

依滅草(imazapyr)土壤殘效之生物檢測

廖敬民¹ 王順成¹ 蔣慕琰² 蔣永正^{2*}

1.台中縣霧峰鄉 朝陽科技大學 環境工程與管理系

2.台中縣霧峰鄉 農委會農業藥物毒物試驗所 公害防治組

(接受日期：2006年9月30日)

摘要

廖敬民、王順成、蔣慕琰、蔣永正* 2006 依滅草(imazapyr)土壤殘效之生物檢測
植保會刊 48：217-227

依滅草為臺灣旱田常用之長殘效型除草劑，本研究主要探討依滅草土壤殘留引起藥害之潛力，同時建立適合之生物檢測方法，應用為農田及田水中依滅草殘留量及殘留活性之檢測。比較胡瓜及萵苣種子之胚根及胚軸伸長長度對依滅草之反應，兩種作物均顯示胚根伸長對依滅草之反應較胚軸敏感，且一致性高。不同劑量依滅草處理7日後之土壤浸出液，以HPLC檢測水中藥劑濃度，同時進行胡瓜及萵苣種子胚根伸長調查之生物檢測。胡瓜及萵苣之胚根長度均隨依滅草濃度之提高呈直線減少，且胡瓜對藥劑之敏感度明顯較萵苣為高。依滅草500 ppm處理28日後之土壤浸出液，對高粱、甘藍及胡瓜有高達95%以上之抑制率，番茄85%左右次之，萵苣25%以下，綠豆則與對照無處理組無明顯差別。比較藥劑處理後7、14及21日之土壤浸出液，在500 ppm劑量下之水樣對測試作物胚根長度之影響：高粱及甘藍在處理後三星期內，抑制率均高達95%左右，胡瓜及番茄降至80%，對時間之延長未有明顯減輕之趨勢，綠豆及萵苣則從7日之50%抑制率降至21日之15%左右，顯示高劑量依滅草對綠豆及萵苣之抑制，處理時間愈長愈降低趨勢愈大。依滅草處理之土壤浸出液對胚根伸長之抑制率雖較土壤樣品為低，但劑量反應之趨勢頗為一致。高粱及胡瓜胚根長度在0.5及5 ppm劑量下，浸出液依序為土壤之1.5及3倍左右，甘藍及番茄在0.5 ppm下差距約為2倍，綠豆及萵苣在50及500 ppm下達1-2倍之差異。由依滅草引起測試作物胚根伸長達20%及50%抑制率，依所需之處理劑量及時間，可將測試作物分別歸類為耐、中、感三級；綠豆及萵苣對依滅草最具耐性，次為胡瓜及番茄，高粱及甘藍同屬對依滅草敏感之作物。

(關鍵詞：胡瓜、萵苣、胚根伸長、依滅草、生物檢測、土壤殘效)

* 通訊作者。E-mail: cyj@tactri.gov.tw

緒 言

依滅草為 1980 年代中期，由美國氰胺公司發展之非選擇性二氮雜戊烯類(imidazolinones)除草劑，廣泛用於防除一年生及多年生雜草，田間用量因植物種類不同而異⁽⁸⁾。葉片及根部對藥劑的吸收快速，經由輸導組織轉運到幼嫩的部位發生作用⁽⁸⁾。在植體內不易代謝，因此對大型的木本植物也具有明顯的殺傷效果。主要作用機制為抑制植物細胞中 AHAS (acetohydroxyacid synthase) 酵素活性，干擾纈氨酸(valine)、白氨酸(leucine)及異白氨酸(isoleucine)等必需氨基酸之合成，抑制細胞生長達到殺草作用⁽⁸⁾。土壤殘效期長達 3 個月至二年以上，主要為微生物分解，分解速率與土壤類型、溫度及土壤含水量有關^(5, 20)。土壤 pH 決定藥劑之移動性，pH<5 時土壤吸附力增強限制藥劑移動；pH>5 時，藥劑呈負電性，不易與土壤粒子緊密吸附，而能被植物根吸收或微生物分解^(5, 21)。在水中之溶解度為 11.3 gL⁻¹，容易被光分解，半衰期不長^(5, 8, 20)。目前依滅草在台灣登記為非耕地之萌後噴施，以現行鼓勵休耕之栽作制度下，由於藥劑對植物之毒性頗為廣效，且有相當程度之土壤殘效期，田間實際施用時往往具有引起後作非目標敏感植物藥害之疑慮。

本研究主要探討依滅草在不同施用劑量及處理時間下，殘留在土壤及其浸出液中之藥劑對測試作物引起藥害之潛力評估。同時建立反應靈敏、穩定且易操作之生物檢測方法，利用為偵測農田及田水中之依滅草殘留量及殘留活性，作為田間安全使用之參考依據。

材料與方法

供試作物

生物檢測採用之測試材料為購自農友種苗公司之甘藍(*Brassica oleracea*, 高峰甘藍)、胡瓜(*Cucumis sativus*, 清綠)、番茄(*Lycopersicon esculentum*, 四季紅)及萵苣(*Lactuca sativa*, 尖葉種)等種子，及分別由台中區與台南區農業改良場提供之高粱(*Sorghum bicolor*, 台中 5 號)、綠豆(*Vigna radiata*, 台南 5 號)。

供試藥劑

生物檢測所用之成品藥劑，為 23.1% 依滅草溶液(巴斯夫公司)。土壤淋洗液中依滅草殘留量測定，用為高效液態層析儀(HPLC)製作標準線之依滅草，純度>99.9% 之化學藥劑(RdH)。

依滅草測定

1. 儀器分析

以粒徑 0.22 μm 之濾紙抽氣過濾含有土壤懸浮粒之水樣，經磷酸酸化後，再以二氯甲烷抽出並收取有機層，濃縮後之收集液作為 HPLC (Shimadzu LC-10ATVP) 檢測用。使用之 column 為 Thermo Hypersil-Keystone ODS 250 x 4.6 mm (5 μm)，mobile phase 為水與甲醇(70:30, v/v) 之混合液，其中水先以磷酸調成 pH 3，流速 1 ml min⁻¹，retention time 約為 13 分鐘，在波長 250 nm 之 UV 檢出器檢測^(1, 10)。本分析方法之回收率為 89.7±1.1%，最低偵測限界為 39 ppb。

2. 生物檢測

參考有關生物檢測方法^(2, 3, 4, 12)文獻，分別選取經篩選過之高粱、甘藍、胡瓜、番茄、綠豆及萵苣等飽滿種子 10 粒，包覆於 30 cm × 20 cm (長×寬)之濾紙內，置於裝有不同含量依滅草溶液 300 ml 之燒杯中，將燒杯分別置放在溫度 25°C，光強度 200 μmoles m⁻² s⁻¹，光週期 12 小時之生長箱內，於處理後 7 日調查胚根及胚軸長度。各處理均為 3 重複，資料以回歸分析方法，

估算胡瓜胚根及胚軸伸長之平均長度，與依滅草含量之劑量反應關係。

土壤及淋洗液中依滅草生物活性測定

根據依滅草之登記量(0.35-0.69 kg ha⁻¹)選擇 500 g ha⁻¹ 及系列稀釋劑量，配置成不同濃度之藥液。分別量取上述藥液 10 ml 置於裝有 40 g 土壤(pH6.1、有機質 0.9%之黏質壤土)之培養皿中，於放置後 1、7、14、21 及 28 日取出適量土壤，進行依滅草殘效之生物活性檢測。

1. 土壤殘效測定

將依滅草處理後不同天數之土壤樣品取出，置於直徑 9 cm 之培養皿中，加去離子水 10 ml 後傾斜 30°放置，待水分均勻分佈於測試土中，於土表上端種植高粱、甘藍、胡瓜、番茄、綠豆及萵苣種子各 10 粒，再將培養皿置放在溫度 25°C，光強度 200 μmoles m⁻² s⁻¹，光週期 12 小時之生長箱內，7 日後調查胚根長度。不同測試作物之各項處理均為 3 重複，胚根及胚軸伸長長度之調查分析結果以 mean±SE 表示。

2. 土壤浸出液殘效測定

將不同劑量依滅草處理後之土壤樣品取出，加入適量去離子水，浸泡一日後，以 0.22 μm 濾紙濾去土壤懸浮粒子，部分水樣進行測試作物之生物檢測，比較不同處理之土壤浸出液對作物胚根伸長之抑制作用。另取部分水樣進行依滅草含量偵測，分析胡瓜及萵苣之胚根長度與依滅草濃度之相關關係。

不同測試作物胚根伸長對依滅草反應之比較

經系列劑量之依滅草處理及放置不同天數所得之土壤浸出液，以上述生物檢測方法，分別測定高粱、甘藍、胡瓜、番茄、綠豆及萵苣種子之胚根伸長長度。不同測試作物之各項處理均為 3 重複，胚根伸長長度之調查分析結果以 mean±SE 表示。

結 果

依滅草對胡瓜及萵苣胚根及胚軸伸長作用之影響

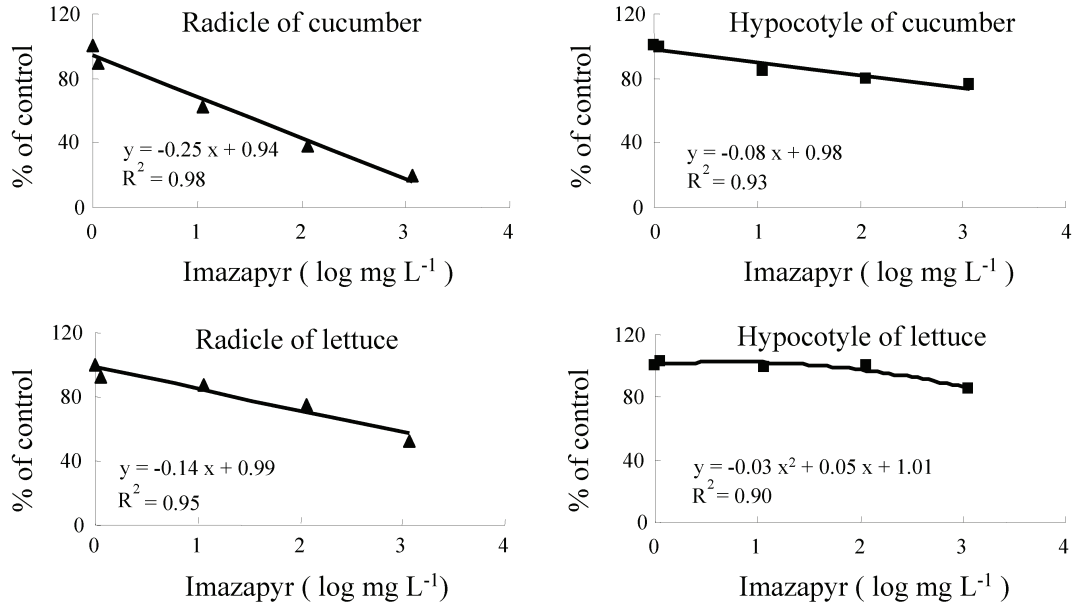
將依滅草處理後 7 日之土壤，以去離子水浸泡所得不同依滅草含量之浸出液，分別測試對胡瓜及萵苣種子之胚根及胚軸伸長長度之抑制反應。胡瓜種子之胚根於藥液處理後 7 日，隨依滅草處理劑量之增加，長度呈直線減少之相關關係(圖一)，在 10 ppm 處之平均抑制率達 25 % 左右，1000 ppm 則高達 90 % 以上。萵苣種子之胚根伸長反應，亦與依滅草處理劑量呈直線負相關關係(圖一)，只是胚根長度之平均降低速率約為胡瓜種子之 50 % (由一次微分之斜率值估算，依序為-0.14 及-0.25)。胚軸伸長之抑制反應；胡瓜種子之平均減少速率約為 0.08(圖一)，在 1000 ppm 劑量下亦僅有 25 % 左右，在相同抑制率下之所需之處理劑量約為根長反應的 3 倍以上。萵苣之胚軸伸長與依滅草處理劑量呈二次曲線之反應關係(圖一)，1000 ppm 劑量下之平均抑制率為 18 %，亦較胚根之抑制率 46 % 明顯為低，且較低之劑量對萵苣胚軸之伸長影響與未處理對照組幾乎無明顯差異。顯示在不同作物之胚根伸長對依滅草之反應較胚軸敏感，且一致性高。

土壤浸出液中不同濃度依滅草對胡瓜及萵苣胚根伸長之影響

將不同劑量依滅草處理過 7 日之土壤浸出液，以 HPLC 檢測水中依滅草之濃度，同時進行胡瓜及萵苣種子生物檢測之胚根長度調查，選擇抑制率在 25 % 以下之藥劑濃度與胚根長度進行回歸分析。結果顯示胡瓜胚根伸長長度在 30 ppm 濃度範圍內，隨藥劑濃度的增加呈直線負相關關係，平均抑制速率為每增加 1 ppm，胚根長度即減少 8.52 cm(圖二)。萵苣胚根伸長長度對依滅草之反應，在 1000 ppm

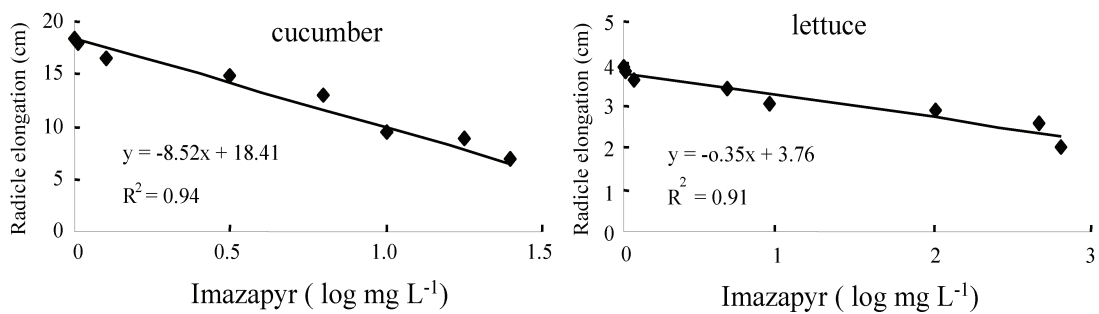
範圍內亦隨濃度增加呈直線降低趨勢，但平均抑制速率每增加 1 ppm，胚根長度僅減少 0.35 cm(圖二)。兩種測試作物之胚

根長度均隨依滅草濃度之提高呈直線減少，但胡瓜對藥劑之敏感度明顯較高苣為高。



圖一、依滅草對胡瓜及苣苣胚根及胚軸伸長之抑制作用。胡瓜及苣苣之未處理對照植株之胚根長度依序為 10.48 及 3.6 cm，胚軸長度為 12.0 及 4.23 cm。

Fig. 1. Regression analysis between concentrations of imazapyr in soils and lengths of radicle or hypocotyle of cucumber and lettuce exposed to leachates from these soils. Length of radicle and hypocotyle in untreated cucumber and lettuce were 10.48 and 3.6 cm and 12.0 and 4.23 cm, respectively.



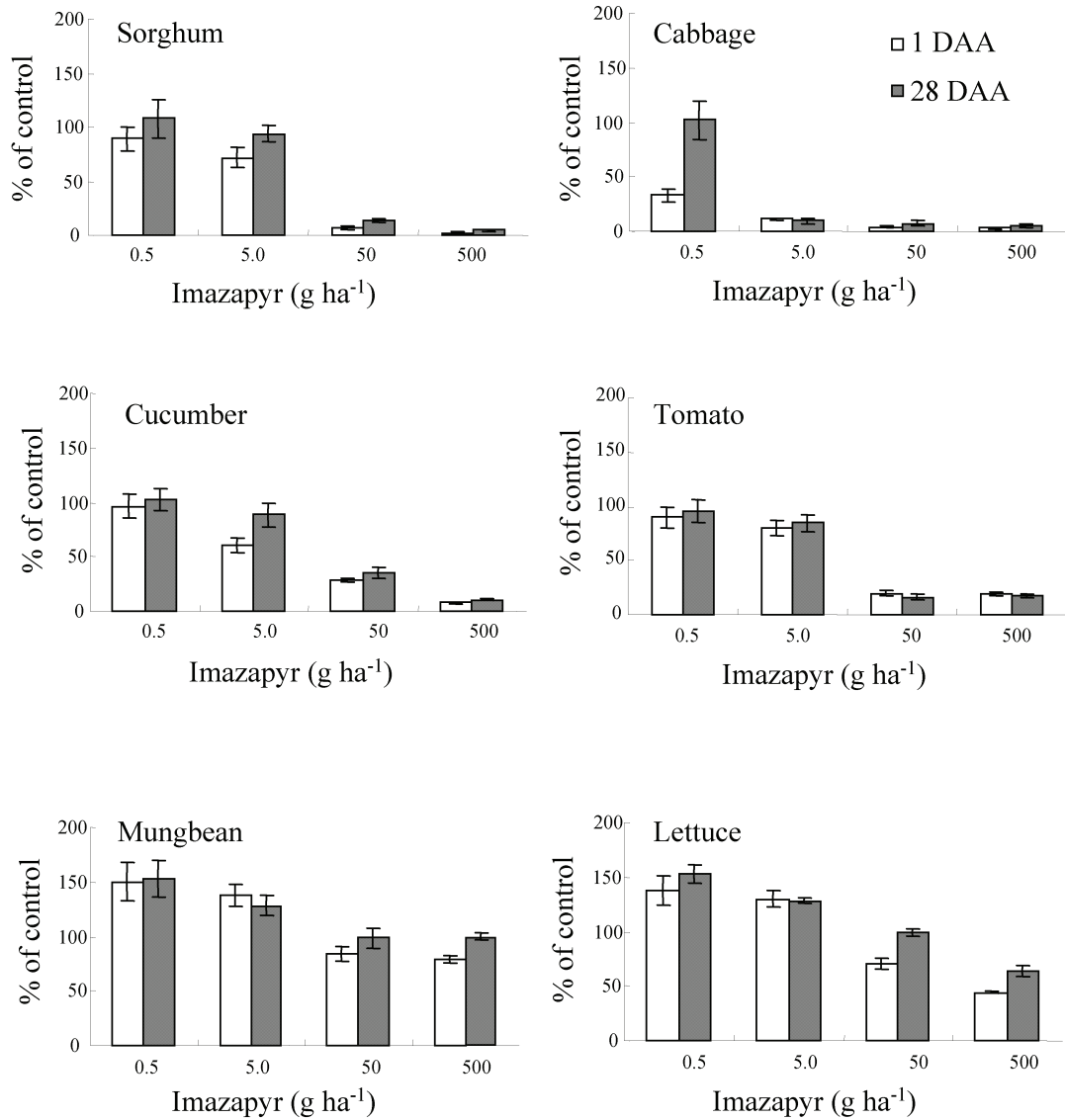
圖二、土壤浸出液中不同濃度依滅草對胡瓜及苣苣胚根伸長之影響。

Fig. 2. Regression analysis between concentrations of imazapyr in leachates determined by HPLC and lengths of radicle of cucumber and lettuce exposed to these leachates.

測試作物胚根伸長對依滅草反應之比較

將不同劑量依滅草處理土壤後 1 日及 28 日之浸出液，分別測試對高粱、甘藍、胡瓜、番茄、綠豆及萵苣種子之胚根伸長之影響。圖三所示在處理後 28 日，依滅草 500 ppm 之劑量對高粱、甘藍及胡瓜仍有高達 95 % 以上之胚根伸長抑制

率，番茄 85 % 左右次之，萵苣 25 % 以下，綠豆則與對照未處理組無明顯差別。除甘藍為 0.5 ppm 外，高粱、胡瓜及番茄在 5 ppm 劑量處理後 28 日均無明顯之胚根伸長抑制反應，綠豆及萵苣則對高達 50 ppm 之處理劑量與對照組無明顯差別(圖三)。



圖三、不同劑量依滅草處理後 1 日及 28 日之土壤浸出液對作物胚根伸長之影響。

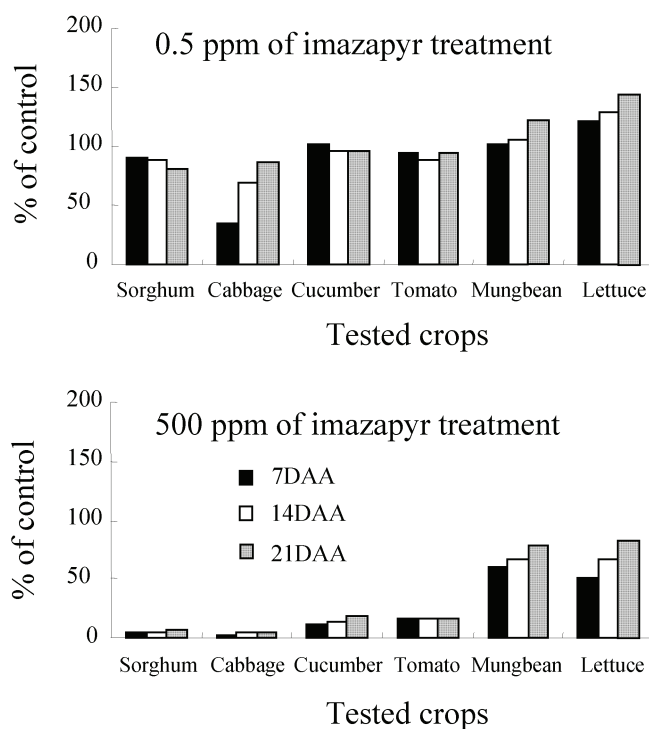
Fig. 3. Inhibition of radicle elongation of crops induced by leachates obtained from soils 1 and 28 days after treatment with various rates of imazapyr.

比較 0.5 ppm 及 500 ppm 之依滅草處理土壤後 7、14 及 21 日之浸出液，對高粱、甘藍、胡瓜、番茄、綠豆及萵苣等測試作物胚根長度影響之差異，發現 0.5 ppm 處理劑量之水樣，除甘藍會隨處理時間之延長，胚根長度由 7 日之 70% 抑制率降至 21 日之 10% 外，其餘測試作物在三星期之處理時間內，對胚根伸長之抑制率差異均在 10% 範圍內(圖四)。處理劑量為 500 ppm 之水樣對測試作物胚根長度之影響，可分為三個反應類型：高粱及甘藍在處理後三星期內抑制率均高達 95% 左右，胡瓜及番茄降至 80%，並對時間之加長未有明顯減輕之趨勢，綠豆及萵苣則從 7 日之 50% 抑制率降至 21 日之 15% 左右。顯示高劑量依滅草對綠豆及萵苣之胚根伸長抑制程

度，隨處理後時間之延長有降低之趨勢(圖四)。

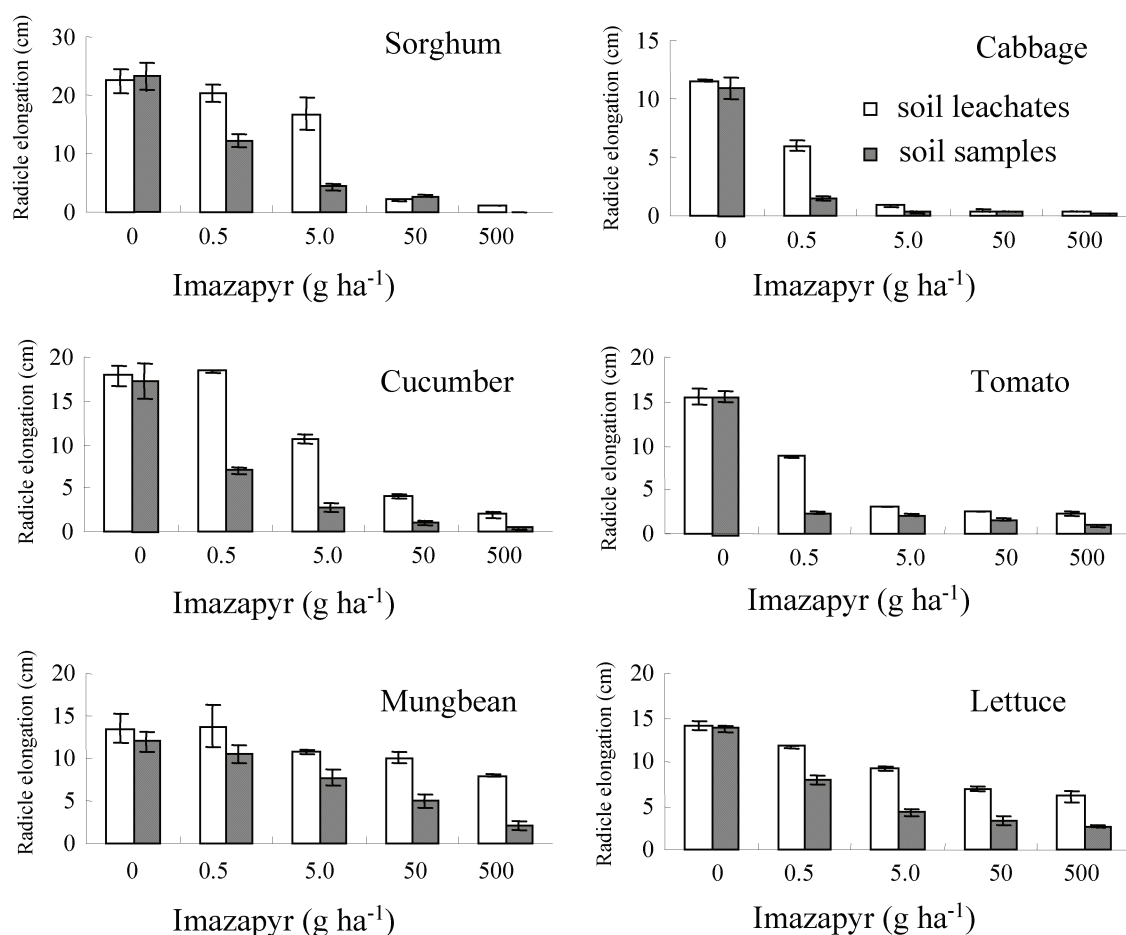
土壤及浸出液中殘留之依滅草對作物胚根伸長抑制作用之比較

將依滅草處理後 7 日之土壤及其浸出液，分別針對高粱、甘藍、胡瓜、番茄、綠豆及萵苣等作物測試胚根伸長之反應。顯示依滅草不同劑量處理後之土壤及其浸出液，對胚根伸長抑制效果以土壤樣品之抑制率較高，但劑量反應之趨勢頗為一致(圖五)。高粱及胡瓜在 0.5 及 5 ppm 處理劑量下，浸出液中之胚根長度依序為土壤之 1.5 及 3 倍左右，甘藍及番茄在 0.5 ppm 下差距約為 2 倍，綠豆及萵苣在 50 及 500 ppm 下達 1-2 倍之差異(圖五)。



圖四、依滅草處理後不同天數之土壤浸出液對作物胚根伸長之影響。

Fig. 4. Effects of leachates, obtained from soils 7, 14 and 21 days times after treatment with 0.5 or 500 ppm imazapyr, on radicle lengths of six different crops.



圖五、土壤及浸出液中殘留之依滅草對測試作物胚根伸長之抑制作用。

Fig. 5. Effects of soil treated with different rates of imazapyr and their leachates on radicle lengths of six different crops. Soils were tested 7 days after treatment and leachates were obtained and tested on the same day.

比較依滅草對胚根伸長達 20% 及 50% 抑制率之處理劑量及時間，可將測試作物分別歸類為耐、中、感三級(表一)，以 20% 抑制率之敏感性排序依次為甘藍 > 高粱 > 番茄 > 胡瓜 > 綠豆 > 萵苣，以 50% 抑制率之敏感性排序為甘藍 > 高粱 > 番茄 > 胡瓜 > 綠豆 = 萵苣。綜合兩部分數據，綠豆及萵苣可歸屬對依滅草具耐性等級，次為胡瓜及番茄，高粱及甘藍同屬於對依滅草感性之作物，可作為藥害潛力評估之測試作

物組。

討 論

依滅草為非耕地常用除草劑，對具有地下莖之多年生雜草防除效果顯著。在土中之半衰期長短主要受土壤類型、溫度、光照、土壤微生物活性等與藥劑分解速率有關因子之影響，通常在 pH 小於 5 之酸性土壤中殘留較長，pH 介於 5-9 時藥劑所含

表一、依滅草對不同測試作物胚根伸長之抑制反應

Table 1. Concentration imazapyr needed for causing 20% and 50% suppression (I_{20} and I_{50}) on radicle elongation of tested crops

Crop	I_{20}	I_{50}
	-----ppm-----	
Sorghum	5 (21 DAT) ¹⁾	5 (14 DAT)
Cabbage	0.5 (21 DAT)	0.5 (14 DAT)
Cucumber	5 (14 DAT)	5 (7 DAT)
Tomato	0.5 (28 DAT)	0.5 (7 DAT)
Mungbean	5 (7 DAT)	500 (7 DAT)
Lettuce	50 (7 DAT)	500 (7 DAT)

¹⁾ DAT: days after imazapyr treatment.

之羧酸離子化，水溶性因而提高^(5, 20, 21)。一般分布在土壤中之除草劑被土壤粒子吸附時，會限制植物根部的吸收及藥劑本身的分解與移動，只有溶於土壤水溶液中之藥劑，才能被根所吸收，或在土中移動及分解⁽⁶⁾。本研究中使用為依滅草處理之土壤 pH 為 6.1，在不同劑量處理七日後之土壤浸出液樣品中，可偵測到殘留有不同含量之藥劑(圖二)，同時土壤及浸出液樣品均對高粱、甘藍、胡瓜、番茄、綠豆及萵苣等測試作物之胚根伸長有明顯抑制作用(圖五)，顯示兩種樣品中所含之依滅草，均可被萌芽中之植物種子吸收引起毒害。此外，相同劑量處理下土壤對作物胚根伸長之抑制率雖較浸出液高出 1-2 倍(圖五)，但也顯示部分藥劑會由土壤中淋洗出來影響種子的萌芽，可能與依滅草之高水溶性有關^(5, 8)。

依滅草在土壤中主要經由微生物分解，土壤有機質含量、pH 及含水量等影響微生物活性及族群增殖等因子之變化，會改變藥劑的消退速率^(7, 9)。依滅草具有長達六個月以上之半衰期，可歸屬為中長期殘效之除草劑，雖然殘效持久具有延長雜草控制期，增加管理成效之優點，但殘留過長也可能導致後期作物發生生育傷害之疑慮^(11, 13, 14)。尤其在酸性黏重之土壤環境

中，即使在儀器無法偵測之低含量下，也可能引起敏感作物之藥害^(15, 19)。掌握土壤類型及土壤 pH，作物栽植前施用除草劑之氣候變化，以及田區栽培管理等影響除草劑殘留特性之變數，可減少作物發生藥害的風險。通常以翻耕方式減少藥劑滯留期過長之風險，主要是分散土壤中殘留之藥劑，達到稀釋土中濃度的目的，且增加微生物、土壤黏粒及有機質等與藥劑之接觸範圍，增加分解及吸附的程度⁽¹³⁾。另外，選擇具耐受性之輪作作物，以簡便易行且經濟之生物分析方式，在光照、溫度及水分一致之環境條件下，選擇適當之測試作物及傷害指標進行藥害潛力之評估，可以提供栽培者篩選出適當藥劑^(13, 18)。

本研究以胚根伸長作為依滅草劑量反應趨勢之生物檢測指標，是頗為敏感且穩定的方法^(2, 15)。比較胡瓜、萵苣胚根及胚軸伸長對依滅草之劑量反應，以胚根之伸長表現較為敏感且一致性高(圖一)。胡瓜胚根長度在 30 ppm 處理範圍內，隨藥劑濃度的增加呈直線減少之相關關係，平均抑制速率為每增加 1 ppm 之藥劑量，胚根長度即減少 8.52 cm。萵苣胚根長度對依滅草之反應，在 1000 ppm 以下，亦隨濃度提高呈直線降低趨勢，但平均抑制速率每增加 1 ppm，胚根長度僅減少 0.35 cm。顯示兩種

測試作物之胚根長度均隨依滅草濃度之提高呈直線減少，但胡瓜對藥劑之敏感度較高莖明顯為高(圖二)。由依滅草對胚根伸長抑制之處理劑量及時間比較，不同測試作物之敏感性有明顯差異，可大致歸類為耐、中、感三級(圖三、四，表一)，其中綠豆及萵苣為耐性作物，胡瓜及番茄次之，高粱及甘藍對依滅草較為敏感，尤其甘藍在 0.5 ppm 藥劑處理後七日之抑制率仍高達 70 %。由不同藥劑敏感性之作物組測試結果，較能精確反應藥害潛力之評估。生物檢測法應用在土壤及田水中藥劑殘留活性之偵測，較之儀器分析精確且易操作⁽¹⁹⁾，在藥劑使用時的安全考量上，提供了適切的參考依據。只是實際應用時應慎重選擇測試作物的種類及方法，才能正確研判藥害發生之可能性^(16, 17)。

綜合本研究依滅草處理後之土壤及其浸出液，對不同測試作物胚根伸長之影響及差異表現，與土壤中藥劑殘留之趨勢頗為一致。同時以 HPLC 偵測浸出液中之藥量，最多可達處理劑量之 50% 左右。因此利用耐、中、感不同藥劑感受性之測試作物，進行土壤浸出液對種子胚根伸長之生物檢測，可提供如依滅草等具殘效性除草劑施用過之田區，選擇適當後期作物之參考。

引用文獻

1. 馮海東、柯燕珍、林明秀。2004。依滅草農藥有效成分檢驗方法。農藥標準規格與檢驗方法，第六輯，行政院農業委員會農業藥物毒害試驗所編印。第 72-74 頁。
2. 蔣永正、蔣慕琰。2001。生物檢測田水中硫鹽尿素類除草劑之殘留活性。雜草會刊 22：85-99。
3. 蔣永正、蔣慕琰、劉威廷、蔡瑞真。1999。稻田田水殘留之百速隆 (pyrazosulfuron- ethyl) 引起非目標作物藥害之潛力。植保會刊 41：67-78。
4. 蔣永正、蔣慕琰。1996。稻作淺水環境下水中巴拉刈之消退及殘留活性。雜草會刊 17：47-57。
5. EL Azzouzi, M., Dahchour, A., Bonhaouss, A., and Ferhat, L. 1998. Study on the behaviour of imazapyr in two Moroccan soils. *Weed Res.* 38: 217-220.
6. Clay, D. V. 1993. Herbicide residues in soils and plants and their bioassay. *In: J. C. Streigbig and P. Kudsk [eds.], Herbicide Bioassays.* CRC Press. pp. 153-172.
7. Colquhoun, J. 2006. Herbicide Persistence and Carryover. University of Wisconsin-System Board of Regents and University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension. 12pp.
8. Cox, C. 1996. Imazapyr. *J. Pesticide Reform* 16(3): 16-20.
9. Hager, A., Sprague, C., and McGlamery, M. 2000. Factors affecting herbicide persistence. *Illinois Agricultural Pest Management Handbook.* pp. 323-326.
10. Helling, C. S., and Doherty, M. A. 1995. Improved method for the analysis of imazapyr in soil. *Pestic. Sci.* 45: 21-26.
11. Jourdan, S. W., Majek, B. A., and Ayeni, A. O. 1998. Imazethapyr bioactivity and movement in soil. *Weed Sci.* 46: 608-613.
12. Lavy, T. L. 1986. Herbicide bioassay as a research tool. *In: N. D. Camper [ed.], Research Methods in Weed Science.* Southern Weed Science Society. pp. 201-218.
13. Monaco, T. J., Bonanno, A. R., and Baron, J. J. 1986. Herbicide injury:

- diagnosis, causes, prevention and remedial action. *In*: N. D. Camper [ed.], *Research Methods in Weed Science*. Southern Weed Science Society. pp. 399-428.
14. Patten, K. 2003. Persistence and non-target impact of imazapyr associated with smooth cordgrass control in an Estuary. *J. Aquat. Plant Manage.* 41: 1-6.
 15. Stork, P., and Hannah, M. C. 1996. A bioassay method for formulation testing and residue studies of sulfonylurea and sulfonamide herbicides. *Weed Res.* 36: 271-281.
 16. Streigbig, J. C. 1993. Dose-response curves and statistical models. *In*: J. C. Streigbig and P. Kudsk [eds.], *Herbicide Bioassays*. CRC Press. pp. 29-56.
 17. Streigbig, J. C., Walker, A., Blair, A. M., Andersontaylor, G., Eagle, D. J., Friedlander, H., Hacker, E., Iwanzik, W., Kudsk, P., Labhart, C., Luscombe, B. M., Madafiglio, G., Nel, P. C., Pestemer, W., Rahman, A., Retzlaff, G., Rola, J., Stefanovic, L., Straathof, H. J. M., and Thies, E. P. 1995. Variability of bioassays with metsulfuron-methyl in soil. *Weed Res.* 35: 215-224.
 18. Sunderland, S. L., Santelmann, P. W., and Baughman, T. D. 1991. A rapid, sensitive soil bioassay for sulfonylurea herbicides. *Weed Sci.* 39: 296-298.
 19. Szmigielska, A. M., Schoenau, J. J., and Greer, K. 1998. Comparison of chemical extraction and bioassay for measurement of metsulfuron in soil. *Weed Sci.* 46: 487-493.
 20. Wang, X., Wang, H., and Fan, D. 2005. Persistence and metabolism of imazapyr in four typical soils of Zhejiang Province (China). *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 85: 99-109.
 21. Wang, X., Zhou, S., Wang, H., and Fan, D. 2005. Biodegradation of imazapyr in typical soils in Zhejiang Province, China. *J. Environ. Sci.* 17: 593-597.

ABSTRACT

Liao, C. M.¹, Wang, S. C.¹, Chiang, M. Y.², and Chiang, Y. J.^{2*} 2006. Bioassay for detecting the residual activity of imazapyr in soil. Plant Prot. Bull. 48: 217-227.

(¹Department of Environmental Engineering and Management, Chaoyang University of Technology, Wufeng, Taichung 41358, Taiwan (ROC)); ²Plant Toxicology Division, Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Wufeng, Taichung 41358, Taiwan (ROC))

Imazapyr is a major herbicide used on upland fields in Taiwan. It shows strong herbicidal activity at a low application rate against a wide range of weeds. Inadequate use of imazapyr could result in phytotoxicity of non-target plants due to its strong activities on most species and relative longer residual activity. This research was conducted to investigate the bioactivity of tested herbicide in soil and the phytotoxicity potential of soil leachates on non-target crops. A bioassay method using radicle of cucumber and lettuce was developed to determine the concentration of imazapyr in soil and soil leachates. The method involved planting pre-germinated seeds of tested crops in soil treated with imazapyr or in filter papers soaked in 300 ml soil leachates. The radicle length after 7 days of germination was measured. A close dose-response relationship existed between radicle elongation and concentration in the range of 0-1000 ppm, but not between hypocotyl elongation and concentration. When imazapyr was detected in soil leachates by HPLC, an apparent inhibition in radicle length of cucumber and lettuce by imazapyr was observed. Differential sensitivity of tested plants to imazapyr was quantified by determining the herbicide rates required to reduce radicle length 20% and 50% (I_{20} and I_{50} values). Data indicated that sorghum and cabbage were generally more sensitive than other plant species tested. Cucumber and tomato were of intermediate sensitivity, and mungbean and lettuce were the most tolerant species tested. Soil treated with imazapyr and its leachate affected negatively on radicle elongation. However, the soil leachate caused less inhibition than the tested soil. The suppression effects of treated soil and leachate on radicle elongation were similar, indicating that imazapyr may leach from the soil into the soil water.

(Key words: cucumber, lettuce, radicle elongation, imazapyr, bioassay, soil residual bioactivity)

*Corresponding author. E-mail: cyj@tactri.gov.tw

