

# 依滅草(imazapyr)土壤殘效之季節性變化

廖敬民<sup>1</sup> 王順成<sup>1</sup> 蔣慕琰<sup>2</sup> 蔣永正<sup>2\*</sup>

1.臺中縣霧峰鄉 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：2007年12月31日)

## 摘要

廖敬民、王順成、蔣慕琰、蔣永正\* 2007 依滅草(imazapyr)土壤殘效之季節性變化 植保會刊 49：325-336

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於不同季節施用後，殘留在土壤中引起後作物發生藥害之潛力，作為農田及水田中依滅草殘留及殘效檢測之參考。本試驗於田間分別噴施 0.75 kg ha<sup>-1</sup>、1.5 kg ha<sup>-1</sup> 及 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 之依滅草後，並定期採集土壤，以高效能液相層析儀(High Performance Liquid Chromatography; HPLC) 檢測不同季節施用之依滅草在土壤中之殘留量，同時以生物檢測法偵測殘留活性。結果顯示，土壤中依滅草殘留量隨施藥天數增加而減少，同一季節下依滅草 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 之高劑量處理較 1.5 kg ha<sup>-1</sup> 低劑量之消退為快，低溫少雨之氣候環境亦會降低藥劑之消退速率。熱季中甘藍偵測藥劑殘留活性消退至 50%之日數(DT<sub>50</sub>) 隨施藥濃度提升而增長。三種作物對依滅草敏感度為甘藍>胡瓜>綠豆，冷熱季處理結果趨勢一致；其中以胡瓜對依滅草之劑量反應最為明顯。綜合生物檢測與 HPLC 檢測之結果熱季依滅草殘留量與作物胚根伸長抑制率皆低於冷季，隨著處理天數增加，依滅草殘留量減少消退之 DT<sub>50</sub> 亦明顯為短，胚根伸長恢復正常之日數亦較短。熱季高溫多雨季節下施用依滅草後之殘效檢測，以甘藍之胚根伸長反應為最適之評估指標，冷季低溫乾燥季節則以胡瓜為適當之測試作物。

(關鍵詞：依滅草、生物檢測、土壤殘效、藥害、季節性變化)

## 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<sup>(12)</sup>。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<sup>(12)</sup>。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。此

\* 通訊作者。E-mail: cyj@tactri.gov.tw

類藥劑主要作用機制為抑制植物細胞中 ALS (acetolactate synthase) 酵素活性，與硫醯尿素類藥劑 (sulfonyleureas) 相近，均為干擾纈氨酸 (valine)、白氨酸 (leucine) 及異白氨酸 (isoleucine) 等必需胺基酸之合成，抑制細胞生長達到殺草作用<sup>(12)</sup>。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<sup>(13, 24)</sup>。厭氧環境下，微生物分解速率降低，在高溫及土壤水分含量增加之環境下，會加速微生物的分解速率<sup>(18)</sup>。施用於田間時可隨溫度上升、土壤濕度增加、土壤黏粒與有機質含量減少，增加其揮發之可能性<sup>(15)</sup>。降雨會將植物表面殘留的依滅草沖刷至土壤中，及加速植物殘體中之依滅草釋放到土壤<sup>(17)</sup>，長期降雨會促使藥劑淋洗溶出的情形持續發生。

藥劑在土壤中之移動性主要由土壤 pH 決定，pH<5.0 時土壤吸附力增強限制藥劑移動；pH>5.0 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<sup>(13, 25)</sup>。在水中之溶解度為 11.3 g L<sup>-1</sup>，容易被光分解，半衰期不長<sup>(5, 8, 20)</sup>。目前依滅草在臺灣登記為非耕地之萌後噴施<sup>(3)</sup>，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<sup>(19)</sup>。本研究利用依滅草之生物檢測方法及土壤中殘留藥劑之化學偵測方法，探討依滅草在不同季節下施用，土壤中藥劑殘留量的變化，及殘留在土壤中之依滅草對測試作物引起藥害之潛力評估。提供偵測農田及田水中依滅草殘留量及殘留活性方式，作為研判田間安全使用之參考依據。

## 材料與方法

本研究分別於 2006 年 7-11 月及 2006 年 11 月-2007 年 4 月期間之不同季節下，

於臺中縣霧峰鄉農業藥物毒物試驗所農場之農地，進行依滅草於不同季節噴施後之田間消退調查。

使用手提式二氧化碳高壓碳瓶，配裝型號 8001VS 之噴嘴，在壓力 2.1 kg cm<sup>-2</sup> 下噴嘴出水量為 264 ml min<sup>-1</sup> 之噴霧器，將 23.1% 之依滅草溶液以 0.75 kg ha<sup>-1</sup>、1.5 kg ha<sup>-1</sup> 及 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 之劑量，分別均勻噴施於 8 X 0.9 m<sup>2</sup> (長 X 寬) 之小區田面上 (每小區來回各噴施一次，每次行走時間為 5 秒鐘)。噴藥後 4 小時開始以直徑 5.6 cm 之採土器，自土表向下約 10 cm 深範圍內採集約 377 g 土壤樣品，之後每隔 15 日採土一次，連續採樣五個月，作為土壤中依滅草殘留量檢測及生物活性分析之用。

### 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) 及綠豆 (*Vigna radiata*，臺南 5 號)。

### 供試藥劑

使用為田區處理之成品藥劑為依滅草 23.1% 溶液 (巴斯夫公司)。依滅草殘留量測定，須以純度>99.9% 之依滅草 (RdH) 製作 HPLC 標準線。

### 土壤基本性質分析

進行土壤酸鹼值 (pH)<sup>(5)</sup>，土壤有機物質<sup>(2)</sup>，土壤陽離子交換能力<sup>(5)</sup> 及土壤質地<sup>(1)</sup> 等土壤性質之相關測定。

### 土壤中依滅草殘留檢測

將依滅草噴施後不同日數採集之土壤樣品，進行土壤樣品製備及檢測依滅草殘留量。每處理三重複，所得結果均先進行 ANOVA 分析，並以 LSD 比較處理間之差異顯著性 (P<0.05)。

#### (1) 土壤樣品製備

土壤測試樣品加入適量 0.5 M 氫氧化鈉溶液，均勻攪拌 30 分鐘後，抽氣過濾，再將濾液通過 4 號濾紙 (Whatman)，重複三次並將收集之濾液混合。以 6 M 鹽酸將混合液調整為 pH 2.8 後，倒入分液漏斗中，加入二氯甲烷萃取其中藥劑成分，靜置使濾液分離為上、下兩層，取出二氯甲烷層裝入離心管中，於室溫下以  $7,154 \times g$  離心 20 分鐘，離心後移除上層浮油，取出管內溶液，將所得溶液以無水硫酸鈉脫水，再移至圓底瓶中濃縮至水分逸釋完全為止，分析時以甲醇溶解，利用 HPLC 進行分析。

#### (2) 土壤樣品分析

以 HPLC 檢測樣品收集液中之藥劑含量。使用之管柱為 LiChrospher 100 RP-18 endcapped (5 $\mu$ m)，mobile phase 為以磷酸調成 pH 3.0 之水與甲醇 (70:30, v/v) 混合液，流速 1 mL min<sup>-1</sup>，滯留時間 (retention time) 約為 10 分鐘，在波長 250 nm 之 UV 檢出器檢測<sup>(4, 15)</sup>。本分析方法之回收率為 89.7 $\pm$ 1.1%，最低偵測限界為 39 ppb。

#### 土壤中殘留之依滅草生物活性分析

將依滅草噴施後不同日數採集之土壤樣品，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  $\mu$ moles m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>，光週期 12 小時之生長箱

內，7 日後調查胚根長度。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。

## 結果與討論

#### 依滅草土壤殘留之季節性變化

將噴施過依滅草 1.5 kg ha<sup>-1</sup> 及 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 之田土，分別於施藥後 4 小時及每隔 15 天，定期採集距表土 0-15 cm 範圍內之土樣，以 HPLC 檢測不同季節施用之依滅草在土壤中之殘留量。試驗區土壤之物理、化學性質經檢測為 pH 6.1、有機質含量 0.9% 之粘質壤土，土壤電導度為 411  $\mu$ S cm<sup>-1</sup>，CEC 為 7.27 cmol kg<sup>-1</sup> (表一)。

於 2006 年 7 月至 11 月 (熱季) 進行之試驗，日平均溫為 26.8°C，總平均降雨量為 137.4 mm，較 2006 年 12 月至 2007 年 4 月 (冷季) 試驗期間之日均溫 19.7°C 高出 7.1°C、總平均降雨量 71.5 mm 多出 65.9 mm (表二)。熱季期間施用依滅草 1.5 kg ha<sup>-1</sup> 劑量 4 小時後，土壤中之殘留量為 56.3 ppm，處理劑量 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 下則為 65.4 ppm，分別為施用量之 9.8% 及 11.3%。高劑量在施藥後 75 日內之藥劑消退速率較低劑量處理顯著為快，75-150 日期間兩種處理劑量則無明顯差別，降低至 13.2-16.4 ppm 範圍 (圖一、A)。

冷季期間施用依滅草 1.5 kg ha<sup>-1</sup> 劑量 4 小時後，土壤中殘留之藥劑量為 89.4 ppm，

表一、試區土壤之物理及化學性質

Table 1. Chemical and physical characteristics of soil in tested field

Depth <sup>1)</sup> (cm)	Texture	pH	Conductivity ( $\mu$ S cm <sup>-1</sup> )	O. M. <sup>2)</sup> (%)	CEC <sup>3)</sup> (cmol kg <sup>-1</sup> )
0-15	Loamy clay	6.1	411	0.9	7.27

<sup>1)</sup> Depth of soil sampling.

<sup>2)</sup> Organic matter.

<sup>3)</sup> Cation exchange capability.

表二、試驗期間之溫度及雨量記錄<sup>1)</sup>Table 2. Temperature and precipitation throughout the experimental periods<sup>1)</sup>

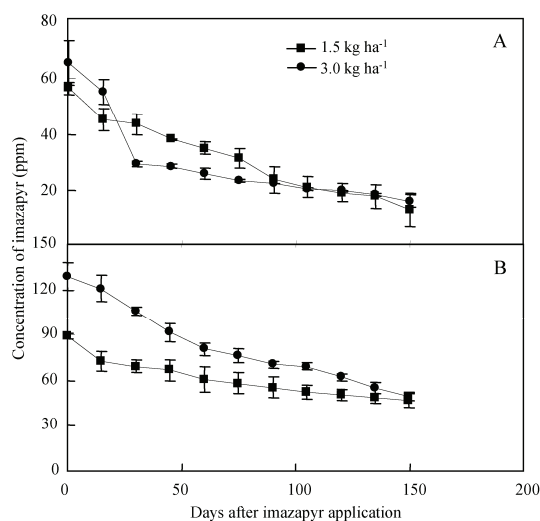
Experimental duration	Monthly mean air temperature (°C)	Monthly total precipitation (mm)
Jul. 2006	28.8	329
Aug. 2006	28.8	117
Sep. 2006	27.2	144
Oct. 2006	25.9	0
Nov. 2006	23.2	96
Daily mean value (Jul. 2006-Nov. 2006)	26.8	137
Dec. 2006	18.9	49
Jan. 2007	17.2	57
Feb. 2007	19.3	25
Mar. 2007	20.7	88
Apr. 2007	22.3	136
Daily mean value (Dec. 2006- Apr. 2007)	19.7	72

<sup>1)</sup> From Jul. 2006 to Apr. 2007.

3.0 kg ha<sup>-1</sup> 處理下則為 129.1 ppm，分別為施用量之 15.5%及 22.3%。高劑量在施藥後 120 日內之藥劑消退速率均較低劑量處理顯著為快，但在 150 日後兩處理劑量則無明顯差別，降低至 47.2-49.3 ppm 間（圖一、B）。

依據熱季及冷季期間施用依滅草不同天數後測得之土壤殘留量（圖六），顯示在高溫多雨季節下，低劑量處理後藥量消退達 50%所需之日數約為 77 日，高劑量者為 41 日；低溫少雨之冬、春季節，低劑量處理下之 50%藥量消退日數約為 150 日，高劑量者則為 106 日（圖一、A, B）。綜合本試驗結果，同一季節下依滅草 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 之高劑量處理較 1.5 kg ha<sup>-1</sup> 低劑量之消退為快，低溫少雨之氣候環境亦會降低藥劑之消退速率。

Cobucci et al.<sup>(11)</sup>於 1995 至 1996 年期間試驗 fomesafen、imazamox 與 acifluorfen 三種藥劑在巴西 Goiania 與 Oxisol 兩個地區之殘留情形，結果 1995 年之土壤殘留期較長，推測與 1996 年之日平均雨量較高，導致土壤含水量增加，加速藥劑的分解有



圖一、不同劑量依滅草施用後在田土中之消退。（試驗期間：A 圖為 2006 年 7 月-11 月；B 圖為 2006 年 12 月-2007 年 4 月）。

Fig. 1. Dissipation of imazapyr in the subsurface soil (10 cm) treated with different application rates. Soil samples were collected from Jul. 2006 to Nov. 2006 (A) and from Dec. 2006 to Apr. 2007 (B). Vertical bars represent means±SE (n=3).

關。Vicari et al.<sup>(23)</sup>施用 15 g a.i. ha<sup>-1</sup> 與 30 g a.i. ha<sup>-1</sup> 兩種劑量之 chlorsulfuron (ALS 抑制型除草劑) 於義大利四個不同地區, 結果顯示施藥後 12 個月之間總降雨量分別為 508、700 與 1,224 mm 之三個地區, 其藥劑殘留量皆降至 0.3 g a.i. ha<sup>-1</sup> 以下, 且半衰期隨雨量增加而減少。但總降雨量僅 250 mm 之地區, 至施藥後 15 個月藥劑仍殘留達 4.42 g a.i. ha<sup>-1</sup>, 顯示藥劑消退速率與雨量密切相關, 推測降雨量減少造成土壤長時間乾燥, 阻礙藥劑在土中水解與降低微生物活性<sup>(9, 16, 23)</sup>。本研究中依滅草在土壤中之消退速率, 亦顯示出季節性之明顯差異, 推測與試驗期間之溫度及雨量變化有關。

#### 土壤中依滅草殘留活性之季節性差異

將 0.75 kg ha<sup>-1</sup>、1.5 kg ha<sup>-1</sup> 與 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 三種不同劑量之依滅草噴施於田間小區內, 分別於施藥後 4 小時及每隔 15 天定期採土, 並選擇對依滅草具有不同感受性之甘藍、胡瓜及綠豆為生物檢測之測試材料<sup>(6)</sup>, 並以胚根伸長抑制程度為指標<sup>(21, 22)</sup>, 比較於 2006 年 7 月至 11 月(熱季)及 2006 年 12 月至 2007 年 4 月(冷季)期間之藥劑土壤殘效反應。

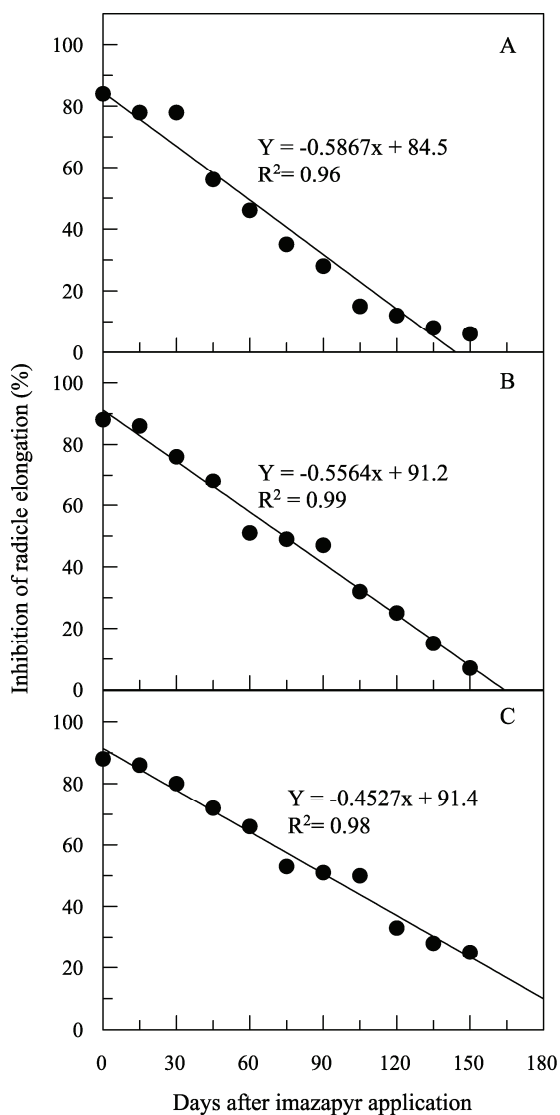
採集自熱季期間施用藥劑後之不同日數土壤, 放置於發芽皿中, 並將甘藍種子播種於土表後 7 日, 調查對照組正常萌芽之甘藍胚根長度為 2.78±0.03 cm, 施用依滅草 0.75 kg ha<sup>-1</sup>、1.5 kg ha<sup>-1</sup> 及 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 三種不同劑量 4 小時後所得之田土樣品, 引起 84- 88%之胚根伸長抑制率(圖二)。依滅草三種噴施劑量之土樣均隨天數增加, 對甘藍胚根伸長抑制率呈直線關係降低(圖二)。至處理後 150 日採樣之土壤所培育之甘藍胚根長度, 除 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 劑量仍達 30%之抑制率外, 其餘處理之抑制率均低於 5%以下, 與正常萌芽之對照組相差不明顯(約為 2.6 cm)(圖二)。

熱季期間施用依滅草後不同日數所採集之土壤, 對胡瓜種子胚根伸長之影響示於圖三。對照組正常萌芽之胡瓜胚根長度為 6.59 cm, 分別施用依滅草 0.75 kg ha<sup>-1</sup>、1.5 kg ha<sup>-1</sup> 及 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 三種不同劑量 4 小時後所得之田土樣品, 依序引起 16%、34%及 51%之胚根伸長抑制率(圖三)。依滅草三種噴施劑量之土樣亦隨天數增加, 對胡瓜胚根伸長抑制率呈二次曲線關係降低(圖三), 處理劑量 0.75 kg ha<sup>-1</sup> 及 1.5 kg ha<sup>-1</sup> 於噴施後 45 日之採樣土, 對甘藍胚根長度已無抑制作用, 但 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 劑量仍達 30%之抑制率(圖三)。

熱季期間施用依滅草之土壤樣品引起綠豆胚根伸長之抑制反應與胡瓜相近, 抑制率隨處理天數的增加呈二次曲線之降低趨勢(圖四)。對照組正常萌芽之綠豆胚根長度為 7.41 cm。施藥後 4 小時, 依滅草 0.75 kg ha<sup>-1</sup>、1.5 kg ha<sup>-1</sup> 及 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 三種不同劑量田土樣品中之綠豆胚根長度, 依序為 6.03、5.4 及 5.31 cm, 抑制率均低於 40%(圖四)。至處理後 150 日各藥劑處理與正常萌芽之對照組相差不明顯(約為 7.09-7.98 cm)(圖四)。

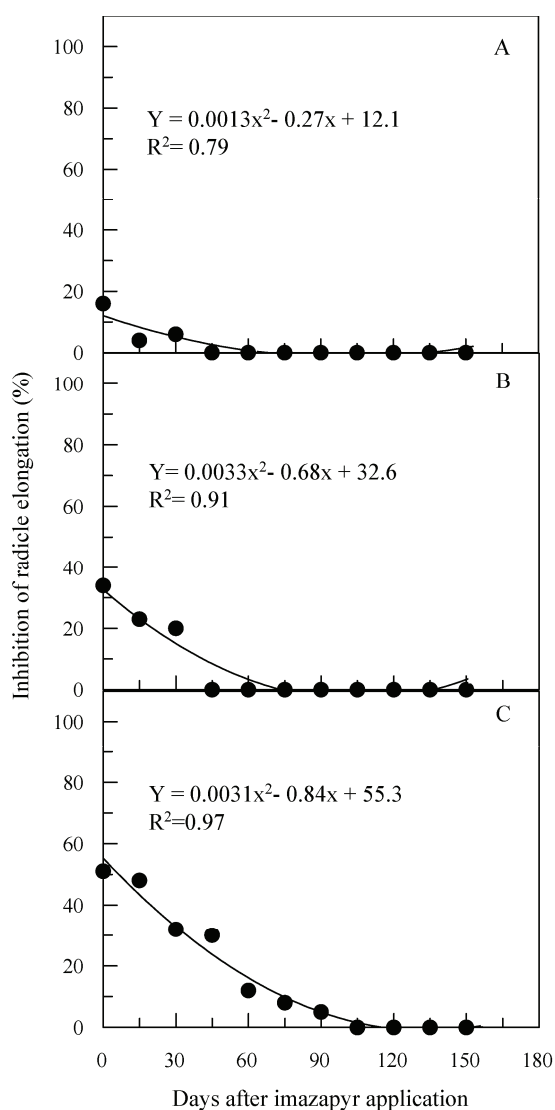
採集自冷季期間施用藥劑後之不同日數土壤對甘藍胚根伸長之影響, 於施藥後 4 小時, 無論依滅草處理濃度的高低, 其抑制率皆高達 90%(圖五)。施藥後第 150 天, 依滅草低濃度 0.75 kg ha<sup>-1</sup> 處理對胚根伸長抑制率降至 5.2%, 而 1.5 kg ha<sup>-1</sup> 與 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 之處理濃度, 其抑制率僅分別降至 69%及 80%(圖五)。噴施濃度 0.75 kg ha<sup>-1</sup> 之處理在 120 日內仍維持 80%之抑制率, 於 135 日後降至 16%, 但劑量較高之兩處理於試驗期間之平均抑制速率僅約 0.03-0.09 day<sup>-1</sup>(圖五)。

胡瓜於施藥後 4 小時之 0.75 kg ha<sup>-1</sup> 處理劑量下, 其胚根伸長抑制率為 65%, 處理濃度為 1.5 kg ha<sup>-1</sup> 與 3.0 kg ha<sup>-1</sup> 下, 胚根伸長抑制率則分別為 78%、85%(圖六)。



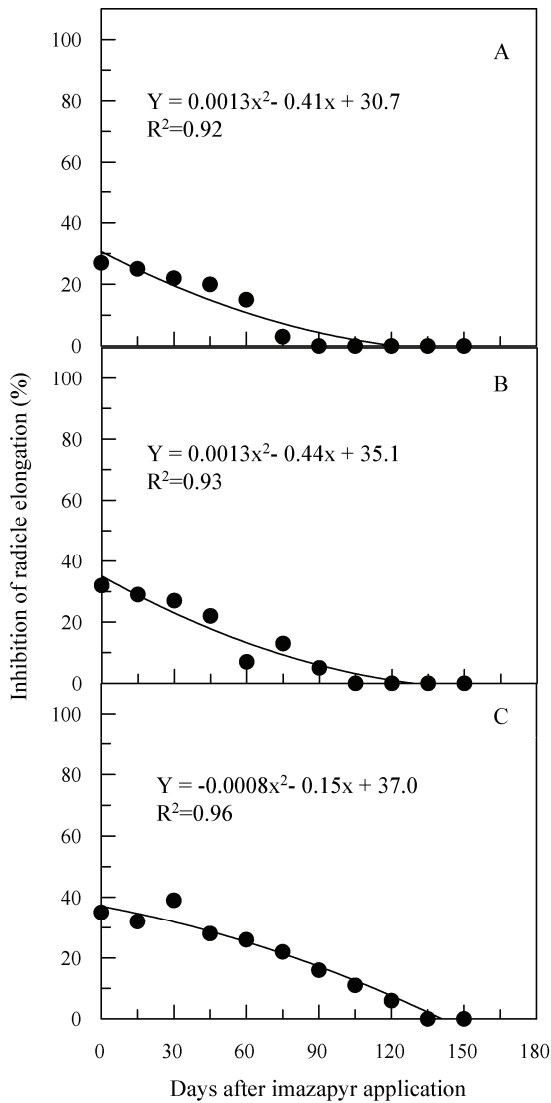
圖二、甘藍在施用過依滅草田土中之胚根伸長反應。(A, B, C 圖之施用劑量依序為  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$ 、 $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  及  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$ ；試驗期間為 2006 年 7 月-2006 年 11 月)。

Fig. 2. Radicle elongation response of cabbage to imazapyr in the soil treated with  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$  (A),  $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  (B) and  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$  (C). Soil samples were collected from Jul. 2006 to Nov. 2006.



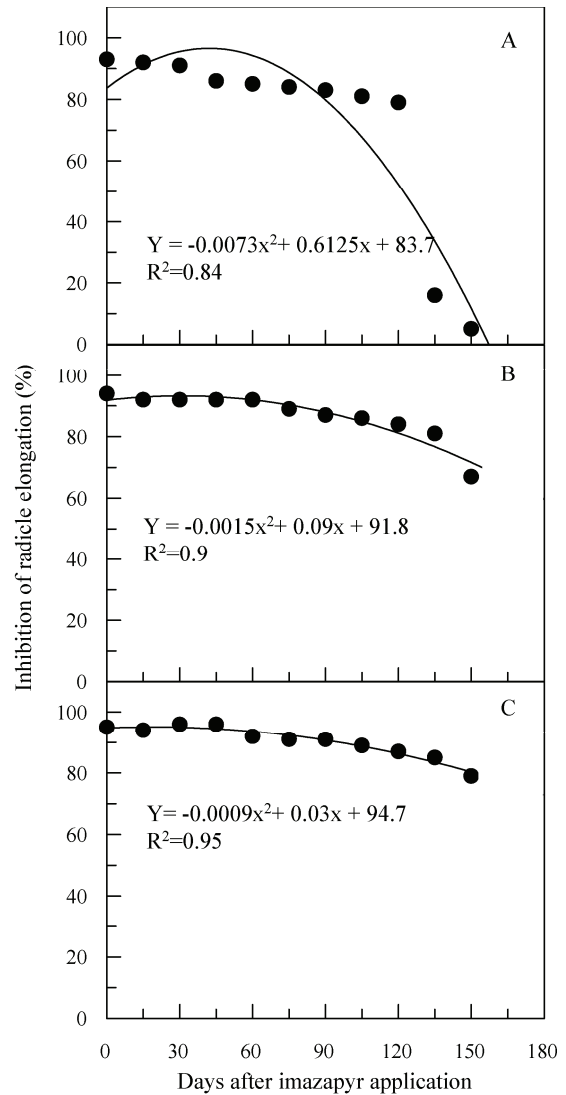
圖三、胡瓜在施用過依滅草田土中之胚根伸長反應。(A, B, C 圖之施用劑量依序為  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$ 、 $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  及  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$ ；試驗期間為 2006 年 7 月-2006 年 11 月)。

Fig. 3. Radicle elongation response of cucumber to imazapyr in the soil treated with  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$  (A),  $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  (B) and  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$  (C). Soil samples were collected from Jul. 2006 to Nov. 2006.



圖四、綠豆在施用過依滅草田土中之胚根伸長反應。(A, B, C 圖之施用劑量依序為  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$ 、 $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  及  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$ ；試驗期間為 2006 年 7 月-2006 年 11 月)。

Fig. 4. Radicle elongation response of mungbean to imazapyr in the soil treated with  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$  (A),  $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  (B) and  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$  (C). Soil samples were collected from Jul. 2006 to Nov. 2006.



圖五、甘藍在施用過依滅草田土中之胚根伸長反應。(A, B, C 圖之施用劑量依序為  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$ 、 $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  及  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$ ；試驗期間為 2006 年 12 月-2007 年 4 月)。

Fig. 5. Radicle elongation response of cabbage to imazapyr in the soil treated with  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$  (A),  $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  (B) and  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$  (C). Soil samples were collected from Dec. 2006 to Apr. 2007.

胡瓜胚根恢復正常伸長速率之日數，隨處理濃度增加而延長，依滅草  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$  及  $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  分別於處理後第 90 及 105 日，對胡瓜胚根已無抑制作用，處理濃度  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$  則需 135 日（圖六）。依滅草三種噴施劑量之土樣亦隨天數增加，對胡瓜胚根伸長抑制率呈二次曲線之降低趨勢（圖六）。

綠豆胚根伸長之反應，於施藥後 4 小時，劑量  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$  及  $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  之處理，胚根抑制率僅為 23% 及 37%，依滅草  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$  之處理，胚根抑制率約 66%（圖七）。綠豆胚根伸長恢復正常之速率，亦隨處理濃度增加而延長，其中  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$  依滅草處理之胚根伸長於施藥後 45 天即無明顯抑制作用，而  $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  及  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$  處理濃度下，則需經過 105 日及 150 日才無明顯抑制趨勢（圖七）。

Ayeni et al.<sup>(10)</sup> 以野莧為指標，在人工降雨之模擬環境下測試降雨量對依滅草生物活性之影響。結果顯示當總降雨量由低至高（75 至  $300 \text{ mm mo}^{-1}$  equivalent）增加時，依滅草之生物活性降低，即野莧發芽與鮮重抑制率均隨雨量增加而減少。Alonso-Prados et al.<sup>(7)</sup> 於平均溫度  $30^\circ\text{C}$  下施用硫醯尿素類除草劑，發現對後作大麥並未造成傷害，推測可能與夏季高溫促進藥劑分解有關。本研究中，在溫度及雨量有明顯差異下施用依滅草後，殘留於土壤中之藥劑，不僅引起甘藍、胡瓜及綠豆胚根伸長抑制之季節性變化，且作物間之藥劑反應亦呈明顯之差異（圖五、六、七）。

綜合以上試驗結果，將依滅草對作物胚根伸長之抑制作用，估算依滅草於土中半數消退時間（50% dissipation time； $\text{DT}_{50}$ ），即胚根伸長抑制率降至 50% 所需之時間，可明顯發現冷季之  $\text{DT}_{50}$  較熱季者明顯為長（表三），顯示熱季之依滅草於土壤中消退時間較冷季之消退時間為短。

熱季處理之甘藍  $\text{DT}_{50}$  隨依滅草處理濃度增加為 56-88 日（表三），胡瓜及綠豆即

使於依滅草  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$  處理 4 小時後，胚根伸長抑制率即低於 50%（圖三、四），顯示於本研究中熱季氣候下之依滅草處理，甘藍對土樣中殘留之依滅草較胡瓜與綠豆為敏感，對依滅草之劑量反應亦最明顯。

冷季處理之甘藍，除  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$  劑量之  $\text{DT}_{50}$  為 128 天外，其餘處理劑量至施藥後 150 日，胚根伸長抑制率仍達 69% 及 80%（圖五、表三）。胡瓜隨依滅草處理濃度增加， $\text{DT}_{50}$  分別為 21、40 及 80 日（表三）。綠豆於  $0.75 \text{ kg ha}^{-1}$  與  $1.5 \text{ kg ha}^{-1}$  處理濃度下，胚根伸長抑制率皆低於 50%，僅於  $3.0 \text{ kg ha}^{-1}$  劑量下  $\text{DT}_{50}$  為 19 日（表三）。顯示三種作物對依滅草敏感度為甘藍 > 胡瓜 > 綠豆，與熱季處理結果之趨勢一致，其中以胡瓜對依滅草之劑量反應最為明顯。

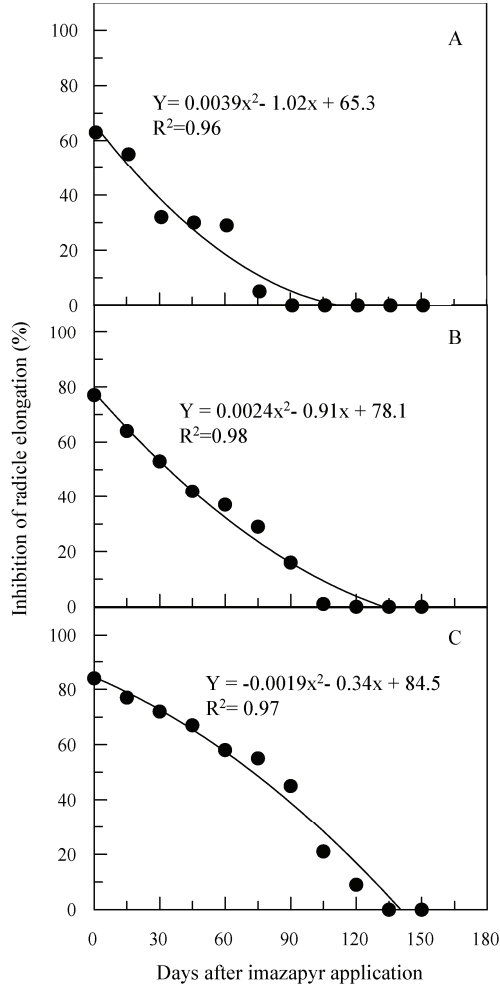
綜合不同作物之生物活性及 HPLC 殘留檢測結果，於施藥後 4 小時，熱季之依滅草殘留量即低於冷季之處理，作物胚根伸長之抑制作用亦較小（圖二-圖七）。隨著處理天數增加，依滅草殘留量減少，熱季殘留量減少之速率較冷季為快，故熱季依滅草消退至 50% 所需之時間亦明顯為短，胚根伸長恢復正常之日數亦較短。Smith et al.<sup>(21)</sup> 分別於 1998 及 1999 年施用  $18 \text{ g ha}^{-1}$  之 ALS 抑制型除草劑，並於次年種植玉米，以評估藥劑於田間之殘效。結果顯示 1999 年玉米產量未明顯減少，但 2000 年玉米產量減少 30%。根據 1999 年施藥後 180 天之間累計雨量較 1998 年少 33%，推測與試驗期間之氣候變化有關。土壤含水量減少亦會導致微生物對藥劑分解的速率降低<sup>(8, 20)</sup>，土壤中微生物群於  $10\text{-}25^\circ\text{C}$  之溫度範圍內之代謝速率會有明顯差異。Paul and Lark<sup>(20)</sup> 之試驗顯示在此範圍內每增加  $5^\circ\text{C}$  微生物代謝速率即增加 2 倍。

本研究於依滅草土壤殘留之季節性變化之結果亦顯示，熱季雨量較多、溫度較高，依滅草殘留量較低，推測較高的降雨量可促進依滅草在土壤中行化學性水解，



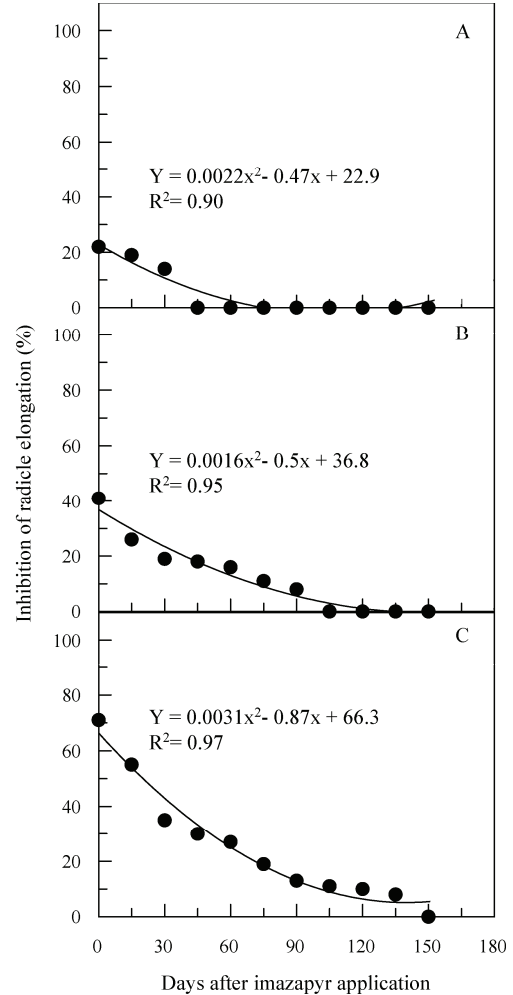
並促進土壤中微生物活性<sup>(14)</sup>，因此依滅草於土中消退時間較短，作物胚根伸長受抑制之情形能於較短的時間內恢復。此外，由測試作物間之反應差異，顯示熱季高溫

多雨季節下施用依滅草後之殘效檢測，以甘藍之胚根伸長反應為最適之評估指標，冷季低溫乾燥季節則以胡瓜為適當之測試作物。



圖六、胡瓜在施用過依滅草田土中之胚根伸長反應。(A, B, C 圖之施用劑量依序為 0.75 kg ha<sup>-1</sup>、1.5 kg ha<sup>-1</sup> 及 3.0 kg ha<sup>-1</sup>；試驗期間為 2006 年 12 月-2007 年 4 月)。

Fig. 6. Radicle elongation response of cucumber to imazapyr in the soil treated with 0.75 kg ha<sup>-1</sup> (A), 1.5 kg ha<sup>-1</sup> (B) and 3.0 kg ha<sup>-1</sup> (C). Soil samples were collected from Dec. 2006 to Apr. 2007.



圖七、綠豆在施用過依滅草田土中之胚根伸長反應。(A, B, C 圖之施用劑量依序為 0.75 kg ha<sup>-1</sup>、1.5 kg ha<sup>-1</sup> 及 3.0 kg ha<sup>-1</sup>；試驗期間為 2006 年 12 月-2007 年 4 月)。

Fig. 7. Radicle elongation response of mungbean to imazapyr in the soil treated with 0.75 kg ha<sup>-1</sup> (A), 1.5 kg ha<sup>-1</sup> (B) and 3.0 kg ha<sup>-1</sup> (C). Soil samples were collected from Dec. 2006 to Apr. 2007.

表三、依滅草於不同季節施用後在土壤中之消退

Table 3. Imazapyr dissipation in the soils of experimental field during 2006 and 2007

Experimental duration	Rate (g ai ha <sup>-1</sup> )	DT <sub>50</sub> <sup>1)</sup> (days)		
		Cabbage	Cucumber	Soybean
Jul. 2006-	750	56	0(16%) <sup>2)</sup>	0(24%)
Nov. 2006	1500	70	0(28%)	0(29%)
(Warm season)	3000	88	0(50%)	0(31%)
Dec. 2006-	750	128	21	0(21%)
Apr. 2007	1500	>150(69%)	40	0(30%)
(Cool season)	3000	>150(80%)	80	19

<sup>1)</sup>DT<sub>50</sub>: time for 50% imazapyr dissipation in soil.

<sup>2)</sup>Figures in parentheses were relative inhibition.

## 引用文獻

- 中華土壤肥料學會。1995。土壤分析手冊。臺中。
- 臺灣糖業研究所化驗服務中心。1993。土壤肥力測定方法，第 5-41 頁。臺南。
- 費雯綺、王喻其。2004。植物保護手冊。第 781 及 796 頁。行政院農業委會農業藥物毒物試驗所。臺中縣。
- 馮海東、柯燕珍、林明秀。2004。依滅草農藥有效成分檢驗方法。第 72-74 頁。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。臺中縣。
- 楊淞富。2005。深耕翻轉與酸洗對污染農地中重金屬之去除效率及肥力之影響。44-47 頁。國立成功大學環境工程學系碩士論文。臺南市。
- 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。
- Alonso-Prados, J. L., Hernandez- Sevellano, E., Llanos, S., Villarroja, M., and Garcia-Baudin, J. M. 2002. Effects of sulfosulfuron soil residues on barley (*Hordeum vulgare*), sunflower (*Helianthus annuus*) and common vetch (*Vicia sativa*). Crop Prot. 21: 1061-1066.
- Alexander, M. 1999. Biodegradation and bioremediation, 2<sup>nd</sup> ed. pp. 269-299. London: Academic.
- Anderson, R. L., and Hamburg, N. E. 1987. Field duration of chlorsulfuron bioactivity in the central Great Plains. J. Environ. Qual. 16: 263-266.
- Ayeni, A. O., Majek, B. A., and Hammerstedt, J., 1998. Rainfall influence on imazethapyr bioactivity in New Jersey soils. Weed Sci. 46: 581-586.
- Cobucci, T., Prates, H. T., Falcao, C. L. M., and Rezende, M. M. V. 1998. Effect of imazamox, fomesafen, and acifluorfen soil residue on rotational crops. Weed Sci. 46: 258-263.
- Cox, C. 1996. Imazapyr. J. Pestic. Reform. 16: 16-20.
- 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.
- Hager, A., Sprague, C., and McGlamery, M. 2000. Factors affecting herbicide persistence. pp. 323-326. Illinois

- Agricultural Pest Management Handbook, Illinois.
15. Helling, C. S., Kearney, P. C., and Alexander, M. 1971. Behavior of pesticides in soil. *Adv. Agron.* 23: 147-240.
  16. Joshi, . M., Brown, H. M., and Romesser, J. A. 1985. Degradation of chlorsulfuron by soil microbes. *Weed Sci.* 33: 888-893.
  17. Lee. A., Gatterdam, P. E., Chiu, T. Y., Mallipudi, N. M., and Fiala, R. 1991. Plant metabolism, *In: Shaner, D. L., and O'Connor, S. L., [eds.], Imidazolinone Herbicides.* CRC Press, Florida.
  18. Mangels, G. 1991. Behavior of the imidazolinone herbicides in soil-a review of the literatures, *In: Shaner, D. L., and O'Connor, S. L., [eds.], Imidazolinone Herbicides.* CRC Press, Florida.
  19. 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.
  20. Paul, E. A., and Clark F. E. 1998. Soil microbiology and biochemistry. pp.11-31. London Academic Press.
  21. Smith, M. C., Shaw, D. R., and Miller, D. K. 2005. In-field bioassay to investigate the persistence of imazaquin and pyriithiobac. *Weed Sci.* 53: 121-129.
  22. Sunderland, S. L., Santelmann, P. W., and Baughman, T. D. 1991. A rapid, sensitive soil bioassay for sulfonylurea herbicides. *Weed Sci.* 39: 296-298.
  23. Vicari, A., Catizone, P., and Zimdahl, R. L. 1994. Persistence and mobility of chlorsulfuron and metsulfuron under different soil and climatic conditions. *Weed Res.* 34: 147-155.
  24. Wang, X., Wang, H., and Fan, D. 2005. Persistence and metabolism of imazapyr in four typical soils of Zhejiang Province (in China). *Int. J. Environ. Anal. Chem.* 85: 99-109.
  25. 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.<sup>1</sup>, Wang, S. C.<sup>1</sup>, Chiang, M. Y.<sup>2</sup>, and Chiang, Y. J.<sup>2\*</sup> 2007. Seasonal variation of imazapyr residual activity in soil.** Plant Prot. Bull. 49: 325-336. (<sup>1</sup>Department of Environmental Engineering and Management, Chaoyang University of Technology, Wufeng, Taichung 41358, Taiwan (ROC); <sup>2</sup>Plant 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 resulted in phytotoxicity to non-target plants due to its strong herbicidal activities on most species and relative longer residual activity. This research was conducted to investigate the bioactivity of imazapyr in soil and the phytotoxicity potential of this herbicide in soil leachates on non-target crops. In the field experiment, the soil was sprayed with 0.75, 1.5, and 3.0 kg ha<sup>-1</sup> imazapyr. The soil samples were collected after treatment periodically. Imazapyr residue in soil sample was analyzed by High Performance Liquid Chromatography (HPLC) and bioassay method. The residue of imazapyr in soil decreased with time. The degradation rate of imazapyr in soil at 3.0 kg ha<sup>-1</sup> was faster than that at 1.5 kg ha<sup>-1</sup>. The degradation rate of imazapyr in soil decreased in cold and less rainy season. The tendency of sensitivity of three tested crops to imazapyr residual effect in soil was almost the same in hot and cold seasons. The susceptibility of these crops to imazapyr residual effect in soil was in order of cabbage, cucumber and mungbean. In conclusion, imazapyr residue in soil in hot season dissipated more than those in cold season by HPLC analysis and bioassay method. Cabbage could be used as an indicator crop for detecting imazapyr residue in field under the rainy hot season, while cucumber was recommended as an indicator crop under dry cold season.

(Key words: imazapyr, bioassay, soil residual bioactivity, phytotoxicity, seasonal variation)

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