臺灣農藥科學 (Taiwan Pesticide Science) 14：35-54 (2023) 研究報告
DOI: 10.6671/TPS.202306_(14).03

壬酸製劑於蔬菜田雜草防除之應用

袁秋英[1*]、鄭麗華[1]、陳柏昇[1]、陳美雅[1]、林士勛[1]

摘要

袁秋英、鄭麗華、陳柏昇、陳美雅、林士勛。2023。壬酸製劑於蔬菜田雜草防除之應用。臺灣農藥科學 14：35-54。

壬酸 (nonanic acid) 製劑為非選擇性、接觸型雜草防除資材，本研究運用自行配製的 80% 壬酸乳劑，測試其對蔬菜田常見雜草的防治效果、桶混其他除草劑的防治率，以及對後作蔬菜生長之影響，進而評估其應用於蔬菜田防除雜草的潛力。首先測試蔬菜田常見 33 種雜草，依其對壬酸耐受性的差異區分為 3 種類型，第 1 種類型對壬酸的耐受性最弱，噴施 12 kg a.i. /ha 壬酸造成全株死亡，共有 17 種雜草，大部分為 1 年生闊葉草，生活史短且株型低矮，包括蓮子草 (*Alternanthera sessilis* (L.) R. Brown)、凹葉野莧菜 (*Amaranthus lividus* L.)、蔊菜 (*Cardamine flexuosa* With.)、平伏莖白花菜 (*Cleome rutidosperma* DC.) 等。第 2 種類型雜草幼苗期噴施 12 kg a.i. /ha 壬酸可全株死亡，但開花期噴施 16 kg a.i. /ha 壬酸的防治率介於 81.3-100% 之間，共有 11 種雜草，大部分為生活史較長且株型較高大植物，包括紫花藿香薊 (*Ageratum houstonianum* Mill.)、野莧 (*A. viridis* L.)、大花咸豐草 (*Bidens pilosa* L. var. *radiata* Sch.)、野茼蒿 (*Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker) 等雜草。第 3 種類型為最難防治的雜草，其中禾本科馬唐 (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.)、芒稷 (*Echinochloa colona* (L.) Link) 及牛筋草 (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) 防治率介於 71.7-95.5% 之間；此外，莎草科碎米莎草 (*Cyperus iria* L.) 及香附子 (*C. rotundus* L.) 以 16 kg a.i. /ha 噴施，僅有 50.7% 及 25.0% 防治率。其次，有關壬酸桶混萌前或萌後藥劑之除草效果。以 12 kg a.i. /ha 壬酸分別混合 0.4 kg a.i. /ha 亞喜芬 (acifluorfen) 或 0.68 kg a.i. /ha 施得圃 (pendimethalin)，噴施蔬菜田區 18 種雜草，噴施後 9 日出現再生雜草，18 日後防治率降為 62-78%，然而此時施得圃及亞喜芬單劑試區仍可維持 95% 以上防治效果，顯示壬酸添加施得圃或亞喜芬無法完全發揮萌前藥劑的作用。另一萌後試驗以 12 kg a.i. /ha 壬酸桶混 0.68 kg a.i. /ha 固殺草 (glufosinate) 或 2.46 kg a.i. /ha 嘉磷

接受日期：2023 年 3 月 21 日
* 通訊作者。E-mail: yci@tactri.gov.tw
[1] 臺中市 行政院農業委員會農業藥物毒物試驗所

塞 (glyphosate)，噴施試區中 13 種雜草，噴施後 3 日即可快速出現 98.3% 及 98.0% 的防治率，且於噴施後 15 日仍有 83.5% 及 100.0% 的防治效果。同時壬酸添加嘉磷塞可有效防除香附子及抗嘉磷塞牛筋草，故壬酸桶混嘉磷塞具有互補作用。最後於蔬菜田土表噴施 12、24、48 及 96 kg a.i. /ha 壬酸，再播種 5 種蔬菜。結果經 LSD 測驗在 5% 顯著水準下，小白菜、芹菜、芥藍及蕹菜的萌芽率、株高、鮮重及乾重 4 種性狀於各處理無顯著差異，壬酸對土壤酸鹼值及電導度亦無顯著影響，顯示壬酸適用於蔬菜採收後快速除草，施用後 3 天即可種植後作。

關鍵詞：壬酸、蔬菜田、雜草、桶混

前言

自 1941 年化學除草劑 2,4-二氯苯氧乙酸 (2,4-D) 的研發上市以來，噴施除草劑成為農民控制雜草的主要防治技術 [27]，2021 年在臺灣的除草劑銷售量為 18,024 噸，約佔農藥銷售總量的 30.2% [2]。農地經過多年施用除草劑之後，全球陸續出現雜草抗藥性、水源污染、生物多樣性減少等生態問題，同時除草劑對人類健康的潛在風險，也日漸備受關注 [18, 22]。

臺灣農田經常使用的萌後除草劑以嘉磷塞 (glyphosate)、巴拉刈 (paraquat) 和固殺草 (glufosinate) 為主 [1]，此 3 種藥劑皆為非選擇性除草劑，噴施後普遍可達全面防除的效果，故深受農民喜好。其中巴拉刈因毒性極高，自 1983 年起即被列為高危害風險農藥 (high hazard pesticide)，並於 2020 年 2 月 1 日起禁止在臺灣販賣及使用 [3]。固殺草對人類生殖具有潛在的毒性 [16]。嘉磷塞的安全性目前仍具爭議性，國際癌症研究機構 (International Agency for Research on Cancer, IARC) 於 2017 年將嘉磷塞歸類為 “可能對人類致癌” (2A 級)。相關研究顯示嘉磷塞對哺乳類動物具有細胞毒性、基因毒性、影響淋巴細胞功能以及免疫系統之間的相互作用 [23]。然而嘉磷塞是否應禁用？全球各國尚未有一致性的共識。因此，未來開發高安全性及環境友善的除草資材或雜草綜合管理技術，成為開發中國家研發的新議題，以防範重要除草劑禁用之後，造成糧食作物產量和生產成本的衝擊 [9]。

Currier 和 Peoples 於 1954 年首次報導脂肪酸的植物毒性 [13]。Coleman 和 Penner (2006) 評估辛酸 (caprylic acid) 和壬酸 (nonanic acid 或 pelargonic acid) 是最有效的的植物乾燥劑 [11]。目前全球生物性除草劑有 13 種源自於微生物或天然成分，壬酸製劑是其中 1 種已上市的除草劑 [12]。壬酸是 1845 年從天竺葵精油被鑑定出來的 9 個碳的飽和脂肪酸，後續發現壬酸普遍存在多種蔬果當中。壬酸在常溫下為透明油狀液體，難溶於水，可溶解脂

質，因此壬酸在適當濃度可破壞植物角質層及細胞膜，導致細胞迅速喪失功能，若將壬酸噴施在雜草幼苗葉片，24 小時內植株即快速枯萎死亡 [21, 29]，屬於速效的接觸型藥劑。

壬酸首次於 1992 年在美國環保署註冊為除草劑 [28]。經評估對人體健康的風險，顯示為低毒物質，僅對皮膚和眼睛具刺激性，需在產品標籤上備註相關的防護措施；另經評估環境風險，顯示對非目標生物如鳥類、魚類和蜜蜂的毒性低或無毒性，且壬酸在土壤和水域中可迅速分解，無積累現象 [15]。因此美國環保署允許作物從種植至收穫前 24 小時皆可噴施壬酸除草，確保作物無殘留問題，作物可免訂定壬酸殘留容許量 [28]。然而，初期在歐美的壬酸相關商品常用於庭園、草坪除草或清除藻類，可稀釋倍數低，價格相對較高，不易推廣應用在農地除草 [8]。依據我國農藥管理之農藥分類規定，壬酸製劑歸類於「免登記植物保護資材」 [4]，為落實化學農藥十年減半政策及高風險農藥退場機制，行政院農業委員會自 2018 年底起積極宣導使用壬酸產品防除農田雜草，共推廣約 80 萬公升壬酸製劑，鼓勵農民使用此環境友善資材 [5]。

本研究考量壬酸的速效、非選擇性及無殘留等特性，運用自行研發配製的高主成分 80% 壬酸乳劑，測試壬酸對蔬菜田常見雜草的防治效果、壬酸田間立即混合其他除草劑的防治率，以及噴施壬酸對後作蔬菜生長之影響等試驗，進而評估其在蔬菜田除草的實際應用潛力。

材料與方法

一、試驗藥劑

壬酸 (nonanoic acid，80%EC，商品名：安心掖-臺灣肥料 ，本所技術移轉之製劑配方)，施得圃 (pendimethalin，34%EC，興農)，亞喜芬 (acifluorfen，20.1%EC，台灣瑪斯德)，固殺草 (glufosinate，13.5%SL，拜耳)，嘉磷塞 (glyphosate，41%SL，億豐)。

二、試驗作物及雜草種類

藥效試驗之雜草由自行採種、培育或田區自然發生者。壬酸對後作蔬菜測試之供試種類及品種包括小白菜 (蜜雪兒)、蕹菜 (新桃園一號)、芹菜 (興農田尾種)、芥藍 (圓葉白花) 及萵苣 (尖妹) 購自農友種苗公司。

三、壬酸對蔬菜田常見雜草之藥效測試

供試的蔬菜田雜草共有 14 科 33 種，自行採種及培育至苗期 (5-10 公分) 及開花期 (15 公分以上)，分別列於表一。壬酸 3 種劑量分別為 12、13.7 及 16 kg a.i. / ha，每公頃藥液量 600 L (3 種處理相當於稀釋 40、35 及 30 倍)，電動噴霧器 (Benson

表一、本研究供試之 33 種蔬菜田常見雜草

Table 1. Common vegetable field weeds used in this study

Family	Scientific name	Seedling (leaves No.)	Flowering (ht. cm)
Amaranthaceae	*Alternanthera nodiflora* R. Br.	18-20	25-30
	A. sessilis (L.) R. Brown	18-20	5-10
	Amaranthus lividus L.	18-20	15-20
	A. viridis L.	6-7	25-30
Capparaceae	*Cleome rutidosperma* DC.	5-6	20-25
Caryophyllaceae	*Drymaria diandra* Blume	8-10	10-15
	Stellaria aquatica L.	18-20	10-15
Chenopodiaceae	*Chenopodium serotinum* L.	10-12	20-30
Compositae	*Ageratum houstonianum* Mill.	8-10	45-50
	Bidens pilosa L. var. *radiata* Sch.	8-10	35-40
	Conyza sumatrensis (Retz.) Walker	8-10	70-80
	Eclipta prostrata L.	18-20	10-15
	Gnaphalium purpureum L.	18-20	15-20
	Ixeris chinensis (Thunb.) Nakai	6-7	15-20
	Soliva anthemifolia (Juss.) R. Br. ex Less.	8-10	5-8
	Youngia japonica (L.) DC.	6-7	20-25
Cruciferae	*Cardamine flexuosa* With.	5-6	10-15
	Rorippa cantoniensis (Lour.) Ohwi	5-6	5-10
	R. indica (L.) Hiern	6-7	20-25
Cyperaceae	*Cyperus iria* L.	8-10	15-20
	C. rotundus L.	4-5	15-20
	Kyllinga brevifolia Rottb.	5-6	10-15
Euphorbiaceae	*Chamaesyce thymifolia* (L.) Millsp.	40-50	3-5
Gramineae	*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.	10-12	10-15
	Eleusine indica (L.) Gaertn.	5-6	15-20
	Echinochloa colona (L.) Link	10-12	40-45
Oxalidaceae	*Oxalis corniculata* L.	10-12	10-15
Polygonaceae	*Polygonum lapathifolium* L.	5-6	25-30
	P. plebeium R. Br.	5-6	20-25
Portulaceae	*Portulaca oleracea* L.	5-6	10-15
Scrophulariaceae	*Lindernia antipoda* (L.) Alston	15-25	10-15
	Mazus pumilus (Burm. f.) Steenis	5-6	5-10
Solanaceae	*Solanum americanum Miller*	8-10	35-45

8AH, 20 L)，扇型噴嘴 (Teejet 8004)，噴施壓力約 70 psi，移動速度為 0.5 m /s，一次性均勻噴施於雜草植株，每處理 3 重複。噴施前紀錄雜草葉數及株高，噴施後 7 日調查雜草傷害率 (%) 評估防治效果，並觀察莖節芽點是否再發芽及生長。雜草傷害率評估等級：0 %：無效果 (所有葉片綠色)、1-10%：非常輕微黃化和/或葉片捲曲、11-30%：輕微症狀、31-49%：症狀未反應在產量、50%：中等(中度退綠和/或葉片捲曲)、51-70%：相當嚴重的傷害、71-90%：嚴重傷害、91-99%：非常嚴重的黃化和/或枯葉、100%：完全死亡。[19]

四、壬酸桶混萌前除草劑之藥效測試

試驗田區為蔬菜休耕田，噴藥前調查雜草種類。依據小區的面積分別換算各除草劑劑量，包括 12 kg a.i. /ha 壬酸、0.68 kg a.i. /ha 施得圃、0.4 kg a.i. /ha 亞喜芬、12 kg a.i. /ha 壬酸桶混 0.68 kg a.i. /ha 施得圃，以及 12 kg a.i. /ha 壬酸桶混 0.4 kg a.i. /ha 亞喜芬等 5 種處理，每公頃用量為 600 L，如表二 A 所示。施得圃和亞喜芬為萌前藥劑，單劑處理試區經整地後預先覆蓋抑草蓆防止雜草生長，其他處理試區土壤保持潮濕，待雜草生長至 5-10 公分時，將藥液均勻噴施於雜草全株，對照組不噴藥。噴藥條件及器械同上述方法三。藥劑噴施後 6、12 及 18 日調查小區雜草覆蓋率 (%)、再生長雜草種類及估算雜草防治率 (%)，並於噴藥後 24 日割取地上部烘乾秤重。雜草防治率 (%) 估算方式為 (施藥前雜草覆蓋率—第 6、12 及 18 雜草覆蓋率)／施藥前雜草覆蓋率 × 100。

五、壬酸桶混萌後除草劑之藥效測試

試驗田區為蔬菜休耕田，噴藥前調查雜草種類。測試藥劑依據稀釋倍數分別換算成供試除草劑劑量，包括 12 kg a.i. /ha 壬酸、0.68 kg a.i. /ha 固殺草及 2.46 kg a.i. /ha 嘉磷塞單劑 (相當於分別稀釋 40、120 及 100 倍)，以及壬酸桶混固殺草 (6 + 0.34 kg a.i. /ha、12 + 0.68 kg a.i. /ha)、壬酸桶混嘉磷塞 (6 + 1.23 kg a.i. /ha、12 + 2.46 kg a.i. /ha) 等 7 種處理，如表二 B 所示，每公頃用量為 600 L，對照組不噴藥。藥劑噴施後 3、6、9、12 及 15 日調查雜草傷害率 (%) 評估防治效果。噴藥條件、器械以及傷害率等級同上述方法三。

六、噴施壬酸對 5 種後作蔬菜生長之測試及土壤酸鹼值與電導度分析

採取蔬菜田土經高溫高壓滅菌 (121°C、1 atm) 20 分鐘，放置於塑膠盆 (30 cm × 20 cm × 12 cm)，於土表噴施 12、24、48 及 96 kg a.i. /ha 壬酸 (相當於推薦用量之 1、2、3 及 4 倍劑量)，噴藥條件及

器械同上述方法三。噴施後盆土放置陽光下曝曬 72 小時，經翻動表土 5-8 公分，再分別採土測試酸鹼值與電導度，並播種小白菜、蕹菜、芹菜、芥藍及萵苣等 5 種蔬菜種子，覆蓋 1-2 公分土壤於種子上方，每盆 25 粒，4 重覆，對照組無噴施壬酸。播種後適時澆水，保持土壤濕潤。5 種蔬菜分別於播種後 24、67、24、45 及 18 日調查株高及記錄地上部鮮種，再於 80°C 烘乾 48 小時稱單株乾種。

七、田區設計及統計分析

本試驗單一因子試驗，採完全逢機設計 (Completely Randomized Design, CRD)，3 重複，小區面積 6 平方公尺。統計分析應用 IBM SPSS® Statistics 軟體，進行最小顯著差異測定 (Least significant difference test, LSD)。

結果與討論

一、壬酸對蔬菜田常見雜草之藥效測試

本研究噴施壬酸 12、13.7 及 16 kg a.i. /ha 3 種劑量於 33 種蔬菜田常見雜草，經藥效調查結果，壬酸對苗期雜草的防治效

表二、萌前及萌後施用的除草劑普通名、主成分劑量及單位面積用量
Table 2. Common names, rates, and formulations of pre-emergent and post-emergent herbicides

Herbicide	Rate (kg a.i. /ha)	Formulation (L /ha)
(A) pre-emergent herbicide and nonanoic acid		
acifluorfen 20.1% EC	0.40	2.00
pendimethalin 34% EC	0.68	2.00
Nonanoic acid (NA) 80% EC	12.00	15.00
NA80% EC + acifluorfen 20.1% EC	12.00 + 0.40	15.00 + 2.00
NA 80% EC + pendimethalin 34% EC	12.00 + 0.68	15.00 + 2.00
(B) post-emergent herbicide and nonanoic acid		
NA 80% EC	12.00	15.00
glyphosate 41% SL	2.46	6.00
NA 80 % EC + glyphosate 41 % SL	6.00 + 1.23	7.50 + 3.00
NA 80 % EC + glyphosate 41 % SL	12.00 + 2.46	15.00 + 6.00
glufosinate 13.5% SL	0.68	5.00
NA 80 % EC + glufosinate 13.5% SL	6.00 + 0.34	7.50 + 2.50
NA 80 % EC + glufosinate 13.5% SL	12.00 + 0.68	15.00 + 5.00

果優於開花期雜草；對雙子葉雜草的防治優於單子葉雜草，且隨劑量增加而增強防治率。甜洋蔥 (*Allium cepa* L.) 田區噴施壬酸，作者亦認同雜草種類、植株生育期及噴藥器械皆為影響壬酸藥效的因素[17]。本研究另根據各草對壬酸耐受性的差異，可將 33 種雜草區分 3 種類型。第 1 類型對壬酸的耐受性最弱，共有 17 種雜草，大部分為 1 年生闊葉草，生活史短且株型低矮，噴施 12 - 16 kg a.i. /ha 壬酸即可全株死亡，包括蓮子草 (*Alternanthera sessilis* (L.) R. Brown)、凹葉野莧菜 (*Amaranthus lividus* L.)、碎米薺 (*Cardamine flexuosa* With.)、千根草 (*Chamaesyce thymifolia* (L.) Millsp.)、平伏莖白花菜 (*Cleome rutidosperma* DC.)、荷蓮豆草 (*Drymaria diandra* Blume)、鱧腸 (*Eclipta prostrata* L.)、鼠麴舅 (*Gnaphalium purpureum* L.)、兔仔菜 (*Ixeris chinensis* (Thunb.) Nakai)、泥花草 (*Lindernia antipoda* (L.) Alston)、通泉草 (*Mazus pumilus* (Burm. f.) Steenis)、酢漿草 (*Oxalis corniculata* L.)、假扁蓄 (*Polygonum plebeium* R. Br.)、廣東葶藶 (*Rorippa cantoniensis* (Lour.) Ohwi)、葶藶 (*R. indica* (L.) Hiern)、鵝兒腸 (*Stellaria aquatica* L.) 及黃鵪菜 (*Youngia japonica* (L.) DC.) 等闊葉雜草 (表三)。第 2 類型共有 11 種雜草，大部分為生活史較長且株型較高大植物，包括紫花藿香薊 (*Ageratum houstonianum* Mill.)、節節花 (*Alternanthera nodiflora* R. Br.)、野莧 (*A. viridis* L.)、大花咸豐草 (*Bidens pilosa* L. var. *radiata* Sch.)、小葉灰藋 (*Chenopodium serotinum* L.)、野茼蒿 (*Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker)、早苗蓼 (*P. lapathifolium* L.)、馬齒莧 (*Portulaca oleracea* L.)、短葉水蜈蚣 (*Kyllinga brevifolia* Rottb.) 、光果龍葵 (*Solanum americanum* Miller) 及假吐金菊 (*Soliva anthemifolia* (Juss.) R. Br. ex Less.) 等雜草，幼苗期噴施 12-16 kg a.i. /ha 壬酸可全株乾枯，但是 12 kg a.i. /ha 劑量對開花期植株的傷害率介於 47.7-99.0%之間，主要因為開花株的莖節部位呈現部分木質化，藥液不易滲入組織內，因此對芽體具較佳的保護機制，當葉片乾枯後，仍有機會再生新葉，另如節節花、假吐金菊和短葉水蜈蚣因分枝叢生於根莖基部，植株開花期葉片數多且重疊遮蔽，造成藥液無法直接均勻接觸所有葉片，因此增加了莖節上芽體存活的機會，此現象亦為接觸型除草劑常發生藥效不佳的原因之一。噴施 13.7 及 16 kg a.i. /ha 劑量之處理，可造成紫花藿香薊、野莧、大花咸豐草、小葉灰藋、早苗蓼、馬齒莧及假吐金菊的全株死亡。第 3 種類型為較難防治的 5 種雜草，壬酸 3 種劑量對禾本科馬唐 (*Digitaria sanguinalis* (L.) Scop.)、芒稷 (*Echinochloa colona* (L.) Link) 及牛筋草 (*Eleusine indica* (L.) Gaertn.) 幼苗及開花株的傷害率分別介於 94.3-100.0% 及 71.7-95.5% 之間，主要因為葉片雖然乾枯，有部分芽體包覆於葉鞘和莖稈內，壬酸藥液無法直接接觸，噴施壬酸後 5-7 日再生

表三、壬酸對 33 種雜草在幼苗期和開花期的防治效果

Table 3. Effects of nonanoic acid on visual injury in 33 weed species at the seedling and flowering stages

Weed species[1)]	Seedling / Rate (kg a.i. /ha)[2,3)]			Flowering / Rate (kg a.i. /ha)[2,3)]		
	12	13.7	16	12	13.7	16
(A) *Alternanthera sessilis*	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Amaranthus lividus	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Cardamine flexuosa	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Chamaesyce thymifolia	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Cleome rutidosperma	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Drymaria diandra	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Eclipta prostrata	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Gnaphalium purpureum	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Ixeris chinensis	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Lindernia antipoda	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Mazus pumilus	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Oxalis corniculata	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Polygonum plebeium	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Rorippa cantoniensis	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
R. indica	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Stellaria aquatica	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Youngia japonica	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
(B) *Ageratum houstonianum*	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	89.6 ± 1.3	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Alternanthera nodiflora	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	62.3 ± 1.7	95.3 ± 3.7	95.7 ± 3.3
Amaranthus viridis	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	68.3 ± 4.6	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Bidens pilosa L. var. *radiata*	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	80.5 ± 2.6	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Chenopodium serotinum	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	68.7 ± 3.3	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Conyza sumatrensis	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	84.2 ± 2.7	92.5 ± 5.4	100.0 ± 0.0
Polygonum lapathifolium	98.7 ± 1.7	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	99.0 ± 1.7	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Portulaca oleracea	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	94.0 ± 0.5	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
Kyllinga brevifolia	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	47.7 ± 3.2	60.5 ± 5.5	81.3 ± 4.7
Solanum americanum	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	48.7 ± 5.3	61.5 ± 7.3	82.0 ± 6.7
Soliva anthemifolia	98.3 ± 1.3	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0	58.7 ± 2.7	100.0 ± 0.0	100.0 ± 0.0
(C) *Cyperus iria*	20.0 ± 4.7	10.0 ± 4.3	15.0 ± 2.7	22.0 ± 6.7	30.7 ± 4.0	50.7 ± 4.7
Cyperus rotundus	20.7 ± 10.3	25.0 ± 7.7	25.0 ± 4.3	25.5 ± 4.3	25.1 ± 5.7	25.0 ± 3.3
Digitaria sanguinalis	95.3 ± 3.0	95.3 ± 4.3	100.0 ± 0.0	91.3 ± 2.7	90.0 ± 4.2	93.0 ± 3.7
Echinochloa colona	95.5 ± 5.3	95.0 ± 4.7	95.0 ± 4.7	93.3 ± 5.0	90.0 ± 5.5	91.5 ± 3.7
Eleusine indica	95.5 ± 8.3	94.3 ± 3.5	95.0 ± 4.3	71.7 ± 8.3	83.3 ± 3.7	84.3 ± 3.5

1) A, B, and C groups represent the three weed types, which have different susceptibilities to nonanoic acid.

2) Data indicate the mean and standard error of 3 replicates.

3) Sampling time: 7 days after treatment.

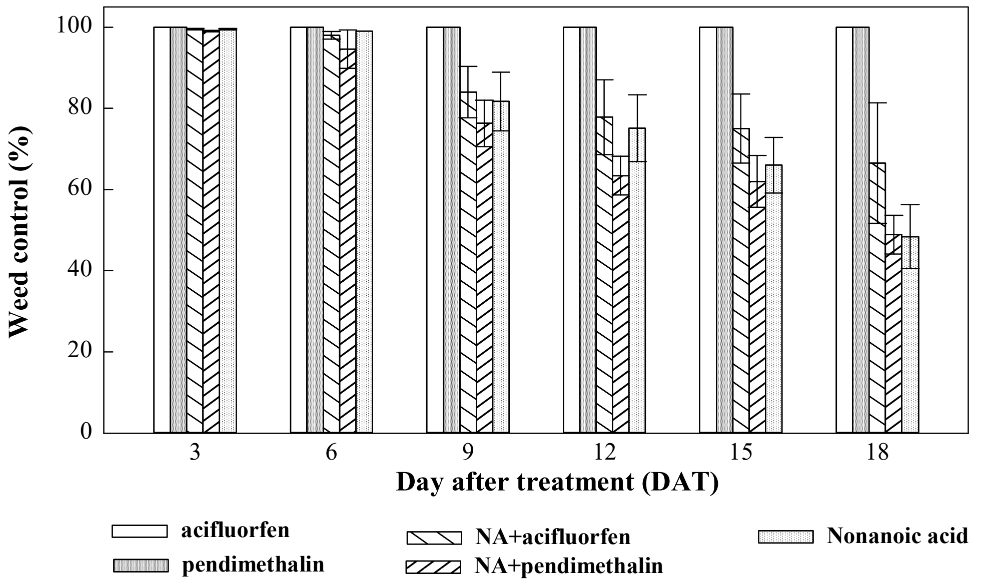
新葉之故；莎草科碎米莎草 (*Cyperus iria* L.) 及香附子 (*C. rotundus* L.) 以 16 kg a.i. /ha 高劑量噴施，僅有 50.7% 及 25.0% 傷害程度，可能為葉表結構影響藥液的吸附及持留，此為壬酸製劑仍待增效之處。

歐美開發中國家針對嘉磷塞的致癌疑慮，近年各農藥廠商致力於除草天然資材的研發，其中包括植物性油脂及壬酸的相關研究，2010 年和 2011 年美國奧克拉荷馬州的甜椒 (*Capsicum annuum* L.) 及南瓜 (*Cucurbita pepo* L.) 田區分別測試 57% 壬酸 (Scythe®) 除草效果，以 15 lb /acre (相當於 16.8 kg a.i. /ha) 藥量，40 gal /acre 施作量 (相當於 374.16 L /ha)，噴施止血馬唐 (*Digitaria ischaemum* Schreb. 株高 8-15 cm)、苦蘵 (*Physalis angulate* L. 株高 5-8 cm)、刺莧 (*Amaranthus spinosus* L. 株高 5-8 cm) 及黃土香 (*Yellow nutsedge* L. 株高 5-10 cm) 4 種雜草，結果在甜椒田的防治率分別為 56、66、66 及 33%；在南瓜田的防治率分別為 98、94、94 及 41% [31, 32]，此研究顯示壬酸對甜椒及南瓜田裡莎草科的黃土香防治率亦僅 33 及 41%，此結果與本研究對同屬的香附子的藥效相似。美國農業部曾測試壬酸銨 (ammonium nonanoate, 40%Racer® , 壬酸銨鹽劑型) 對蔬菜田雜草的防治效果，10.8 kg a.i. /ha 壬酸銨及 654 L /ha 施作量，噴施於白莧 (*Amaranthus albus* L.)、刺莧、光葉粟米草 (*Mollugo verticillata* L.)、牛筋和止血馬唐 (株高皆低於 10 公分) 的防治率分別為 94、95、88、52 及 46%，顯示壬酸銨對闊葉型雜草的防治效果亦優於禾本科雜草，同時作者建議壬酸銨施用於更幼齡雜草、增加施藥量或是對於難防治的雜草增加噴藥次數，將是具有良好除草潛力的蔬菜田除草劑 [30]。中國學者曾測試 30% 壬酸水乳劑之除草活性，結果顯示噴施 22.50 kg /ha 劑量對供試的 23 種 2-4 葉齡雜草防除效果最好，噴施後 24 小時，對部分雜草的防效可達 90-100%，但 7 天後的禾本科雜草開始長新葉，多年生雜草也開始長新芽，作者認為壬酸作為滅生性除草劑可應用於種植前除草及果園林地等處除草 [7]；若將 30%壬酸水乳劑劑量增加為 133.3 L/hm^2 (相當於 40 kg a.i. /ha)，對禾本科及闊葉類雜草的覆蓋率防治效果高達 94.87% 和 92.36%，與對照藥劑 0.45 kg /ha 20% 巴拉刈無明顯差異，適用於非耕地除草 [6]。

二、壬酸桶混萌前除草劑之藥效測試

由於壬酸於土壤中可快速降解，20°C 半衰期僅 1.6 天 [14]，適於蔬菜整地前除草，基於配合農民節省噴藥工時之考量，本研究測試壬酸桶混萌前除草劑，以及分別單劑噴施的防治率，評估桶混使用的效果。噴施藥劑前調查蔬菜田之雜草種類，包括牛筋、馬唐、芒稷、鯽魚草 (*Eragrostis amabilis* (L) Wight & Arn. ex Nees)、馬齒莧、野莧、節節花、大花咸豐草、鱧腸、假吐金菊、鼠麴

舅、通泉草、香附子、碎米莎草、假扁蓄、小葉灰藋、廣東亭壢、光果龍葵等 18 種雜草，主要雜草為野莧、牛筋及大花咸豐草。試區噴施 12 kg a.i. /ha 壬酸、0.68 kg a.i. /ha 施得圃、0.4 kg a.i. /ha 亞喜芬、12 kg a.i. /ha 壬酸桶混 0.68 kg a.i. /ha 施得圃，以及 12 kg a.i. /ha 壬酸桶混 0.4 kg a.i. /ha 亞喜芬等 5 種處理，噴施後 3-18 日之防治效果如圖一所示。根據雜草覆蓋度估算防治率，結果顯示噴施後 6 日各處理皆達 90%以上防治效果，壬酸單劑及 2 種桶混處理於噴施後 9 日出現再生雜草，18 日後防治率降為 62-78%，再生的雜草包括有牛筋草、芒稷、馬唐、野莧、大花咸豐草、鯉腸、假吐金菊、香附子、碎米莎草、馬齒莧和通泉草，其中以牛筋草和野莧為主要雜草，分別佔全區 56.7-66.7% 及 8.6-21.1%；雖然 2 種桶混處理較壬酸單劑的防治效果好，然仍以施得圃及亞喜芬單劑噴施的藥效持續性較長，於噴藥後 18 日維持 95% 以上的防治率。施得圃、亞喜芬、壬酸桶混亞喜芬、壬酸桶混施得



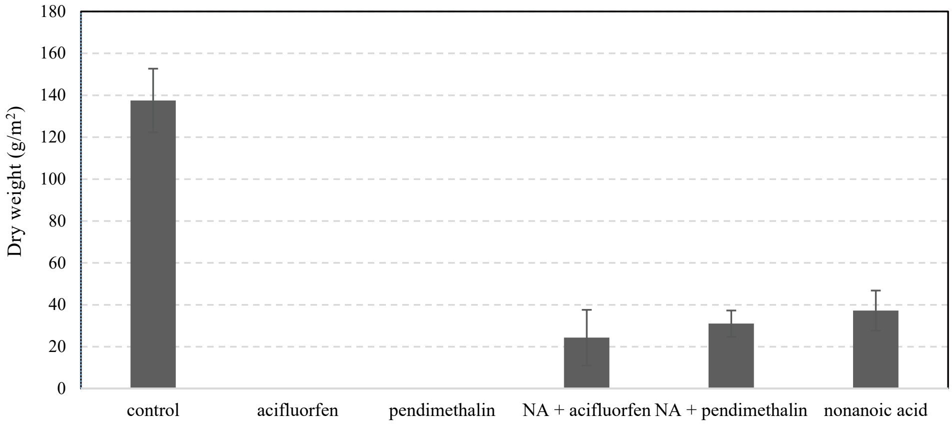
圖一、壬酸、亞喜芬及施得圃單劑或桶混施用對蔬菜田雜草的防治效果。壬酸劑量為 12 kg a.i. /ha、亞喜芬劑量為 0.4 kg a.i. /ha 及施得圃劑量為 0.7 kg a.i. /ha。數據表示平均值及其 3 次重複的標準誤差。

Fig. 1. Effects of nonanoic acid (NA), acifluorfen, and pendimethalin used alone and tank-mixed with each other on weed control in vegetable fields 18 days after treatment. Control rates for nonanoic acid, acifluorfen, and pendimethalin were 12 kg a.i. /ha, 0.4 kg a.i. /ha, and 0.7 kg a.i. /ha, respectively. Data indicate the mean and standard error of 3 replicates.

圃，及壬酸單劑噴施後 18 日，雜草乾重分別為 0、0、24.3、31.0 及 37.2 g/m^2 (圖二)。上述結果顯示由於施得圃及亞喜芬單劑處理的試區噴施前土面無雜草，藥液直接覆蓋於土表，藥效可完全作用。若欲節省工時而將壬酸桶混施得圃或亞喜芬，可能因為部分含有施得圃或亞喜芬的藥液被雜草植體攝取，並未落入田土中，而無法完全發揮其作用，故抑制雜草萌芽生長的效果遠不如單獨噴施施得圃或亞喜芬的處理。因此建議在作物種植前田區雜草生長旺盛，先噴施壬酸使雜草乾枯，3-4 日後整地做畦再噴施萌前除草劑。目前未見壬酸添加萌前除草劑的相關報導。其他萌前及萌後除草劑桶混報導，例如噴施 1.0 L/ha 復祿芬 (oxyfluorfen) 23.5% EC 及 2.62 L/ha 嘉磷塞 41% SL 可達最低雜草指數 (5.76%)，主要由於嘉磷塞對闊葉雜草多年生雜草效果佳，且復祿芬在土壤中的持續可長達三個月之故 [20]。

三、壬酸桶混萌後除草劑之藥效測試

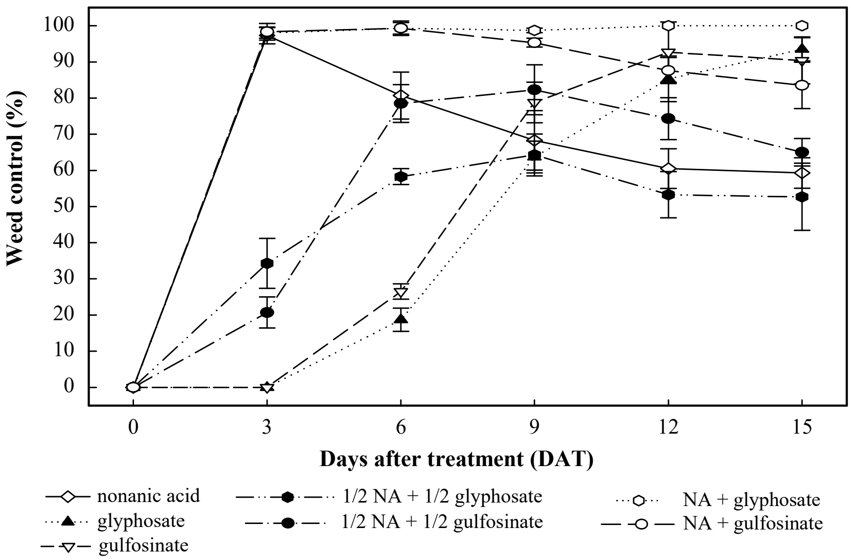
壬酸和固殺草屬於接觸型藥劑，嘉磷塞為系統性藥劑，3 種藥劑不僅殺草的作用機制不同，且防治雜草的時效亦不同。本研究欲運用壬酸的速效特性，進行壬酸



圖二、壬酸、亞喜芬及施得圃單劑或桶混施用，噴施後 18 日對蔬菜田雜草乾重的影響。壬酸劑量為 12 kg a.i. /ha、亞喜芬劑量為 0.4 kg a.i. /ha 及施得圃劑量為 0.7 kg a.i. /ha。數據表示平均值及其 3 次重複的標準誤差。

Fig. 2. Effect of nonanoic acid (NA), acifluorfen and pendimethalin used alone and tank-mixed with each other on dry weight of total weeds in vegetable fields 18 days after treatment. Control rates for nonanoic acid, acifluorfen, and pendimethalin were 12 kg a.i. /ha, 0.4 kg a.i. /ha, and 0.7 kg a.i. /ha, respectively. Data indicate the mean and standard error of 3 replicates.

桶混固殺草或嘉磷塞試驗，評估是否具有增強藥效的作用。噴施藥劑前調查之雜草種類包括牛筋草、馬唐、芒稷、兩耳草 (*Paspalum conjugatum* Bergius Bergius)、大花咸豐草、野莧、平伏莖白花菜、倒地鈴 (*Cardiospermum halicacabum* L.)、兔仔菜、野茼蒿、飛揚草 (*Chamaesyce hirta* (L.) Millsp.)、酢漿草及香附子等 13 種雜草，主要雜草為牛筋草、馬唐、大花咸豐草及野莧。12 kg a.i. /ha 壬酸、0.68 kg a.i. /ha 固殺草及 2.46 kg a.i. /ha 嘉磷塞 3 種藥劑單劑噴施，壬酸噴施後 4-6 小時即出現葉片乾枯現象，3 日後傷害率即達 97.3%，具有速效特性，但因壬酸屬於接觸型藥劑，部分雜草再生新葉之故，15 日後降為約 60%；固殺草及嘉磷塞噴施後雜草葉片分別於 4-5 日及 7-8 日才開始黃化，但藥效持續性較長，噴施後 15 日具有 90.4% 及 93.5% 防治效果 (圖三)，其中嘉磷塞試區出現無法有效防治的牛筋草，經分子鑑定 5-烯醇丙酮酸莽草酸-3-磷酸合酶 (5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase) 核酸序列，呈現點突變 (數據未呈現)，推測其為抗嘉磷塞牛筋草。桶混噴施結果顯示壬酸添加固殺草或是嘉磷塞皆以 0.5 倍單劑量處理，雖可噴施後 3 日提早出現傷害徵狀，但 15 日後的傷害率僅為 65.0% 及 52.7%。若分別以單劑藥量壬酸桶混單劑藥量的固殺草或嘉磷塞，不僅噴施後 3 日即出現 98.3% 及 98.0% 的傷害率，且於噴施後 15 日仍有 83.5% 及 100.0% 的防治效果。綜合上述結果顯示壬酸單劑只瓦解雜草葉表角質和蠟質等保護機制，噴施後 4-24 小時即造成組織脫水的傷害，藥效快速，但因壬酸分解快速，噴施約 3 日後即漸進喪失作用。雖然固殺草及嘉磷塞分別屬於接觸型和系統性藥劑，由於此二藥劑皆為溶液劑型 (SL)，藥液吸收和進入雜草細胞內的速度較緩慢，一般雜草在噴施後 3 或 7 日才開始出現黃化現象，然而壬酸桶混固殺草或嘉磷塞的處理，不僅雜草先呈現壬酸的傷害稱狀，同時由於破壞葉表角質和蠟質而利於固殺草和嘉磷塞的吸收傳導，噴施後 15 日的傷害率達 80%以上 (圖三)。前人研究顯示壬酸桶混嘉磷塞噴施對五蕊油柑(*Phyllanthus tenellus* Roxb.) 和黃土香具有早期傷害的協同作用 [33]。壬酸另具有增強嘉磷塞的吸收和移行性，因此在美國凌霄花 (*Campsis radicans* Seem) 根莖中的積累較多的嘉磷塞，且植株可快速乾燥 [10, 26]。另有文獻曾報導 40 g a.i. /ha 固殺草添加 1% 或 3% 壬酸原體，對固殺草的吸收傳導及防治效果與對照組無顯著差異，亦無顯著提高對藜 (*Chenopodium album* L.)、大狗尾草 (*Setaria faberi* Herrm)、鈍葉決明 (*Cassia obtusifolia* L.)、敘利亞馬利筋(*Asclepias syriaca* L.)及北美刺龍葵 (*Solanum carolinense* L.) 等 1 年生雜草的功效 [24, 25]。然而本研究顯示壬酸有效成分至少需 2% 才具傷害力 (數據未呈現)，且壬酸原體為非極性化合物，未經乳化不易溶於水中，可能因此而無法發揮其功效。



圖三、壬酸、固殺草及嘉磷塞單劑或桶混施用，噴施後 15 日對雜草防治的效果。壬酸劑量為 12 kg a.i. /ha、固殺草劑量為 0.7 kg a.i. /ha 及嘉磷塞劑量為 2.5 kg a.i. /ha。數據表示平均值及其 3 次重複的標準誤差。

Fig. 3. Effects of nonanoic acid (NA), glufosinate, and glyphosate used alone and tank-mixed with each other on weed control in vegetable fields 15 days after treatment. Control rates for nonanoic acid, glufosinate, and glyphosate were 12 kg a.i. /ha, 0.7 kg a.i. /ha, and 2.5 kg a.i. /ha, respectively. Data indicate the mean and standard error of 3 replicates.

四、噴施壬酸對 5 種後作蔬菜生長、土壤酸鹼值與電導度之影響

由於壬酸可於土壤中快速瓦解，無積累現象 [9, 15]，美國環保署允許作物可免訂定壬酸殘留容許量 [28]，因此壬酸適用於蔬菜採收後快速除草、整地及再重植新批次作物。本研究欲證實壬酸噴施後蔬菜田土無藥害疑慮，測試 12、24、48 及 96 kg a.i. /ha 不同劑量壬酸 (相當於推薦用量之 1、2、3 及 4 倍劑量) 對 5 種蔬菜生育性狀之影響。田土表噴施 12、24、48 及 96 kg a. i. /ha 壬酸，分別測試萌芽率、株高、鮮重及乾重的影響。結果壬酸 4 種劑量對小白菜、芹菜及芥藍的萌芽率、株高、鮮重及乾重 4 種性狀皆無顯著差異 (表四)。噴施壬酸對蘿菜株高略抑制，但鮮重及乾重無影響。12、24 及 48 kg a.i. /ha 壬酸對萵苣的株高、鮮重及乾重略有促進現象。蔬菜種植前量測噴施 4 種劑量壬酸的土壤酸鹼值介於 6.52-6.73 之間 (表五)、電導度介於 0.17-0.19 ms/cm 之間，

表四、噴施不同劑量壬酸於盆土對後作 5 種蔬菜萌芽、株高、鮮重及乾重之影響

Table 4. Effects of various nonanoic acid concentrations on the germination rate, plant height, fresh weight, and dry weight of five vegetables in potting soil

Vegetable [2]	Rate (kg a.i. /ha)	Germination[1,3] rate (%)	Plant height[1,3] (cm)	Fresh weight[1,3] (g/plant)	Dry weight[1,3] (g/plant)
Bok choy	0	91 a	24.1 ± 2.2 a	27.8 ± 7.7 a	1.7 ± 0.7 a
	12	89 a	23.8 ± 1.2 a	27.8 ± 7.5 a	1.5 ± 0.5 a
	24	90 a	23.5 ± 1.5 a	27.8 ± 6.0 a	1.7 ± 0.5 a
	48	93 a	23.2 ± 2.7 a	27.6 ± 13.2 a	1.5 ± 0.7 a
	96	88 a	23.7 ± 1.3 a	26.1 ± 5.8 a	1.6 ± 0.4 a
Celery	0	72 a	32.6 ± 3.2 a	16.8 ± 1.7 a	1.6 ± 0.2 a
	12	75 a	36.0 ± 2.5 a	18.3 ± 2.0 a	1.6 ± 0.3 a
	24	72 a	32.3 ± 2.1 a	15.5 ± 1.2 a	1.4 ± 0.1 a
	48	66 a	34.3 ± 4.8 a	18.4 ± 5.8 a	1.9 ± 0.8 a
	96	74 a	35.2 ± 6.3 a	17.7 ± 5.1 a	1.7 ± 0.5 a
Kale	0	65 b	30.6 ± 2.2 a	23.0 ± 5.1 a	1.9 ± 0.5 a
	12	82 a	30.4 ± 2.2 a	22.6 ± 6.5 a	1.7 ± 0.5 a
	24	76 ab	31.2 ± 2.8 a	23.0 ± 5.8 a	1.7 ± 0.5 a
	48	64 b	29.3 ± 2.9 a	20.9 ± 6.5 a	1.5 ± 0.5 a
	96	66 ab	30.0 ± 2.0 a	21.7 ± 5.3 a	1.5 ± 0.4 a
Lettuce	0	74 a	27.3 ± 3.0 b	8.3 ± 3.5 b	0.6 ± 0.3 b
	12	77 a	29.2 ± 1.9 ab	11.4 ± 4.2 ab	1.0 ± 0.4 a
	24	77 a	30.6 ± 3.5 a	12.1 ± 3.6 ab	1.0 ± 0.4 a
	48	71 a	31.6 ± 2.3 a	12.7 ± 2.6 a	1.2 ± 0.3 a
	96	79 a	26.0 ± 2.6 b	8.4 ± 2.9 b	0.8 ± 0.4 ab
Water spinach	0	69 a	37.7 ± 6.6 a	6.7 ± 3.0 a	0.5 ± 0.2 a
	12	61 a	35.4 ± 3.9 ab	6.2 ± 1.7 a	0.5 ± 0.1 a
	24	67 a	31.2 ± 2.8 b	4.7 ± 1.2 a	0.4 ± 0.1 a
	48	62 a	32.8 ± 3.2 ab	5.2 ± 1.7 a	0.4 ± 0.1 a
	96	61 a	34.0 ± 3.3 ab	5.7 ± 1.6 a	0.4 ± 0.1 a

1) Data indicate the mean and standard error of 3 replicates.

2) Sampling time: bok choy, celery, kale, lettuce, and water spinach were sampled at 24, 67, 24, 45, and 18 days after sowing, respectively.

3) Mean ± standard error (n=3). Means within each column followed by the same letter(s) were not significantly different at a 5% level according to Fisher's protected LSD test.

表五、噴施不同劑量壬酸對盆土對土壤酸鹼值及電解質之影響

Table 5. Effects of various concentrations of nonanoic acid on the pH value and electrical conductivity of vegetable field soil after spraying in potting soil

Treatment (kg a.i. /ha)	pH [1,2)]	EC (mS/cm) [1,2)]
Control	6.73 ± 0.03 a	0.17 ± 0.01 a
12	6.64 ± 0.02 ab	0.18 ± 0.01 a
24	6.61 ± 0.07 ab	0.19 ± 0.07 a
48	6.60 ± 0.07 ab	0.18 ± 0.07 a
96	6.52 ± 0.04 b	0.19 ± 0.08 a

1) Data indicate the mean and standard error of 3 replicates.

2) Mean ± standard error (n=3). Means within each column followed by the same letter(s) were not significantly different at a 5% level according to Fisher’s protected LSD test.

各處理差異皆無顯著。雖然目前未有壬酸對後作蔬菜生長之其他報導，預測一般壬酸噴施劑量 (12-24 kg a.i. /ha) 並不會造成蔬菜萌芽及生育的影響。若在南瓜田噴施 11.2 kg a.i. /ha 壬酸可有良好雜草防治效果 [(32)]；在甜椒生育期定向噴施壬酸除草，幾乎不會對甜椒造成傷害 [(31)]。

謝辭

本研究由行政院農業委員會 2019 年農科-23.1.1-藥-P2(4)及 2020 年農科-19.1.1-藥-P2(4)計畫經費補助，謹此誌謝。

引用文獻

1. 方麗萍。2017。非選擇性除草劑在臺灣一甲子。中華民國雜草學會會刊　38：63-75。
2. 行政院農委會動植物防疫檢疫局。2022。農藥資訊服務網-農藥產銷量質統計。檢自 https://pesticide.baphiq.gov.tw/information/Data/Opendata/7 (Sep. 1, 2022)
3. 行政院農委會動植物防疫檢疫局。2022。農藥資訊服務網-禁用農藥。檢自 https://pesticide.baphiq.gov.tw/information/Data/ForBid1 (Sep. 3, 2022)
4. 行政院農委會動植物防疫檢疫局。2022。農藥資訊服務網-登錄產品查詢。檢自 https://pesticide.baphiq.gov.tw/information/Query/Protect (Sep. 8, 2022)
5. 袁秋英、林士勛、陳柏昇、陳美雅、陳君弢、林賢達、李昆龍。2020。友善環境防治資材壬酸之應用推廣。動植物防疫檢疫季刊　66：17-19。
6. 劉婕、李良德、薑春來、鐘國華。2012。生物源除草劑壬酸對非耕地雜草的防治作用。中國農業通報　28：246-

249。

7. 錢振官、沈國輝、李濤、柴曉玲、溫廣月 2010。植物源除草劑壬酸除草活性及其應用技術的研究。上海農業學報 26：1-4。
8. Acheuk, F., Basiouni, S., Shehata, A. A., Dick, K., Hajri, H., Lasram, S., Yilmaz, M., Emekci, M., Tsiamis, G., Spona-Friedl, M., May-Simera, H., Eisenreich, W. and Ntougias, S. 2022. Status and prospects of botanical biopesticides in Europe and Mediterranean countries. Biomolecules 12: 311.
9. Böcker, T., Britz, W., Möhring, N., and Finger, R. 2019. An economic and environmental assessment of a glyphosate ban for the example of maize production. Eur. Rev. Agric. Econ. 47: 371-402.
10. Chachalis, D., and Reddy, K. N. 2004. Pelargonic acid and rainfall effects on glyphosate activity in trumpet creeper (*Campsis radicans*). Weed Technol. 18: 66-72.
11. Coleman, R., and Penner, D. 2006. Desiccant activity of short chain fatty acids. Weed Technol. 20: 410-415.
12. Cordeau, S., Triolet, M., Wayman, S., Steinberg, C., and Guillemin, J. P. 2016. Bioherbicides: dead in the water? A review of the existing products for integrated weed management. Crop Prot. 87: 44-49.
13. Currier, H. B., and Peoples, S. A. 1954. Phytotoxicity of hydrocarbons. Hilgardia 23: 155-173.
14. EFSA, Alvarez, F., Arena, M., Auteri, D., Borroto, J., Brancato, A., Carrasco Cabrera, L., Castoldi, A. F., Chiusolo, A., Colagiorgi, A., Colas, M., Crivellente, F., De Lentdecker, C., Egsose, M., Fait, G., Gouliarmou, V., Ferilli, F., Greco, L., Ippolito, A., Istace, F., Jarrah, S., Kardassi, D., Kienzler, A., Leuschner, R., Lava, R., Linguadoca, A., Lythgo, C., Magrans, O., Mangas, I., Miron, I., Molnar, T., Padovani, L., Manuel, J., Morte, P., Pedersen, R., Reich, H., Santos, M., Sharp, R., Szentes, C., Terron, A., Tiramani, M., Vagenende, B., and Villamar-Bouza, L. 2021. Peer review of the pesticide risk assessment of the active substance pelargonic acid (nonanoic acid). EFSA J. 19: e06813.
15. European Food Safety Authority. 2013. Conclusion on the peer review of the pesticide risk assessment of the active substance Fatty acids C7 to C18 (approved under Regulation (EC) No 1107/2009 as Fatty acids C7 to C20). EFSA J. 11: 3023.
16. Ferramosca, A., Lorenzetti, S., Di Giacomo, M., Murrieri, F., Coppola, L. and Zara, V. 2021. Herbicides glyphosate and glufosinate ammonium negatively affect human sperm mitochondria respiration efficiency. Reprod. Toxicol. 99:

48-55.
17. Johnson III, W. C., and Davis, J. W. 2014. Pelargonic acid for weed control in organic vidalia® sweet onion production. HortTechnology 24: 696-701.
18. Kudsk, P., and Streibig, J. C. 2003. Herbicides: a two-edged sword. Weed Res. 43: 90-102.
19. Hasan, M., Mokhtar, A. S., Rosli, A. M., Hamdan, H., Motmainna, M., and Ahmad-Hamdani, M. S. 2021. Weed control efficacy and crop-weed selectivity of a new bioherbicide WeedLock. Agronomy 11: 1488.
20. Helali, D., Reddi, S. G., Basavaraj, P., Mallikarjun, A., Ramanagouda, S. H., and Siddanna, T. 2020. Impact of different herbicides on weed control in grape (*Vitis vinifera* L.) cv. '2A clone'. Int. J. Chem. Stud. 85: 288-291.
21. Lederer, B., Fujimori, T., Tsujino, Y., Wakabayashi, K., and Böger, P. 2004. Phytotoxic activity of middle-chain fatty acids II: peroxidation and membrane effects. Pestic. Biochem. Physiol. 80: 151-156.
22. Niemann, L., Sieke, C., Pfeil, R., and Solecki, R. 2015. A critical review of glyphosate findings in human urine samples and comparison with the exposure of operators and consumers. J. Verbrauch. Lebensm. 10: 3-12.
23. Peillex, C., and Pelletier, M. 2020. The impact and toxicity of glyphosate and glyphosate-based herbicides on health and immunity. J. Immunotoxicol. 17: 163-174.
24. Pline, W. A., Wu, J., and Hatzios, K. K. 1999. Absorption, translocation, and metabolism of glufosinate in five weed species as influenced by ammonium sulfate and pelargonic acid. Weed Sci. 47: 636-643.
25. Pline, W. A., Hatzios, K. K., and Hagood, E. S. 2000. Weed and herbicide-resistant soybean (*Glycine max*) response to glufosinate and glyphosate plus ammonium sulfate and nonanoic acid. Weed Technol. 14: 667-674.
26. Savage, S., and Zorner, P. 1996. The use of pelargonic acid as a weed management tool. Proc. Calif. Weed Conf. 48: 46-47.
27. Troyer, J. R. 2001. In the beginning: the multiple discovery of the first hormone herbicides. Weed Sci. 49: 290-297.
28. U. S. Environmental Protection Agency. 2004. Pelargonic acid (217500) Fact Sheet. Retrieved from https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-217500_01-Apr-00.pdf (Jan.20, 2022)
29. Vaughn, S. F., and Holser, R. A. 2007. Evaluation of biodiesels from several oilseed sources as environmental friendly contact herbicides. Ind Crops Prod. 26: 63

68.
30. Webber III, C. L., Shrefler, J. W., Brandenberger, L. P., Taylor, M. J., Carrier, L. K., and Shannon, D. K. 2010. Weed control efficacy with ammonium nonanoate for organic vegetable production. Int. J. Veg. Sci. 17: 37-44.
31. Webber III, C. L., Taylor, M. J., and Shrefler, J. W. 2014. Weed control in sweet bell pepper using sequential postdirected applications of pelargonic acid. HortTechnology 24: 663-667.
32. Webber III, C. L., Taylor, M. J., and Shrefler, J. W. 2014b. Weed control in yellow squash using sequential postdirected applications of pelargonic acid. HortTechnology 24: 25-29.
33. Wehtje, G., and Altland, J. E., and Gilliam, C. H. 2009. Interaction of glyphosate and pelargonic acid in ready-to-use weed control products. Weed Technol. 23: 544-549.

Application of Nonanoic Acid Formulations for Weed Control in Vegetable Fields

Chiou-Ing Yuan[1]*, Li-Hua Cheng[1], Po-Sheng Chen[1], Mei-Ya Chen[1], Shi-Xun Lin[1]

Abstract

Yuan C. I., Cheng, L. H., Chen, P. S., Chen, M. Y., Lin, S. X. 2023. Application of nonanoic acid formulations for weed control in vegetable fields. Taiwan Pestic. Sci. 14: 35-54.

Nonanoic acid formulations, used for weed control, are quick-acting, non-selective, and feature rapid decay. In this study, we prepared an 80% nonanoic acid EC formulation and used this formulation to evaluate the ability of nonanoic acid to control 33 weed species commonly found in vegetable fields (1) when used alone and (2) when tank-mixed with other herbicides. We also assessed the effects of nonanoic acid on subsequent vegetable growth and evaluated the application potential of nonanoic acid in vegetable fields. In investigating weed tolerance to nonanoic acid used alone, we found that the 33 weed species could be classified as one of three types. Specifically, 17 of these species were Type 1 weeds, which are the least tolerant to nonanoic acid. These weeds were completely controlled after being sprayed with 12 kg a.i. /ha nonanoic acid. Most Type 1 weeds were 1-year broadleaf weeds characterized by short stems and short life cycles, such as *Alternanthera sessilis* (L.) R. Brown, *Amaranthus lividus* L., *Cardamine flexuosa* With., *Cleome rutidosperma* DC. etc. Type 2 weeds (11 species) were completely controlled by spraying 12 kg a.i. /ha nonanoic acid during the seedling stage. The control rate of Type 2 weeds sprayed with 16 kg a.i. /ha nonanoic acid during flowering stage was between 81.3-100%. Most of the Type 2 weed species were 1-year broadleaf weeds characterized by tall stems and long life cycles, for example, *Ageratum houstonianum* Mill., *A. viridis* L., *Bidens pilosa* L. var. *radiata* Sch., *Conyza sumatrensis* (Retz.) Walker., etc. Type 3 weeds were the hardest to control and included *Digitaria sanguinalis* (L.) Scop., *Echinochloa*

Accepted: March 21, 2023.

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

[1] Taiwan Agricultural Chemicals and Toxic Substances Research Institute, Council of Agriculture, Taichung

colona (L.) Link, and *Eleusine indica* (L.) Gaertn.). The control rate for Type 3 weeds was between 71.7 – 95.5%. In addition, control rates of *Cyperus iria* L. and *C. rotundus* L. were only 50.7% and 25.0%, respectively, when sprayed with 16 kg a.i. /ha nonanoic acid. To investigate the ability of nonanoic acid to control weeds when tank-mixed with pre-emergence or post-emergence herbicides, we sprayed 18 weed species (in vegetable fields) with 12 kg a.i. /ha nonanoic acid tank-mixed with 0.4 kg a.i. /ha acifluorfen or 0.68 kg a.i. /ha pendimethalin, respectively. We found that regenerated weeds appeared on the 9th day after treatment (DAT), and the control rate dropped to 62 – 78% after 18 days. Conversely, the control effect was as high as 95% at day 18 when weeds were sprayed with acifluorfen or pendimethalin alone. These results revealed that nonanoic acid mixed with acifluorfen or pendimethalin did not exert the same control effects of only pre-emergent herbicides acifluorfen or pendimethalin treatments. To test the control abilities of nonanoic acid mixed with post-emergent herbicides, 12 kg a.i. /ha nonanoic acid was tank-mixed with 0.68 kg a.i. /ha glutosinate or 2.46 kg a.i. /ha glyphosate. Control rates for 13 weed species were 98.3% and 98.0% at 3 DAT and 83.5% and 100.0% at 15 DAT, respectively. Furthermore, these herbicide mixtures effectively controlled *purple nutsedge* and the glyphosate-resistant *Eleusine indica*, which revealed that nonanoic acid and the two post-emergent herbicides have complementary effects when mixed. In our final experiment, 12, 24, 48 and 96 kg a.i. /ha nonanoic acid were first sprayed on the soil surfaces of vegetable fields, and then 5 kinds of vegetables were sown. According to LSD tests, the germination rate, plant height, fresh weight, and dry weight of bok choy, Chinese cabbage, celery, kale, and water spinach were not significantly different among treatments ($p > 0.05$); and nonanoic acid did not have significant effects on soil pH and electrical conductivity. Our results reveal that nonanoic acid is suitable for rapid weed control and is best sprayed after vegetables are harvested. Crops can be replanted three days after spraying.

Key words: nonanoic acid, vegetable field, weeds, tank-mixed