

農業廢棄物之利用與環保： 植物相剋作用在永續農業之利用

周昌弘

中國醫藥大學生物多樣性研究中心

摘 要

近半世紀來，農藥被大量使用後造成農地污染、土壤變質、地下水資源被污染、土壤微生物不平衡、農藥殘留於作物中對牲畜及人類造成毒害，影響國民健康至鉅，有鑑於此，農學及環保學者大力疾呼土壤保育及環境保護之重要。為改進農業的耕作方式以恢復地力，永續性生態式的農業勢必取代傳統農業。緣此，利用植物相剋作用 (allelopathy) 的理論以發展生物農藥 (bio-agrochemical) 成為不可或缺的當務之急。在植物的天然物中，含植物相生相剋物質，亦含抗病原菌及昆蟲之化合物。已有越來越多的次階代謝產物由植物中被分離且應用為天然除菌劑及除蟲劑。相對於高毒性及高污染之人工合成農藥藥劑，天然抗菌及抗蟲劑易於分解可減少環境的污染。

西方哲人說：「浪費廢棄物是一種浪費」(To waste the waste is waste) 又說 “Go to waste, to be wasted, rather than used or consumed.” 這個意思是廢棄物是一種資源，可以再生利用。台灣是以農立國的國家，農林作物殘體量相當大。大部分的農民都將此殘體棄於農地讓其自行分解至為可惜，若以火燒成為煙灰易導致空氣中二氧化碳之增加造成溫室氣體，不利環保。相反地，若能進一步研究各農林作物殘體的特性，藉其相生相剋作用之潛能以做為生物農藥以取代或降低使用化學合成之除草劑、除蟲劑、除菌劑，則農林作物殘體將不再被視為廢棄物而是一項資源。農林作物之殘體如林木葉、枝條、花、果莢等都含有天然物，有的天然物具相剋作用可做為天然除草劑、除菌劑、或除蟲劑，此天然物做成生物農藥因其分解速度快，且易與土壤有機質結合成為有機礦物複合體 (Organo-mineral Complex)，對土壤的結構及植物生長有益。此天然物經分解後不會造成殘留餘毒，對土壤的保育具正面效果。近年來生物相生相剋物質 (allelochemicals) 已廣被學者倡導而努力嘗試運用於農林作物之自然農法上。緣此，利用 Allelopathy 之原理把農林作物殘體做為生物農藥是最合乎生態原則且達到利用廢棄物做成生物資源之最佳方法，亦吻合永續農業的

理想。目前本人已提出「農林作物殘體做為生物農藥之研究與開發」的國家型研究計畫，也期望此計畫之結果能為將來我國永續農業帶來一片曙光。

前 言

近五十年來，由於工商業的發達，農村勞力往都市移動，造成農村人力的不足，農地的生產經營方式也逐漸脫離傳統自然的方式，而採機械式的經營大量地使用合成化學肥料、農藥，而鮮有補充有機的材料，導致土壤物理化學性質的改變，土壤肥力降低，農藥殘留物的累積，隨之造成土壤微生物相的不和諧，病蟲害衍生，為達到生產目的，更多的農藥投入，此惡性循環造成農地萬劫不復，良田變成劣地，整個農業生態系遭受極大的衝擊。農業及生態的有識之士遂提出永續農業（sustainable agriculture）或自然農法（natural farming）的重要性。永續農業在經營上的理念是有機的（organic），取代式的（alternate），再生的（regenerative），生物動態的（biodynamics），能量低輸入的（low input）及資源保育的（resource-conserving），此理念的經營得以維持農地的地力及農業生產力，使農業得以永續（Francis and Sahs, 1986; Chou, 1999）。因此，避免使用農藥及化學肥料成為永續農業最重要的工作。進一步地，利用植物相生相剋作用的原理（Muller, 1966; 1974），以植物天然物來做為除草劑、除菌劑、除蟲劑以取代合成的農藥，成為後現代農業經營的一個重要方向（Welte and Szabolcs, 1987）。因為天然物在自然生態系裡，化合物的分解速率較快，不易造成毒物質之累積，雖天然物對某些土壤生物是有害的，但卻對另一些生物是有利的，在相生相剋的互補作用下，使土壤得以維持生態的和諧及穩定（Whittaker and Feeny, 1971; Chou, 1999）。為達到永續農業的目標，過去，以有機農業的理念做作物育種、土壤肥力及耕作系統、作物保護、作物系統等研究，都被相當的重視。Putnam 及 Duke（1974）從 *Cucumis sativus* 及 *Avena sativa* 中得到具有植物相剋潛能的品系，這些品系於田間生長時可控制雜草之生長。Lovett 及 Hoult（1995）也從大麥中找到具植物相剋的品系，以對付鄰近競爭性的雜草。Chou（1999）也指出植物相剋作用在多作物系統中扮演有益的角色。故以天然植物相剋物質做為生物防治在永續農業扮演一個相當重要的角色（Welte and Szabolcs, 1987; Gliessman, 1983; Rice, 1995; Macias et al., 1993; Macias et al., 1999）。

森林植物殘體之利用

許多森林植物之落葉、枯枝、花、果莢或其他殘體經淋溶或分解後會釋放出代謝物質如酚類化合物、類黃素、松烯類、及植物鹼於環境中，這些物質造成許多農作物生產力的降低。舉凡連作的障礙，係因長期耕作同一物種，經年累月的釋出相同的化學物質累積於土壤中，造成土壤的貧瘠 (soil sickness)，在世界各地此現象相當普遍，作物如水稻 (Chou and Lin, 1976)、蘆筍 (Young, 1986)、甘蔗 (Wang et al., 1967)、小麥、綠豆 (Chou et al., 1995)、向日葵 (Rice, 1995) 等。森林植物如孟宗竹 (Chou and Yang, 1982)、銀合歡 (Chou and Kuo, 1986)、相思樹 (Lee and Chou, 2000)、血桐 (Tseng et al., 2003) 及鳳凰木 (Chou and Leu, 1992) 等也產生相當多樣的植物毒物質。吾人若能利用上述植物所產生的代謝有毒物質來做為天然除草劑、除蟲劑、除菌劑，或植物抵禦外來病菌的物質，或成為生物防治的天然農藥。因為這些植物代謝物質係天然物，其分解速率快，不易造成殘留餘毒，不像合成的農藥，其分解速率慢而造成殘留餘毒，因此合成的農藥如 2,4D 或 2,4,5T，或現今的許多農藥殘留於土壤中後，造成土壤理化性質之改變，也造成土壤微生物相的不平衡，導致土壤的貧瘠，地力降低。緣此，植物代謝物做為天然除草劑、除蟲劑或除菌劑等成為有機農業最佳的方式，此有機農業的做法符合永續農業的理念，吾人若善加利用此自然法則，則植物天然物在永續農業中將扮演一個相當有意義的角色。如下，作者敘述過去評析不同森林植物之植物相剋潛能。若能利用森林殘體做為生物農藥以抑制雜草或病蟲害之生長，則可避免或減輕使用化學合成的農藥所產生的環境問題。

森林植物之植物相剋作用

一、竹類植物之相剋作用潛能

周等 (Chou and Hou, 1981) 評估臺灣 14 種竹類植物而發現蘆竹 (*Dendrocalamus latiflorus*; 又名 *Sinocalamus latiflorus*) 表現出最高的植物毒性，孟宗竹 (*Phyllostachys edulis*)、綠竹 (*Bambusa oldhamii*) 及八芝蘭竹 (*B. pachiensis*) 亦表現顯著的植物毒性，在上述的竹類植物中，筆者及其助手也萃取許多類黃素並鑑得數個酚類的毒物質為 *o*-hydroxyphenylacetic acid, *cis*- ρ -cinnamic, *trans*- ρ -hydroxycinnamic, vanillic, ρ -hydroxybenzoic, ferulic 及 syringic acid，其中 *trans*- ρ -hydroxycinnamic acid 及 ρ -hydroxybenzoic acid 之含量最高。

尤有進之，周等 (Chou and Yang, 1982) 發現在同一地區孟宗竹與柳

杉林對地被植物具不同相剋作用，孟宗竹林下之光度（晴天正午時約為 2,000~3,000 lux），相對的柳杉林下之光度約 100 lux 以下，雖然前植物密者林下之光度較後者高出 10 倍，然孟宗竹林下之地被植物密度及生物量極低，而柳杉林地被植物之密度及生物量極高，此結果顯示孟宗竹下地被植物稀少並不是光度不足，而柳杉林下之地被植物生長得卻相當繁茂。進一步地，從溪頭實驗地選 10 種植物栽培於南港溫室中，並分別接受孟宗竹林及柳杉林之水溶淋洗液。結果顯示，孟宗竹之淋溶液對移植之植物生長有顯著的抑制作用，但柳杉林之淋溶液對這些植物生長的抑制情形則較差。此結果顯示孟宗竹之水溶淋洗液中含高量之植物相剋物質。同時，孟宗竹之淋洗液對萵苣及稈麥草之幼根生長有顯著抑制作用。相反的，柳杉林之水溶淋洗液卻有促進生長之作用。周曾發現竹林抑制地被植物生長之現象，普遍存在於臺灣、日本、新加坡、夏威夷等地。

二、銀合歡之植物相剋作用

此外，在大面積栽培的銀合歡林中，亦發現銀合歡對地被植物生長抑制之現象，此等廣泛存在於台灣及夏威夷的銀合歡林中。郭及周等對夏威夷型及薩爾瓦多型的銀合歡進行多次田間調查，溫室盆栽及實驗室之分析，而發現林內草本植物不易入侵之現象，並非由環境中之物理因子所促成。經多項生物檢定結果顯示，銀合歡之風乾葉、枯枝葉層、種子及林地土壤，均具水溶性之植物毒物質並抑制萵苣、稈麥及水稻種子之發芽及幼根之生長，且對相思樹、銀木麻黃、楓香及臺灣赤楊之幼苗生長亦有顯著之抑制作用。銀合歡成熟葉中含約 5% 之含羞草素 (mimosine)，此胺基酸極具毒性，可抑制萵苣、水稻及上述林木胚根之生長，以高壓液相色層分析結果，銀合歡葉中含 9 種有毒酚酸及一種類黃素，銀合歡對許多林株有剋制作用 (Chou and Kuo, 1986)。但此作用亦與環境因素息息相關，而受制於環境因子甚大。

三、相思樹之植物相剋作用

相思樹 (*Acacia confusa* Merr) 的葉及根經甲醇萃取後，續經一系列 Sephadex LH-20 膠濾管柱層析、矽膠速分管柱層析及高效液相管柱層析的分離、純化，計純化出二十二個化合物，經紫外可見光譜 (UV-Vis)、紅外光譜 (IR)、一維核磁共振譜 (^1H -及 ^{13}C -NMR)、二維核磁共振譜 (COSY、HMQC 及 HMBC) 及速原子撞擊質譜 (FABMS) 等圖譜的解析，始確認出其中十八個化合物為黃酮類 (flavonoid)；二個為單寧類化合物 (tannin)；餘兩個化合物為生物鹼 (alkaloids)。其中 myricetin

3-O-(2''-O-galloyl)- α -rhamnopyranoside 7-methyl ether、myricetin
 3-O-(3''-O-galloyl)- α -rhamnopyranoside 7-methyl ether、myricetin
 3-O-(2'',3''-di-O-galloyl)- α -rhamnopyranoside 及 myricetin
 3-O- β -galactopyranoside 7-methyl ether 為過去文獻中所未曾發表的新化合物 (Lee and Chou, 2000; Lee et al., 2000)。此外，在生物活性上，flavonol galloylglycoside 類化合物對於豐年蝦卵 (*Artemia salina*) 的孵化具強的抑制作用，其半抑制濃度 IC_{50} 為 50~89 μ g。另每 cm^2 的濾紙含 40 μ g 的生物鹼 *N*-methyl tryptamine 或 *N,N*-dimethyl tryptamine 對於萵苣種子根的生長具顯著的抑制作用。

四、血桐植物之相剋作用

血桐 (*Macaranga tanarius* L.) 是大戟科 (Euphorbiaceae) 植物，每年能產下相當多的種子，藉鳥類幫助其傳播，一年四季都有落葉現象，在血桐樹下常有相當量的落葉堆積。血桐為陽性樹種，生長快速，常以先驅物種的角色出現在荒廢地、草地上，而且具有相當的潛力，能擴張其族群的大小，同時血桐林下的植物數量逐漸減少，在屏東潮州與臺北圓山的血桐純林下姑婆芋 (*Alocasia macrorrhiza*) 成為林下植物優勢種。Tseng et al. (2003) 從野外的調查發現，血桐落葉中可能含有相剋作用物質，當落葉分解過程中，相剋物質釋出，造成鄰近的植物生長受抑制。因此，進一步將血桐落葉與土壤混合，在溫室中進行栽種鬼針草 (*Biden pilosa*)、銀合歡 (*Leucaena leucocephala*)、萵苣及姑婆芋，結果顯示鬼針草、銀合歡和萵苣的生長都明顯受到抑制，姑婆芋則否。另以實驗在溫室中進行密度與植物毒性的關係分析，發現萵苣在植株密度低的盆栽內，生長受抑制的情況比在植株密度高的盆栽中所受的抑制還嚴重，顯示萵苣在植株密度低的盆栽中，單株吸取到的毒性物質較在植株密度高的盆栽中還高，因此生長所受到的抑制愈明顯。在實驗室中，以落葉的水溶液萃取液對萵苣，鬼針草的種子作萌芽實驗，發現 1.0% 血桐落葉水溶液萃取液明顯對種子的胚根生長有顯著的抑制作用。從落葉水溶液萃取液中以乙醚萃取，所得到的乙醚層作濾紙色層分析，並以 2% 冰醋酸展佈，發現濾紙色層分析圖中，在 R_f 0.42-0.49 和 R_f 0.76-0.84 的斑點帶，對萵苣種子有明顯的抑制作用，進一步利用 silica gel、LH20、HPLC、TLC、HPTLC 等方法分離純化乙醚、butanol 層的化合物，單離以後的化合物，再以紅外線光譜、氫核磁共振光譜、碳核磁共振光譜、二維核磁共振光譜與質譜推測化合物的結構，共得到 nymphaeol-A、nymphaeol-B、nymphaeol-C、quercetin、abscisic acid (ABA)、blumenol A、blumenol B、reseside II、tanariflavanone A、

tanariflavanone B 和 D-mannitol 天然化合物，其中 tanariflavanone A、tanariflavanone B 為新發現的天然化合物，而血桐落葉的 abscisic acid（離層酸）含量約有 3000-5000 ng g⁻¹，此一含量顯著比過去文獻之報導的多。以這些純物質對萵苣種子與長在血桐林附近三種雜草種子，包括鬼針草（*Biden pilosa*）、孟仁草（*Chloris barbata*）、芒草（*Miscanthus floridulus*）作種子萌芽實驗，結果以離層酸對種子的發芽最具抑制效果。離層酸在 20 μg ml⁻¹ 下即完全讓萵苣種子無法發芽，而在 120 μg ml⁻¹ 時對芒草與孟仁草的胚芽鞘的生長有 75% 的抑制效果，對此兩种植物的胚根生長有 55% 的抑制，在 40 μg ml⁻¹ 時對鬼針草的胚根則有 50% 的抑制效果。此外 blumenol A、blumenol B 和 reseoside II 三種化合物在 600 μg ml⁻¹ 時也引起芒草胚根的生長受到 20-25% 的抑制，而 tanariflavanone A 與 tanariflavanone B 在 200 μg ml⁻¹ 時也對萵苣的胚根生長有 10-30% 的抑制效果。從以上的實驗證明，血桐林下的落葉在分解過程中可能會釋出相剋作用物質，如 ABA、blumenol A、blumenol B、reseoside II、tanariflavanone A 與 tanariflavanone B 對周圍的雜草植物的生長有抑制作用，進而除去這些雜草對共用資源的競爭，讓血桐林得以快速侵入草地或荒廢地，擴張其族群的生活空間，形成當地群落的優勢種植物（Tseng et al., 2001; Tseng et al., 2003）。

克育草與森林植物之相生相剋作用

克育草（*Pennisetum clandestinum*）原屬熱帶牧草，在臺灣高海拔地區生長良好，是高冷地相當好的牧草。譬如，在南投縣清境農場的青青草原即是。克育草屬匍匐性牧草，生長快速，覆蓋度緊密，產草量亦高，對畜牧及坡地水土保持極為有利。由於克育草具有上述優點，作者等遂設計一研究計畫以克育草做為林間放牧之材料，其目的在試驗當杉木林砍伐後在不除草，不干擾地被植物下種植克育草，讓該草在短期間內覆蓋林地，此覆蓋期間不但可以抑制雜草生長，且滋長之克育草可以放牧，以收林牧綜合經營之目的。

一、克育草與杉木間之植物相剋潛能之比較

為評估克育草，杉木鮮葉及殘枝枯葉之相生相剋作用，以捲心萵苣、稻子及爬拉草為材料進行生物檢定，發現此三種植物萃取液具有植物毒害（phytotoxic effect）之作用。在捲心萵苣之生物檢定中顯示，不管是克育草或是杉木殘枝枯葉之萃取液，在各種濃度下對捲心萵苣種子之發芽均無顯著抑制之現象，但杉木鮮葉萃取液對其發芽卻有顯著之抑制作用，且當

萃取液濃度低至 0.5% 時仍具有抑制種子發芽之作用。在實驗室測定田間杉木葉片之淋洗液，其濃度常高於 2.5% ，這可能是殘枝枯葉之覆蓋量大，通常都超過 5 公分厚之關係。

杉木鮮葉及殘枝枯葉之水溶萃取液，經紙色層分析 (paper chromatography) 及高效能液態色層分析儀 HPLC 分析結果，計有 8 種化合物質即：gallic, protocatechic, ρ -hydroxybenzoic, vanillic, ρ -coumaric, m -coumaric, syringic 及 ferulic acid 等，此外在克育草之水溶萃取液中尚發現 o -coumaric acid。這些酚酸類之含量，以杉木鮮葉者最高，克育草次之，杉木之殘枝枯葉中最少，且各樣品萃取液中之酸性層所含酚類之相剋物質最高，中性層次之，而鹼性層中最少 (Chou et al., 1987)。本研究之萃取液中植物毒物質 (phytotoxin) 量與植物毒性程度 (phytotoxicity) 呈正相關。除上述化合物外，克育草之萃取液中尚有約 30 種未被確定之化合物，相信一部分是屬於類黃素。這類化合物是否具有毒害作用尚未被鑑定出來，有待今後繼續研究。

本試驗生物測定結果顯示捲心萵苣下胚軸之生長受到杉木之鮮葉，枯葉及克育草萃取液之抑制。其抑制濃度在 2.5% 或以上，杉木之鮮葉中之植物毒性 (phytotoxicity) 最高。今後應致力於其分解過程之變化研究，以了解杉木枯葉要達到無毒害作用所需之時間，此種研究對於農民及林業者以枯葉作為覆蓋，防止雜草滋生之利用上將有所助益。此種觀念已在清境農場實現，克育草之覆蓋對其他雜草或果園草有抑制之作用。今後，對於克育草之研究應再繼續鑑定其他未鑑定之相剋物質。此外，林地內堆積之枯葉所釋出之毒物質對其他植物之相剋作用影響亦值得進一步探討。此結果在生長季節多雨之地區將有特殊之意義。

二、克育草與闊葉樹之交互作用

克育草與針葉林杉木林再生間之交互作用研究已在前文詳述，然而，克育草在臺灣中低海拔林地種植時，必與闊葉樹間產生交互作用。臺灣中低海拔 (1500 公尺以下) 之主要闊葉樹種是樟木 (*Cinnamomum camphora*)，欒木 (*Zelkova formosana* Hay)，赤楊 (*Alnus formosana*) 及楓樹 (*Liquidamber formosana*)。為求研究上之方便，作者等選擇在上述杉木林實驗區之鄰近林區為研究地。然而，其田間之處理因三種闊葉樹之增加而有不同。相同的，在南投縣和社大坪頂杉木林砍伐後之林地內取一實驗地，坡度約 15°，於此地分別取 10×10m² 為一小區，依完全逢機區集排列做八個處理，四個重複。此八個處理分別是，A：完全放任 (不種任何植物) (對照組)；B：僅種克育草 (克區)；C：克育草與赤楊混植 (克赤

區); D: 克育草與欖木混植 (克欖區); E: 克育草與樟木混植 (克樟區); F: 僅種赤楊 (赤區); G: 僅種欖木 (欖區), 及 H: 僅種樟樹 (樟區) (Chou et al., 1989)。

三次的田間調查結果顯示, 對照區及單獨闊葉樹區內之雜草覆蓋度, 顯著地高於種克育草區者, 以及克育草與闊葉樹之混植區者。此表示克育草顯著抑制雜草之生長。但是, 闊葉樹幼苗生長期間, 闊葉樹對克育草與雜草生長並無顯著影響。在生長初期, 克育草覆蓋程度雖不及雜草, 但一年半後 (即第三次之調查) 則顯示, 除了 B、C 區外, 克育草之覆蓋程度漸大於雜草者。其中克赤區 (C 處理) 之克育草與雜草之覆蓋度已無顯著差異。假以時日, 克區 (B 處理) 之克育草覆蓋度必大於雜草者。相反的, 不種克育草之地區, 其雜草之覆蓋度顯著大於由外侵入之克育草覆蓋度。

若比較上述八種處理間之雜草種類數則可以看出, 除赤楊外, 不種克育草之處理區, 其雜草種類數均大於克育草與闊葉樹混植區, 其中尤以第二次調查結果最為明顯。

當上述三種闊葉樹 (樟、欖及赤楊) 與克育草混植, 以及闊葉樹單獨時, 其生長之比較可以顯現克育草與闊葉樹間有不等之相互影響。以樹冠直徑比較之, 三次的調查結果均顯示克育草與樟樹混植時, 樟樹之樹冠直徑不及樟樹單獨植者。赤楊及克育草混植與赤楊單獨時, 在第一、二次的調查結果顯示, 混植時赤楊生長較差, 但第三次之調查卻顯示赤楊及克育草混植時, 赤楊之樹冠生長已較單獨者為高。相反的對欖木而言, 欖木與克育草混植時, 欖木之生長較欖木單獨種植時為佳。此顯示克育草與闊葉樹間有不同之交互作用。若以樹高言, 則結果與樹冠者無異 (Chou et al., 1989)。

三、闊葉樹及克育草之水溶液淋洗液及萃取液對五節芒幼苗之生長影響

取上述三種闊葉樹、楓樹及克育草之水溶萃取液和其淋洗液 (1、3、5% 濃度) 及蒸餾水 (對照組) 分別對五節芒 (*Miscanthus floridulus*) 之幼苗生長之試驗, 結果發現 1% 之萃取液或淋洗液, 顯示少數抑制作用, 在 3% 之萃取液已有相當的抑制程度, 在 5% 濃度時已有顯著的抑制程度, 其中以赤楊及楓樹之抑制程度最高。抑制根系發育與鮮重的程度成正相關關係。此結果充分顯示, 在實際的田間上述樹種之萃取液及淋洗液均有顯著抑制難除的五節芒生長之可能。此對雜草之相剋作用具有相當的意義。

四、闊葉樹之水溶萃取液中含植物相剋物質之比較研究

三種闊葉樹即赤楊、樟樹及香楓之水溶萃取液中，以 HPLC 及 PC 將所含植物相剋物質加以鑑定及定量。吾人鑑得在赤楊中有： α -resorcylic、 γ -resorcylic、 ρ -hydroxybenjoic、vanillic、 ρ -coumaric 及 cinnamic acid。在樟樹中含 β -resorcylic、 γ -resorcylic、 o -hydroxyphenylacetic、protocatechuic、vanillic 及 o -coumaric acid。而在楓樹中則含 γ -resorcylic acid、protocatechuic acid、ferulic acid 及 cinnamic acid。其中以 protocatechuic acid 含量最高達 875 ug/g。三樹種中以檫木所含之水溶性相剋物質最高達 2133 ug/g sample，赤楊次之 618 ug/g，樟樹則僅含 562 ug/g。作者相信，上述三種闊葉樹中含未被鑑定的相剋物質仍不乏其數，將來天然物化學家可進一步再深入探究。

結 論

在自然的生態體系中，植物的消長與群落的變化是隨著環境因子而改變，人為的干擾雖不可能避免，但都儘可能免除。可是在許多農地及森林地，大面積的栽培 (plantation) 經營卻免不了人為的干擾。近三十年來，人類為達到某種目的，也常常使用非自然的手段來經營森林與農業。譬如施用化學肥，施農藥及人類砍伐或除草來滿足人對作物生產力之要求。有時過度的人為力量，使森林面臨災難、表土破壞、水資源被污染，遂造成森林再生之困難與環境公害之問題。有鑑於此，現代農業也漸恢復使用合乎生態原則的方法來經營農業。為避免使用農藥及人力之浪費，以植物相剋作用的觀念來經營農業及森林必是一良方。本文研究指出，在杉林砍伐後種植克育草，一則可節省人為除草工資，二則因克育草之快速生長及具有植物相剋的潛能，而可抑制當地雜草的滋生，但克育草對杉林的再生卻沒有顯著的抑制影響，顯示克育草之引入砍伐後的針葉林區，在針葉林(杉林)尚未成林前是可用以控制雜草生長。另一個例子是克育草對闊葉樹林木生長的關係亦指出，克育草對三種中低海拔的樹種之生長無抑制作用，但對當地雜草卻有抑制的功能。研究指出克育草及上述三種闊葉樹對雜草生長均有抑制作用，但克育草對闊葉樹的生長則無害處。此顯示在森林保育上克育草是一相當好的林間草原植物。尤有進者，在克育草建立草原後，不但可提供牲畜之食料以增加畜產生產力，亦可防止因森林砍伐後所造成之土壤及水資源的流失，在森林保育及水土保持上均扮演良性的功能。因此，植物相剋作用之觀念，可以充分地被用於森林之經營上。吾人若能從此自然的道理中去經營農業，則自然保育必見曙光。

誌謝：本文係作者三十多年來（1972~2003）在中央研究院植物研究所及中山大學之重要研究工作。其中有許多學生、助理、博士後研究人員以及合作的單位，如行政院農業委員會畜產試驗所等同仁的協助。更賴國科會、農委會及中央研究院的資助，此研究才能完成。作者藉此方隅一併感謝。

參考文獻

- 周昌弘。1985。植物相剋作用之研究。科學月刊 13：147-166。
- 謝順景、謝慶芳（主編）。1989。有機農業。臺灣省臺中區農業改良場印 307 頁。
- Abdul-Rahman, A. A., and S. A. Habib, 1989. Allelopathic effect of alfalfa (*Medicago Sativa*) on bladygrass (*Imperata cylindrica*). *J. Chem. Ecol.* 15: 2289-2300.
- Ben-Hammouda, M., R. J. Kremer, H. C. Minor, and M. Sarwar, 1995. A chemical basis for differential allelopathic potential of sorghum hybrids on wheat. *J. Chem. Ecol.* 21: 775-786.
- Blum, U., T. M. Gerig, A. D. Worsham, L. D. Holappa, and L. D. King, 1992. Allelopathic activity in wheat-conventional and weat-no-till soils: development of soil extract bioassays. *J. Chem. Ecol.* 18: 2191-2221.
- Chou, C. H., 1999. Roles of allelopathy in plant biodiversity and sustainable agriculture. *Crit. Rev. in Plant Physiol.* 18(5): 609-636.
- Chou, C. H., S. G. Chang, C. M. Cheng, Y. C. Wang, F. H. Hsu, and W. H. Den, 1989. The selective allelopathic interaction of a pasture-forest intercropping in Taiwan. II. Interaction between kikuyu grass and three hardwood plants. *Plant and Soil.* 101: 207-215.
- Chou, C. H., and M. H. Hou, 1981. Allelopathic research in subtropical vegetation in Taiwan. I. Evaluation of allelopathic potential of bamboo vegetation. *Proc. Natl. Sci. Counc. (ROC)* 5: 284-292.
- Chou, C. H., S. Y. Hwang, C. I. Peng, 1987. The selective allelopathic interaction of a pastureforest intercropping in Taiwan. *Plant and Soil.* 98: 31-41.
- Chou, C. H., and Y. L. Kuo, 1986. Allelopathic research of subtropical vegetation in Taiwan III. Allelopathic exclusion of understory by *Leucaena leucocephala* (Lam.). *J. Chem. Ecol.* 12: 1431-1448.

- Chou, C. H., and H. J. Lin, 1976. Autointoxication mechanism of *Oryza sativa*. I. Phytotoxic effects of decomposing rice residues in paddy soil. *J. Chem. Ecol.* 2: 353-367.
- Chou, C. H., and Z. A. Patrick, 1976. Identification and phytotoxic activity of compounds produced during decomposition of corn and rye residues in soil. *J. Chem. Ecol.* 2: 369-387.
- Chou, C. H., and G. R. Waller (eds.), 1983. Allelochemicals and Pheromones. Institut of Botany Academia Sinica Monograph Series No. 5. Taipei, Taiwan. ROC.
- Chou, C. H., G. R. Waller, C. S. Cheng, C. F. Yang, and D. Kim, 1995. Allelochemical activity of naturally occurring compounds from mungbean (*Vigna radiata* L.) plants and their surrounding soil. *Bot. Bull. Acad. Sin.* 36: 9-18.
- Chou, C. H., and C. H. Yang, 1982. Allelopathic research of subtropical vegetation II. Comparative exclusion of understory by *Pyllostachys edulis* and *Cryptomeria japonica*. *J. Chem. Ecol.* 8(12): 1489-1507.
- Chou, C. H., and C. C. Young, 1975. Phytotoxic substances in twelve subtropical grasses. *J. Chem. Ecol.* 1: 183-193.
- Chou, C. H. and L. L. Leu, 1992. Allelopathic substances and interactions in *Delonix regia* Raf. *J. Chem. Ecol.* 18: 2285-2303.
- Einhellig, F. A., and G. R. Leather, 1988. Potentials for exploiting allelopathy to enhance crop production. *J. Chem. Ecol.* 14: 1829-1844.
- Francis, C. A., and W. W. Shas, 1986. Research for sustainable agriculture by U.S. University. Paper presented at IFOAM sixth International Conference., Santa Cruz, California, August 18-21. 1986.
- Gliessman, S. R., 1983. Allelopathic interactions in crop-weed mixtures: application for weed management. *J. Chem. Ecol.* 9: 991-999.
- Kato-Noguchi, H., S. Kosemura, S. Yamamura, J. Mizutani, and K. Hasegawa, 1994. Allelopathy of oats. I. assessment of allelopathic potential of oat

- shoot and identification of an allelochemical. *J. Chem. Ecol.* 20: 309-314.
- Lee, T. H., and C. H. Chou, 2000. Flavonoid aglycones and indole alkaloids from the roots of *Acacia confusa*. *J. Chin. Chem. Soc.* 47: 1287-1290.
- Lee, T. H., F. Giu, G. R. Waller, C. H. Chou, 2000. Three new flavonol galloyl glycoside from leaves of *Acacia confusa*. *J. Natural Product* 63: 710-712.
- Lovett, G. V., and A. H. C. Houlst, 1995. Allelopathy and self-defense in barley. *In: Allelopathy, Organism, Processes, and Application.* pp. 70-84. Indesjit Dakshini, K. M. M., and F. A. Einhellig (eds.). ACS Symposium Series 582, American Chemical Society, Washington DC.
- Macias, F. A., J. C. G. Galindo, G. M. Massanet, F. Rodriguez- Luis, and E. Zubia, 1993. Allelochemicals from *Pilocarpus goudotianus* leaves. *J. Chem. Ecol.* 19: 1371-1379.
- Macias, F. A., Galindo, J. C. G., Mlinillo, M. G., and Cutler H. G. (eds.) 1999. Recent Advances in Allelopathy, Vol. 1: A Science for the Future. International Allelopathy Society. Servicio De Publicaciones, Universidad de Cádiz, Spain.
- McCalla, T. M., 1971. Studies on phytotoxic substances from microorganisms and crop residues at Lincoln, Nebraska. *In: Biochemical interactions Among Plants.* Pp. 39-42. National Academy of Sciences U. S. A., Washington, DC.
- Muller, C. H., 1966. The role of chemical inhibition (Allelopathy) in vegetational composition. *Bull. Torrey Bot. Club* 93: 332-351.
- Muller, C. H., 1974. Allelopathy in environmental complex. *In: Vegetation and Environment.* Pp. 73-85. (B. R. Strain and W. D. Billings, eds.) The Hague, Dr. W. Junk B. V. Publisher.
- Patrick, Z. A., 1971. Phytotoxic substances associates with the decomposition of certain plant residues in soil. *Soil Sci.* 111: 13-18.
- Putnam, A. R., and W. B. Duke, 1974. Biological suppression of weeds,

- evidence for allelopathy in accession of cucumber. *Science* 185: 370-372.
- Rice, E. L., 1984. *Allelopathy*. Academic Press, New York and London.
- Rice, E. L., 1995. *Biological Control of Weeds and Plant Disease: Advances in Applied Allelopathy*. Univ. of Oklahoma Press, Norman.
- Tseng, M. H., C. H. Chou, Y. M. Chen, and Y. H. Kuo, 2001. Allelopathic prenylflavonones from the fallen leaves of *Macaranga tanarius*. *J. Nat. Prod.* 64 (6): 827-828.
- Tseng, M. H., H. S. Kuo, Y. M. Chen, and C. H. Chou, 2003. Allelopathic potential of *Macaranga tanarius*. *J. Chem. Ecology*. 29 (5): 1269-1286.
- Wang, T. S. C., J. Yang, and T. Chuang, 1967. Soil phenolic acids as plant growth inhibitors. *Soil Sci.* 103: 239-246.
- Welte, E., and I. Szabolcs (eds.), 1987. *Agrostemin*. International Scientific Centre of Fertilizer. Belgrade. Goettigen, Vienna.
- Weston, L. A., R. Harmon, and S. Mueller, 1989. Allelopathic potential of sorghum-udangrass hybrid (sudex). *J. Chem. Ecol.* 15: 1855-1865.
- Whittaker, R. H., and P. P. Feeny, 1971. Allelochemicals: Chemical interactions between species. *Science* 171: 757-770.
- Young, C. C., 1986. Autointoxication of *Asparagus officinalis*. In the *Science of Allelopathy*. Pp. 102-112. Putnam, A. R. and C. S. tang (eds.). John Wiley and Sons, N. Y.