

嘉磷塞(glyphosate)引起植物藥害與 shikimate 累積之相關性

蔣永正 蔣慕琰

農委會 農業藥物毒物試驗所

摘 要

探討利用嘉磷塞處理後導致植物細胞內 shikimate 累積之反應，做為嘉磷塞藥害診斷之依據與適用範圍。不同劑量之嘉磷塞、百速隆及伏寄普，噴施於胡瓜及玉米 3-4 葉齡植株上，定期調查植株藥害發生率，及分析植體內 shikimate 含量。嘉磷塞引起玉米及胡瓜葉片黃化及植株乾枯之藥害徵狀，藥害發生率最高可達 100%，shikimate 含量隨藥害程度的提高而明顯增加。玉米藥害達 100% 等級時，shikimate 含量為 $574 \pm 13 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，為正常株 5 倍左右；胡瓜在藥害達 100% 時，含量為 $710 \pm 6 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，亦高達未發生藥害株之 5 倍。Shikimate 含量隨嘉磷塞施用劑量的提高呈線性上升；同時亦隨施藥後日數的延長而增加。百速隆三種測試劑量造成胡瓜之最大藥害程度可達 100%，但 shikimate 最高含量 $175 \pm 3 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，僅為正常株的 127%。伏寄普對玉米亦有類似之影響趨勢；最高含量 $195 \pm 22 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，為未發生藥害樣品之 188%。另以三種測試藥劑處理西瓜、番茄、青梗白菜等作物及雜草—牛筋草，調查藥害發生程度與 shikimate 含量變化之相關性。測試藥劑均會引起植株發生不同程度之藥害，僅有嘉磷塞處理會導致 shikimate 累積，且隨劑量提高而增加，但不同種類植物間的累積量有明顯差異；西瓜、番茄、青梗白菜均達 90% 藥害發生時，shikimate 含量分別增加為正常株之 660%、1390% 及 1820%。嘉磷塞及伏寄普對牛筋草，亦可引起 90% 以上之傷害，前者造成 shikimate 累積達 630% 倍，後者則與對照株無明顯差異(110%)。嘉磷塞處理之植物細胞內 shikimate 會明顯累積，且隨藥劑施用量及施藥後日數的增加而提高。百速隆及伏寄普在引起植物顯著藥害時，未觀察到 shikimate 含量上升之現象。

關鍵詞：嘉磷塞、百速隆、伏寄普、silicate 含量、藥害診斷。

Analysis of Shikimate Accumulation for Diagnosis of Glyphosate Injury to Crops

Yeong-Jene Chiang Mou-Yen Chiang

*Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute,
Council of Agriculture, Taichung, Taiwan, ROC*

Abstract

Glyphosate is a broad-spectrum non-selective systemic herbicide. It is registered to apply postemergence at 1.6-2.8 kg ha⁻¹ to control most established weeds on the fields in Taiwan. It shows a strong herbicidal activity at a low application rate against a wide range of upland weeds, and inadequate use could result in phytotoxicity of crops in farmland bordering the plantation. Simple and sensitive methods for detecting of responsible agent are very useful in the diagnosis of phytotoxicity. Glyphosate inhibits the biosynthesis of aromatic amino acid, and caused accumulation of shikimate in plants. This research was conducted to investigate the relationship between phytotoxicity and the change of shikimate content caused by glyphosate for diagnosis of herbicide injury. Corn and cucumber plants at 3 - 4 leaf stage were treated with glyphosate over a range of dosages. Damaged plants would appear leaf yellowing, crinkle and reduction of leaf size. Foliar application of glyphosate at 205-2050 g ha⁻¹ resulted in the rapid accumulation of shikimate in corn and cucumber plants within 14 days. Results showed increasing dosage of glyphosate caused marked accumulation of shikimate and close relationship existed between phytotoxicity and shikimate accumulation of glyphosate-treated plants. This suggested that high levels of shikimate content in a damaged plant indicate glyphosate injury. Furthermore, the accumulation of shikimate in herbicides-treated plants was only due to glyphosate and not due to pyrazosulfuron-ethyl or fluzifop-P-butyl. However, this type of response was obtained in other tested species when glyphosate was applied.

Key words: glyphosate, pyrazosulfuron-ethyl, fluzifop-P-butyl, shikimate accumulation, diagnosis of glyphosate injury.

前 言

嘉磷塞為非選擇性系統型除草劑，植物莖葉吸收後，可經由篩管傳導至未與藥劑接觸之其他部位；主要作用機制為抑制細胞內 shikimate 路徑之 EPSPS 活性，影響 phenylalanine、tyrosine 及 tryptophan 三種芳香族胺基酸的生成，及木質素、花青素、酚類等二次代謝物的產生，導致植物的生育受阻死亡^(7, 10)。嘉磷塞於 1973 年即在臺灣登記，最早用於柑桔園之雜草防除，其後數年間陸續擴大使用對象，包括整地前水田、蔗園、茶園、大部分的果園、非耕地及水生雜草布袋蓮，為臺灣地區目前登記範圍最廣，且實際使用也最普遍之除草劑⁽³⁾；在有效成份每公頃 1.6-2.8 kg 施用量下，對各類一年生及大部分多年生雜草之控制效果良好；通常藥劑噴施後約 4-7 日，葉片上葉脈附近之葉肉組織，及生長點部位會先顯現黃白化之異常徵狀，其後植株生長停滯，最後導致組織潰爛褐化枯死，藥效完全發揮則需約 2-3 週；但高溫及強日照環境下，會加速嘉磷塞對植物的作用⁽⁵⁾。

嘉磷塞引起之作物藥害，歸因於施用時的失誤而噴及鄰近植株，由於藥劑吸收後很快被傳導至植株各部位，且容易累積在代謝活性高之生長旺盛組織，即使微量接觸也會隨作物的種類及大小，表現不同之受害程度，甚至對多年生果樹次年萌發之枝芽也有殘留效應⁽⁴⁾；嘉磷塞在使用極為普遍的情況下，藥害案件的發生頗為頻繁。目前藥害診斷仍以徵狀辨識為主，但大部分栽培者察覺作物生育異常，往往是在接觸藥劑後的相當時日，藥害進展之歷程也已進入末期；若接觸劑量過高，植株受害部位枯萎或脫落；劑量低時，外觀的典型徵狀會隨著植株的長大或病原蟲等的感染變得不明顯；尤其對可能發生類似徵狀的不同除草劑，更增加了徵狀診斷在實際利用上的困難度⁽⁴⁾。

本研究針對嘉磷塞與硫醯尿素類及 ACCase 抑制型除草劑，均有引起嫩葉黃化、皺縮、叢生，及成熟葉黃白化之類似徵狀⁽⁴⁾，故依據嘉磷塞處理後會引起細胞內 shikimate 累積的作用⁽¹⁰⁾，分析嘉磷塞在不同處理劑量及時間，所引起植物之藥害程度與 shikimate 含量變化之相關性，且比較嘉磷塞與百速隆、伏寄普，造成 shikimate 累積量的差異，同時確立嘉磷塞處理後引起 shikimate 含量增加在不同植物的普遍性，做為嘉磷塞藥害診斷之依據。

材料與方法

供試材料及藥劑處理

2002年三月至十月，於霧峰農業藥物毒物試驗所溫室內進行之盆栽試驗，採用農友種苗公司之清綠雜交一代胡瓜，及本地種台南白玉米為主要測

試材料。種子直接播種於直徑15公分，高度12公分之栽植盆中(裝土約1.5公斤)，於胡瓜及玉米生長至3-4葉完全展開時(播種後約11-15天)，每盆間苗成一株。以高壓二氧化碳人工噴藥機，噴嘴型號LF-2 80°，噴幅50 cm，在壓力 2.1 kg cm^{-2} 下，將不同劑量之嘉磷塞(孟山都公司，41%液劑)、百速隆(日產公司，10%可濕性粉劑)及伏寄普(省農化廠，17.5%乳劑)藥液，分別均勻噴施於植株上。另以相同栽培方式播種西瓜、番茄、青梗白菜等作物及雜草—牛筋草等，於3-4葉齡期以人工噴藥機，噴施不同劑量之嘉磷塞、百速隆及伏寄普藥液。

本研究各試驗均為三重複，每重複兩盆。不同處理間之比較先行變方分析，再以5% LSD比較處理間之差異顯著性。

植株藥害調查

施藥後四小時及 2、4、6、10、14 日調查及採樣；根據藥斑發生面積及葉片數，以百分率量化指標評級藥害發生程度(0 為無藥害，100 為全株乾枯)⁽¹²⁾，並記錄藥害徵狀及恢復情形，以分析比較不同藥劑對作物之抑制反應。

葉片 shikimate 含量分析

施藥後定期採集包括莖頂及第三與第四嫩葉之植株分裂旺盛部位，做為 shikimate 分析之植材。

shikimate 萃取及檢測：樣品先以液氮研磨至粉碎，再加入 0.25N HCl 繼續研磨；樣品鮮重與 HCl 體積之比例分布在 1:1 至 1:3 範圍內，萃取液並置於 25,000 g 下離心 15 分鐘，收集上清液作為 shikimate 分析用。檢測 shikimate 主要依據 Singh 及 Shaner(1998)⁽¹⁴⁾的比色法略作修正；將 50 μl 之 shikimate 萃取液加入 0.5 ml 之 1% periodic acid 溶液，靜置 3 小時將 shikimic acid 氧化後，再與 0.5 ml 之 1 N NaOH 及 0.3 ml 之 0.1 M glycine 均勻混合後，於 380 nm 波長下量測吸光度，並經由 shikimate 標準曲線換算出樣品中濃度。每處理樣品之 shikimate 含量以每克鮮重為基礎，再換算為處理與對照樣品百分比型式之數據，以比較處理間差異。

結果與討論

三種除草劑影響玉米及胡瓜植株 shikimate 含量之比較

將 205, 1025 及 2050 g ha⁻¹(田間登記量)劑量之嘉磷塞，1.75, 8.75 及 17.5 g ha⁻¹(田間登記量)劑量之伏寄普，與 5, 25 及 50 g ha⁻¹(田間登記量)劑量之百速隆，分別噴施於 3-4 葉之玉米及胡瓜植株上，調查不同藥害發生程度下之

shikimate 累積量。嘉磷塞以三種測試劑量噴施後 14 日內，引起玉米及胡瓜之藥害徵狀為葉片黃化、植株乾枯等現象，藥害發生率最高可達 100%，shikimate 含量隨藥害程度的提高而明顯增加(表一)。玉米藥害 20% 時，shikimate 含量為 $162 \pm 23 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，與未發生藥害之樣品差異不明顯(140%)；藥害 40-80% 時，含量增加為 300% 左右；植株外觀形態嚴重枯黃接近死亡之 100% 藥害等級時，測得之 shikimate 含量為 $574 \pm 13 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，達到正常株 5 倍左右(表一)。胡瓜藥害發生在 20-80% 時，shikimate 含量為未發生藥害樣品之 240-294%；藥害發生達 100% 時，含量為 $710 \pm 6 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，亦增加為正常株之 5 倍(表一)。顯示經嘉磷塞處理之玉米及胡瓜植株，細胞內 shikimate 代謝路徑已受到藥劑不同程度的阻斷，導致 shikimate 的累積，類似之結果亦出現在經嘉磷塞處理之香附子球莖⁽¹⁶⁾，苜蓿草細胞株⁽⁸⁾及蕎麥下胚軸^(6, 11)。

百速隆對玉米生育之影響較小；高劑量處理下約有 40% 葉片受害，主要徵狀為新葉黃化及植株矮化，shikimate 含量均低於未發生藥害之植株(表一)；胡瓜植株對百速隆較為敏感，除新葉黃化外還有莖頂嫩葉皺縮之藥害現象；藥害等級從 20% 到 100% 全株乾枯，shikimate 含量由 $152 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ 增加為 $175 \pm 3 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，最高含量為正常株之 130%(表一)；百速隆處理禾本科玉米及闊葉作物胡瓜，不論是在輕微或嚴重藥害發生下，shikimate 含量均無明顯變化(表一)。伏寄普以不同劑量處理玉米，則引起分蘗枝黃化、捲曲乾枯之藥害徵狀；受害率為 100% 時鞘葉幾乎完全捲縮，無法正常抽出，累積之 shikimate 含量為 $195 \pm 22 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，為未發生藥害植株之 188%(表一)；伏寄普測試劑量造成胡瓜之藥害最高可達 30%，但 shikimate 含量均未超過正常植株(表一)。百速隆及伏寄普引起之植物毒害，最先出現在生育旺盛之莖頂及嫩葉等分生組織，且與嘉磷塞同樣具有黃化、捲曲、皺縮等藥害徵狀，但因為藥劑的作用位置與 shikimate 的代謝路徑無直接關係，因此沒有 shikimate 累積之現象發生，甚至在玉米及大豆有含量降低的趨勢⁽¹⁴⁾。

嘉磷塞處理後胡瓜及玉米植株 shikimate 含量變化

嘉磷塞以 205 g ha^{-1} 及 2050 g ha^{-1} 之劑量，噴施於 3-4 葉之胡瓜及玉米植株上，於施藥後四小時及 2、4、6、10、14 日採樣，測定 shikimate 含量之變化(圖一)。玉米及胡瓜對照株之 shikimate 含量分別為 140 ± 15 及 $145 \pm 18 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ 。嘉磷塞以低劑量 205 g ha^{-1} (田間登記量之 1/10)噴施玉米植株，於施藥後 14 日期間，shikimate 含量從噴藥後四小時之 $118 \pm 25 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ 增加至 14 日之 $206 \pm 32 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ (為對照之 84-140%)(圖一)；高劑量 2050 g ha^{-1} 處理後二日測得之含量 $353 \pm 54 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，為對照之 252%，10 日後達 511%，14 日後高達 $869 \pm 126 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，為對照之 621%(圖一)。嘉磷塞對

表一、除草劑引起玉米及胡瓜植株藥害及 shikimate 含量比較*

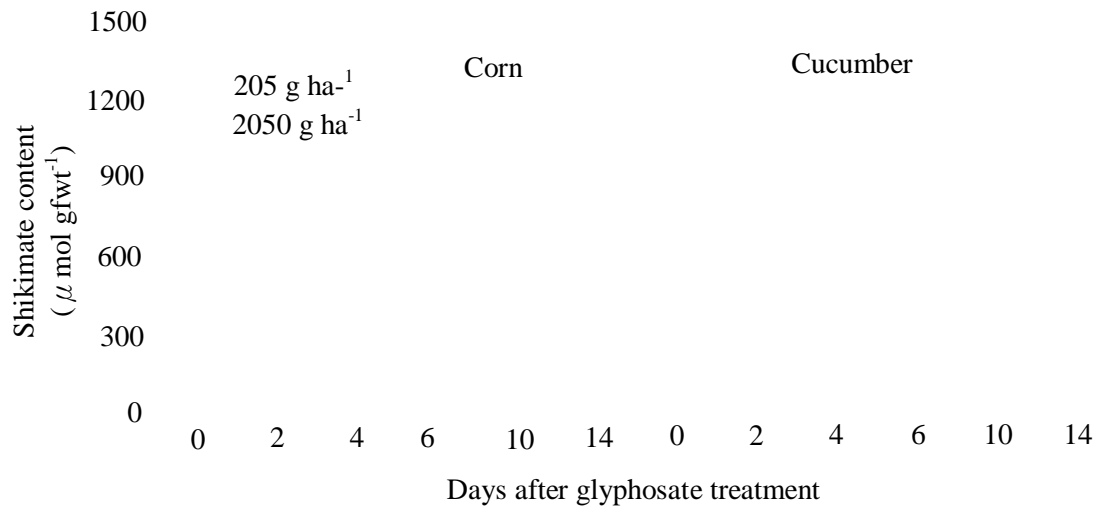
Table 1. Phytotoxicity and shikimate contents of corn and cucumber plants after foliar application of herbicides at different rates

Corn		Cucumber	
Phytotoxicity (%)	Shikimate ($\mu\text{mol g fwt}^{-1}$)	Phytotoxicity (%)	Shikimate ($\mu\text{mol g fwt}^{-1}$)
<u>Glyphosate</u>		<u>Glyphosate</u>	
0	116±13	0	142±6
20	162±23 (140%)**	20	373±7 (263%)
40	361±12 (311%)	40	418±6 (294%)
60	288±18 (248%)	60	341±11 (240%)
80	389±17 (335%)	80	352±18 (248%)
100	574±13 (495%)	100	710±6 (500%)
<u>Pyrazosulfuron-ethyl</u>		<u>Pyrazosulfuron-ethyl</u>	
0	66±3	0	138±2
10	144±3 (87%)	20	152±0 (110%)
20	143±11 (86%)	40	151±6 (109%)
30	151±16 (91%)	60	162±1 (117%)
40	146±13 (88%)	80	180±3 (130%)
		100	175±3 (127%)
<u>Fluazifop-P- butyl</u>		<u>Fluazifop-P- butyl</u>	
0	104±2	0	164±4
20	164±11 (158%)	10	148±9 (90%)
40	181±14 (174%)	20	151±6 (92%)
60	188±14 (181%)	30	160±1 (98%)
80	182±18 (175%)		
100	195±22 (188%)		

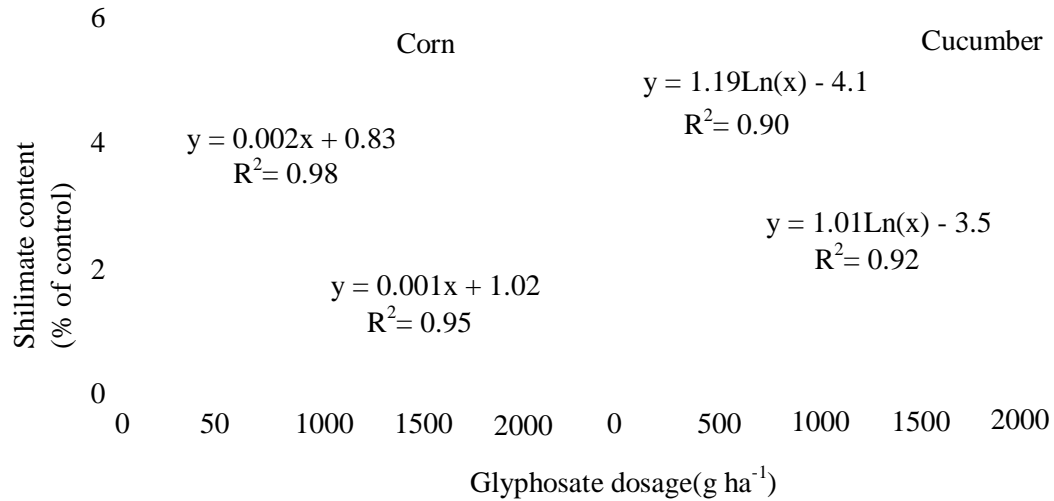
*不同劑量除草劑噴施於 3-4 葉之玉米及胡瓜植株；嘉磷塞施用劑量為 205, 1025 及 2050 g ha⁻¹；伏寄普為 1.75, 8.75 及 17.5 g ha⁻¹；百速隆為 5, 25 及 50 g ha⁻¹。Herbicides were applied at different rates to cucumber and corn plants at 3 - 4 leaf stage; glyphosate at 205, 1025, and 2050 g ha⁻¹, pyrazosulfuron-ethyl at 5, 25, and 50 g ha⁻¹, and fluazifop-P-butyl at 1.75, 8.75, and 17.5 g ha⁻¹.

**括弧內為不同藥害發生率之 shikimate 含量與未發生藥害之百分比值。

Values in parenthesis were expressed as a percentage compared with the plant of no visual injury.



圖一、嘉磷塞處理玉米及胡瓜植株不同日數之shikimate含量變化。
 Fig.1. The changes of shikimate content in corn and cucumber plants treated with different rates of glyphosate.



圖二、嘉磷塞處理玉米及胡瓜植株6日及10日後shilimate含量變化之劑量反應。

Fig.2. The changes of shikimate content in corn and cucumber plants as fluenced by different glyphosate rates. Shikimate analysis was done on samples collected at 6d () and 10d() after treatment.

胡瓜之 shikimate 含量變化較玉米影響大；以 205 g ha^{-1} 劑量噴施後 10 日期間，shikimate 含量與對照差異不明顯(對照之 94-126%)，14 日後之含量為 $693 \pm 53 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，較對照增加 4.8 倍(圖一)；高劑量 2050 g ha^{-1} 處理後二日，即增加為對照株之 290%，6 日至 10 日達 476%，14 日後含量為 $1218 \pm 192 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，高達對照之 840%(圖一)。

不同劑量之嘉磷塞處理胡瓜及玉米植株，於施藥後 6 日及 10 日，分析不同處理劑量與 shikimate 含量變化之相關性(圖二)。玉米植株之 shikimate 含量均隨處理劑量的提高呈直線增加，且施藥後 10 日之單位劑量的累積速率約為 6 日的 2 倍。在相同處理劑量下，胡瓜植株累積之 shikimate 較玉米為高，與劑量間呈指數型之曲線變化關係；施藥後 6 日之測值顯示：低於 410 g ha^{-1} 處理劑量造成 shikimate 累積之速率，較 410 至 2050 g ha^{-1} 劑量間引起之變化快速(圖二)；10 日之測值亦顯示類似的趨勢，但對劑量之反應速率較 6 日為大(圖二)。

經嘉磷塞噴施之水稻 14 日秧苗及白菜 5 日幼苗，隨處理天數及濃度的增加，shikimate 含量會逐漸提高⁽²⁾。嘉磷塞的作用機制是與 preEPSPS 及 S-3-P 先形成 enzyme—S-3-P—glyphosate 之複合體，以抑制 preEPSPS 進入葉綠體，因而阻礙葉綠體內 shikimate 路徑之進行^(1, 7, 10)。因此嘉磷塞處理之植株，在外觀形態尚未顯示藥害徵狀時，實際已造成 shikimate 的明顯累積；因為嘉磷塞被植物吸收後會快速傳導至植株各部位，且主要累積在根及莖頂等分裂旺盛組織，尤其是敏感植物於嘉磷塞處理後，會造成 shikimate 大量累積^(2, 9, 13)。

四種植物 shikimate 含量變化與藥劑處理之關係

將不同劑量之嘉磷塞、百速隆及伏寄普，分別噴施於 3-4 葉之西瓜、番茄、青梗白菜三種作物及牛筋草植株上，於施藥後 14 日採樣，調查藥害發生程度及測定 shikimate 含量之變化(表二)。嘉磷塞以 68 及 205 g ha^{-1} 低劑量噴施西瓜植株，施藥後 14 日分別引起 48% 及 84% 之藥害發生率，shikimate 含量為 130 及 $475 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，為對照株之 180% 及 660%(表二)；百速隆以 5 及 25 g ha^{-1} 低劑量噴施後，亦引起西瓜 44% 及 91% 之受害率，shikimate 含量 72 及 $79 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，與對照株無明顯差異(表二)；伏寄普以登記量及其倍量處理後，均未引起西瓜植株之藥害，同時 shikimate 亦未出現異常累積現象(表二)。三種測試藥劑對番茄及青梗白菜亦有相同之作用趨勢；嘉磷塞引起番茄 39% 藥害時，shikimste 含量為 $240 \mu\text{mol g fwt}^{-1}$ ，但達到 90% 藥害時，含量增加為對照之 13.9 倍；青梗白菜在藥害 93% 時，更高達對照之 18.2 倍；即引起類似之藥害程度時，會造成番茄及青梗白菜之 shikimate 快速累積。百速隆對測試作物引起之傷害程度在 40-90% 間，但 shikimate 含量卻無明顯的變化(表二)。

表二、不同除草劑引起植物藥害及對 shikimate 含量變化之影響

Table 2. Effect of herbicides on phytotoxicity and shikimate accumulation of tested plants treated with different rates after 14 days

Herbicides/ dosage (g ha ⁻¹)	Watermelon		Tomato		Green petiole		Goosegrass*	
	Phyto- toxicity (%)	Shikimate (μmol g fwt ⁻¹)	Phyto- toxicity (%)	Shikimate (μmol g fwt ⁻¹)	Phyto- toxicity (%)	Shikimate (μmol g fwt ⁻¹)	Phyto- toxicity (%)	Shikimate (μmol g fwt ⁻¹)
Glyphosate								
68	48	130(180%)**	39	240(490%)	56	303(550%)	60	294(320%)
205	84	475(660%)	90	681(1390%)	93	1001(1820%)	96	580(630%)
Pyrazosul- furon-ethyl								
5	44	72(100%)	40	31(80%)	52	72(130%)	-	-
25	91	79(110%)	89	44(90%)	92	99(180%)	-	-
Fluazifop-P- butyl								
175	0	65(90%)	0	49(100%)	0	50(90%)	95	101(110%)
350	0	72(100%)	0	49(100%)	0	72(130%)	100	101(110%)
Control	0	72	0	49	0	56	0	92

*嘉磷塞處理牛筋草之劑量分別為雜草防治之田間登記劑量(2050 g ha⁻¹)及其半量(1025 g ha⁻¹)。Goosegrass was treated with 1025 g ha⁻¹ and 2050 g ha⁻¹ of glyphosate.

**括弧內為不同藥害發生率之 shikimate 含量與未發生藥害之百分比值。

Values in parenthesis were expressed as a percentage compared with the plant of no visual injury.

另一測試植物牛筋草為臺灣主要之旱地雜草，以嘉磷塞田間登記量及其半量噴施處理後，可獲得 96% 及 60% 的傷害率，累積之 shikimate 含量為 294 及 580 μmol g fwt⁻¹，分別為對照的 630% 及 320% (表二)。伏寄普以田間登記量及其倍量噴施後，對牛筋草亦有 95% 以上之明顯抑制效果，甚至可達 100% 之傷害程度，只是 shikimate 含量亦無累積現象，與對照株差異不明顯 (表二)。嘉磷塞在許多植物體內均會導致 shikimate 的累積，但植物間對藥劑忍受性的差異，會改變處理劑量及時間的影響程度；以 23 g ha⁻¹ 半致死量處理白樺樹

幼苗 24 到 96 小時期間，shikimate 的累積量會逐漸減少，顯示植株已慢慢恢復生長，由於 shikimate 的代謝路徑趨於正常，因此不會發生累積現象⁽¹⁵⁾。以 5 及 10 μ M 濃度之嘉磷塞處理東京白菜，5 日後 shikimate 含量增加不明顯，但高於 20 μ M 之處理濃度卻有明顯增加現象，80 μ M 時則增加為對照的 3 倍；但低濃度嘉磷塞處理青江白菜，5 日後 shikimate 含量較未處理株有明顯增加⁽²⁾。

一般耕地及非耕地的使用嘉磷塞極為普遍，因此常常因為誤噴引起非目標作物的藥害。嘉磷塞在植體內的作用為系統性遲效型藥劑，通常施用後數日才可觀察到明顯的受害徵狀，10-20 日後導致植株死亡⁽¹⁰⁾。此與抑制側鏈胺基酸生合成路徑之硫醯尿素類，在植體內引起分生組織黃化、壞疽等枯萎現象極為相似^(4, 10)，往往造成嘉磷塞藥害診斷上的複雜性，因此亟需建立一種可賴以區分之快速檢測方法。施用嘉磷塞 23-750 g ha⁻¹ 於萌芽後 14 日之大豆植株，經 1 或 4 日後分析 shikimate 含量，即已超過對照株 10 倍以上；以 750 g ha⁻¹ 嘉磷塞施用於萌芽後 35 日之玉米植株，亦會出現 shikimate 累積現象；甚至經嘉磷塞殺死之黃化乾枯組織，亦可偵測到高濃度之 shikimate⁽²⁾。因此 shikimate 累積之檢測，可利用為嘉磷塞藥害診斷之直接佐證，甚至因為飄散等較低接觸量所引起之非目標作物的藥害研判。但分析 shikimate 含量之累積時，應以同時期、同地區、同種類之生育正常植株作為比較的基础，較能得到接近事實之診斷結果。

引用文獻

1. 張韻如、蔡文福。1998。嘉磷塞對植物的藥害與 EPSPS 活性的關係。中華民國雜草學會會刊 19:73-86。
2. 張韻如、蔡文福。1998。嘉磷塞在土壤中之吸附特性及其對青江菜(*Brassica chinensis* L.) 幼苗之殘毒藥害。博士論文。160 頁。
3. 費雯綺、王玉美 編。2002。植物保護手冊。行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印。臺中。652-759 頁。
4. 蔣永正、蔣慕琰。2002。農藥藥害的發生與診斷。行政院農委會農業藥物毒物試驗所印行。臺中。122-124 頁。
5. 蔣慕琰、蔣永正。2001。農田雜草管理及除草劑簡介。行政院農委會農業藥物毒物試驗所出版。臺中。69 頁。
6. Amrhein, N., B, Deus, P, Gehrke, and H. C. Steinrucken.1980. The site of inhibition of the shikimate pathway by glyphosate. II. Interference by glyphosate with chorismate formation *in vivo* and *in vitro*. *Plant Physiol.* 66: 830-834.

7. Ashton, F. M. and A. S. Crafts. 1981. Mode of action of herbicide. John Wiley & Sons. Inc. pp. 15-19.
8. Binarova, P., M. Cvikrova, R. Havlicky, J. Eder, and J. Plevkova. 1994. Changes of shikimate pathway in glyphosate tolerant alfalfa cell lines with reduced embryogenic ability. *Biol. Plant.* 36: 65-73.
9. Cole, D J. and A. D. Dodge. 1980. Some biochemical effects of glyphosate on plant meristems. *J. Exp. Bot.* 31: 1665-1674.
10. Devine, M. D., Duke, S. O., and Fedtke, C. 1993. Physiology of herbicide action. Prentice-Hall, UK. 441pp.
11. Hollander, H. and N. Amrhein. 1980. The site of inhibition of the shikimate pathway by glyphosate. I. Inhibition by glyphosate of phenylpropanoid synthesis in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). *Plant Physiol.* 66: 823-829.
12. Monaco, T. J., Bonanno, A. R., and Baron, J. J. 1986. Herbicide injury: diagnosis, causes, prevention and remedial action. pp. 399-428. *In* N. D. Camper [ed.] *Research Methods in Weed Science*. Southern Weed Science Society, USA.
13. Rubin, J. L., C. G. Gaines, and R. A. Jensen. 1984. Glyphosate inhibition of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase from suspension-cultured of *Nicotiana glauca*. *Plant Physiol.* 75: 8439-8450.
14. Singh, B. K. and D. L. Shaner. 1998. Rapid determination of glyphosate injury to plants and identification of glyphosate-resistant plants. *Weed Technol.* 12:527-530.
15. Stasiak, M. A., G. Hofstra, and R. A. Fletcher. 1992. Physiological changes induced in birch seedlings by sub-lethal applications of glyphosate. *Can. J. Forestry Res.* 22: 812-817.
16. Wang, C. Y. 2001. Effect of glyphosate on aromatic amino acid metabolism in purple nutsedge (*Cyperus rotundus*). *Weed Technol.* 15:628-635.