

嘉磷塞(glyphosate)抗藥性一 (1)耐及抗嘉磷塞雜草之發生

袁秋英

摘 要

嘉磷塞(glyphosate)為全球使用最普遍的除草劑，自市售以來20年內不曾發生抗藥性雜草，但因作物田區高頻率及經常性使用嘉磷塞，首度於1996年在澳洲小麥田出現第1個抗性草瑞士黑麥草(*Lolium rigidum* Gaudin)。另又因抗嘉磷塞(glyphosate-resistant, GR)作物的研發及上市，栽種面積持續大量增加，在不整地栽培及僅噴施嘉磷塞單一藥劑的雜草管理方式下，耐及抗性雜草的種類及數量快速而持續增加，至今已有23種雜草出現抗嘉磷塞生物型(biotype)，其中禾本科植物即有13種，其次菊科及莧科植物分別有6及2種，分布面積已超過百萬公畝的抗性草有瑞士黑麥草、加拿大蓬(*Conyza canadensis* (L.) Cronq.)、長芒莧(*Amaranthus palmeri* S. Wats.)及塊莖莧(*A. Tuberculatus* (Moq.) Sauer)等，嚴重危害作物之生產；此外，抗嘉磷塞牛筋草(*Eleusine indica* (L.) Gaertn.)的分布雖僅約600公畝，但此草為全球十大抗除草劑雜草之一，有至少可抗5種不同作用機制除草劑的生物型，已成為作物田區的難防治雜草。23種抗嘉磷塞雜草中以長芒莧的抗性最強，介於79~115倍之間。經藥毒所多年實驗證明，臺灣近10年也於果園、休耕或非耕地出現1種耐性及4種抗嘉磷塞雜草，分別為華九頭獅子草(*Dicliptera chinensis* (L.) Juss)、牛筋草、野苘蒿(*C. Sumatrensis* (L.) Cronq.)、美洲假蓬(*C. Bonanensis* (L.) Cronq.)及繖花龍吐珠(*Hedyotis corymbosa* (L.) Lam)，逐漸成為作物田區難防除的優勢植物。欲有效防除或控管抗嘉磷塞雜草，應從減少藥劑選汰壓力著手，針對GR作物若種植單抗品系者，需與抗不同除草劑品系者輪作，並配合輪流施用相關除草劑；若種植雙抗品系者，僅需配合輪流噴施不同除草劑。對於non-GR作物或非耕地，可輪流或混合使用不同作用機制之除草劑，另亦可配合人工、機械除草或覆蓋等物理方式除草，降低藥劑的使用量及頻度，即可避免及延緩抗性雜草的發生。

行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所技術專刊第 210 號。

一、嘉磷塞之特性

嘉磷塞(glyphosate)為非選擇性萌後除草劑，由美國孟山都公司(Monsanto)於1974年研發上市之有機磷類藥劑，化學名為N-(phosphonomethyl) glycine，一般田間用量為1.6~2.5 kg ai ha⁻¹，可有效防除一年生及大部份多年生雜草，在台灣已登記於14種主要作物、休閒地及非耕地使用，為旱田最重要之萌後除草劑(費等2010)。嘉磷塞主要作用位置為shikimic acid代謝路徑中5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase(EPSPS)酵素，嘉磷塞與受質phosphoenolpyruvate(PEP)產生競爭性之抑制，並且阻止EPSPS 前趨蛋白質運移至葉綠體(Amrhein et al. 1980)，造成苯丙氨酸(phenylalanine)、酪氨酸(tyrosine)及色氨酸(tryptophan)等3種芳香族胺基酸含量降低，影響植物蛋白質之生合成及正常生長(Amrhein et al. 1980, Marshall et al. 1994)，達成防除雜草之目的。

由於嘉磷塞作用之shikimate pathway代謝路徑僅存在於高等植物、真菌、細菌與藻類等生物(Bradshaw et al.1997)，因此，嘉磷塞對哺乳動物、昆蟲、鳥類及魚類等生物具低毒性之特點，成為目前全球使用量最多的萌後除草劑。而自1996年開始栽種於田間的第一代基改作物，即包括抗嘉磷塞(glyphosate-resistant, GR)作物，主要有GR大豆、玉米、油菜及棉花等品系，至2011年的栽種面積已超過9千萬公頃，約佔所有基改作物的58% (Heap 2012)。由於此等田區防除雜草的工作被簡單化，只施用嘉磷塞單一種藥劑，可依需求及配合適當農閒期，利用飛機噴施，既可省時、省工及油料，且基改作物無受傷之疑慮，因此，抗除草劑基改作物的栽種面積仍逐年持續增加，根據Global Industry Analysts, Inc. (2011)預測嘉磷塞於2017年的年銷售量將可達135萬公噸。

二、嘉磷塞及栽培方式對草相變遷(weed shifts)之影響

一般而言，雜草族群的變遷，為不同作物栽培系統下，因遺傳質重組或變異的一種生態適應現象(Sebbins 1999)，而且此等選汰壓力需大於雜草自身的遺傳變異，同時雜草需可克服、存活及增加族群密度，才會發生草相變遷(Hilgenfeld et al. 2001)。而造成農地雜草族群改變的主要因素為耕作及除草方式，其中以不整地栽培(no-tillage)及施用除草劑的選汰壓力，為草相變遷、優勢草種改變或發生抗藥性雜草的主要原因。如嘉磷塞經常性噴施於果園、非耕地等長期不耕犁的作物區，或不整地栽培的GR大豆、棉花及玉米田，近年於各國皆已陸續出現多種對嘉磷塞具高耐受性或抗性的雜草生物型，不僅成為破壞農地生態平衡，亦造成作

物的嚴重減產。

(一) 耕犁、不整地栽培對雜草族群的影響

作物田於耕犁時翻動表土，會改變當時適合萌芽雜草的種類及數量(Grundey et al. 2003)。以雜草種類少及密度低的田區或種子量少的1年生草較易受明顯影響(Buhler et al. 1997, Owen 2001, Scursoni et al. 2001)。短期作物如玉米及大豆輪作的整地栽培，會使表土雜草種子的數量明顯降低(Buhler et al. 2001)，若採行不整地栽培的GR大豆及玉米田，雜草種類增加但密度降低(Swanto et al. 2006)，輪作愈多種作物，雜草的多樣性愈豐富，同時也會增加草相變遷的機會(Anderson and Beck 2007)。

長期研究顯示，不整地栽培對雜草族群的衝擊最大，雜草是否可存活，則依其種子數量、萌芽率、埋土深度及生長競爭力等特性而定，若雜草種子具有於土表或近表土處即可萌芽、提早萌芽或風媒飄散等特性，較易持續維繫其族群(Buhler et al. 1997, Tuesca and Papa 2001, Pedersen et al. 2007)。若以不整地栽培栽種GR大豆，雖可省工及防止表土沖刷，但也因此改變雜草的多樣性(Cerdeira and Duke 2006)。經短期風險評估結果顯示，GR甜菜及油菜田的雜草種類少於傳統栽種者；而GR玉米田的雜草密度低於傳統栽種者(Heard et al. 2003a,b)。

(二) 嘉磷塞造成的草相變遷及耐性草種

單一種藥劑持續施用於農田，造成農業生態系的衝擊，如降低生態系之生物多樣性、草相種類或密度改變，甚至可能演化產生抗藥性雜草(Conner et al. 2003)。除草劑藥劑施用次數對草相的影響不一，如僅施用1次嘉磷塞對草相改變較少，雜草種類較豐富；噴施2次嘉磷塞，田區內雜草種類明顯減少；若施用多次嘉磷塞，雜草種類比使用萌前藥劑者更少，後續對嘉磷塞具耐受性的雜草及抗性草易成為主要優勢草種(Scursoni et al. 2001, Stoltenberg 2001)。

自1975年起，前人研究報告即於果園、花生田等農地陸續出現百脈根 *birsafot trefoil*(*Lotus corniculatus* L.)、田旋花 *field bindweed*(*Convolvulus arvensis* L.)、夾竹桃科植物 *hemp dogbane*(*Apocymum cannabinum* L.)、鵝觀草 *quackgrass*(*Agropyron repens* Beauv.)及鴨跖草(*Commelina communis* L.)等雜草(表1)，對嘉磷塞一般田間施用劑量具有較高耐藥性(Boerboom et al.

1990, DeGennaro and Weller 1984, Klevorn and Wyse 1984, Own and Zelaya 2005, Wyrill and Burnside, 1976) , 於2000年間在臺灣中部梨園及葡萄園亦出現天然耐嘉磷塞的華九頭獅子草(*Diclipera chinensis* (L.) Juss) , 且已成為園區內的優勢植物(Yuan et al. 2002) (表1.)。

抗嘉磷塞基改作物田於2004年起，也已陸續被證實出現耐性草，包括苘麻(*Abutilon theophrasti* Medic.)、藜(*Chenopodium album* L.)、藜科植物(*C. desiccata* A. Nels)、鴨跖草、圓葉鴨跖草(*C. benghalensis* L.)、碗仔花(*Ipomoea hederacea* (L.) Jacq)、田菁(*Sesbania exaltata* Rafin.)、法氏狗尾草(*Setaria faberi* Herrm)、黃土香(*Cyperus esculentus* L.)、馬唐(*Digitaria sanguinalis*(Linn.)Scop)、擬鴨舌癢(*Richardia scabra* L.)、繁縷(*Stellaria media* (L.) Vill)及野高粱(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)等14種植物(Culpepper et al. 2004, Hilgenfeld et al. 2004, Jeschke and Stoltenberg 2006, Own and Zelaya 2005, Wilson et al. 2007)(表1.)。例如GR大豆田連續施用2年嘉磷塞，可有效防除對藥劑敏感的雜草，而篩選出高耐受性或抗性碗仔花及野高粱，成為GR大豆田區的主要雜草(Hilgenfeld et al. 2004)。GR玉米於種植2年後，田區雜草的密度高於種植傳統品系者(Firbank et al. 2006)。美西地區GR玉米田噴施嘉磷塞5年之後，田區內優勢草由地膚(*Kochia scoparia* L. Schrad.)及野黍(*Panicum miliaceum* L.) 改變為藜科植物 (*Chenopodium desiccatum* A. Nels.) (Wilson et al. 2007)。於GR大豆及玉米輪作田，8年內僅噴施嘉磷塞單1除草劑，結果田區雜草種類多於有整地栽培或噴施其他除草劑者，其中主要雜草有藜、莧科植物(*Amaranthus spp.*)及法氏狗尾草 (Jeschke and Stoltenberg 2006)。

表1. 耐嘉磷塞雜草種類

作物或農地	雜草種類	文獻
A. 非基改作物		
不詳	<i>Agropyron repens</i> Beauv. 鵝觀草	Klevorn and Wyse 1984
不詳	<i>Apocymum cannabinum</i> L. (夾竹桃科)	Wyrill and Burnside, 1976
不詳	<i>Convolvulus arvensis</i> L. 田旋花	DeGennaro & Weller 1984
花生	<i>Commelina communis</i> L. 鴨跖草	Own and Zelaya 2005
果園,非耕地	<i>Diclipera chinensis</i> (L.) Juss 華九頭獅子草	袁及蔣 2001, Yuan et al. 2002
愈合組織	<i>Lotus corniculatus</i> L. 百脈根	Boerboom 1990

作物或農地	雜草種類	文獻
B. 抗嘉磷塞基改作物		
大豆	<i>Abutilon theophrasti</i> Medic. 苘麻	Own and Zelaya 2005
	<i>Chenopodium album</i> L. 藜	Own and Zelaya 2005
	<i>Commelina communis</i> L. 鴨跖草	Own and Zelaya 2005
	<i>Ipomoea hederacea</i> (L.) Jacq 碗仔花	Hilgenfeld et al. 2004
	<i>Sesbania exaltata</i> Rafin. 田菁	
	<i>Sorghum bicolor</i> (L.) Moench 野高粱	Hilgenfeld et al. 2004
玉米	<i>Chenopodium desiccatum</i> A. Nels	Wilson et al. 2007
	<i>Setaria faberi</i> Herrm. 法氏狗尾草	Jeschke & Stoltenberg 2006
	<i>Commelina benghalensis</i> L. 圓葉鴨跖草	Culpepper et al. 2004
棉花	<i>C. communis</i> L. 鴨跖草	Own and Zelaya 2005
	<i>Cyperus esculentus</i> L. 黃土香	Shaner 2000
	<i>Digitaria sanguinalis</i> (Linn.) Scop 馬唐	Shaner 2000
	<i>Richardia scabra</i> L. 擬鴨舌癩	Shaner 2000
	<i>Sesbania exaltata</i> Rafin. 田菁	Shaner 2000
	<i>Polygonum</i> spp. (蓼科植物)	Shaner 2000
油菜	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill 繁縷	Shaner 2000

三、全球抗嘉磷塞雜草之現況

目前全球抗嘉磷塞雜草共有23種，分布於16個國家以上，危害的面積已超過1千萬公畝，以禾本科植物為主，有13種抗性生物型；其次為菊科及莧科植物為主，分別有6及2種，依據各國於除草劑耐藥性雜草國際調查(International Survey of Herbicide Resistant Weeds)登記出現的順序及相關訊息彙整於表2.(Heap 2012)。抗嘉磷塞雜草的發生與栽培方式及施藥次數有極密切的關係，現存的抗性植物依其發生的作物別，可區分為3類別，第1類別抗性草出現於非基改作物田區：一般年度內施用嘉磷塞次數低於6~8次，連續使用5~10年以上才出現者，包括瑞士黑麥草rigid ryegrass (*Lolium rigidum* Gaudin)、早熟禾(*Poa annua* L. Bluegrass)、大扁雀麥(*Bromus diandrus* Roth)、*Chloris truncata*、*Leptochloa virgata*及*Urochloa panicoides*等6種禾本科雜草；野苘蒿(*Conyza sumatrensis* Retz.)及銀膠菊(*Parthenium hysterophorus* L.)2種菊科植物，以及長葉車前草(*Plantago lanceolata* L.)、繖花龍吐珠(*Hedyotis corymbosa* (L.)Lam)；第2類別抗性草出現於GR大豆、玉米或棉花田者：包括強生草(*Sorghum halepense* L.)、地膚(*Kochia scoparia* (L.) Schrad)、豬草(*Ambrosia artemisifolia* L.)、三裂葉豬草(*A. Trifida* L.)及塊莖莧(*Amaranthus tuberculatus* Moq.)等5種雜草；第3類別抗性草出現於GR或non-GR作物田區者，包括牛筋草(*Eleusine indica* (L.)Gaertn)、義大利黑麥草(*L. Multiflorum* Lam.)、多年生黑麥草(*L. Perenne* L.)、芒稷(*Echinochloa colona* L.)、禾本科未知

植物(*Digitaria insular*)、加拿大蓬(*Conyza Canadensis* Retz.)、美洲假蓬(*C. Bonanensis* Retz.)及長芒莧(*A. palmeri* S. Wats.)等8種植物。Heap於2010年將GR作物面積與抗性草數量作圖(圖.1)，結果顯示隨著GR作物栽種面積上升，抗性草數量亦明顯大量增加。

表2. 全球抗嘉磷塞雜草之種類、抗性倍數及其分布

發現年	雜草種類	抗性倍數	國家	分布之作物或農地	面積(Acres)
1996	<i>Lolium rigidum</i> 瑞士黑麥草	7~11	澳洲,美國,南非,法國, 西班牙,以色列,義大利	油菜,穀類,小麥,蘋果, 葡萄,蘆筍,杏仁,非耕地	>2 mill.
1997	<i>Eleusine indica</i> 牛筋草	8~12 (2~4)	馬來西亞,臺灣,哥倫比 亞,美國	GR 大豆,GR 棉花,咖啡, 果園	>600
2000	<i>Conyza canadensis</i> 加拿大蓬	8~13	美國,巴西,中國,西班 牙,捷克	GR 大豆,GR 棉花,GR 玉米,水稻,果園	>3 mill.
2001	<i>L. multiflorum</i> 義大利黑麥草	2~3	智利,巴西,美國,西班 牙,阿根廷	咖啡,大豆,大麥,玉米, 果園,農地	>20 thou.
2003	<i>C. bonanensis</i> 美洲假蓬	10	南非,西班牙,巴西,以色 列,哥倫比亞,臺灣,美 國,澳洲,埃及,葡萄牙	GR 大豆,GR 玉米,咖 啡,胡蘿蔔,葡萄,小麥, 果園	>2 thou.
2003	<i>Plantago lanceolata</i> 長葉車前草	—	南非	葡萄,果園	11~50
2004	<i>Ambrosia trifida</i> 三裂葉豬草	5	美國,加拿大	GR 大豆,GR 棉花,GR 玉米	>100 thou.
2004	<i>A. artemisifolia</i> 豬草	10~21	美國	GR 大豆	>10 thou.
2004	<i>Parthenium hysterophor</i> 銀膠菊	4~6	哥倫比亞	果園	51~100
2005	<i>Amaranthus palmeri</i> 長芒莧	6~8 79~115	美國,果園,農地	GR 大豆,GR 棉花	>4 mill.
2005	<i>A. tuberculatus</i> 塊莖莧	3	美國	GR 大豆,GR 玉米	>1 mill.
2005	<i>Sorghum halepense</i> 強生草	4~10	阿根廷,美國	GR 大豆	> 100 thou.
2006	<i>Digitaria insular</i> 禾草	3~8	巴拉圭,巴西	GR 大豆,果園	>200 thous.
2007	<i>Echinochloa colona</i> 芒稷	4~6	澳洲,美國,阿根廷	GR 玉米,GR 大豆,果園, 農地	>2000
2007	<i>Kochia scoparia</i> 地膚	—	美國,加拿大	GR 大豆,GR 玉米,GR 棉花,農地	>10 thou.
2008	<i>L. perenne</i> 多年生黑麥草	—	阿根廷,大麥,農地	GR 大豆,GR 玉米	11~50
2008	<i>Urochloa panicoides</i> 禾草	—	澳洲	小麥,高粱	11~50
2009	<i>C. sumatrensis</i> 野苧蒿	8	西班牙,臺灣,巴西	果園	11~50
2010	<i>Poa annua</i> 早熟禾	—	美國	草坪	6~10

發現年	雜草種類	抗性倍數	國家	分布之作物或農地	面積(Acres)
2010	<i>Chloris truncata</i> 禾草	—	澳洲	農地	6~10
2010	<i>Leptochloa virgata</i> 禾草	—	墨西哥	果園	10,000
2010	<i>Hedyotis corymbosa</i> 繖花龍吐珠	10	臺灣	果園,休耕地	<1
2011	<i>Bromus diandrus</i> 大扁雀麥	—	澳洲	未知	<1

Source, Heap IM, International Survey of Herbicide Resistant Weeds. [Online]. Available : [http : //www.weedscience.org](http://www.weedscience.org) [1 Apl 2012]

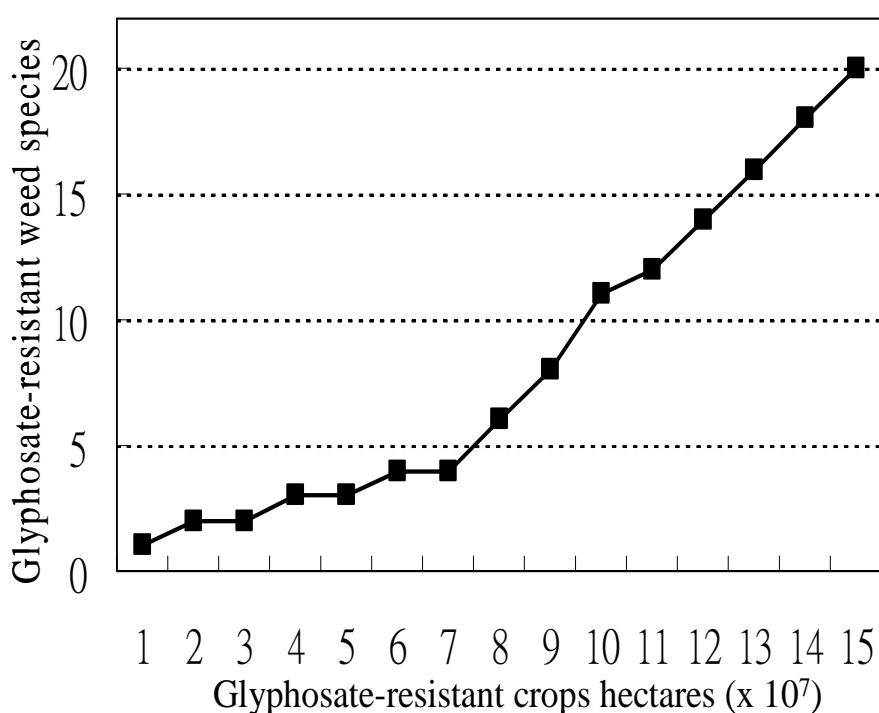


圖1.抗嘉磷塞作物栽種面積及抗嘉磷塞雜草之數量。

Fig.1. The number of glyphosate-resistant weeds in relation to the area of glyphosate resistant crops. (Heap 2010)

抗嘉磷塞雜草的分布面積已超過百萬公畝者，包括瑞士黑麥草、加拿大蓬、長芒莧及塊莖莧等4種，不僅植株生長勢及種子繁殖潛力強，皆已嚴重造成作物的減產。另抗性牛筋草的分布雖僅約600公畝，但此草有至少可抗5種不同作用機制除草劑的生物型，已成為倍受關注的難防除雜草。23種抗嘉磷塞雜草中以長芒莧的抗性最強，介於79~115倍之間，其次為瑞士黑麥草及豬草抗性介於10~20倍之間，其餘抗性草對嘉磷塞的抗性大部份介於2~10倍之間。以下針對危害嚴重的

抗性雜草，分別簡述之。

(一)瑞士黑麥草

最早報導的抗嘉磷塞雜草為瑞士黑麥草，主要分布於澳洲小麥、油菜等穀物農田 (Pratley et al. 1996)，經嘉磷塞劑量反應測定後，證實其抗性為感性株的10倍以上(Pratley et al. 1999)。另於澳洲其他地區農地噴施2~3次/年，連續噴15年之後，出現抗性增加7-11倍的黑麥草族群(Powles et al. 1998)。之後於美國加州、南非、法國、西班牙、以色列及義大利等7國的葡萄、蘋果等果園，也陸續出現抗嘉磷塞黑麥草，目前分布的面積已超過2百萬公畝(Table 2)(Heap 2012)。瑞士黑麥草除了抗嘉磷塞以外，也為最早出現多重抗性的植物，至今已有抗10種以上不同作用機制除草劑的生物型(Heap 2012)，目前市售的除草劑已無法有效防除。

(二)牛筋草

牛筋草為第2個被發現的抗嘉磷塞禾草，馬來西亞4年生果樹，園區每年噴施6~8次嘉磷塞，即於1997年出現抗性牛筋草。作者推論可能由於嘉磷塞價格低廉，造成施用量及使用次數皆增多之故，且初估抗性增為8~12倍(Lee and Ngim 2000)，孟山都公司研發團隊進一步檢測抗性為2~4倍，同時證明抗性株的嘉磷塞標的酵素EPSPS，其基因發生P106S點突變，此為基因點突變造成抗嘉磷塞植株的首度報導(Baerson et al. 2002)；藥毒所於2002年在臺灣高雄縣番石榴園亦發現抗嘉磷塞牛筋草 (袁等 2005)，而哥倫比亞的咖啡園及美國的大豆、棉花田於2007年才出現抗性族群，目前危害面積約為600公畝(Heap 2012)。此外牛筋草亦有多重抗性生物型，如抗二硝基苯胺(dinitroanilines)、芳烴氧苯羧酸(aryloxyphenoxy carboxylic acids)及環己烯氧(cyclohexanedione)類型除草劑生物型之報導(Marshall et al. 1994, Mueller et al. 2003)。

(三)加拿大蓬、美洲假蓬及野苘蒿

加拿大蓬為菊科假蓬屬1年生雜草，是第1個抗性闊葉型雜草，也是首度於基改作物田區出現的抗嘉磷塞雜草。最早於2000年在美國德拉威州的GR大豆田發現，此大豆田區僅於施用嘉磷塞3年後，即出現抗性加拿大蓬，抗性倍數介於8~13倍之間(VanGessel 2001)。之後幾乎每年至少1州陸續出現抗性株的報導，至今已遍布22州；此外於巴西、中國、西班牙等國亦有

抗性加拿大蓬相關之報導，其中於大豆田出現的機率較高，佔50%以上(16/31田區)，其次為棉花田(6/31田區)，抗性草分布的面積已經超過300萬公畝，對作物的生產已造成極嚴重的影響。抗嘉磷塞加拿大蓬會快速分布及漫延的可能原因，除了不整地栽培利於存活植株的持續生長與繁殖以外，另一重要原因為加拿大蓬種子的特性，包括種子數量多(約20萬/株)，種子質輕附冠毛，易於飄散，可遠距傳播之故(Dauer et al. 2006, Guan et al. 2010)，另亦有對6種不同作用機制除草劑產生多重抗性的生物型(Heap 2012)。

抗嘉磷塞的假蓬屬雜草另有美洲假蓬及野苘蒿，2003年於南非發現美洲假蓬對嘉磷塞高耐受性的族群，2004~2007年間分別於西班牙、巴西、哥倫比亞及美國加州等地也陸續有抗性現象的報導，西班牙的抗嘉磷塞美洲假蓬於43個族群中，測定典型抗與感性植株對藥劑的靈敏度相差約10倍，且各族群對嘉磷塞有多種不同程度的耐受性(Urbano et al. 2007)。抗嘉磷塞野苘蒿發生之時期較晚，

(四)豬草及三裂葉豬草

豬草及三裂葉豬草為菊科雜草，於2004年GR在棉花及大豆田陸續出現抗性株，抗性倍數分別為10~21及5倍(Brewer and Oliver 2009, Norsworthy et al. 2010)。其中三裂葉豬草為生長勢極強的競爭性雜草，前人研究顯示於玉米田的三裂葉豬草密度達0.5株公尺⁻²，即會造成玉米減產19%(Johnson et al. 2007)；密度增為1.4株公尺⁻²，則減產高達90%以上(Harrison et al. 2001)。此外，此2種植物花粉會引發人畜的過敏性鼻炎、哮喘及過敏性皮膚炎等問題，若無法適時有效防範族群的散佈，將具有危害農民及鄰近居民健康的風險。

(五)長芒莧及塊莖莧

長芒莧及塊莖莧皆為競爭性強大的莧科植物，長芒莧首度於美國喬治亞州GR棉花田噴施嘉磷塞4年後，2005年即出現抗性株(Culpepper et al. 2006)，現今已分布於14州，面積超過400萬公畝(Heap 2012)，同時也陸續出現抗photosystem II、ALS及Dinitroanilines抑制劑等除草劑的生物型。自1997年起在美國密蘇里州的GM大豆田開始施用嘉磷塞，約於8~9年之後，至2005年起出現抗嘉磷塞的塊莖莧，此雜草生長競爭性亦強，且種子量生產大，

至今危害區域已分布美國11州(Culpepper et al. 2009)，其對嘉磷塞的抗性約為3倍(Culpepper et al. 2006)，至今塊莖莧亦普遍出現多重抗性，包括抗 photosystem II、ALS、PPO及4-HPPD 抑制劑等除草劑的生物型。此二種莧科植物皆為雌雄異株特質，因此抗性遺傳質的基因滲入(introgression)而移轉的風險性較高(Trucco et al. 2007)，現今塊莖莧及長芒莧已分別於美國中西部及南部造成相當嚴重的危害(Heap 2012)。

四、臺灣農地的耐及抗性嘉磷塞雜草

嘉磷塞亦為臺灣使用量最多的重要萌後除草劑，2008年的銷售量約有3,627公噸(方麗萍 2009)。嘉磷塞主要登記於多種蔬菜及果樹等14種作物及非耕地的雜草防除(費等 2010)，一般使用次數約3-4次/年，施藥頻率高者可多達6次以上，因此至今研究證實已有1種耐性草及4種抗性草，分別為華九頭獅子草、牛筋草、野苘蒿、美洲假蓬及繖花龍吐珠(*Hedyotis corymbosa*(L.)Lam)(圖2.~6.)，已普遍出現於臺灣低海拔地區的果園、休耕及非耕地(表3.)(袁及蔣 2001, 袁等 2005, 袁等 2006, 林等 2008)。

(一)華九頭獅子草

華九頭獅子草為爵床科1年生草本植物，此草對嘉磷塞之耐藥特性為該植物原有之特性，並非長時期使用嘉磷塞所篩選出者。2000年間在苗栗縣卓蘭鎮、台中縣東勢鎮及新社鄉的果園，噴施嘉磷塞無法有效防除華九頭獅子草，而逐漸成為園區內主要之優勢雜草(圖2.)。經嘉磷塞藥劑劑量反應之測試，華九頭獅子草之ED₅₀值為紫花霍香薊、野甘草、野莧及大花咸豐草4種雜草的2~7倍(袁及蔣 2001)。

(二)牛筋草

自2003年起，於高雄縣、南投縣以及宜蘭縣的果園(圖3.)，陸續出現嘉磷塞僅可造成牛筋草部份傷害的現象，經藥劑測定顯示，6~8葉齡的抗性牛筋草對嘉磷塞ED₅₀ R/S比值為4.6(袁等 2005)，抗性程度與馬來西亞的抗性牛筋草(2~4倍)相近似(Teng, Y. T and Teo 1999)。

(三)野苘蒿

野苘蒿抗除草劑的現象，於1980年代已發生於日本及臺灣的果園、蔬菜田及路旁，出現抗巴拉刈的野苘蒿(蔣等 1994)，經由更換使用嘉磷塞藥劑之後，臺灣的抗巴拉刈野苘蒿族群已不易發現。由於經常性噴施嘉磷塞，造

成抗嘉磷塞的生物型被篩選出來，2003年起在臺灣中部地區的果園、休耕地及路旁，普遍出現抗嘉磷塞的野苧蒿族群(圖4.)，抗性約為8倍，且開花期的野苧蒿防除難度更高(袁等 2006)。

(四)美洲假蓬

美洲假蓬的外觀形態與同屬的加拿大蓬及野苧蒿極相似，三者常於田區形成優勢族群，成為作物栽培管理的困擾。臺灣中部於2006年開始出現抗嘉磷塞的美洲假蓬族群，雖然目前抗性現象尚侷限於中部地區的非耕地，但由於美洲假蓬種子數量多且具冠毛，易被風飄散而四處散播。經藥劑測定顯示抗性約為14倍(圖5.)(林等 2008)。

(五)繖花龍吐珠

繖花龍吐珠為茜草科耳草屬1年生草本植物，普遍分佈於台灣全省低海拔地區果園、休耕地及農地道路旁，為近年發現的抗嘉磷塞雜草(圖6.)，雖然繖花龍吐珠葉片狹小、株型低矮，對其他植物造成的競爭潛力不高，但因其生活史短、種子數量多，一旦出現抗嘉磷塞植株，即快速形成群落，初步測試其抗性約為10倍以上(未發表)。

表3.臺灣出現的耐及抗嘉磷塞雜草

發現年	雜草種類	抗性倍數	作物或農地	文獻
2000	<i>Diclipera chinensis</i> L. * 華九頭獅子草	2-7**	果園,非耕地	袁及蔣 2001, Yuan et al.
2003	<i>Eleusine indica</i> (L.)Gaertn 牛筋草	4.6	果園,休耕地,非耕地	袁等 2005
2003	<i>Conyza sumatrensis</i> Retz. 野苧蒿	8	果園, 休耕地,路旁	袁等 2006
2006	<i>C. bonanensis</i> Retz. 美洲假蓬	14	非耕地	林等 2008
2009	<i>Hedyotis corymbosa</i> Lam. 繖花龍吐珠	10	果園、休耕地及農地 道路旁	(未發表)

*耐性草。

**ED₅₀值：與紫花霍香薊、野甘草、野苧及大花咸豐草之比較值。



圖2. 耐嘉磷塞華九頭獅子草之植株及於葡萄園之抗性族群。



圖3. 抗嘉磷塞牛筋草之植株及於番石榴園之抗性族群。



圖4. 抗嘉磷塞野苘蒿之植株及於香蕉園之抗性族群。



圖5. 抗嘉磷塞美洲假蓬之植物及施藥後之藥效比較。



圖6. 抗嘉磷塞繖花龍吐株之植株及非耕地之抗性族群。

五、抗嘉磷塞雜草的控制及管理策略

由於現階段GR作物多採不整地栽培及僅施用單一嘉磷塞藥劑，造成近10年來抗嘉磷塞雜草的大量繁衍，因此研發基改作物的數家生技公司已陸續極力開發不同作用機制除草劑的抗性作物品系，例如抗固殺草(glufosinate)大豆(W62mW98品系)、抗imidazolinone大豆(BPS-CV127-9品系)，或抗嘉磷塞及ALS抑制劑的雙抗大豆(DP356043品系)；玉米亦有4種抗嘉磷塞及固殺草的雙抗品系可交替運用。因此對於GR作物田區內抗性草的防除，若種植單抗品系者，需與抗不同除草劑品系者輪作，並配合輪流施用相關除草劑；若種植雙抗品系者，僅需配合輪流噴施不同除草劑，應可逐漸降低抗性草族群及避免再滋生。噴施除草劑之後田區狀態之監測，觀察田間雜草於噴藥前後草相的變化，發現無法防除者應立即消除。

對於non-GR作物田區的抗嘉磷塞雜草需從減少藥劑選汰壓力著手，包括用藥種類及方式等雜草管理技術，以及調整栽培系統之整體規劃。例如輪流或混合使用不同作用機制之除草劑，以及避免過量使用藥劑等方式。例如初步研究結果顯示，與嘉磷塞輪流噴施固殺草可有效防治華九頭獅子草、野苘蒿、美洲假蓬及繖花龍吐珠等抗性植物；亦可配合施得圃萌前除草劑抑制牛筋草幼苗之生長。栽培系統方面可選用不同栽種季節的作物進行輪作，配合非化學方法之雜草管理，包括耕耘機、人工或機械除草及覆蓋等物理方式除草。同時需維繫農機具之清潔，防止抗性雜草種子經由農機具而散播他處。亦可採隔離栽培或休耕方式，降低雜草於田區間擴散機率，避免抗性草之滋生及繁衍。

參考文獻

- 1.方麗萍。2009。農藥一路發。http://www.ag168.com
- 2.林李昌、葉茂生、蔣慕琰、袁秋英。2008。美洲假蓬(*Conyza bonariensis*)對嘉磷塞之抗藥性與5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase(EPSPS)基因研究。生物、環境與生物資訊。5(4)：268-280。
- 3.袁秋英、謝玉貞、林李昌、蔣慕琰。2006。野苘蒿(*Conyza sumatrensis*)對嘉磷塞之抗藥性及5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase(epsps)基因研究。植保會刊。48：229-241。
- 4.袁秋英、謝玉貞、蔣慕琰。2005a。牛筋草(*Eleusine indica*)對嘉磷塞抗藥性反應之測定。植保會刊 47：129-140。
- 5.袁秋英、蔣慕琰。2001。華九頭獅子草對嘉磷塞之反應。植物保護學會會刊 43：29-38。
- 6.蔣永正、蔣慕琰、朱德民。1994。臺灣野塘蒿(*Erigeron sumatrensis*)對巴拉刈(paraquat)抗藥性之研究。中華民國雜草學會會刊15：1-19。
- 7.費雯綺、王喻其、陳富翔、林曉民、李貽華。2010。植物保護手冊。行政院農委會農業藥物毒物試驗所編印。台中。874-925頁。
- 8.Alarcon-Reverte R, A Garcia, M Jasieniuk, T Lanini, BD Hanson, AJ Fischer (2011) Glyphosate Driven Selection Strikes Again: Investigating the Mechanism of Resistance in *Echinochloa colona* from California. [Online]. Weed Science Society of America Abstract No. 114 (2011). Available : <http://wssaabstracts.com/public/index.php?conf=4> [10 March 2011].
- 9.Amrhein N, B Deus, P Gehrke, HC Steinrücken (1980) The site of the inhibition of the shikimate pathway by glyphosate. *Plant Physiol.* 65: 830-834.
- 10.Baerson SR, DJ Rodriguez, M Tran, Y Feng, NA Best,GM Dill GM(2002) Glyphosate-resistant goosegrass: identification of a mutation in the target enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase. *Plant Physiol.* 129 : 1265-1275.
- 11.Beckie HJ (2011) Herbicide-resistant weed management: focus on glyphosate. *Pest Manag Sci* 67 : 1037-1048.
- 12.Bradshaw LD, SR Pagette, SL Kimball, BH Wells(1997)Perspectives on glyphosate resistance. *Weed Technol.* 11 : 189-198.
- 13.Brewer CE, LR Oliver(2009)Confirmation and resistancemechanisms in glyphosate-resistant common ragweed(*Ambrosia artemisiifolia*)in Arkansas. *Weed Sci* 57 : 567-573.
- 14.Buhler DD, RG Hartzler, F Forcella(1997)Implications of weed seedbank dynamics to weed management. *Weed Sci.* 45 : 329-336.
- 15.Cerdeira AL, SO Duke(2006)The current status and environmental impacts of glyphosate-resistant crops ; a review. *J Environ. Qual.* 35 : 1633-1658.
- 16.Christoffoleti PJ, M Nicolai, MS Melo, JD Vassios, SJ Nissen, P Westra(2011) Resistance of *Digitaria insularis* Brazilian Biotypes to Glyphosate. [Online]. Weed Science Society of America Abstract No. 121(2011).Available : <http://wssaabstracts.com/public/index.php?conf=4> [10 March 2011].

17. Conner AJ, TR Glare, JP Nap(2003)The release of genetically modified crops into the environment. Part II. Overview of ecological risk assessment. *Plant J* 33 : 19-46.
18. Culpepper AS, TL Grey, WK Vencill, JM Kichler, TM Webster, SM Brown(2006) Glyphosate-resistant Palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) confirmed in Georgia. *Weed Sci.* 54 : 620-626.
19. Culpepper SA, AC York,(2008)Glyphosate-resistant Palmer amaranth impacts Southeastern agriculture. In: Proc. IL. Crop Protect. Technol. Conf. 60,Champaign, IL, pp. 61–63.
20. Culpepper AS, TL Grey, WK Vencill, JM Kichler, TM Webster, SM Brown SM (2006)Glyphosate-resistant Palmer amaranth(*Amaranthus palmeri*)confirmed inGeorgia. *Weed Sci* 54 : 620–626.
21. Dauer JT, DA Mortensen, R Humston(2006)Controlled experiments to predict horseweed(*Conyza canadensis*)dispersal distances.*Weed Sci.* 54 : 484–489.
22. Davis VM, KD Gibson, WG Johnson(2008)A field survey to determine distribution and frequency of glyphosate-resistant horseweed(*Conyza canadensis*) in Indiana.*Weed Technol.* 22 : 331–338.
23. Firbank LG, P Rothery, MJ May, SJ Clark, RJ Scott, RC Stuart, CWH Boffey, DR Brooks, GT Champion, AJ Haughton, C Hawes, MS Heard, AM Dewar, JN Perry, GR Squire,(2006)Effects of genetically modified herbicide-tolerant cropping systems on weed seedbanks in two years of following crops. *Biol. Lett.* 2 : 140-143.
24. GM crop Database from Center for Environmental Risk Assessment (CERA)(2011) ([http :
//cera-gmc.org/index.php?action=gm_crop_database](http://cera-gmc.org/index.php?action=gm_crop_database))
25. Gressel J (1995) Creeping resistances: the outcome of using marginally effective or reduced rates of herbicides. Proc British Crop Protect Conf – Weeds, BCPC, Farnham, Surrey, UK, pp. 587–589.
26. Grundy AC, A Mead, S Burston(2003)Modelling the emergence response of weed seeds to burial depth: interactions with seed density, weight, and shape. *J. Appl. Ecol.* 40 : 757–770.
27. Harrison SK, EE Regnier, JT Schmoll, JE Webb(2001)Competition and fecundity of giant ragweed in corn.*Weed Sci.* 49 : 224–229.
28. Heard MS, C Hawes, GT Champion, SJ Clark, LG Firbank, AJ Haughton(2003a) Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. II. Effects on individual species. *Phil Trans Royal Soc London: Series B* 358 : 1833–1846.
29. Heard MS, C Hawes, GT Champion, SJ Clark, LG Firbank, AJ Haughton(2003b) Weeds in fields with contrasting conventional and genetically modified herbicide-tolerant crops. I. Effects on abundance and diversity. *Phil Trans Royal Soc London: Series B* 358 : 1819–1832.
30. Heap IM, International Survey of Herbicide Resistant Weeds. [Online]. Available: [http :
//www.weedscience.org](http://www.weedscience.org) [1 Apl 2012].
31. Hilgenfeld KL, AR Martin, SC Mason, DA Mortensen(2001)Mechanisms involved in weed species shifts in a glyphosate tolerant system. *North Central Weed Sci Soc* 56 : CD-ROM Computer File.
32. Jeschke MR, DE Stoltenberg(2006) Weed community composition after eight years of continuous glyphosate use in a corn–soybean annual rotation. *Proc. North Cent. Weed Sci. Soc.* 58 : 59.

33. Johnson WG, VM Davis, GR Kruger, SC Weller(2009)Influence of glyphosate-resistant cropping systems on weed species shifts and glyphosate-resistant weed populations. *Europ J Agronomy* 31 : 162-172.
34. Johnson WG, EJ Ott, KD Gibson, RL Nielsen, TT Bauman(2007)Influence of nitrogen application timing on low density giant ragweed(*Ambrosia trifida*) interference in corn. *Weed Technol.* 21 : 763–767.
35. Lee LJ, J Ngim(2000)A first report of glyphosate-resistant goosegrass(*Elusine indica* (L) Gaertn) in Malaysia. *Pest. Manag. Sci.* 56 : 336-339.
36. Lorraine-Colwill DF, SB Powles, TR Hawkes, C Preston (2001) Inheritance of evolved glyphosate resistance in *Lolium rigidum* Gaud. *Theor Appl Genet* **102** : 545–550.
37. Maxwell B, M Jasieniuk(2000)The evolution of herbicide resistance models(abstract). Abstracts of the Third International Weed Science Congress; 6–11 June 2000; Foz do Iguassu, Brazil, p. 172. CD-ROM. Available from : International Weed Science Society, Oxford, MS, USA.
38. Marshall G, RC Kirkwood, GE Leach(1994)Comparative studies on graminicide-resistant and -susceptible biotypes of *Eleusine indica*. *Weed Research.* 34 : 177-185.
39. Mueller TC, JH Massey, RM Hayes, CL Main, CN Stewar(2003)Shikimate accumulates in both glyphosate-sensitive and glyphosate-resistant horseweed(*Conyza canadensis* L. Cronq.). *J. Agric. Food Chem.* 51 : 680-684.
40. Norsworthy JK, P Jha, LE Steckel RC Scott(2010)Confirmation and control of glyphosate-resistant giant ragweed(*Ambrosia trifida*)in Tennessee. *Weed Technol* 24 : 64–70.
41. Norsworthy JK, RC Scott, KL Smith, LR Oliver(2008)Response of northeastern Arkansas Palmer amaranth(*Amaranthus palmeri*)accessions to glyphosate. *Weed Technol* 22 : 408–413.
42. Owen MDK(2001)Weed population shifts may not represent a problem. *Weed Sci Soc America* 42 : 63.
43. Owen MDK(2008)Weed species shifts in glyphosate-resistant crops. *Pest Manag Sci* 64 : 377-387.
44. Pedersen BP, P Neve, C Andreasen SB Powles(2007)Ecological fitness of a glyphosate-resistant *Lolium rigidum* population: growth and seed production along a competition gradient. *Basic Appl Biol* 8 : 258–268.
45. Perez-Jones A, KW Park(2005)Colquhoun J, Mallory-Smith C and Shaner D, Identification of glyphosate-resistant Italian ryegrass(*Lolium multiflorum*) in Oregon. *Weed Sci* 53 : 775–779.
46. Powles SB, DF Lorraine-Colwill, JJ Dellow, C Preston(1998)Evolved resistance to glyphosate in rigid ryegrass(*Lolium rigidum*)in Australia. *Weed Sci.* 46 : 604-607.
47. Pratley J, P Baines, R Eberbach, M Incerti, J Broster(1996)Glyphosate resistance annual ryegrass. Page 126 in J. Virgona and D. Michalk, eds. Proc. 11th Annual Conf. Grasslands Soc. of New South Wales. Wagga Wagga Australia : The Grasslands Soc. of NSW.
48. Pratley JP, N Urwin, R Stanton, P Baines, J Broster, K Cullis(1999)Resistance to glyphosate in *Lolium rigidum*, I: bioevaluation. *Weed Sci* 47 : 405–411.

49. Scursoni JA, F Forcella, J Gunsolus, RB Arnold, M Owen, R Smeda(2001) Weed diversity in glyphosate-tolerant soybean from Minnesota to Louisiana. North Central Weed Sci Soc 56 : CD-ROM Computer File.
50. Sebbins GL(1999) A brief summary of my ideas on evolution. Am J Bot 86 : 1207-1208.
51. Shaner DL(2000) The impact of glyphosate-tolerant crops on the use of other herbicides and on resistance management. Pest Manag Sci 56 : 320-326.
52. Shaner DL, RB Lindenmeyer, MH Ostlie(2011) What have the mechanisms of resistance to glyphosate taught us? Pest Manag Sci 24 : [Online]. Society of Chemical Industry(2011). Available: wileyonlinelibrary.com/journal/ps.
53. Stebbins GL(1999) A brief summary of my ideas on evolution. Am J Bot 86 : 1207–1208.
54. Stoltenberg DE(2001) Weed population dynamics in glyphosateresistant corn and soybean cropping systems. North Central Weed Sci Soc 57 : 6 CD-ROM Computer File.
55. Teng YT, KC Teo(1999) Weed control and management of resistant goosegrass (*Eleusine indica*) in Malaysia. pp753-758. Proceedings of 17th Asian-Pacific Weed Science Society Conference. Thailand.
56. Tranel PJ, RM Lee, MS Bell, S Singh, JR Walter, KW Bradley(2006) What we know (and don't know) about glyphosate resistance in waterhemp. Proc North Cent Weed Sci Soc Abstr 61 : 100.
57. Trucco F, D Zheng, AJ Woodyard, JR Walter, JR Walter, TC Tatum, AL Rayburn, PJ Tranel(2007) Nonhybrid progeny from crosses of dioecious amaranths: implications for gene-flow research. Weed Sci. 55 : 119–122.
58. Tuesca DEP, JC Papa(2001) A long-term study of weed flora shifts in different tillage systems. Weed Res 41 : 369–382.
59. Urbano JM, A Borrego, V Torres, JM Leon, C Jimenez, G Dinelli G(2007) Glyphosate-resistant hairy fleabane (*Conyza bonariensis*) in Spain. Weed Technol 21 : 396–401.
60. Valverde BE(2010) Glyphosate resistance in Latin America, in Glyphosate Resistance in Crops and Weeds, ed. by Nandula VK. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, pp. 249–280.
61. VanGessel MJ(2001) Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. Weed Sci. 703-705.
62. Vila-Aiub M, MC Balbi, PE Gundel, CM Ghersa, SB Powles(2007) Evolution of glyphosate-resistant johnsongrass (*Sorghum halepense*) in glyphosate-resistant soybean. Weed Sci 55 : 566–571.
63. Wilson RG, SD Miller, P Westra, AR Kniss, PW Stahlman, GW Wicks, SD Kachman(2007) Glyphosate-induced weed shifts in glyphosate-resistant corn or a rotation of glyphosate-resistant corn, sugarbeet, and spring wheat. Weed Technol. 21 : 900–909.
64. Yuan CI, MY Chaing, YM Chen(2002) Triple mechanisms of glyphosate-resistance in a naturally occurring glyphosateresistant plant *Dicliptera chinensis*. Plant Sci 163 : 543–554.
65. Zelaya I, MDK Owen(2000) Differential response of common waterhemp (*Amaranthus rudis*) to glyphosate in Iowa. Weed Sci Soc Amer 40 : 62–63.
66. Zelaya IA, MDK Owen(2005) Differential response of *Amaranthus tuberculatus* (Moq ex DC) JD Sauer to glyphosate. Pest Manag Sci 61 : 936–950.

藥毒所專題報導

發行人： 高清文
發行所： 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所
地址： 臺中市霧峰區舊正里光明路 11 號
網址： <http://www.tactri.gov.tw>
電話： (04)23302101
總編輯： 蔡勇勝
編輯委員： 馮海東 蔣永正 何明勳 李宏萍
 曾經洲 蔡韞任 蘇文瀛

展售書局：

- 1.國家書店松江門市/台北市松江路 209 號 1 樓 (02)25180207
網路書店/ <http://www.govbooks.com.tw> (02)26598074
- 2.五南文化廣場/台中市中山路 6 號 (04)22260330

印刷： 財政部印刷廠
地址： 臺中市大里區中興路一段 288 號
電話： 04-24953126

中華民國 101 年 4 月出版

定價： 新台幣 30 元

GPN：2007600007

ISSN：1017-9569(平裝)