 1999) 可棲息於較乾旱地區，尤其是藤蔓類對高含量的二氧化碳反應較強，成爲具高度破壞性的入侵雜草。

2. 外來入侵植物的影響

全球氣候變遷改變了物種與資源的分布區域，因而促進生物入侵在全球廣泛的發生(Dukes and Mooney, 1999)。氣候暖化使熱帶原產的物種分布範圍擴大，喜好溫暖的 C₄ 植物可能取代 C₃ 植物 (Patterson, 1995 ; Smith et al., 2000)。生物入侵影響了生物群落的結構與功能，繼而對全球環境造成回饋性的長遠影響(Dukes and Mooney 1999)。氣候變化會加劇一些雜草族群的建立，導

致生態系的轉變。

氣候的變化隱含著在一個生態系中的許多物種，即將面臨外來種或相鄰物種的影響。溫度是物種分布的限制因子之一。某些多年生雜草的越冬能力與冬季最低溫度有關，如果氣候暖化所導致的暖冬，這些草種在牧草地和自然開放地區造成的雜草問題將更爲顯著。熱帶及亞熱帶的入侵者也更容易向氣溫較低的北方擴散，相較於溫帶植物在傳播和遷移速率上有某種程度的限制(Admas and Woodward, 1992)，顯示在氣候變化和群落不均衡的情況下，具有良好傳播能力的雜草，將會更加成功擴大其散布範圍。

一般認爲棲息地受到干擾有利於生物入侵的發生(DeFerrari and Naiman, 1994)。人類進入生態系統的頻率與外來物種入侵的機會存在相關性。這些原有生態系統本身不一定具有很高的被入侵的可能，但是由於人類的頻繁出入，容易帶入外來物種。同時人類的頻繁活動常常會干擾生態系統，從而給外來物種的入侵帶來機會，近年來已有實驗證實，干擾越強烈，入侵越易發生(Duggin and Gentle, 1998)。

動物包括入侵外來種的移入，在反應氣候變化所造成的干擾時，有可能因爲增加雜草的授粉及繁殖機率，而有利於雜草的蔓延。如某些鳥類的遷移因爲氣候的變化而發生提早抵達或延後離開時，則可能增加雜草種子擴散的範圍。飼養的牲畜種類也會影響雜草的分布，如 *Prickly acacia* 種子經由牛群的放牧，會較羊群獲得更佳的擴散機會

(Kriticos *et al.*, 1999)。此外高溫等因素可能會增加昆蟲的繁殖週期，提供雜草更多的授粉機率。

某些易燃的禾本科雜草如 *Andropogon gayanus* 及 *Pennisetum polystachion*，它們都容易引起火災的發生(Csurhes 2005)。在氣候的改變下，有加速將大片桉樹林瞬間轉換為裸露平原的趨勢。此外藤蔓類雜草如小花蔓澤蘭 (*Mikania micrantha*)一旦入侵，會先將地面全數覆蓋，限制其它雜草生存的空間，之後藤蔓會沿著樹木攀爬纏繞，使樹木無法行光合作用而死(Huang *et al.*, 2000)。

氣候變化將導致原生物種更容易受到雜草直接或間接的影響，如引起植物嚴重疾病的 *Phytophthora cinnamomi*，可能會因為氣候變化導致的土溫上升與濕潤期的增加而更嚴重(Newhook, 1960)。

氣候變遷對雜草管理的影響

雜草防除的方法，可概分為預防性、栽培管理、物理性、生物性、及化學性等不同類別。一般田間雜草在實際管理時，多採用結合數種方法之綜合防治，即將各種方法分別在適當生育時期適量使用，以符合經濟效益、生態平衡、及環境保護的要求。

1. 物理性防治

大氣中二氧化碳濃度的升高，促使多年生雜草地下部根或根莖等器官的生長速率加速，導致土壤中碳的儲存增加(Rogers and Runion, 1994)。因此，機械耕犁的除草方式在高二氧化碳環境中，可能會造成由地下部形成的無性繁

殖增加，反而對雜草控制呈負面的影響(Ziska *et al.*, 2004)。

2. 化學防治

任何從氣候變化引起的直接或間接的衝擊，對雜草化學防治的效果都將造成顯著的影響。溫度、風速、土壤濕度和空氣濕度的變化，會影響農藥施用的有效性。如乾旱會導致葉表角質層變厚或葉片茸毛的增加，因而影響葉片對除草劑的吸收量。這些相同的變數，也會干擾作物的生長和對藥劑施用所受傷害的恢復能力。整體而言，農藥在植物快速生長和代謝時施用是最有效的，也就是免於環境逆境的狀況下施用是最有效的。二氧化碳的上升對化學防除效果的研究證實，化學防除效果隨二氧化碳的上升而下降(Ziska *et al.*, 2004)。以生長在單期作下的加拿大薊(*Cirsium arvense*)研究指出，在大氣二氧化碳濃度升高時，根莖比會提高，因而稀釋了藥劑的效果(Ziska *et al.*, 2004)。在溫度升高和雨量減少的情況下，會因為乾旱會造成植物對除草劑的敏感性提高。

3. 生物防治

雜草的生物防治的效果，也可能會受到大氣中二氧化碳的增加及氣候變化的影響。因為兩者都有可能改變目標植物的發育、形態和繁殖作用，進而影響生物防治劑的功效。二氧化碳的直接影響也會和碳氮比及草食動物的攝食習性與生長速率的改變有關。同時暖化還可能導致昆蟲越冬族群的增加，而改變其潛在的分布範圍(Patterson, 1995)。雖然這可能會增加某些雜草的生物防治效

率，但也可能導致特定作物病蟲害發生率的增加，隨後會間接影響作物與雜草的競爭。總體而言，在氣候迅速變化或極端氣候時期，在生物防治劑和所選定的目標雜草間有關發育和繁殖過程，不太可能維持同步的情形下，所產生正面或負面的效益尚無法確實掌握。

面對極端的氣候環境，雜草管理因應的調整策略，首先要領悟到人類行為的改變往往會提供雜草入侵的更多機會。如水、旱災發生後的農地整理，可能使雜草蔓延，乾旱下過度放牧，促使雜草味道不佳時，會降低雜草控制的優先性。在氣候變化下農業生產所採取的適應策略，包括引進新品種和開發新的栽培區域，都將對雜草創造更多立足的機會。許多被建議作為生質燃料的植物，如 *Jatropha curcas* 和 *Arundo donax* 即為難防治的惡性雜草 (Low and Booth, 2007)。此外新引入生長勢強的牧場和園藝植物具有耐旱的特質，在氣候變化下預期也會有發展成為高風險雜草的潛力 (Booth *et al.*, 2009)。

外來物種的移入也往往與人類活動有直接或間接的相關，通常所入侵的環境是人類干擾比較強的地方。由於外來物種要能在高強度、高頻度干擾的環境中存活，並達到族群增長及擴散的目的，必須具有能應付環境的能力及對干擾的適應對策。如豬草和三裂葉豬草 (*Ambrosia trifida*) 都有很強的再生能力，植株受到干擾損壞後，能迅速從葉腋或莖基處發生新的分枝 (Anil *et al.*, 1999)。

土壤的干擾有利於將地表的種子埋

入地下，又可將深層的種子翻到表層，有利於種子的萌發。種子所具有的休眠特性和陸續萌發的特性，有利於它抵禦不利的環境和摧毀性的干擾因素，使族群得以延續。即使受嚴重干擾而使族群內個體大量死亡，只要有少量的保存下來，也可以通過調整生長發育狀態，增加分枝數量，來實現增加單株結實量的目的，彌補單位面積內種子產量的損失。

結語

二氧化碳的上升和氣候的變化會影響雜草管理實施的成效。發展高活性的除草劑或生物防治劑，除所需投入的費用不貲外，從研發所耗費的時間估算也緩不濟急。雜草的管理著重在預防土壤內草子的累積及種子萌發後的早期防治，因此有關外來植物檢定及評估技術的建立，及包括栽培管理等的雜草綜合管理策略，為因應氣候變遷下雜草適度控制的當務之急。

引用文獻

- Abbott B. N., A. C. Grice, and G. N. Bastin. 1999. Low-level aerial photography can detect infestations of the invasive woody vine *Cryptostegia grandiflora* in northern Australia. VIth International Rangeland Congress Proceedings 2:602-603.
- Adams J. M., and F. I. Woodward. 1992. The past as a key to the future. In: Woodward F.I. ed. Global climate change: the ecological consequences. *Advances in Ecological Research* 22:257-314.
- Anil S., E. S. Roman, A. G. Thomas, and C. J. Swanton. 1999. Modeling germination and shoot-radicle elongation of *Ambrosia artemisiifolia*. *Weed Science* 47:557-562.
- Bastiaans L., R. Paolini, and D. T. Baumann. 2008.

- Focus on ecological weed management: what is hindering adoption? *Weed Research* 48: 48-491.
- Bert G., and M. A. Drake. 1997. More efficient. Plants: a consequence of rising atmospheric CO₂. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 48:609-639.
- Bohren, C. 2007. *Ambrosia artemisiifolia* L. - in Switzerland: concerted action to prevent further spreading. Agroscope ACW, Nyon, Switzerland.
- Booth C., G. Carr, and T. Low. 2009. Weedy pasture plants for salinity control: sowing the seeds of destruction. Invasive Species Council and The Wilderness Society. www.invasives.org.au.
- Chiang M.Y., and Y. J. Chiang. 2010. Potential impacts of climate change on agricultural land and environmental weeds in Taiwan. (in Chinese with English abstract) p. 99-116. In: the Proceedings of the International Workshop on Climate Change and Food Crisis. Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA. Tainan, Taiwan.
- Csurhes, S. 2005. An assessment of the potential impact of *Andropogon gayanus* (gamba grass) on the economy, environment and people of Queensland. Brisbane, Queensland Department of Natural Resources.
- DeFerrari C. M., and R. J. Naiman. 1994. A multi-scale assessment of the occurrence of exotic plants on the Olympic Peninsula, Washington. *Journal of Vegetation Science* 57:247-258.
- Duggin J.A., and C. B. Gentle. 1998. Experimental evidence on the importance of disturbance intensity for invasion of *Lantana camara* L. in dry rainforest-open forest ecotones in northeastern NSW, Australia. *Forest Ecology and Management* 109:279-292.
- Dukes J.S., and H. A. Mooney. 1999. Does global change increase the success of biological invaders? *Trends Ecol. Evol.* 14:135-139.
- Elmore C.D., and R. N. Paul. 1983. Composite list of C₄ weeds, *Weed Science* 31:686-692.
- Fogarty G., and J. M. Facelli. 1999. Growth and competition of *Cytisus scoparius*, an invasive shrub, and Australian native shrubs. *Plant Ecology* 144(1):27-35.
- Hayes W. E., L. R. Walker, and E. A. Powell. 2009. Competitive abilities of *Tamarix aphylla* in southern Nevada. *Plant Ecology* 202(1): 159-167.
- Hocking P. J., and C. P. Meyer. 1991. Carbon dioxide enrichment decreases critical nitrate and nitrogen concentration in wheat. *J. Plant Nutri.* 14:571-584.
- Holm L., J. V. Pancho, J. P. Herberger, and D. L. Plucknett. 1979. A geographical atlas of world weeds. John Wiley & Sons, Inc., 391 pp.
- Hsiao C. L., C. M. Yang, and Y. J. Lee. 2011. Effect of planting date on population and density of weeds in the paddy field. *J. Taiwan Agric. Res.* 60:125-138.
- Huang Z. L., H. L. Cao, X. D. Liang, W. H. Ye, H. L. Feng, and C. X. Cai. 2000. The growth and damaging effect of *Mikania micrantha* in different habitats. *Journal of Tropical and Subtropical Botany* 8: 131-8.
- Kimball B. A., J. R. Manuey, and F. S. Nakayama. 1993. Effects of increasing atmospheric CO₂ on vegetation. *Vegetation* 104/105:65-75.
- Kriticos D. J., J. R. Brown, I. J. Radford, and M. Nicholas. 1999. A population model of *Acacia nilotica*: thresholds for management. Vith International Rangeland Congress Proceedings 2:599-600.
- Kriticos D. J., R. W. Sutherst, J. R. Brown, S. W. Adkins, and G. F. Maywald. 2003. Climate change and the potential distribution of an invasive alien plant: *Acacia nilotica* ssp. *Indica* in Australia. *Journal of Applied Ecology* 40:111-124.
- Lawlor D. W., and R. A. C. Mitchell. 1991. The effects of increasing CO₂ on crop photosynthesis and productivity : a review of field studies. *Plant , Cell and Environment* 14:807-818.
- Lin W. H. 1998. Response of photosynthesis to elevated CO₂. (in Chinese) *Acta Ecologica*

- Sinica 18(5): 121-128.
- Low T., and C. Booth. 2007. The weedy truth about biofuels. Invasive Species Council, Inc. www.invasives.org.au/home.
- Newhook, F. J. 1960. Some comments on the relationship of climate to Phytophthora infection of Pinus radiata. New Zealand J. For. 8(2):261-268.
- Pandy D. K., L. M. S. Palni, and S. C. Joshi. 2003. Growth production and photosynthesis of ragweed parthenium (*Parthenium hysterophorus* L.). Weed Sci. 51:191-201.
- Patterson, D. T. 1993. Implications of global climate change for impact of weeds, insects and plant diseases. International Crop Science, 1:273-280.
- Patterson, D. T. 1995. Weeds in a changing climate, Weed Science 43:685-700.
- Renz, M. 2002. Weed seed production. In: the California Weed Science Society's Principles of Weed control. 3rd ed. Thomson Publications, Fresno CA.
- Rogers H. H., and G. B. Runion. 1994. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment with emphasis on roots and the rhizosphere. Environmental Pollution 83:155-189.
- Sasek T. W., and B. R. Strain. 1991. Effects of carbon dioxide enrichment on the growth and morphology of a native and an introduced honeysuckle vine. American Journal of Botany 78:69-75.
- Scott J. J., and J. B. Kirkpatrick. 2005. Changes in Subantarctic Heard Island Vegetation at Sites Occupied by *Poa annua*, 1987-2000. pp. 366-371. Arctic, Antarctic, and Alpine Research 37, No. 3, Aug., 2005.
- Smith S.D., T. E. Huxman, S. F. Zitzer, T. N. Charlet, D. C. Housman, J. S. Coleman, L. K. Fenstermakerk, J. R. Seemann, and R. S. Nowak. 2000. Elevated CO₂ increases productivity and invasive species success in an arid ecosystem. Nature 408:79-82.
- Stitt M., and A. Krapp. 1999. The interaction between elevated carbon dioxide and nitrogen nutrition the physiological and molecular background. Plant Cell and Environment 22:583-621.
- Wang W. M., C. Wang, C.J. LI, and W. H. LIN. 2000. Effects of elevated atmospheric CO₂ concentrations on growth of plants. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica 20(4): 676-683.
- Ziska L. H., S. S. Faulkner, and J. Lydon. 2004. Changes in biomass and root: shoot ratio in a field-grown, noxious perennial weed, Canada thistle (*Cirsium arvense* (L.) Scop.) with elevated CO₂: implications for chemical control by glyphosate. Weed Sci. 52:584-588.
- Ziska, L. H. 2001. Changes in competitive ability between a C₄ crop and a C₃ weed with elevated carbon dioxide. Weed Sci. 49:622-627.