

# 因應氣候變遷情境之雜草管理調適策略

蕭巧玲、楊純明\*、何佳勳  
行政院農業委員會農業試驗所作物組

## 摘要

雖然有不同的發生境況，雜草乃農業生態系與農業生物多樣性一項無可迴避的主要威脅，透過自然或人為耕作傳(散)播各地，或成為一地的外來植物與入侵雜草。另一方面，在現行人類活動的模式及化石能源的使用下，氣候的變遷預料仍將持續的發展，亦將對社會經濟、生態環境及農業生產帶來複雜而多層次的影響，包括衍生雜草的管理問題。氣候快速的變遷引起的不同情境，將更加深雜草的負向衝擊、影響程度及問題的複雜度，同時彰顯出雜草管理因應氣候變遷的動態調整與調適的重要與必要。

**關鍵詞：**生態系、調適、緩解、生物多樣性、入侵雜草、外來植物。

## Adaptation Strategy of Weed Management to Cope with Climate Change

Chiao-Ling Hsiao, Chwen-Ming Yang\* and Chia-Hsun Ho

Crops Science Division, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng District, Taichung City 41362, Taiwan ROC

## ABSTRACT

Even under various environmental conditions, weeds are an unavoidable threat to agricultural ecosystem and agricultural biodiversity. Weeds are widely dispersed around the globe through natural forces and human

culture becoming exotic plants and/or invasive weeds of farmland. In the current modes of human activities and fossil energy use, trend of climate change is projected to continue and will bring profound effects and consequences to socio-economic status, biosystems, and agricultural production including weed management. New environmental scenarios give rise to a rapid changes of climate would further deteriorate and complicate the negative impacts of weeds, while highlighting the importance and significance of dynamically adapting and adjusting weed management strategies to cope with climate change.

**Key words:** Ecosystem, Adaptation, Mitigation, Biodiversity, Invasive weed, Exotic plant.

## 生態系與植物

經過億萬年的漫長演化，地球上充滿了各式各樣的生物，以不同的群集分散於各種的生活環境，形成一個龐大的生態系統(ecosystem)。從生存、生活與生產的循環觀點，因為攝食而達到物質的循環及能量的流動，衍生出生產者(概指植物)、消費者(概指動物)和分解者(概指微生物)三個主要族群關係，也產生出奇妙的食物鏈(food chain)。生態系是否穩定，端賴系統中生物間及生物與環境間的相互依存達到物質與能量的動態平衡程度。通常生態系中的生物種類愈多，愈可形成一個穩定不易瓦解的食物網絡，些微的生物進出變動，生態系可以自動調整以維持物質與能量平衡，呈現一種生態平衡(ecological balance)的現象。

當已達穩定平衡的生態系遭受外力入侵時，必然產生擾動(disturbance)，然後再逐漸的趨於另一平衡狀態。換言之，從長時間的觀點，生態系多維持在類似動態平衡(dynamic balance)之中。然而，當其中任何

\* 通信作者, cmyang@tari.gov.tw

投稿日期：2015年6月5日

接受日期：2015年6月25日

作物、環境與生物資訊 12:83-94 (2015)

Crop, Environment & Bioinformatics 12:83-94 (2015)

189 Chung-Cheng Rd., Wufeng District, Taichung City 41362, Taiwan ROC

一種生物遭到毀滅或大環境出現劇烈震盪時，由於食物鏈被破壞而直接或間接影響其他生物的生命循環，一如骨牌翻倒的牽連結果，嚴重時將造成生態的破壞及不平衡。可以想見在氣候快速變遷衍生的不同情境下，必然影響生態系及其內小生態系的運轉，乃至於未來的發展。在地球大生態系統底下，有大小範圍不一的諸種生態系分散於不同角落，惟無論係淡水 (freshwater)、海洋 (marine)、河口 (estuarine) 或陸域 (terrestrial) 等生態系，植物皆是最重要的構成角色，並為推演各生態系發展的動力。

### 生態系與氣候

氣候 (climate) 是指某地長期的天氣型態，型態的變異乃綜合溫度、濕度、降水、風、大氣壓力、大氣粒子及其他氣象變數的混合，氣候一詞則是整體輪廓的趨勢說明。另一方面，天氣 (weather) 則是這些氣象變數的短期變化，常從一日至數日不等。一地生態系的維持與發展和氣候關係密切，當全球氣候改變或快速的變遷時，生態系不可避免的將受到影響，其生物多樣性也可能因此受到巨大的衝擊。就物種層面而言，生物可能消失或改變其分布，於是將可能直接或間接衝擊生物群聚內的物種組成及生物間相互關係，造成生態系功能與系統的改變。對植物而言，植物種類與數量 (又稱植物相, Flora) 及分佈會因為氣候的變化及變遷而改變，而且這些改變往往是環環相扣 (Barber and Chavez 1983)。當某些特定植物族群過度繁衍達到威脅其他植物的生存機會時，無論係在地或外來物種 (species)，也將可能被視為生態系潛在的惡意「雜草 (weeds)」。這些具有高度競爭優勢的植物族群，將壓抑或限制周遭其他植物的生活甚至造成其被消除，不僅降低生物的多樣性，亦破壞平衡的生態系。因此，如何維持或管理一地植物物種的

均衡發展，避免出現具威脅性的特定 (殊) 雜草，尤其在當前氣候快速變遷的情境下，誠屬維護生物多樣性及生態系平衡的重要工作，也是農業生產上的一項重大挑戰。

眾所周知，聯合國的跨政府氣候變遷小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) 已於 2007 年的第 4 版評估報告 (4<sup>th</sup> Assessment Report) 中提到百年來的升溫趨勢及溫暖化的可能衝擊，此氣候快速變遷的結果確實在全球各地造成無數災害與損失，特別是諸如海嘯、颶風、強颱風、急降雨、暴風雪及乾旱等極端天氣和異常氣候。如何在經濟發展與因應暖化衝擊之間尋找出解決之道，減少或避免相關負面效應帶來的威脅，或是調適這些不利境遇，將是吾人必須面對的課題。事實上氣候變遷在臺灣所造成各層面的影響，已反應於各種產業所投入因應的成本上，無法豁免於外的農業生產損失及因應措施即為明顯例子。臺灣先後於 2010 年 6 月 15 日召開『因應氣候變遷農業調適政策會議』及 2011 年 5 月 10-11 日舉辦『全國糧食安全會議』，即在分別針對糧食安全及農業之資源與生態、產業發展、防災救災、節能減碳等議題進行跨領域研討，期能未雨綢繆、適時因應而減少或避免氣候變遷對農業和糧食供給造成鉅大損失。

在研究報告上，例如 Lur *et al.* (2006) 曾指出稻米生產的「安全環境」會因為極端天氣而受到嚴重影響，使得產量與品質難以維持穩定。Nee and Hu (1995) 發現溫度的升高將會延遲滿足果樹生理休眠所需累積低溫到達的時間，且不利於開花、受粉與結實，如此將導致水果供應的大幅波動。然而，國內有關氣候變遷對雜草生育與繁衍的研究相對甚少，本文期藉以提醒各界對此議題的重視，不僅在於生態系的完整及生物的多樣性，也當涵蓋農業的永續發展及糧食的安全。

## 氣候變遷、生態系與植物

氣候的變遷可追溯自地球的誕生開始，計以千百年或萬年期程，過去發生的多次大小冰河期可為不同階段的氣候變遷遺留下例證。然而，自十九世紀的工業革命以來，由於人類長時期大量使用化石能源(fossil fuel)及許多的活動(如砍伐與燃燒森林、破壞雨林、土地開發利用、產製化學品等)，造成氣候的快速變遷結果。尤其在過去三十年間觀察到的諸多現象可為明證，物理性徵狀如氣溫升高、降雨形態失序、極端天氣事件頻繁而增強(如乾旱、熱浪、水患、颱風、冰雪暴)、海平面上升、二氧化碳濃度上升等，生物性徵狀如病蟲源的發生與消長變化、生物外觀形態與生育行為差異等均是。這些氣候快速變遷產生的證據，加上人為因應調適(adaptation)與緩解(mitigation)策略所採行的措施，例如引種、育種、栽培管理、土地利用等，同時引起植物種類、數量與分佈的變化與變遷。此外，因而所導致外來植物的加速傳播與流行，或是部分植物物種的異地遷移，可能形成新的植物分佈且破壞原先的生態系，產生另一獨特的生態環境。而這樣非自然的改變，將帶給各地區植物相乃至農業生產區相當大的衝擊，甚至可能引起始料未及的社經問題。再者，生物間與植物間交感的改變、自然界的干擾，亦對於植物相及生態系帶來深遠影響。

### 雜草與雜草相演變

雜草(weeds)，一般被認為係田區主(母)作物以外的植物，也就是未被期待萌生與生長的非主作物(Zimdahl 1995, Yang 1996)。在未被經濟栽培土地上的野生植物，則無所謂的雜草，概以生態系的多樣性植(生)物視之。因此，特定植物被歸屬於雜草，乃相對於該地經濟性栽培的主作物而言，沒有任何一種植物是天生的或絕對的『雜草』。據此，

相對於經濟性栽培的『作物』，以『野生的植物』稱呼『雜草』可能更為貼切。任何特定植物一旦被發現有利用價值而予經濟性計畫栽培時，就成為作物(crop)。據此論及雜草管理(weed management)，當定義為控制田區雜草於可被接受的臨界水準以下採行的管理作為(Zimdahl 1995, Yang 1996)，而非根除的滅絕作法。

由於雜草與主作物間對自然資源的競爭、可能成為病蟲源的寄主及相剋毒害的作用等原因，致使雜草被認為係干擾作物生產力的潛在有害生物，因此雜草管理在作物栽培過程中，無論露地或設施皆是一項重要的農耕操作及必要的管理措施(Chiang 1995)。一般農田雜草發生與土壤中的雜草種子庫(soil seed bank)有關，也因為各種環境、土壤質地、氣候、耕作方式及除草劑使用等而產生不同的雜草種類、數量與分佈，又因各項因子間의 交感而產生差異(Dyer 1995, Kuo 2004)。所以，田區雜草相將因這些變因而不斷地改變(change)與演化(evolve)，並與當時雜草相的關聯及時態上的變化息息相關；反之，也可推知一地環境、耕作乃至於雜草管理措施的差異。

以耕作方式而言，水田與旱田雜草之發生種類與數量即有明顯不同，臺灣旱田雜草因明顯環境差異而曾有多達 400 餘種之紀錄，水田雜草則因經常處於湛水及較為均一栽培環境而僅有 165 種(Chiang and Leu 1982, Chiang *et al.* 2003)。另外，不同農業生態系(agroecosystems)中各有已經適應的不同種類雜草，以最適合於特定雜草相型態呈現於農地，此亦是構成農業生態系中生物多樣性的一環(Peters *et al.* 2014)。在氣候變遷下，勢必造成雜草相不斷的變化及變遷，值得吾人關注與重視，尤其關乎人們的糧食安全上更應有深謀遠慮。

## 氣候變遷及對雜草的影響

如前述，所謂『雜草』，並非植物分類上的物種，而係人為的定義，即當某植物非被期待或被希望出現於特定地點時，就可以或可能被視為雜草(Zimdahl 1995)。這些在農場、田園、草坪、花園或公園等人們刻意經營土地上非為主要栽種的植物，皆需要被妥適管理，以維持主作物的正常生育。所以，花生田中長出的玉米植株，玫瑰園出現的菊花，稈稻品種田區冒出的紫色稻，都是必須被清理的雜草。此外，入侵至非其原生地的外來植物，亦被當地視為雜草，或如所提及當特定植物族群過度繁衍至威脅其他植物的生存時，不管係在地或外來植物將可能在當下以雜草視之，俾以提供其他植物生存空間。外來的入侵雜草將與在地植物競爭自然資源，也將逐漸改變原來的生態系，當然更可能是當地農業(耕)生產的限制因子之一。

在氣候變遷下這些問題預料將更形嚴重，由於(1)新出現的雜草種類、(2)雜草相的改變及(3)雜草族群間的消長，氣候變遷將加劇對生物多樣性的威脅及提高農業上雜草管理的花費。而且在時下頻繁的國際貿易活動，更提高了外來雜草入侵的風險，使得雜草管理愈顯其重要與必要，且需要隨時因應調整略以降低負向作用。舉例來說，每一種植物通常有其適合的生長與存活環境，當氣溫因為溫暖化趨勢而升高時，對於受到低溫抑制的冷涼地區植物將可擴大其生活範圍，拓移至更高緯度或更高海拔的區域。如此，將威脅高緯度或高地的植物族群，入侵其棲息地，改變其生態系(如從草生覆蓋區轉至灌木林區)。相對的，生長於溫暖地帶的植物，可能因為氣溫的升高而更加旺盛生長，甚至入侵至原來更高溫受到限制的地區，與當地植物形成生活與生存的競爭，破壞生態的平衡。以澳洲的 Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*)

為例，其具有 C4 型光合作用機制，能夠充分吸收光輻射能行光合作用，尤其在溫暖、乾燥氣候或低二氧化碳濃度下相較於 C3 型植物更有優勢。當溫度上升至 35°C 時，此一雜草依然表現旺盛生長(Scott *et al.* 2014)，顯見其在氣候變遷的溫暖化趨勢下，更將成為高競爭力雜草。同一報告根據澳洲的一項調查，指出雜草的干擾每年可造成多達 30 億美元的農業損失。當我們注意到了外來植物入侵的早期徵兆時，應當施予及時因應處理，避免延誤最佳處理時機而釀成生態浩劫。臺灣近年常見的外來入侵植物如小花蔓澤蘭 (*Mikania micrantha*)、銀膠菊 (*Parthenium hysterophorus* L.)、日本兔絲子 (*Cuscuta japonica* Choisy var. *japonica*)、長梗滿天星 [*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Griseb.] 等，皆屬有名的案例，前者更是惡名昭彰的植物殺手。

又依據中央氣象局歷年統計資料，臺灣每年平均至少有多達 3-4 次的颱風侵襲，就氣象災害而言，則因災害性天氣所造成的直接財物損失年平均約高達新台幣 150 億元，間接的損失更難以估計，其中約有 85% 與颱風有關。在氣候變遷趨勢下，颱風頻率與強度將愈形增強，由於造成的巨大擾動及帶來在時間與空間上的空窗期，預期也將增加外來植物的入侵機會，進而改變受災地區植物的種類與分佈。另有研究指出(Ziska and Dukes 2011)，有些雜草對於除草劑在較高二氧化碳濃度下具有較高的耐受力，而除草劑在缺水情況有較差的效用，因此發生乾旱時將減損除草劑的除草效果。

### 一、氣候變遷改變雜草相消長

氣候變遷對農田雜草相消長的影響，是另一值得關切的議題。溫度的升高與降雨頻率的改變，有助於某些嗜熱型雜草、較晚萌芽型雜草及投機型雜草等大量存在於特定的

農業系統，改變農田雜草的地景(Peters *et al.* 2014)。在模擬溫暖化的氣象條件下，臺灣常見於二期作發生的尖瓣花(*Sphenoclea zeylanica* Gaertn)可能會提早到一期作為害，其他於二期作分布的雜草也會因為期作間的溫度區段變窄，造成雜草分布的季節性差異縮小，故雜草管理也需要進行相對地調整(Hsiao *et al.* 2011)。北美洲南部常見的雜草—羅氏草(*Rottboellia cochinchinensis*)在增溫3°C的環境下，會使乾物重及葉面積分別增加88及68%，以此推測羅氏草可能隨著全球暖化趨勢逐漸向北方高緯度地區推移，而造成另一地方的威脅(Patterson *et al.* 1999)。除了溫度之外，其他氣象因子如光照亦是影響雜草萌發與地理分佈的重要因素，中國大陸的一種原產中美洲的菊科入侵植物—飛機草(*Eupatorium odoratum* L.)，就隨著光輻射量的增強而生質量增加(Zhang *et al.* 2009)，使得高光照地區逐漸遭受飛機草入侵危害的風險，導致當地植物族群生物多樣性受到威脅。

## 二、氣候變遷改變雜草分布

整理氣候變遷對雜草的影響，概可分為三種類型(Peters *et al.* 2014)，當吾人有此認識之後，或將有助於雜草管理策略的研擬：

- 遷移於有利生長的氣候(migration with a favorable climate):由於氣候轉趨於有利，引領合適於此氣候雜草物種的傳入而改變雜草相，這個過程稱為棲地範圍的轉變(range shift)。當這樣的遷移條件發生時，雜草需要具備適當的繁殖擴散機制，以適應於人為製造的農耕生態系統中，此種遷移也是造成農業地景改變的原因之一。
- 馴化於改變的氣候條件(acclimation to change in climate conditions):基本上是指物種內的外表型可塑性沒有隨著氣候改變而演化調整，而是耐受或逃避的馴化方

式反應，即表現於對氣候改變的耐受性和逃避性的。此方式會導致該物種超出原有的生態適應性能力，使得雜草的適應性與競爭力減弱或擴增，又稱為生存利基/空間的轉變(niche shifts)，雜草的群落組成會因為適合的生長條件改變形成小尺度的挪移。

- 適應於改變的氣候條件(adaptation to changes in climate conditions):通常與雜草新特性的演化或優勢個體的最佳化有關，乃這些雜草個體生物適應性天然汰選的結果，這樣的性狀轉變(train shifts)會使得雜草個體間的形態、生理及遺傳上發生變化，而讓雜草群落組成有明顯的不同。

由此可知，土地利用、農耕操作及非生物環境(如氣候)加諸於雜草的選拔，將使雜草物種在生理生態學基礎上的適應性發生變化，進而影響雜草的擴散與分布。在面對可能的氣象變遷趨勢下，評估不同雜草生態系地景的變化，能夠瞭解一地雜草處於氣候變遷下的適應能力，吾人則可由其適應機制找尋出雜草管理的方式(Andersson and Milberg 1998, Peters *et al.* 2014)。

## 三、氣候變遷改變雜草與作物間競爭關係

氣候變遷既然同時影響生態系中的每個構成因子，必然也改變雜草與作物間的競爭關係。以大豆為例，Tungate *et al.* (2007)模擬全球暖化對作物—雜草間相互作用影響，發現決明子(*Senna obtusifolia*)及刺金午時花(*Sida spinosa*)兩種雜草達到最大生質量的溫度較大豆高，甚至在最高溫(42/37°C)處理下兩種雜草的生質量仍高於大豆，且大豆之根/莖比(root:shoot ratio)在高溫時明顯低於兩種雜草。由此可見，在高溫下大豆的競爭力低於此兩種雜草，因此可預期雜草對大豆的生長與產量的危害相當顯著，當大豆田區出

現此兩種雜草時當予適當管理。

二氧化碳(CO<sub>2</sub>)濃度上升是造成氣候暖化的主因之一，而 CO<sub>2</sub> 又是植物行光合作用製造含碳化合物所需的碳源，當各種活動製造的 CO<sub>2</sub> 排放造成暖化情境的升高，可能同時會增進植物的光合作用效率及生產量 (Erice *et al.* 2006, Chiang and Chiang 2010)。然而，由於對 CO<sub>2</sub> 的利用途徑不同，增加 CO<sub>2</sub> 濃度對於 C3 與 C4 型植物的光合作用產生的效益也存有差異，C4 型植物的光合作用效率隨著 CO<sub>2</sub> 濃度的上升很快就達到飽和，而 C3 植物則能持續的進行光合作用 (Ziska 2001)。因此，如果其他條件配合，C3 型雜草在高 CO<sub>2</sub> 情境將比 C4 型雜草更具競爭優勢。Kimball (1983)也指出 C3 型植物隨著 CO<sub>2</sub> 倍增時可提高生物量達 40%，但 C4 型植物僅增加 11%。所以，可預期在高 CO<sub>2</sub> 濃度下將會使多年生 C3 型雜草提高光合作用效率，其光合產物充分的轉移至地下莖或塊莖等積儲器官而有利於其生長與繁衍 (Oechel and Strain 1985)。如此田間 C3 與 C4 型雜草之間的競爭與分佈可能會因為氣候暖化及 CO<sub>2</sub> 濃度的變化而改變，雜草管理的困難度亦因而增加 (Patterson *et al.* 1999)。Ziska (2000)曾估算提高 CO<sub>2</sub> 濃度增加雜草競爭對大豆減產造成的衝擊，發現 C3 型雜草藜 (*Chenopodium album* L.) 將使得大豆減產 39%，但是 C4 型雜草刺莧 (*Amaranthus retroflexus* L.) 的減產幅度反而由 45% 降至 30%。顯見 CO<sub>2</sub> 濃度的上升將影響 C3、C4 型雜草與農作物間的競爭關係，未來暖化趨勢下的 C3 型雜草的危害程度可能高於 C4 型雜草。

### 氣候變遷下的雜草管理

為了避免雜草族群數量干擾母作物或主要栽種植物的生長，甚或危及收穫物的生成，就需要給予必要的管理，以控制其於可

被接受的臨界值以下。因此，「雜草管理」的意義，在於採行合適的方法「管理」雜草，使得作物產量與品質及雜草族群之間維持一個可接受的平衡，而非「斬草除根」式的根除全部的雜草 (Zimdahl 1995, Yang 1996, Yang *et al.* 2004, Yang 2014)。對於不同的生態系或農耕制度，有必要建立個別的生態系模擬系統，以評估雜草族群的發展及危害程度，乃至於分析氣候變遷影響及衍生因子對植物物種的取代 (displacement)、分佈 (distribution) 與挪移 (shift)，俾以採行合適的雜草管理策略與措施，或是對於氣候變遷的適當調適。另可以雜草風險分析方法 (weed risk analysis; WRA) 評估氣候變遷對生物多樣性及農業生產的潛在風險，協助確認有效的管理方法與作法。

### 一、雜草管理的規劃

有關雜草管理的規劃各有不同的作法 (Yang *et al.* 2004, Ziska and Dukes 2011, Scott *et al.* 2014)，一般在進行雜草管理的規劃時，第一個步驟常為現地的雜草評估 (assessment)，應當包括：

- 具威脅性的入侵新雜草；
- 更具威脅性的現存雜草；
- 由於土地利用改變造成的威脅性雜草；
- 由於採行人為調適氣候變遷策略產生的威脅性雜草。

其次，在氣候變遷情境下，應當要有不同的策略規劃與優先次序，例如：

- 所增加的潛在雜草問題當針對社會影響層面大小來排列管理的優先次序；
- 雜草管理的優先次序仍需視新威脅的高低隨時調整；
- 增加地方及國家層級策略之間的協調有助於減少解決地區性問題。

接著，在執行面向上，在氣候變遷下，雜草的管理當視氣候變遷的趨勢調整：

- 雜草管理的方法因不同雜草種類而異；
- 新出現的雜草種類可能需要新形態的管理方法；
- 對於極端雜草問題可能需要特定且更有效的管理方法。

此外，雜草的管理需要搭配追蹤管考，並且隨著氣候變遷的情況而有不同的方式：

- 從成本考量需要不斷的追蹤是否出現新的雜草威脅；
- 處理新的雜草威脅優於快速處理新的雜草種類；
- 對於新的雜草威脅需要頻繁的追蹤、及時的快速反應；
- 廣泛監控新的雜草威脅可能需要利害關係者(stakeholders)的共同參與。

其次，人類因應氣候變遷的一些作為，如刻意的調適策略，亦會影響雜草(Ziska and Dukes 2011, Scott *et al.* 2014)，例如：

- 耕作方式的改變；
- 因應乾旱氣候農牧業作物之轉換；
- 因應多雨季實施之耕作；
- 因應極端情況變更栽種之耐性作物；
- 因應水利灌溉變利栽植之新作物；
- 引進短期或較快生育速率之外來作物(如能源作物、生質量作物、油料作物)。

## 二、雜草管理的方法

有許多文獻資料介紹雜草的管理方法，如 Yang *et al.* (2004)及 Yang (2014)曾先後整理一些可用的雜草管理措施及方法提供參考，讀者可自行覽閱、參考。這些方法分別從化學性的除草劑(herbicides)防除、物理性

的機械與人工割除、生物性的微生物生物防治、耕作管理的耕犁、淹灌與掩埋措施、乃至於雜項的輪作、焚燒等做法，皆可因地制宜的多項選用。其中，使用化學合成的除草劑最為便利易行，然而卻將產生一些負面問題，如除草劑抗性雜草(herbicide-resistant weeds)、土壤污染、水質惡化、對鄰近非標的植物危害及收穫物殘留毒質等，因此近年來出現了對應解決的所謂「有機農業雜草管理 (weed management for organic farming)」及「生物性農藥(biopesticides)」(Yang 2014)。受限於不得使用最直接有效的化學除草劑，有機農業的雜草管理必須善用物理性、生物性或人為栽培管理的方法進行雜草管理，因此應當具有預防性及整合性的策略思維。而以施用除草劑而言，不宜在一定期間連續的多次噴施同一藥劑，以預防雜草產生抗性形成所謂的「除草劑抗性雜草」(Heap 2014, Scott *et al.* 2014)。

## 三、一些雜草管理方法的說明

### 1. 作物栽培及栽植期的調整

關乎於作物栽培生產有關的任何操作受到氣候變遷而有所調整時，諸如耕犁、施肥及灌溉等措施，將會影響雜草族群於農田中的分布。這些調整後的生產操作像是一種「農耕經營管理的過濾程序 (management-related filters)」，在這連續與非連續的操作系統下，將會改變雜草群落的分布及影響雜草種類的變化，並決定農田特定組成的雜草群落(Mortimer 1990, Sweeney *et al.* 2008, Ryan *et al.* 2010)。

栽植期的調整被認為是因應氣候變遷與全球暖化的主要調適策略之一(Lur *et al.* 2006, Lee *et al.* 2009)，然而伴隨著栽植期的調整所發生的田間病、蟲、草害問題，可能也將出現不同與不等的變化。Hsiao *et al.*

(2011)以 10 個不同栽植期模擬溫度梯度改變時對雜草相的變化，發現調整栽植期可減少雜草發生的種類，在當地的氣候環境下，一期稻作時需延後 15 天，二期稻作則提早 15 天種植。如此，可以減少因為雜草的種類與數量必須投入較多的管理成本，因而降低對農田生態環境的衝擊。

## 2. 氮肥施用類型與時期的調整

由於氣候變遷可能提高溫度及雨量，增加土壤的礦化作用(mineralization)或硝化作用(nitrification)進行，雖然可增加土壤養分，但過於強烈的礦化或硝化作用將造成養分極易揮失或逸散。為維持作物生產力，施肥將是必要程序，土壤中含氮量高低及肥料施用的時機將會機械性地刺激雜草種子的萌芽，提高雜草對作物之干擾與競爭(Sweeney *et al.* 2008, Wortman *et al.* 2011)。例如於 4 月上旬增施氮肥，會減少玉米田中的睫穗蓼(*Oriental ladythumb*)和藜(*Chenopodium album*)的族群數，但若延後至 5 月下旬增施氮肥則會增加兩者的萌芽數量。反枝莧(*Amaranthus retroflexus*)和苘麻(*Abutilon theophrasti*)在土壤含有 10-100 ppmv 硝酸鹽會刺激萌芽(Sardi and Beres 1996)，睫穗蓼和藜在增施 200 kg ha<sup>-1</sup> 硝酸銨時萌芽率會增加(Freyman *et al.* 1989)，所以土壤中的雜草種子受氮素刺激發芽的條件隨氮素型式及濃度有所不同。因此當特定雜草出現時，可考慮調整氮肥施用的類型，以減少其族群的大量發生。

在一項比較常見 23 種雜草的硝酸銨吸收效率試驗，以雜草在未施用氮肥時的起始生質量為基準，某氮肥施用時達最大生質量為分子，作為分類方式，將其比值由低至高可分為 4 種類群(Blackshaw *et al.* 2003)。大多數的雜草生長反應對硝酸銨的增加為正面效應，少數雜草物種則不會因為硝酸銨含量多

寡而增加生質量。在氮素含量達 80–120 mg N kg<sup>-1</sup> soil 級距時，生質量開始呈現大幅上升，在高量的 240 mg N kg<sup>-1</sup> soil 下，不同雜草間的生質量會出現很大的差異，14 種雜草的氮肥吸收效率低於小麥，當硝酸銨含量控制於 80–120 mg N kg<sup>-1</sup> soil 能相對減少雜草危害(Blackshaw *et al.* 2003)。

高競爭力係雜草的主要特徵，雜草多半能在惡劣的土壤環境中生存，儘管生長早期存於不利於競爭的條件下，多數雜草物種仍能和作物繼續抗衡，源於其高比例的生長速率和養分吸收能力，相對地增加了雜草面對多變的外部養分供給時之競爭優勢(Harbur and Owen 2004)。當雜草在面對不同土壤氮礦化能力時，則會反應出對作物間競爭效應的差異。苘麻是危害玉米的重要雜草，在低土壤肥力下，其競爭能力將低於玉米，Wortman *et al.* (2011)於是在高礦化潛力土壤(high mineralization potential; HMP)與低礦化潛力土壤(low mineralization potential; LMP)類別中，探討不同尿素肥料用量下對玉米及苘麻間的競爭。在 HMP 中，發現苘麻受玉米的影響隨尿素比例增加而生質量下降幅度減少，反而在 LMP 中增加尿素比例，玉米對苘麻的干擾會增加。換言之，在 HMP 增施尿素能提高苘麻的生質量與玉米競爭，反而在 LMP 土壤中，玉米對苘麻的干擾普遍較大(Wortman *et al.* 2011)。因此若是處於高溫下的高礦化土壤，減施氮肥可降低雜草對玉米的干擾。

有些萌芽較晚的雜草遇到適當施肥時期，會促進其生長而干擾旱田作物，例如藜(Sweeney *et al.* 2008)，4 月中旬、4 月下旬及 5 月下旬等施肥時期中發現，在沒有施用氮肥時，藜的萌芽率隨時間往後有逐漸增加趨勢，加上增施氮肥的結果，更是促進其萌芽率上升。另觀察 3 種施用氮肥時期對藜等雜



草生質量的影響，儘管雜草生質量隨著施用量增加而增加，但若越晚施肥對生質量之促進效果更為顯著(Sweeney *et al.* 2008)。如玉米等旱田作物的施肥管理策略中，若能提早施用氮肥除了可促進作物生長外，更能降低因雜草所帶來的競爭(Harbur and Owen 2004b, Johnson *et al.* 2007, Sweeney *et al.* 2008)。

### 3. 耕作方式的調整

慣行整地(conventional tillage)、低整地(reduced tillage)及不整地(no/zero tillage)皆是常用的耕作方式，除了不整地外，慣行的整地及低整地採用的耕犁農機隨著地區發展而略有差異。巴基斯坦在稻麥輪作系統的整地耕犁慣用圓盤犁(disk plough)及旋轉犁(rototiller)，印度則常採用耙犁(harrow)及板犁(planking)等(Sharma *et al.* 2004, Chhokar *et al.* 2007, Usman *et al.* 2012)。但無論使用的耕犁機具為何，都能與土壤間產生摩擦，並能夠劃破雜草種子的種皮，刺激種子發芽。而操作不同的耕犁器具，也會影響雜草種子在土壤剖面的分布，例如旋轉犁僅能將土壤切碎，使雜草種子集中於土壤表層，促進早熟禾密度明顯增加，而採用板犁耕耘則使雜草種子被埋入土壤深層不易發芽，能降低族群數目。不同耕犁機具與耕犁次數的多寡，會牽動土壤雜草種子庫的組成(Dyer 1995)，因此配合當地環境選用合適的耕作方式作為雜草管理，可以達到減少化學除草劑施用，農田永續經營的目標(Calado *et al.* 2010)。

農地生物與環境組成農耕生態系(agroecosystem)，植物及屬於植物的雜草乃其組成成分。雜草的組成與分布受到不同耕作方式的影響甚廣，以雜草-作物的生態角度來看，耕作處理改變雜草在農田中的生長環境，影響其萌芽、分布及族群變動。對闊葉類雜草來說，慣行整地的效應能相對降低其

生質量的累積及密度的發展，是經常使用於水稻收穫後及早作作物種植前的耕作處理。但對禾本科的小加拿麗鶉草(*Phalaris minor*)則不然，整地處理反而增加其危害的強度，因此視雜草種類選擇適當耕作方式能適度減少特定草種的干擾。

### 四、氣候變遷下雜草管理的調整與調適

整體來說，人類因應氣候變遷的一些作為，如刻意採行的調適與緩解策略，將會影響雜草的發生(occurrence)、消長(fluctuation)、流行(prevalence)與擴散(dispersal)。例如，由於土地利用、運輸、貿易、園藝、農藝等行為，皆可直接影響雜草以種子、扦插條、塊根、走莖等樣態近距離或長程的擴散。這些人為的各種作為，可能改變在地植物與外來植物合適生長的環境，使得植物間的廣適性而擴大、縮小或遷移，改變其分佈並影響雜草的競爭能力，導致主客異位或物種間的消長。舉例來說，由於以下的這些因應氣候變遷的措施，可能導致意料之外的雜草問題：

- 耕作方式的改變；
- 因應乾旱氣候農牧業作物之轉換；
- 因應多雨季實施之耕作；
- 因應極端情況變更栽種之耐性作物；
- 因應水利灌溉便利栽植之新作物；
- 引進短期或較快生育速率之外來作物(如能源作物、生質量作物、油料作物)。

吾人可發展與利用雜草分佈模式(weed distribution model)於雜草管理，如針對入侵植物(invasive plant species)，分析氣候變遷造成的環境因子改變帶來的雜草生物性影響(族群建立、持續)。例如，在澳洲 Murray Darling Basin 地區經過土地利用、淹水及未來氣候變化的綜合性評估與分析後，預測將

對於外來入侵植物 *lippia* (*Phyla canescens*) 的分佈帶來潛在衝擊 (Scott *et al.* 2014)，因而採行必要的生物安全措施 (biosecurity measures) 以維持生物多樣性，並維護生態系的潔淨水源 (clean water)、土壤穩定 (soil stabilization) 及美學價值 (aesthetic values) 等多元功能。

### 結語

雜草就如一般所見的植物，僅在於未有規模的經濟性利用。雖然有不同的發生境況，雜草乃農業生態系與農業生物多樣性一項無可迴避的主要威脅，透過自然或人為耕作傳(散)播各地，或成為一地的外來植物與入侵雜草。另一方面，在現行人類活動的模式及化石能源的使用下，氣候的變遷預料仍將持續的發展，亦將對社會經濟、生態環境及農業生產帶來複雜而多層次的影響，包括衍生雜草的管理問題。氣候快速的變遷引起的氣溫升高、降水(雨)型態失序、極端天氣事件頻繁與強度增強、海平面上升及二氧化碳濃度增加等諸種現象，更加深了雜草的負向衝擊、影響程度及問題的複雜度，同時彰顯出雜草管理因應氣候變遷的動態調整與調適的重要與必要。本文論述的目的，在於呼籲各界對於雜草管理的重視，以及對於在氣候變遷下的必要因應，以利於農業生產的永續與生態環境的維護。

無論係現行的管理措施，對應於氣候變遷影響因子所研擬的新策略，皆應當具備動態的調整與調適彈性，發展在氣候變遷下之雜草管理願景(vision)、策略(strategy)與方案(action plan)，即雜草管理的共通願景，達成願景之完整策略，以及執行策略之行動方案。無論如何，雜草管理的原則概在於以顯著的降低雜草造成對社會、經濟及環境的衝擊為願景，以防止地區內被認定為主要威脅的特定雜草入侵而減少其等衝擊為策略，並

以達成策略所採行的詳細步驟為行動方案 (Scott *et al.* 2014)。如此，從農場、自然保留地至地方政府再至國家主管機關，制定符合國家法規之國家級及地方級的規定與策略，有效管理現地雜草、嚴格管制入侵的雜草、禁止栽植未經國家核可的外來植物，才能使得願景與策略得以降低因為時間及資源浪費造成無效措施的風險，並減少行動方案的執行成本及提高執行的效率與成效。

### 引用文獻

- Andersson TN, P Milberg (1998) Weed flora and the relative importance of site, crop, crop rotation and nitrogen. **Weed Sci.** 46:30–38.
- Barber RT, FP Chavez (1983) Biological consequences of El Niño. **Science** 222: 1203–1210.
- Blackshaw RE, RN Brandt, CA Grant (2003) Differential response of weed species to added nitrogen. **Weed Sci.** 51: 532–539.
- Calado JMG, G Basch, M Carvalho (2010) Weed management in no-till winter wheat (*Triticum aestivum*). **Crop Prot.** 29:1–6.
- Central Weather Bureau (2010) Questions and Answers to Prevention of Natural Disasters. (in Chinese) Central Weather Bureau, Ministry of Transportation and Communications, Executive Yuan. Taipei. 102pp.
- Chhokar RS, RK Sharma, GR Jat, AK Pundir, MK Gathala (2007) Effect of tillage and herbicides on weeds and productivity of wheat under rice-wheat growing system. **Crop Prot.** 26: 1689–1696.
- Chiang MY, LS Leu (1982) Weeds and weed damage of paddy field in Taiwan. (in Chinese with English abstract) **Weed Sci. Bull.** 3:18–46.
- Chiang MY (1995) Paddy weeds in Taiwan: an overall view on flora, ecology and control. (in Chinese with English abstract) **Plant Prot. Bull.** 37:339–355.
- Chiang MY, YJ Chiang, CI Yuan, LM Hsu, FY Chen (2003). Current status and prospects of weed management of croplands in Taiwan. p.245–258. *In:* Proceedings of 2003

- International Conference on Plant Health Management. Agriculture Development Foundation, Taipei.
- Chiang MY, YJ Chiang (2010) Potential impacts of climate change on agricultural land and environmental weeds in Taiwan. p. 99–116. *In*: Proceedings of the International Workshop on Climate Change and Food Crisis. Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA, Tainan Hsien, Taiwan.
- Dyer WE (1995) Exploiting weed dormancy and germination requirement through agronomic practices. **Weed Sci.** 43:498–203.
- Erice GJ, J Irigoyen, P Pérez, R Matínez-Carrasco, M Sánchez-Díaz (2006) Effect of elevated CO<sub>2</sub>, temperature and drought on dry matter partitioning and photosynthesis before and after cutting of nodulated alfalfa. **Plant Sci.** 170:1059–1067.
- Freyman S, CG Kowalenko, JW Hall (1989) Effect of nitrogen, phosphorus and potassium on weed emergence and subsequent weed communities in south coastal British Columbia. **Can. J. Plant Sci.** 69:1001–1010.
- Harbur MM, MDK Owen (2004) Response of three annual weeds to corn population density and nitrogen fertilization timing. **Weed Sci.** 52: 845–853.
- Heap I (2014) Global perspective of herbicide-resistant weeds. **Pest Manage. Sci.** 70:1306–1315.
- Hsiao CL, CM Yang, YJ Lee (2011) Effect of planting date on population and weeds in the paddy field. (in Chinese with English abstract) **J. Taiwan Agric. Res.** 60:139–148.
- Johnson WG, EJ Ott, D Gibson, RL Nielsen, TT Bauman (2007) Influence of nitrogen application timing on low density giant ragweed (*Ambrosia trifida*) interference in corn. **Weed Technol.** 21:763–767.
- Kimball BA (1983) Carbon dioxide and agricultural yield: An assemblage and analysis of 430 prior observations. **Agron. J.** 75:779–788.
- Kuo WH (2004) Seed ecology and weed management. (in Chinese with English abstract) **Weed Sci. Bull.** 25:53–68.
- Lee YJ, CM Yang, CL Hsiao (2009) Influence of climatic conditions on production of rice cultivar TNG 71. (in Chinese with English abstract) **J. Taiwan Agric. Res.** 58:45–54.
- Lur HS, YH Liu, Central Weather Bureau. 2006. Environmental challenge and strategy for quality rice culture in Taiwan. (in Chinese with English abstract) **Crop Environ. Bioinform.** 3:297–306.
- Nee CC, TK Hu (1995) The chilling requirement and its effect on the productivity of pears in Taiwan. (in Chinese with English abstract) **J. Agric. For.** 50:07–113.
- Patterson DT, JK Westbrook, RJV Joyce, PD Lingren, PD Rogasik (1999) Weeds, insects, and diseases. **Climate Change** 43:711–727.
- Peters K, L Breirsameter, B Gerowitt (2014) Impact of climate change on weeds in agriculture: a review. **Agron. Sustain. Dev.** 34:707–721.
- Ryan MR, RG Smith, SB Mirsky, DA Mortensen, R Seidel (2010) Management filters and species traits: Weed community assembly in long-term organic and conventional systems. **Weed Sci.** 58:265–277.
- Sardi K, I Beres (1996) Effects of fertilizer salts on the germination of corn, winter wheat and their common weed species. **Commun. Soil Sci. Plant Anal.** 27:1227–1235.
- Scott JK, BL Webber, H Murphy, N Ota, DJ Kriticos, B Loechel (2014) AdaptNRM Weeds and Climate Change: Supporting Weed Management Adaptation. Available at: [www.AdaptNRM.org](http://www.AdaptNRM.org)
- Sharma RK, KS Babu, RS Chhokar, AK Sharma (2004) Effect of tillage on termites, weed incidence and productivity of spring wheat in rice-wheat system of North Western Indian plains. **Crop Prot.** 23:1019–1054.
- Sweeney AE, KA Renner, C Laboski, A Davis (2008) Effect of fertilizer nitrogen on weed emergence and growth. **Weed Sci.** 56:714–721.
- Tungate KD, DW Israel, DM Watson, TW Rufty (2007) Potential changes in weed competitiveness in an agroecological system with elevated temperatures. **Environ. Exp. Bot.** 60:42–49.
- Usman K, SK Khalil, AZ Khan, IH Khalil, MA Khan, Amanullah (2010) Tillage and herbicides impact on weed control and wheat yield under rice-wheat cropping system in Northwestern Pakistan. **Soil Till. Res.** 110: 01–107.
- Wortman SE, AS Davis, BJ Schutte, JL Lindquist

- (2011) Integrating management of soil nitrogen and weeds. **Weed Sci.** 59:162–170.
- Yang C-H (1996) Weeds and weed management. (in Chinese with English abstract) **Taiwan Agric.** 32(4):89–100.
- Yang C-M, C-Y Wang, C-Y Lin, eds. (2004) Weed Science and Weed Management. (in Chinese) Taiwan Agricultural Research Institute. Taichung, Taiwan. 256pp.
- Yang CM (2014) From organic farming, weed management in organic farming to new agricultural value chain: another opportunity for agricultural development in Taiwan. (in Chinese with English abstract) **Crop Environ. Bioinform.** 11:105–112
- Zhang JH, ZW Fan, YD Shen, LZ Liu (2009) Effect of different illumination on *Eupatorium odoratum* growth. (in Chinese with English abstract) **J. Anhui Agri. Sci.** 37:9967–9968.
- Zimdahl RL (1995) Introduction. p.1–18. *In*: Handbook of Weed Management Systems. Smith, A. E. (Ed.) Marcel Dekker, New York.
- Ziska LH (2000) The impact of elevated CO<sub>2</sub> on yield loss from a C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> weed in field-growth soybean. **Global Change Biol.** 6:899–905.
- Ziska LH (2001) Changes in competitive ability between a C<sub>4</sub> crop and a C<sub>3</sub> weed with elevated carbon dioxide. **Weed Sci.** 49:622–627.
- Ziska LH, J Dukes (2011) Weed Biology and Climate Change. John Wiley & Sons, New York. 235pp.