

## 除草劑磷塞對漫灌區中優勢植物及土壤中鐵、鋅 釋出之影響研究

袁又罡<sup>1</sup> 連萬福<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程

<sup>2</sup> 國立雲林科技大學通識與科學教育中心

640 雲林縣斗六市大學路3段123號

### 摘要

本研究旨在探討除草劑嘉磷塞施用於土地處理系統之漫灌區後，對優勢植物種之死亡、轉化、吸收及代謝的影響，並瞭解嘉磷塞施用前後漫灌區之水質變化情況。由研究成果顯示優勢植物小花漫澤蘭能吸收及代謝大量的嘉磷塞，但如果以植物體內嘉磷塞代謝物 AMPA (aminomethylphosphonic acid) 為指標來觀察，則發現葎草有較好的代謝成效，其次為咸豐草，最差的是小花漫澤蘭。計算 AMPA 相對於嘉磷塞的比例後，發現三種植物其比例皆介於 0.48 ~ 2.54% 之間，顯示植物體中 AMPA 的累積量相當低，這可能是因為植物在代謝嘉磷塞的同時，AMPA 也會被大量代謝轉化所致。若以失水率為指標，則以三種優勢植物作比較，葎草及咸豐草的失水率與植物體中嘉磷塞之降解有部分相關性，其中又以葎草較為突出，即失水率愈高，代謝延緩的現象愈明顯。研究結果亦發現，嘉磷塞的主要累積位置是在植物葉片，而 AMPA 之主要累積點亦在葉片上 (56%)。在水質之變化研究部分可以發現，嘉磷塞對漫灌區水體中之磷酸鹽的去除效率並無顯著之影響。但是，各採樣點的重金屬鐵及鋅卻有釋出的現象發生。經由實驗室的模擬試驗後發現，嘉磷塞可能不會直接影響漫灌區土壤對重金屬的吸附，故推論漫灌區中重金屬鐵及鋅的釋出應該是受到植物的影響較大。

**關鍵詞：**土地處理系統，嘉磷塞，AMPA，小花漫澤蘭，咸豐草，葎草

## Effects of the Herbicide Glyphosate on Plant Superiority and Water Quality in a Flood Irrigation Zone

YU-KANG YUAN<sup>1</sup> and WAN-FU LIEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Safety Health and Environment Engineering, National Yulin University of Science and Technology*

<sup>2</sup>*Department and Graduate School of Cultural Heritage Conservation, National Yulin University of Science and Technology*

*123 University Rd., Sec. 3, Douliou, Yunlin, Taiwan 64002 R.O.C.*

### ABSTRACT

This study investigated the effects of the herbicide glyphosate on the water quality and the superiority of three plants with regard to their respective deaths, transformation, adsorption, and metabolism after the use of this herbicide in the land treatment system in a flood irrigation zone.

The results show that the bittervine can absorb and metabolize a large quantity of glyphosate. If the glyphosate metabolite AMPA (aminomethylphosphonic acid) in the plant is used as an index, then the moraceae has the best metabolic effectiveness. The next effective is the *bidens plicosa*; the worst, the bittervine. The ratios of AMPA to glyphosate in these three plants are between 0.48% and 2.54%. Moreover, the cumulative amounts of AMPA are relatively low, likely because the AMPA is transformed when the glyphosate is metabolized. If the water loss rate is used as an index, then the respective rates for the *bidens plicosa* and the bittervine are partially correlated to glyphosate decomposition, especially for *bidens plicosa*. The higher the water loss rate, the slower the metabolism. The results also show that both glyphosate and AMPA (56%) are accumulated in the leaves of these plants. The study of the variation in water quality revealed that glyphosate has no obvious effect on the removal of phosphates in flood irrigation zones. However, the heavy metals iron and zinc were detected at every sampling point. A laboratory simulation indicated that glyphosate may not affect the adsorption of heavy metals in a flood irrigation zone. However, the release of iron and zinc should be affected by the plants.

**Key Words:** land treatment system, glyphosate, AMPA, bittervine, *bidens plicosa*, moraceae

## 一、前言

民國六十年代，農業已是台灣經濟發展的主力，為了防治病蟲害以增加農作物的產量乃開始使用農藥，而農藥係指用於防除農林作物或其產物之病蟲鼠害、雜草者，或用於調節農林作物生長或影響其生理作用者，或用於調節有益昆蟲生長者 [17]。當農夫施用除草劑時，為了確保雜草能有效去除，故會增加劑量來防除田間雜草，結果往往使得農田間之小渠內的地表逕流水中所含之除草劑濃度過高，排放後常導致河川的水質受到污染。另外，由於施用過量的除草劑會造成土壤及作物中所殘留的除草劑濃度偏高，進而影響大眾的健康。

近年來由於除草劑的使用劑量大幅增加，由方麗萍 [2] 之報導得知，除草劑在台灣農藥市場佔有舉足輕重之地位，其中以非選擇性除草劑嘉磷塞異丙胺鹽（藥劑濃度 41% 溶液）的銷售量為最大宗，顯示嘉磷塞對農田雜草防治的重要性。嘉磷塞為一種非選擇性之萌後殺草劑，自 1971 年由孟山都（Monsanto）公司推出後，至今已有 100 多個國家在廣泛的使用 [19]。嘉磷塞施用於植物葉面後，可經由篩管伴隨光合產物轉運至植株生長旺盛的積貯部位中累積，如生長點或肥大的營養器官 [26]。其對一年生的禾草及闊葉草具有殺傷力，但是對於多年生的雜草防除效果則更佳。又由於嘉磷塞具有售價較低、對環境及生物的毒害低 [9, 16]、可生物分解 [3]、及雜草的防除效果佳 [14] 等優點，因此被廣泛的使用。

嘉磷塞在土壤介質中，大多是被吸附在土壤內，且在一

般情況下，不易被土壤的淋洗作用去除，但是，在嘉磷塞及其代謝物 AMPA (aminomethylphosphonic acid) 的相關研究中得知 [27]，噴灑過嘉磷塞之區域內，如逢大雨時，土壤中的嘉磷塞會被淋洗出，在鄰近河川中將會測得高濃度的嘉磷塞。另外，有鑑於抗嘉磷塞除草劑基因作物的使用量逐年大增，因此，農民在種植此基因作物時，定會變本加厲的施用更多的除草劑嘉磷塞來提升作物的產量。因此，對環境所造成的污染實為未來一大隱憂，又目前應用土地處理系統 [12] 來進行農藥降解實驗之研究較為缺乏，為了瞭解土地處理系統對農藥的降解成效，以及對漫灌區水質可能產生的影響，故此，本研究之主要目的在探討把除草劑嘉磷塞施用於土地處理系統的漫灌區之後，觀察優勢植物的死亡、轉化、吸收及代謝之情形，同時亦針對嘉磷塞施用後，是否會影響漫灌區水質之變化情況作進一步的探討。

## 二、材料與方法

### (一) 土地處理系統末端漫灌區及採樣點之設置

本研究係於雲林科技大學校園污水廠內，以 921 地震之崩塌岩石為基材，並結合生態工法來興築一試驗實場—漫灌區，在此區內的植物不採取人工方式種植，採用自然演替（succession）之概念，任其自然發生、生長與競爭，在一段時間後，該區之生態系統自然會達到平衡與穩定，亦即發揮自然的「自我設計」（self design）能力。流入校園水系之生活污水主要來自校外社區，在校內水道流經 A 點（設有曝氣階梯），再流至 B 點雲夢湖（具有如同氧化塘之功用），

之後，經由攔水堰截留水源使其形成小蓄水池（C 點），再將水抽至漫灌區前之貯水塔，水體則經由加壓泵沿管線送入漫灌區內的第 I 區及第 II 區（如圖 1 所示）。

本研究的嘉磷塞施用的實驗場址在 II 區，而 I 區為對照組。採樣點設置編號如下：

1. 土樣：設置採樣點 1、2、3、4、5、6。
2. 水樣：設置採樣點 C、9、10、11、12、13、14。
3. 植物：選擇葎草、咸豐草及小花漫澤蘭三種優勢植物 [12]，依隨機方式進行取樣。

## （二）除草劑嘉磷塞之配製、噴灑劑量及採樣時程

本研究於實場進行噴灑的嘉磷塞除草劑，是由億豐公司購得的年年春商品（41% 嘉磷塞異丙胺鹽水溶液），經過前置實驗測試（preliminary test），選擇原溶液稀釋 70 倍的濃度（即 4262.1 mg/L）做為漫灌區噴灑之用，總噴灑的劑量共需 87.5 公升。使用農藥噴灑器具，直接將藥劑噴灑至植物的葉面上。在實驗正式進行前一天，樣區即開始停止噴灑。實驗時程共計 8 個星期，進行七次的採樣，每次採樣皆

採集水樣七點（含進流之 C 點）、土樣六點及三種優勢植物，七次的採樣時間為第 0、2、4、6、10、28 及 56 天。

## （三）土壤基本性質分析

本研究對於土壤之基本性質分析，包括土壤粒徑分析、pH 值（NIEA S410.60T）、含水率（NIEA S280.61C）、有機物含量（NIEA S321.63B）、陽離子交換容量（NIEA S202.60A）、土壤有效磷 [1, 4] 及重金屬分析（NIEA S321.63B）之測定。

## （四）嘉磷塞分析實驗

將所採集的樣品經萃取及濃縮之前處理，進行樣品的衍生化後，再使用 GC-MS/MS 分析儀測定嘉磷塞及其代謝物質 AMPA 的含量。樣品的前處理及衍生化方法參考 AOAC 文獻 [23] 所提供之方法，GC-MS/MS 分析儀的測定參數設定，則是參考學者 Royer 等人 [29] 建議之方法。

## （五）農藥噴灑前後漫灌區逕流水中重金屬及磷酸鹽含量的變化

1. 漫灌區試驗：在漫灌區農藥噴灑前後，於 7 個採樣點分別採集水樣，進行農藥噴灑前與噴灑後（第 2、4、6、10、28、56 天）的磷酸鹽及重金屬鋅、鐵濃度測定（NIEA S321.63B）。如表 1 所示。

2. 磷酸鹽批次試驗：分為（a）取採樣點 4 及 6 處經滅菌後的風乾土壤各 5 克，在實驗室中配置嘉磷塞最終濃度分別為 0、1、10、100 mg/L，及磷酸鹽最終濃度為 0.4 mg/L 的土壤水溶液；（b）取六個不同土壤採樣點經滅菌處理後的風乾土壤各 5 克，配置嘉磷塞及磷酸鹽最終濃度分別為 100 及 0.4 mg/L 的土壤水溶液，之後，將（a）及（b）置於恆溫振盪培養箱中，設定轉速 150 rpm、溫度 30°C，於 0、1、2、4、7 天進行取樣，測定水中磷酸鹽的含量。

「重金屬試驗」部分，取採樣點 4 處經滅菌處理後的風乾土壤各 5 克，配置成含不同濃度嘉磷塞（0、1、10、100 mg/L），再加上重金屬鐵（其濃度為 1 mg/L）的土壤溶液；另一組試驗則為，以不同濃度之嘉磷塞（0、1、10、100 mg/L），再加上鋅濃度為 1 mg/L 所配置成的土壤溶液。將以上兩組土壤溶液，分別置於恆溫振盪培養箱中，設定轉速 150 rpm、溫度 30°C，於 0、1、2、4、7 天進行取樣，而後使用火焰式原子吸收光譜儀測定水中重金屬鐵及鋅的含量。考慮水樣中重金屬濃度可能低於偵測極限（已經前置試驗發現），故水樣會先經濃縮處理後再進行分析。

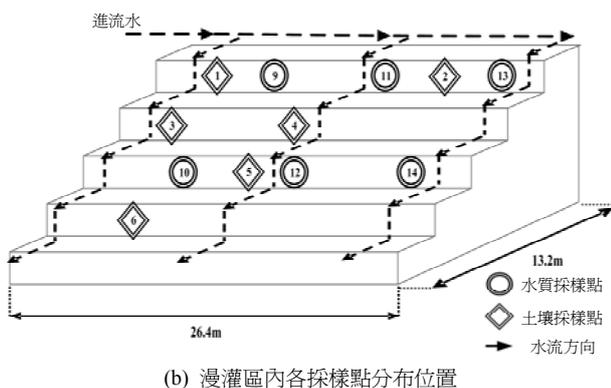
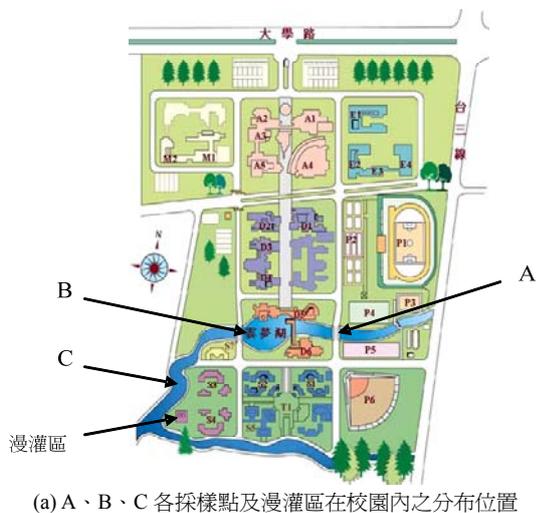


圖 1. 本實驗所涉及之各採樣點的分布狀況

表 1. 各採樣點之土壤基本性質

土壤採樣點	1	2	3	4	5	6
有機碳(%)	1.48	2.14	1.37	2.96	1.63	1.26
CEC (meq/100g)	27.23	17.97	20.76	24.02	15.45	21.39
pH	7.44	7.47	7.21	7.29	7.28	7.46
含水率(%) [溼重]	39.53	41.20	37.50	36.88	50.72	45.32
含水率(%) [乾重]	1.572	1.574	1.455	1.250	1.846	1.282
土壤分類	砂質土壤	砂質土壤	砂質土壤	壤質砂土	壤質砂土	砂質土壤
砂粒(Sand) %	90	87.61	87.59	85.38	78.85	88.38
粉粒(Silt) %	10	12.39	12.41	14.62	21.15	11.62
有效 P (mg /kg)	0.105	0.107	0.071	0.062	0.087	0.034
K (mg /kg)	46.20	44.61	33.91	96.84	44.76	36.27
Al (mg /kg)	414.13	315.20	279.15	304.88	290.24	337.55
Fe (mg /kg)	324.61	225.44	175.42	263.95	206.73	313.40
Ca (mg /kg)	1185.21	1336.24	945.30	1307.95	1226.89	1280.25
Mg (mg /kg)	413.74	396.33	320.69	354.08	364.34	325.06
Pb (mg /kg)	5.67	4.61	2.73	4.48	3.61	3.64
Zn (mg /kg)	5.11	6.57	4.74	5.84	6.04	5.06
Ni (mg /kg)	0.50	0.32	0.30	0.16	0.25	0.04
Mn (mg /kg)	205.86	167.39	117.30	124.08	153.85	204.92
Cu (mg /kg)	3.96	2.74	2.18	1.70	1.41	1.69

### 三、結果與討論

本研究在土地處理系統之漫灌區中採集了六個地點的土壤進行背景分析，土壤理化性質如表 1 所示。

#### (一) 漫灌區植物外觀之變化

土地處理系統漫灌區施用嘉磷塞後，綜觀整個漫灌區各類植物外觀，在施用嘉磷塞 1~2 天後，並無顯著的變化，但 3~6 天時，本區內的植物即有明顯的黃化現象且較為稀疏，而第 6~10 天時，有些種類植物已大量死亡，但少數耐受度高的植物種類仍然存活，如小花漫澤蘭、咸豐草及槭葉牽牛等。在 16 天後，所有植物皆呈現死亡狀態，可見濃度為 4300 mg/L 的嘉磷塞對植物的作用是相當快速的。

觀察三種優勢植物的死亡情況後，發現葎草死亡的速度最快，其次為小花漫澤蘭，死亡速度最慢的是咸豐草。死亡症狀為：(1) 葎草由葉面出現白斑／褐點→葉面漸黃→枯黃捲曲→脫水死亡；(2) 小花漫澤蘭是由葉面緊縮→產生黑色斑點→葉面破洞→葉面枯褐→死亡；(3) 咸豐草則由植株軟化→植株枯萎倒下→葉片有黃褐區塊→葉片掉落、花瓣掉落、雌蕊枯黃→莖部黃褐→枯萎死亡。

以三种植物之植物體含水率為指標，探討嘉磷塞對三种植物的藥害及死亡情形。結果發現（如圖 2 所示），在噴灑

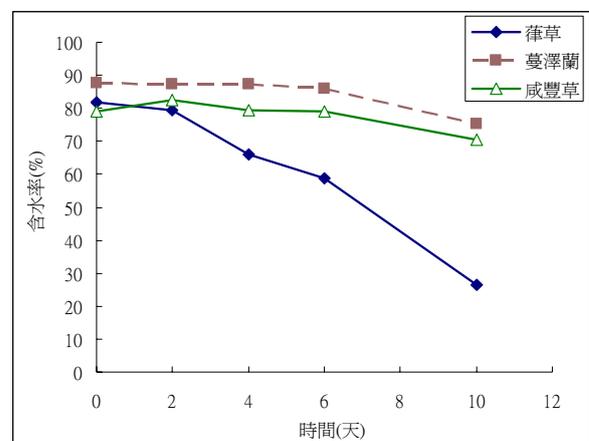


圖 2. 嘉磷塞施用後葎草、小花漫澤蘭及咸豐草含水率變化

嘉磷塞後之第 0 天，植物體內含水率皆維持在 75% 以上，然而在 10 天後，小花漫澤蘭含水率較咸豐草低，有可能是葉片結構不同、或是導管週圍組織受損導致蒸散作用出現差異，這可能是造成小花漫澤蘭比咸豐草的死亡速度較快的原因之一。然而，對葎草而言，其在 10 天內的含水率變化很大，可見嘉磷塞會影響葎草的蒸散作用，造成植物體脫水的現象，依據張韻如等 [15] 之研究，缺氧與 DNP、缺鉀、缺

磷、及 10 倍磷處理（細胞滲透壓可能受到影響），皆會抑制幼苗對嘉磷塞之吸收，但此現象可能部分與蒸散作用同時受到抑制有關。

## (二) 植物體中嘉磷塞的代謝情形

### 1. 葎草

除草劑施用後，嘉磷塞在葎草體內被偵測到，其含量隨著時間增加而減少，噴灑後的第 6 天（第四次採樣），在植株體內可測得之嘉磷塞最低含量為 480.97 mg-glyp/kg（植物乾重），只佔吸收量的 17.62%，這可能是因為多數的葎草在 6 天後即死亡之故。但是在噴灑後的第 10 天（第五次採樣），植物體內的累積量卻增加為吸收量的 20.74%，此可能與植物體含水率大量降低，造成植物體內已吸收的嘉磷塞被濃縮所致。

嘉磷塞經由植物代謝後，主要的代謝產物為 AMPA，在五採樣中可以發現，噴灑嘉磷塞 3 小時後，即有部份的嘉磷塞被葎草植株代謝成 AMPA，顯示出葎草能夠快速地降解嘉磷塞，但 AMPA 的含量會隨著時間的增加而減少，2 天後 AMPA 即可減少 41.28%，經過 10 天的代謝作用後，其去除率更高達 68.6%；另外，比較了嘉磷塞及其代謝物質 AMPA 的實驗數據後，發現代謝產物 AMPA 並沒有隨著葎草植株代謝更多的嘉磷塞而增加，這可能是因為植物在代謝嘉磷塞成為 AMPA 的同時，也將其代謝產物 AMPA 繼續轉化，故 AMPA 的濃度才保持沒有增加的現象。

另外，將植物體內失水率與嘉磷塞在葎草中的代謝情形做比較（如圖 3 所示），顯示出失水率愈低則植物代謝嘉磷塞的趨勢愈快。另外，由分析結果得知，AMPA 在植物體中的代謝趨勢，與嘉磷塞的代謝基本一致。嘉磷塞施用的 0~10 天內，植物體中 AMPA 含量占嘉磷塞含量的 0.83~2.54%之間（如圖 4 所示），但在葎草剛出現大量死亡的同時，植物體內能測得 AMPA 與嘉磷塞含量之比值的最高值。

### 2. 小花漫澤蘭

由圖 4 顯示噴灑嘉磷塞後 3 小時，小花漫澤蘭即能吸收嘉磷塞濃度高達 2986.52 mg-glyp/kg（植物乾重），顯示植物根部對嘉磷塞之吸收為一種被動的生物物理擴散作用 [15]；此外，嘉磷塞在小花漫澤蘭體內的代謝速度非常快，2 天後即有 68.52% 的嘉磷塞消失，10 天後去除率更高達 90.01%，顯示小花漫澤蘭對除草劑嘉磷塞不但有很高的吸收能力，也有極高的代謝能力；但是，小花漫澤蘭在第 2~4 天時會出現代謝遲滯現象，此與小花漫澤蘭外觀觀測作對照

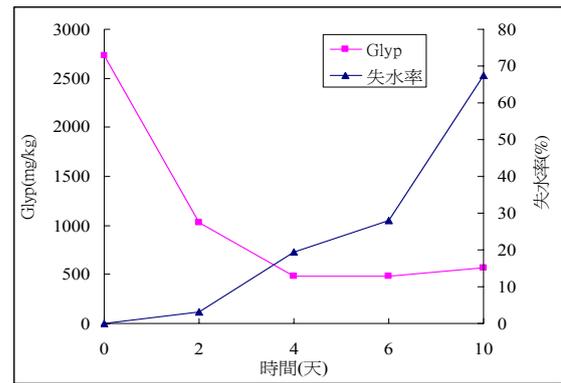


圖 3. 葎草失水率與嘉磷塞在葎草中代謝之關係

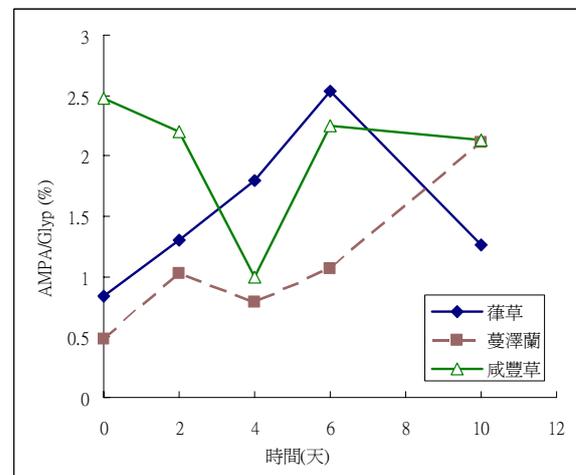


圖 4. 葎草、咸豐草及小花漫澤蘭中嘉磷塞轉化 AMPA 比例

後，顯示有葉面緊皺、捲曲及破洞的現象，所以，推測小花漫澤蘭可能為了去毒而啟動自我防衛的機制，導致代謝功能的暫時性停滯。在圖 4 中亦發現，AMPA 代謝似乎維持一定的速度，6 天後可達最高之去除率為 69.04%。一般來說，小花漫澤蘭將嘉磷塞代謝成 AMPA 比例都很低，介於 0.48~2.11%（如圖 5 所示），但其比例會隨著時間的增加而升高，但是最高值也僅有 2.11%，顯示小花漫澤蘭代謝嘉磷塞成為 AMPA 的速度很緩慢，但亦有可能是將嘉磷塞直接轉化成另一種產物，依據胡寶元等 [8] 之報告，嘉磷塞在植物體內極為安定，代謝相當的緩慢，只有當植物死亡後，分解機制最終會回歸到土壤。

### 3. 咸豐草

咸豐草是在漫灌區噴灑嘉磷塞後，死亡速度最慢的優勢植物，噴灑後 3 小時，檢測咸豐草對嘉磷塞的吸收量僅有

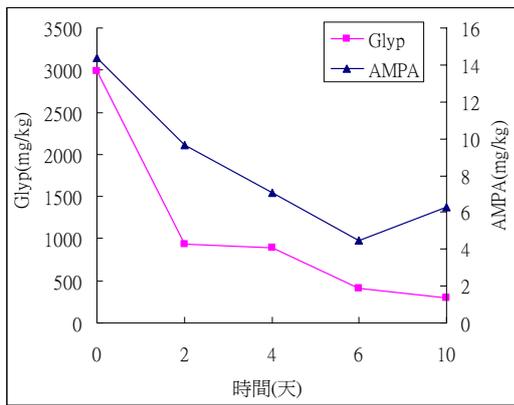


圖 5. 嘉磷塞及 AMPA 在小花漫澤蘭中的代謝情形

999.198 mg-glyp/kg (植物乾重)，噴灑後的第 4 天測得之最高濃度為 1590.402 mg-glyp/kg (植物乾重)，此可能是因咸豐草具有抗嘉磷塞之基因或酵素所致，或是取樣上的特殊性所造成。由數據顯示，噴藥後第 6 天，咸豐草對嘉磷塞的代謝有停滯的現象，總共 5 次的植物採樣中亦發現，咸豐草的最高累積濃度僅有 1590.40 mg-glyp/kg (植物乾重)，因此，咸豐草可能與牛筋草 (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) 一樣具有代謝嘉磷塞之酵素 [14]，結果造成死亡速度緩慢。

雖然咸豐草中所測得的嘉磷塞含量不高，但是噴灑 3 小時後，即產生了 24.778 mg-AMPA/k (植物乾重)，顯示咸豐草能快速的轉化除草劑嘉磷塞為 AMPA，10 天內共去除了 40.78%。

分析咸豐草失水率與嘉磷塞在咸豐草中的代謝關係後發現，在施用後的 0~4 天，咸豐草代謝嘉磷塞的趨勢與植物失水率的趨勢類似，施用後的第 10 天失水率急遽升高，咸豐草代謝嘉磷塞的速度也有減緩的現象。在圖 4 中，比較咸豐草轉化嘉磷塞成為 AMPA 的比例值，若將第 4 天的奇異值扣除，則其比例介於 2.12~2.48% 之間，如此相近的比例，顯示出施用後的 0~10 天咸豐草代謝嘉磷塞和 AMPA 的速度及轉化 AMPA 的速度趨於一致，即植物體代謝嘉磷塞時，也同時將嘉磷塞轉化而成的 AMPA 等比例代謝去除。然而，於第 10 天有不少咸豐草植株死亡，呈現出一較高的比值 2.48%。

分析嘉磷塞在咸豐草根莖葉間的轉運情形 (如圖 6 所示)，結果發現，咸豐草將近枯死 (第 10 天) 時，根及莖部的嘉磷塞比例皆會減少，經植物的轉運後主要會累積於葉片中。Royer 等人 [29] 也有類似的看法，其研究嘉磷塞在植

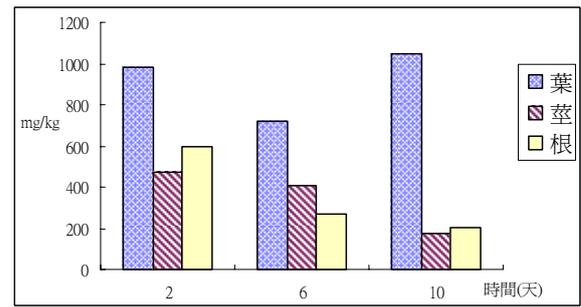


圖 6. 咸豐草根莖葉中嘉磷塞的代謝情形

物紫花霍香薊植體內的轉運，發現嘉磷塞主要之累積部位為成熟葉片。

AMPA 在植物的轉運 (示如圖 7)，主要累積於根部及葉片，其中又以根部的比例 (將各天累積量相加作為分母，再以各天之累積量除之) 最高為 42%，其次為葉片的 36%，最少為莖部的 22%，到了第 10 天，根、莖及葉的比例變化為 24%、20% 及 56%。由此顯示 AMPA 會先於根部及葉片累積，隨著植物的轉運及代謝後，莖及根部的 AMPA 含量會漸少，最後 AMPA 主要累積於葉片上。

### (三) 漫灌區水質變化

#### 1. 磷酸鹽

採用土壤作為處理磷之系統時，其中最主要的去除機制為土壤和植物之吸收 [18]。一般水質分析中的總磷，包括正磷酸鹽、複合磷酸鹽及有機磷，而水中幾乎所有的無機磷都是以磷酸鹽形態存在，如正磷酸鹽 ( $\text{PO}_4^{3-}$ 、 $\text{HPO}_4^{2-}$ 、 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ )、或是複合磷酸鹽 ( $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$ 、 $\text{P}_3\text{O}_{10}^{5-}$ 、 $\text{HP}_3\text{O}_9$ 、 $\text{CaP}_2\text{O}_7$ )。在 pH 值為中性的自然水體，可溶性的磷酸鹽主要是  $\text{HPO}_4^{2-}$  (約占 90%) 和  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (約占 10%) 的混合物， $\text{HPO}_4^{2-}$  已成為植物的基本營養物質，其為植物生理合成作用中的重要化合物，具有能量傳遞功能 [22]。

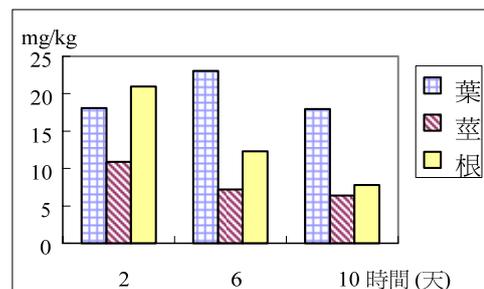


圖 7. 咸豐草根莖葉中 AMPA 的代謝情形

總體而言，在低溫情況下，正磷酸鹽的去除在前兩個採樣點較為穩定，顯示不需太長的處理路徑即可有效將磷去除，且水力停留時間（HRT）亦可以縮短許多。在植物覆蓋率完整的情況下，溫度在 22-29°C 時，初始正磷酸鹽的最好去除效果可以達到 46.34%，之後會慢慢降低而回歸常態。至於硝酸鹽的去除則只有在高溫時會比較好，此與高溫時微生物的活性有可能提升有關，但植物生長良好對於生活在植物根圈附近的微生物亦有良性的作用。所以，在高溫且植物覆蓋率完整時，前兩採樣點的水力停留時間即足以達到最佳的硝酸鹽去除效果。

由於收割過程保留了地表以上約 50 公分的植物體，對於水溫的穩定與土壤中微生物的保護有直接作用，而氣溫變動遠大於水溫，在考量收割行為對處理水質的影響時，選擇夏季植物生長快速的季節，縮短水力停留時間與漫流路徑，即可達到去除氮磷的最佳效果。

土壤對磷的吸收作用，包括了吸附和沈降，隨著土壤環境之不同，土壤中的磷會以不同的形式存在，在 pH 為 6.5-7.5 時，土壤中的磷主要是以  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  形式存在，當 pH 為 7.5-8.5 時， $\text{PO}_4^{3-}$  與  $\text{Ca}^{2+}$  會生成難溶的  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 。由於眾多文獻皆顯示磷酸鹽會與嘉磷塞競爭土壤顆粒表面的吸附位置，因此，嘉磷塞施用於漫灌區後，極有可能造成漫灌區中磷酸鹽水質處理成效的降低 [17, 24]。

依圖 8 所示，未施用嘉磷塞前各採樣點的磷酸鹽濃度與進流 C 點濃度類似，之後，在嘉磷塞施用後的第 2 天、第 4 天、第 6 天及第 10 天，發現各採樣點的磷酸鹽濃度，基本上並無顯著增加，只有第 2 天之採樣點 13 有突增現象。至於第 6 天測得的各採樣點出流水，並沒有因為進流水 C 點

之磷酸鹽濃度突升而有增高的現象，顯示水體中的磷酸鹽確有可能被土壤或植物所吸收。而第 28 天之各採樣點磷酸鹽濃度皆普遍高於之前 10 天的分析結果，此可能是因第 23 天漫灌區曾進行植物收割，使該區植物生態倒退至次生階段，導致磷酸鹽去除效率下降 [10]，第 56 天的情況基本上亦同，顯示植物並非磷酸鹽去除的主要機制。

為了能進一步地確認嘉磷塞施用後是否會減低土壤對磷酸鹽的吸附成效，因此，在實驗室中分別以漫灌區土壤採樣點 4 及 6 的土壤進行試驗，希望藉此探討濃度 0、1、10 及 100 mg/L 的嘉磷塞對磷酸鹽（濃度 0.4 mg/L）之吸附影響，結果如圖 9。

將配好的土壤溶液搖晃後立即測定水體中的磷酸鹽濃度，其值即為圖 9 之 (a) 與 (b) 圖中第 0 天之數值。依圖 9(a) 結果所示，添加 1 ppm 與 100 ppm 嘉磷塞，自 2 天以後，對土壤吸附磷酸鹽皆有明顯影響；以添加 100 ppm 嘉磷塞實驗組為例，第 7 天時的土壤溶液中只有 0.245 mg/L 的磷酸鹽，但與第 0 天結果相比，去除率為 38.69%；至於對照組、1 ppm 及 10 ppm 組之土壤溶液磷酸鹽去除率，則分別為 63.83%、57.34%、63.83%，顯示土壤採樣點 4 中嘉磷塞濃度愈高，愈容易造成磷酸鹽的釋出。而 9(b) 中所示，則以添加 100 ppm 嘉磷塞之實驗組，在第 1-2 天有明顯影響，之後的第 4 至第 7 天，則對照組與各實驗組之趨勢與差異皆明顯縮小。

而依照表 1 中採樣點 4 與 6 之土壤樣品有效磷分析結果來看，前者為 0.062 mg/kg，後者為 0.034 mg/kg，對照圖 9 中的結果，由此推知原始土壤有效磷之多寡，會對磷酸鹽與嘉磷塞競爭土壤顆粒上之吸附位置，可能具有一定之作用。

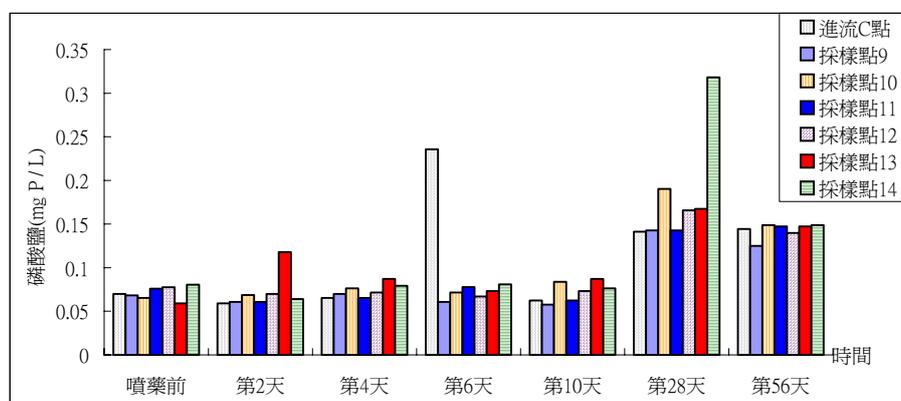


圖 8. 嘉磷塞施用前後漫灌區水體磷酸鹽之濃度變化圖

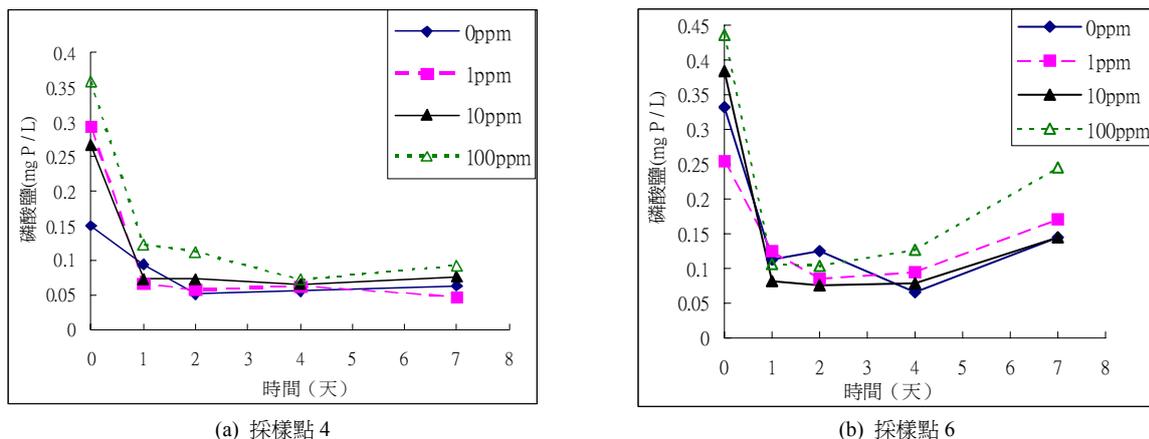


圖 9. 土壤加入不同濃度嘉磷塞對磷酸鹽吸附之影響

鄭榮翰 [20] 亦指出無機磷酸鹽會和嘉磷塞競爭土壤的表面吸附位置，若增加嘉磷塞的濃度，磷酸鹽對嘉磷塞的吸附之影響則會降低。亦即，土壤中如果有較高含量的有效磷時，極有可能使得土壤中的吸附位置變少，而且土壤溶液中如果含有高濃度嘉磷塞時，可能會使得土壤顆粒優先去吸附顆粒間溶液中的嘉磷塞，導致磷酸鹽吸附的效果變差。此與 Franz [25] 的研究結果「土壤中磷酸鹽的含量會影響嘉磷塞的移動性」，基本上相符。

## 2. 重金屬鋅與鐵

重金屬鐵及鋅是地球上常見的元素之一，土壤中的鐵及鋅含量約有 10,000~300,000 及 10~300 mg/kg，兩者分別占土壤中總量的 4% 及 0.005%，鐵及鋅又是植物所需的必要微量元素，植物每年吸收量約為 0.5 及 0.5 kg/ha [7]。在自然環境中，若含有高濃度的重金屬，則會對環境及生物造成嚴重的危害，因此，受重金屬污染之土壤及水體的整治工作刻不容緩。

一般而言，土壤原本就具有能夠調控微量金屬的機制，包括表面吸附和離子交換，以及不溶性鐵、鋁和錳的氧化物對金屬離子的吸附，以及植物和土壤微生物的攝取和固定等 [6]。土地處理系統之漫灌區，即是利用植物吸收、微生物代謝轉換與土壤的吸附等機制來去除廢水中的重金屬 [11]。Royer 等人亦曾指出嘉磷塞會與銅形成強烈的銅複合物，降低了銅在土壤顆粒上的吸附量 [23]，因此嘉磷塞的施用有可能會影響漫灌區對重金屬的處理成效。

在漫灌區中施用除草劑嘉磷塞前後，於各採樣點取得水樣對鐵及鋅之分析結果，如圖 10 所示。

在噴藥前，漫灌區各採樣點水樣所測得之重金屬鐵的濃

度皆低於進流水（進流 C 點），由此顯示此區之生態系統確實具有去除重金屬鐵的效果。但嘉磷塞施用之後，在第 10 天以前，各採樣點皆有明顯的鐵釋出現象發生。而重金屬鋅的去除，在第 2 天時也有類似的現象。依照鄭榮翰 [13] 的研究，在此一時段的漫灌區優勢植物為小花蔓澤蘭，由圖 4 中可以看到，在第 10 天時嘉磷塞轉化 AMPA 的比例大於 2，而失水率自第 6 天到第 10 天約為 12% 左右，依之前的分析「失水率愈低則植物代謝嘉磷塞的趨勢愈快」可以推知，從第 6 天到第 10 天為一關鍵期，小花蔓澤蘭的失水率突然升高，使得嘉磷塞轉化成 AMPA 的比例因此提升，葉片萎縮且葉綠素解體，於是構成葉綠素核心的鐵因此釋出。在第 28 至 56 天時，優勢植物的凋萎已明顯趨於穩定，釋出的鐵亦明顯與進流水之差距漸趨一致。

至於鋅的部分，自第 28 天至 56 天止，隨著植物的凋萎趨於穩定，並開始有部分植物漲出新芽，顯示植物對嘉磷塞的代謝已近尾聲，從圖 10 之 (b) 中可以看出，為因應新生狀態須有鋅的配合才能啟動相關酵素的活性。

為了能進一步了解嘉磷塞施用後，是否會影響漫灌區中土壤對重金屬的吸附成效，因此在實驗室中以漫灌區土壤採樣點 4 的土壤進行試驗，藉以探討濃度 0、1、10 及 100 mg/L 的嘉磷塞對重金屬鐵及鋅（濃度各為 1.0 mg/L）在土壤中的吸附之影響，結果示如圖 9。

由圖 11 (a) 中可以看出，無論土壤溶液中是否含有嘉磷塞，重金屬鐵皆有釋出的現象，且吸附及脫附的趨勢皆相當一致，顯示出土壤溶液中的嘉磷塞似乎不是造成重金屬鐵脫附的主要關鍵，因此推測土壤的性質影響重金屬鐵吸附的能力會遠大於土壤溶液中嘉磷塞的作用。所以，當植物因嘉磷

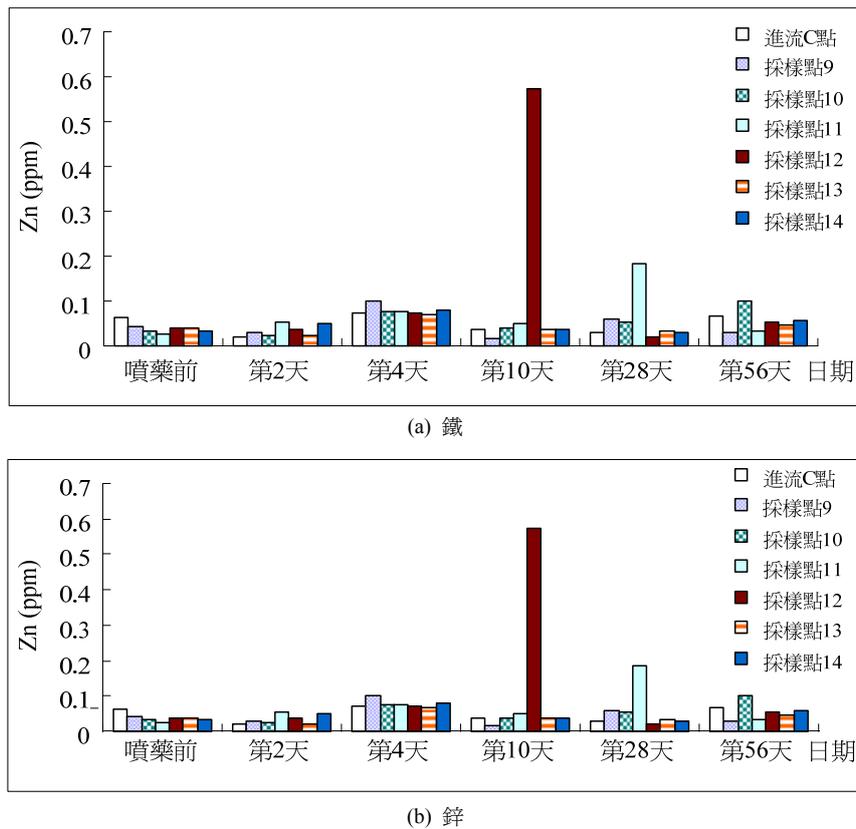


圖 10. 嘉磷塞施用前後漫灌區水體中重金屬之濃度變化

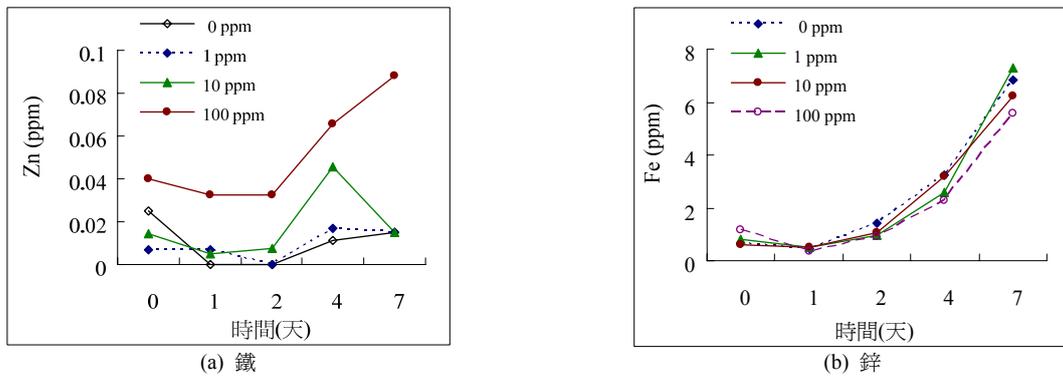


圖 11. 採樣點 4 的土壤加入不同濃度的嘉磷塞後對重金屬吸脫附之影響

塞而萎縮凋亡時，釋出的鐵會直接進入水體，由此導致水樣分析結果的數值上升。

從圖 11(B) 中觀察得知，於 0~7 天期間，含濃度 100 mg/L 嘉磷塞的土壤溶液，其對重金屬鋅有較低的去除成效，但是就整體而言，採樣點 4 的土壤對於重金屬鋅的吸附皆有不錯的效果，所測得的鋅濃度皆低於 0.1 mg/L，去除率大於 90%，由上述的結果，顯示高濃度的嘉磷塞土壤溶液（100 mg/L）會略為影響土壤對重金屬鋅的吸附能力，但是

其影響不致造成重金屬鋅的釋出。此一結果與圖 10(b) 中噴藥後前 4 天的結果，基本上一致。

#### 四、結論與建議

##### (一) 結論

本研究旨在探討漫灌區施用嘉磷塞之後，各採樣點水樣之各項水質參數，如磷酸鹽、重金屬鐵及鋅濃度之變化，希

望藉此瞭解嘉磷塞對三種優勢植物之作用,以及植物對其之吸收代謝及轉運情形,以下即為本研究之結論:

1. 對嘉磷塞吸收量最高的優勢植物為小花漫澤蘭,其吸收值為 2986.53 mg-glyp/kg (植物乾重),其次是葎草,而吸收能力最差的是咸豐草。究其原因,有可能是因為咸豐草葉片表面積較小,所以截留到的嘉磷塞液滴較少,因此吸收量才會較低。
2. 從三種優勢植物對除草劑嘉磷塞的代謝情況來看,小花漫澤蘭有極高的代謝能力,植株體內 90.1% 的嘉磷塞皆可被去除,其次為葎草,代謝能力最差的是咸豐草。
3. 以 AMPA 為指標來分析,葎草有較好的代謝成效,能去除體內 68.66% 的 AMPA,再者是咸豐草,最差的是小花漫澤蘭,但三種植物對嘉磷塞的去除成效皆比對 AMPA 的去除來得好。
4. 以嘉磷塞轉化成 AMPA 的比例來看,三種優勢植物體內之 AMPA 相對於嘉磷塞的比例皆在 0.48~2.54% 之間,顯示代謝嘉磷塞成 AMPA 的比例相當低,此有兩種可能性,一為植物代謝嘉磷塞的同時,也大量的代謝 AMPA;另一可能原因為大部份的嘉磷塞會被直接代謝成為二氧化碳釋放出去。然而,在植物體出現大量死亡的同時,都能由植物體中測得 AMPA 相對於嘉磷塞含量的最高值。
5. 比較失水率對植物降解嘉磷塞的影響,發現葎草及咸豐草的失水率與嘉磷塞降解只有部分相關性,其中又以葎草的關係較為明顯,具有隨著失水率升高而產生代謝延緩的現象。
6. 觀察嘉磷塞及其代謝物質 AMPA 在咸豐草植株內的轉運情況,顯示隨著植物的轉運及代謝後,嘉磷塞最後會累積在葉片中(增加了 23%);而在莖中測得的部分,有可能是正在轉運中的嘉磷塞和 AMPA。AMPA 在噴藥 10 天後,於莖及根部的量會漸少,最後 AMPA 主要還是會累積於葉片上(56%)。
7. 嘉磷塞施用後對漫灌區逕流水中的磷酸鹽之去除效率並無顯著之影響。但在實驗室的模擬試驗中可以發現,土壤中有效磷的含量較高者,會使磷酸鹽之去除率有下降的趨勢。
8. 在漫灌區中施用嘉磷塞後,顯示各採樣點的重金屬鐵及鋅皆有釋出的現象發生。但是,由實驗室中的模擬試驗顯示,土壤溶液中的嘉磷塞似乎不是造成重金屬鐵吸附

的主要關鍵。而含高濃度嘉磷塞的土壤溶液(100 mg/L)會略為影響土壤對重金屬鋅的吸附能力,但是其影響不致於造成重金屬鋅的大量釋出。因此,嘉磷塞可能不會直接影響漫灌區土壤對重金屬的吸附,推論漫灌區中鐵及鋅的釋出可能是受到植物的影響較大。

## (二) 建議

由實驗結果可以發現一些有待進一步釐清的疑點,因此提出以下幾點建議:

1. 今後可針對不同植物進行耐受性實驗,來釐清植物吸收程度是否與嘉磷塞的施用濃度成正相關,如此當可更為明確了解造成植物死亡的主要原因,是因為植物體內吸收量達到一定的濃度或是被外在環境的施用量所主宰。
2. 可於咸豐草植株中施用碳 14 標定的嘉磷塞,使能更進一步地瞭解嘉磷塞在植物體內的轉運情形及最終的累積位置,如成熟片、幼葉或葉片的生長點等。
3. 本研究尚未探討嘉磷塞在漫灌區土壤中降解、代謝及滲出之情形,未來希望能對此有進一步的研究,以瞭解嘉磷塞在漫灌區中完整的降解之機制。
4. 未來希望能篩選出漫灌區土壤中具有降解嘉磷塞能力的微生物,方能瞭解漫灌區土壤微生物降解嘉磷塞之機制,並可由此發展出有效的生物製劑。
5. 將來可以在實驗室中,藉由控制土壤單一性質的方式,如有效磷含量、有機碳含量等,來進行嘉磷塞的吸附試驗,如此方能真正瞭解土壤對嘉磷塞吸附之影響。

## 參考文獻

1. 中華土壤肥料農會(民 84),土壤分析手冊,中華土壤肥料農會編印,台中市。
2. 方麗萍(民 92),台灣除草劑之近況,農藥一路發電子報,20158,民國 92 年 12 月 1 日檢索自 <http://enews.tacocity.com.tw>。
3. 王貞滂、王慶裕(民 92),土壤微生物分解嘉磷塞除草劑,科學農業,51(5/6),118-121。
4. 吳海音(民 92),土壤有效磷測定方法的比較研究—幼苗法,土壤肥料,1,38-40。
5. 李國欽、林浩潭(民 86),土壤重金屬檢驗技術,行政院農委會農藥毒物試驗所專題報導,44,1-10。
6. 汪晉三、黃新華、程國佩(民 79),水化學與水污染,中山大學出版社,第一版,廣州。

7. 洪崑煌、王明光、陳尊賢、賴朝明、何聖賓、李達源(民 85), 土壤化學, 頁 528, 國立編譯館, 台北市。
8. 胡寶元、謝煥儒、姚瑞禎、傅春旭(民 94), 數種土壤真菌對嘉磷塞忍受性之研究, 台大實驗林研究報告, 19(1), 17-23。
9. 孫斐、翁愷慎、李國欽(民 87), 三苯醋錫和嘉磷塞對水蚤 (*Scapholeberis kingi* Sars) 繁殖之影響評估, 植物保護學會會刊, 40(1), 73-79。
10. 袁又罡(民 97), 以植物相演替為指標探討重建漫灌系統對水質淨化效能之影響, 科技學刊, 16(4), 291-299。
11. 袁又罡(民 97), 以微生物為指標探討次生漫灌系統對水質淨化效能之研究, 科技學刊, 17(1), 1-12。
12. 袁又罡、鄭榮翰(民 92), 以生態工法構築土地處理系統在水資源再生上的應用研究, 工程環境特刊, 11, 105-117。
13. 袁秋英、陳益明(民 91), 華九頭獅子草對嘉磷塞之生理生化反應及耐藥性機制探討, 國立臺灣大學植物學研究所博士論文。
14. 袁秋英、謝玉貞、蔣慕琰(民 94), 牛筋草 (*Eleusine Indica*) 對嘉磷塞抗藥性反應之測定, 植物保護學會會刊, 47(2), 143-154。
15. 張韻如、許明晃、蔡文福、張新軒(民 90), 水稻及青江菜幼苗根部對嘉磷塞之吸收特性, 中華民國雜草學會會刊, 22(2), 130-131。
16. 張韻如、蔡文福(民 87), 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(2), 73-85。
17. 陳鴻基、莊作權、李國欽(民 83), 殺草嘉磷塞與磷離子在土壤粘粒上的競爭吸附, 中華民國雜草學會會刊, 15(2), 101-114。
18. 曾四恭、張志成(民 85), 生活汙水土壤處理, 能源、資源與環境, 9(1), 52-66。
19. 廖文如(民 77), 嘉磷塞對茶苗生理之影響及扦插苗圃雜草防除之效果, 國立臺灣大學農藝研究所碩士論文。
20. 廖進旺、黃振聲(民 93), 農藥的毒性及危害, 行政院農業委員會農藥毒物試驗所期刊, 73, 1-12。
21. 鄭榮翰(民 93), 土地處理系統水質淨化與植物多樣性之相關性研究, 國立雲林科技大學環境與安全衛生工程研究所碩士論文。
22. 龔書椿、陳應新、韓玉蓮、張靜貞(民 85), 環境化學, 華東師範大學出版社, 上海市。
23. Alferness, P. L. and L. A. Wiebe (2001) Determination of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in crops by capillary gas chromatography with mass-selective detection: Collaborative study. *Journal of AOAC International*, 84, 823-846.
24. Dion, H. M., J. B. Harsh and H. H. Hill Jr. (2001) Competitive sorption between glyphosate and inorganic phosphate on clay minerals and low organic matter soil. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 249, 385-390.
25. Franz, J. E., M. K. Mao and J. A. Sikorski (1997) *Glyphosate: A Unique Global Herbicide*, American Chemical Society, Washington, DC.
26. Gougler, J. A. and D. R. Geiger (1984) Carbon partitioning and herbicide transport in glyphosate-treated sugarbeet (*Beta vulgaris*). *Weed Science*, 32, 546-551.
27. Information Ventures (1995) Pesticide Fact Sheet: Glyphosate. Prepared for the USDA Forest Service. Retrieved 2008, March 18, from <http://infoventures.com/e-hlth/pesticide/glyphos.html>
28. Morillo, E., T. Undabeytia, C. Maqueda and A. Ramos (2002) The effect of dissolved glyphosate upon the sorption of copper by three selected soil. *Chemosphere*, 47, 747-752.
29. Royer, A., S. Beguin, J. C. Tabet, S. Hulot, M. A. Reding and P. Y. Communal (2000) Determination of glyphosate and aminomethylphosphonic acid residues in water by gas chromatography with tandem mass spectrometry after exchange ion resin purification and derivatization. Application on vegetable matrixes. *Analytical Chemistry*, 72, 3826-3832.
30. The U.S. Department of Agriculture (2002) *Pesticide Fact Sheet: Glyphosate*, Forest Service by Information Ventures, Inc.

收件：97.08.19 修正：97.09.18 接受：97.10.27